

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

JONAS DA COSTA SAMPAIO
RAPHAEL DOS SANTOS EVANGELISTA

**RECONHECIMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO A PARTIR DE
COORDENADAS IMPRECISAS DE GPS E DE UMA ÚNICA IMAGEM
CAPTURADA POR UM SMARTPHONE**

NITERÓI

2013

JONAS DA COSTA SAMPAIO
RAPHAEL DOS SANTOS EVANGELISTA

**RECONHECIMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO A PARTIR DE
COORDENADAS IMPRECISAS DE GPS E DE UMA ÚNICA IMAGEM
CAPTURADA POR UM SMARTPHONE**

Monografia apresentada ao curso de Ciência da Computação do Instituto de Computação, da Universidade Federal Fluminense, como requisito para a obtenção do certificado de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador:
Prof. Dr. Leandro A. F. Fernandes

NITERÓI

2013

JONAS DA COSTA SAMPAIO
RAPHAEL DOS SANTOS EVANGELISTA

**RECONHECIMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO A PARTIR DE
COORDENADAS IMPRECISAS DE GPS E DE UMA ÚNICA IMAGEM
CAPTURADA POR UM SMARTPHONE**

Monografia apresentada ao curso de Ciência da Computação do Instituto de Computação, da Universidade Federal Fluminense, como requisito para a obtenção do certificado de Bacharel em Ciência da Computação.

Niterói, ____ de _____ de 2013.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Leandro A. F. Fernandes – Orientador
UFF - Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr^a Cristina Nader Vasconcelos – Avaliador
UFF - Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Anselmo Antunes Montenegro – Avaliador
UFF - Universidade Federal Fluminense

AGRADECIMENTOS (JONAS SAMPAIO)

A Deus.

Aos meus pais *Reynaldo* e *Adriana*, irmãos *Jhonatan*, *Jheniffer* e *Juliana* e toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

A namorada *Bianca Toledo* por todo carinho, força nos momentos difíceis e ajuda ao longo da graduação.

Ao grande amigo *Raphael Evangelista*, que tornou possível este projeto entre outros tantos sucessos.

Ao Professor orientador *Leandro Fernandes*, pela paciência, orientação e motivação que tornaram possível a conclusão deste projeto e monografia.

A todos os que estiveram comigo neste caminho e que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento e maturidade, serei eternamente grato.

JONAS DA COSTA SAMPAIO

AGRADECIMENTOS (RAPHAEL EVANGELISTA)

Ana Paula dos Santos, que batalhou constantemente para que eu tivesse serenidade para alcançar meus objetivos.

Lúcia dos Santos, pelo apoio e confiança providenciais que me deram coragem para encarar meus medos.

Júlio César Evangelista, por me ensinar o valor da perseverança, buscando incessantemente pela superação de um problema ainda sem solução.

Luana Uchôa, por ter aparecido no momento certo e se tornado minha principal fonte motivadora.

Jonas Sampaio, que me acompanha desde sempre e em quem muitas vezes encontrei braço para superar todas as dificuldades.

Leandro Fernandes, por sua disposição, incentivo e motivação sem as quais seria impossível a conclusão deste trabalho.

A todos os que estiveram comigo neste caminho e que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento e maturidade, serei eternamente grato.

RAPHAEL DOS SANTOS EVANGELISTA

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS (JONAS SAMPAIO)	4
AGRADECIMENTOS (RAPHAEL EVANGELISTA)	5
SUMÁRIO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	11
RESUMO	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. DADOS DE ENTRADA E ACESSO A INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	16
2.1. DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA E FORMA DE INTERAÇÃO.....	17
2.2. SERVIÇOS ON-LINE DE MAPEAMENTO GEOGRÁFICO	18
2.3. DISCUSSÃO	21
3. PANORAMAS	22
3.1. PROJEÇÕES PANORÂMICAS E SUAS REPRESENTAÇÕES NO PLANO	23
3.1.1. <i>Projeções Cúbicas</i>	23
3.1.2. <i>Projeções Esféricas</i>	24
3.2. TRANSFORMAÇÃO DE PROJEÇÕES EQUIRECTANGULARES EM FACES CÚBICAS	25
3.3. DISCUSSÃO	27
4. COMPARAÇÃO COMPUTACIONAL DE IMAGENS	29
4.1. <i>SCALE INVARIANT FEATURES TRANSFORM (SIFT)</i>	30
4.2. <i>AFFINE SCALE-INVARIANT FEATURES TRANSFORM (ASIFT)</i>	32
4.3. DISCUSSÃO	33
5. BUSCA DE ELEMENTOS EM MAPAS VIRTUAIS	35
5.1. BUSCA EXAUSTIVA PELO MAPA.....	36
5.2. ESCOLHA DE DOIS PONTOS PANORÂMICOS VENCEDORES	37
5.2.1. <i>Agrupamento dos Acertos Identificados</i>	38

5.2.2. Mapeamento entre Coordenadas de Panoramas Cúbicos e Panoramas Esféricos	39
5.2.3. Ponderação da Distribuição de Acertos no Histograma	43
5.3. DESCOBERTA DA DIREÇÃO DO ESTABELECIMENTO NO PONTO PANORÂMICO	44
5.4. DISCUSSÃO	45
6. CÁLCULO DA LOCALIZAÇÃO CORRETA POR TRIANGULAÇÃO	46
6.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	46
7. RESULTADOS	51
7.1. ESTUDO DE CASO: SUBWAY CINELÂNDIA	52
7.2. ESTUDO DE CASO: AMIGÃO VAREJO	54
7.3. ESTUDO DE CASO: CAIXA ECONÔMICA CENTRO	56
7.4. ESTUDO DE CASO: CASA SHOW ILHA DO GOVERNADOR	56
7.5. ESTUDO DE CASO: CAMPUS DIREITO - UFF	58
8. CONCLUSÃO	60
8.1. TRABALHOS FUTUROS	60
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fachada de uma edificação em Pequim, China. Esta imagem mostra que o idioma pode ser uma barreira para um turista que deseje mais informações históricas ou contextuais sobre o local.	13
Figura 2 – A partir da fotografia capturada com um <i>smartphone</i> , é realizado um conjunto de etapas em um servidor (denominado InfoPlaces) e ao final é retornado ao usuário um conjunto de informações da edificação fotografada.	14
Figura 3 – Demonstra todo processo, incluindo as etapas realizadas pelo servidor.	14
Figura 4 – Pontos Panorâmicos ilustrando os locais, dado um logradouro, que possuem informações geográficas e panorama associados “ www.google.com.br ”	16
Figura 5 – Etapa de aquisição de informações geográficas e panorama, dado uma coordenada geográfica aproximada.	17
Figura 6 – Google Car: Carro equipado com uma câmera panorâmica e um sistema de captura de dados geolocalizáveis.	19
Figura 7 – Fotos utilizadas como base para geração de um panorama equirectangular para a Google Street View (http://maps.google.com.br/intl/pt-BR/help/maps/streetview/images/original.png)	19
Figura 8 – Panorama equirectangular montado a partir das imagens ilustradas na Figura 7 (http://maps.google.com.br/intl/pt-BR/help/maps/streetview/images/pano.png)	19
Figura 9 – Exemplo de um arquivo estruturado (XML) contendo informações do ponto panorâmico.	20
Figura 10 – Panorama dividido em partes iguais de alta resolução (<i>tiles</i>)	21
Figura 11 – Fotografia panorâmica de Manhattan.	22
Figura 12 – Fotografia panorâmica equiretangular com distorções introduzidas	22
Figura 13 – A partir do identificador do ponto panorâmico é possível obter seu panorama na projeção esférica. Porém, com o alto índice de distorções, é necessário transformar a projeção em cúbica.	23
Figura 14 – Simulação da imersão a um panorama cúbico (esquerda) e fotografia panorâmica sob a disposição horizontal cross (direita).	24
Figura 15 – Fotografia panorâmica sob a disposição esférica.	25

Figura 16 - Processo de transformação de um panorama equirectangular em um panorama cúbico	27
Figura 17 – Mostra as distorções inseridas em um panorama de projeção equiretangular (direita), comparado a um panorama de projeção cúbica (esquerda).....	27
Figura 18 – Fotografia panorâmica apenas com as faces frontal, lateral direita, posterior e lateral esquerda concatenadas. Note que na fronteira das faces é possível perceber a quebra de estruturas que são planares no espaço tridimensional.	28
Figura 19 – A partir de um panorama com projeção cúbica, que possui menor número de distorção, é possível realizar a comparação entre este e a foto capturada pelo usuário.	29
Figura 20 - Funcionamento do filtro gaussiano aplicado aos pontos interessantes encontrados na imagem à esquerda	30
Figura 21 - Exemplo demonstrando as invariáveis do SIFT	31
Figura 22 – Exemplo de onde o SIFT atua identificando as características-chave de uma imagem (Lowe, 1999)	31
Figura 23 - Teste de execução do SIFT x ASIFT com imagens reais. SIFT (0 acertos) e ASIFT (20 acertos).....	32
Figura 24 – Exemplo de transformações perspectivas em uma imagem A e B de entrada. (Morel, et al., 2009).....	32
Figura 25 – Exemplo de resultado do ASIFT onde as linhas brancas representam as correspondências em comum para as duas imagens. (Morel, et al., 2009)	33
Figura 26 – Comparação, utilizando ASIFT, entre a foto capturada pelo usuário e um panorama com faces cúbicas concatenadas. Observe que várias características da edificação de interesse abaixo foram identificadas no panorama acima.	35
Figura 27 – Com o arquivo de matches gerado pelo ASIFT é possível agrupar as ocorrências e descobrir a sua direção. Isso é feito para seus vizinhos no mapa, o que leva à identificação dos panoramas vencedores.	36
Figura 28 – Demonstração da busca em largura no grafo, a partir de um ponto e buscando todos os vizinhos próximos antes de continuar.	37
Figura 29- Agrupamento dos matches a cada 10 graus.	38
Figura 30– Histograma gerado para a Figura 25	39
Figura 31 – Imagem do panorama com referenciais.	40
Figura 32 – Vista superior do das faces do cubo.	40

Figura 33 – Vista superior: representação de um panorama esférico (círculo inscrito) e um panorama cúbico (quadrado) desprezando as faces superior e inferior do cubo.....	41
Figura 34 – Exemplo onde o ponto buscado encontra-se na face lateral direita do cubo.	42
Figura 35 – O cálculo pode ser realizado para a face frontal do cubo.	43
Figura 36 – A resposta final é obtida somando a diferença de graus	43
Figura 37 - Demonstração visual da convolução entre o histograma e a curva gaussiana.....	44
Figura 38 – Com as coordenadas dos panoramas vencedores e as direções de maior número de ocorrências é possível testar e validar resultados.....	46
Figura 39 – Mapa Mundi com Coordenadas Geográficas mapeadas diretamente em Coordenadas Cartesianas (http://www.not1.com.br/wp-content/uploads/2011/04/MUNDO-LATITUDE-LONGITUDE.gif).....	47
Figura 40 – Representação de um plano homogêneo imerso num espaço em três dimensões.	47
Figura 41 - Processo de cruzamento entre planos no espaço homogêneo, gerando uma reta ..	49
Figura 42 - Representação gráfica de um Ponto Panorâmico, a direção do estabelecimento em relação a ambos e, finalmente, a triangulação.....	50
Figura 43 – Com o resultado validado e a coordenada da edificação, pode-se então buscar informações sobre a edificação no <i>Google Places</i> ou em serviços equivalentes.....	52
Figura 44 – O <i>Google Places</i> , tratado como uma caixa-preta neste fluxo, retorna as informações da edificação para o <i>smartphone</i>	61

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SIFT: Scale-Invariant Features Transform

ASIFT: Affine Scale-Invariant Features Transform.

GPS: Global Position System.

XML: eXtensible Markup Language.

URL: Uniform Resource Locators.

LAT: Latitude.

LNG: Longitude.

GPL: General Public Licences.

GT-I550B: Celular Samsung Popular.

GT-S5360B: Celular Samsung Popular.

RESUMO

Este projeto tem por objetivo principal analisar e testar a viabilidade de uma aplicação que busque por informações sobre edificações em centros urbanos, tendo como entrada uma fotografia do local desejado e informações de latitude e longitude do usuário no momento da captura da imagem, considerando a imprecisão intrínseca aos sistemas de posicionamento global existentes.

Neste trabalho, é sugerido um processo que atenda essa necessidade e, em paralelo, é apresentado o desenvolvimento de um protótipo, a partir do qual foram realizados testes e analisada a possibilidade de uma aplicação entrar em produção com esse objetivo.

O processo proposto se inicia com as informações coletadas a partir do usuário final que contemplam uma imagem da edificação de interesse e coordenadas geográficas que, apesar de imprecisas, servem de ponto inicial da busca.

No passo seguinte, é feita uma busca em mapas virtuais dotados de imagens panorâmicas de ruas de centros urbanos, e disponibilizados gratuitamente na Internet. Em especial, o *Google Street View*. O caminho de busca é guiado pela aplicação de *Affine Scale-Invariant Features Transform (ASIFT)* para a comparação entre a fotografia inicial e as imagens panorâmicas. Por meio da comparação, a ferramenta proposta é capaz de afirmar os panoramas mais próximos e que visualizam a edificação desejada.

Ao final, a ferramenta identifica dois panoramas nos quais pode ser vista a edificação alvo e realiza uma triangulação para estimar com maior precisão as coordenadas geográficas do estabelecimento.

Como principal proposta de continuidade do projeto, é sugerido o uso das coordenadas estimadas para identificar, de maneira inequívoca, um estabelecimento numa base de dados como, por exemplo, o serviço *Google Places*, e extrair da mesma informações relevantes sobre a edificação.

Palavras-chave: *Google Street View*, recuperação de informação, busca em largura, identificação visual de edificações, dispositivos móveis.

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias vêm sendo desenvolvidas pelo ser humano desde tempos antigos com o principal propósito de ajuda-lo a superar suas próprias limitações e/ou tornar menos trabalhosa uma determinada atividade.

A busca por informação útil é comum a todos e se faz presente na rotina do Homem. Obter informações sobre uma determinada edificação ou estabelecimento é uma necessidade corriqueira. Imagine um turista na Copa do Mundo num país desconhecido, cujo idioma nativo não é de seu domínio e que deseja receber informações úteis sobre um determinado estabelecimento em sua língua nativa. Por exemplo, o turista poderia querer saber se um determinado edifício possui algum papel histórico no local de visita, ou se determinado restaurante fornece um cardápio de seu agrado. Dependendo da distância cultural entre o país visitado e o país de origem do turista, a busca pelas informações requeridas pode se tornar uma tarefa desafiadora (veja a Figura 1 e considere um turista brasileiro na China).



Figura 1 – Fachada de uma edificação em Pequim, China. Esta imagem mostra que o idioma pode ser uma barreira para um turista que deseje mais informações históricas ou contextuais sobre o local.

Visando proporcionar uma maneira simples e ao alcance das mãos para obter informações úteis sobre um local de interesse, este projeto foi idealizado e desenvolvido. A premissa adotada foi a de que um usuário qualquer de uma aplicação baseada neste projeto seja capaz de utilizar seu *smartphone* com uma câmera e um sistema de posicionamento global embutido para saber mais sobre um estabelecimento ou qualquer local geolocalizável.

A Figura 2 ilustra o objetivo visado. Um interessado captura uma fotografia do local desejado e um sistema computacional se encarrega de identificar as coordenadas

geográficas da edificação contida na imagem. Futuramente, um novo trabalho pode ser desenvolvido para buscar informações úteis sobre o alvo.

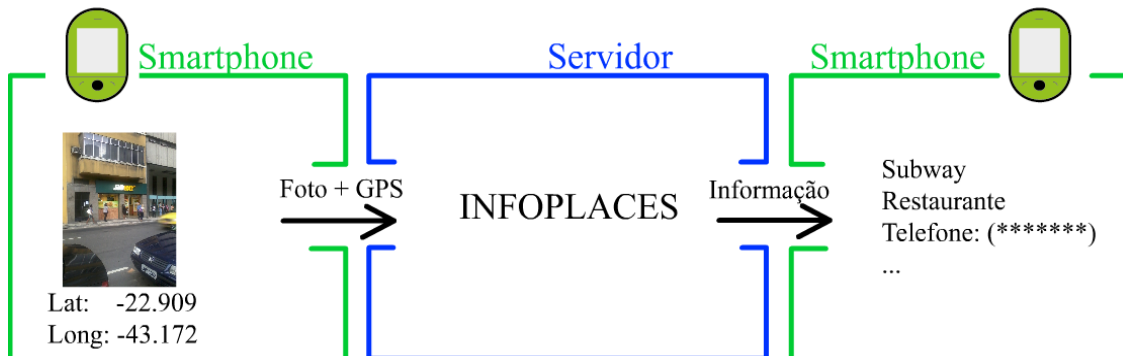


Figura 2 – A partir da fotografia capturada com um *smartphone*, é realizado um conjunto de etapas em um servidor (denominado InfoPlaces) e ao final é retornado ao usuário um conjunto de informações da edificação fotografada.

Para maximizar o entendimento do processo proposto neste trabalho, cada etapa do processo foi associada a um capítulo e, a cada novo capítulo, a etapa associada será destacada para situar o leitor. O processo completo é ilustrado pela Figura 3.

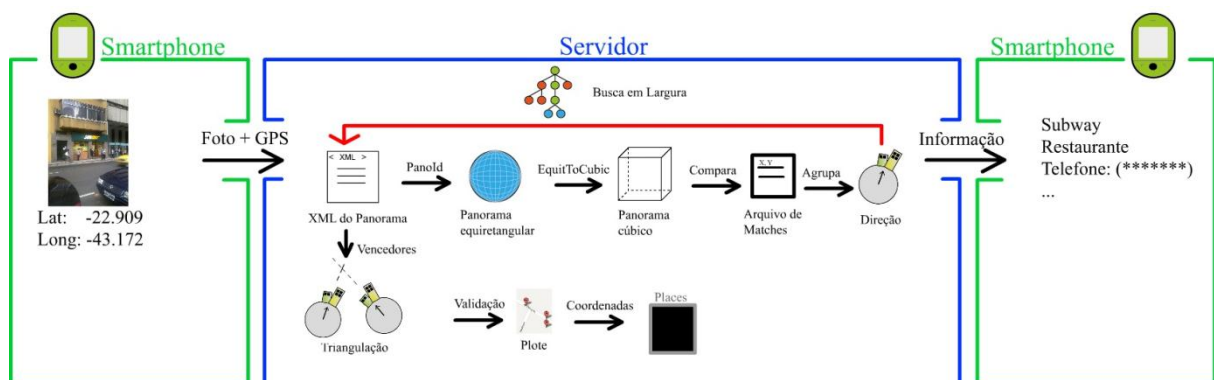


Figura 3 – Demonstra todo processo, incluindo as etapas realizadas pelo servidor.

No Capítulo 2, definiremos que para iniciar o processo um usuário deve possuir uma fotografia do estabelecimento desejado e um par de coordenadas geográficas (*i.e.*, latitude e longitude), que serão utilizadas como ponto inicial da busca por informações. A aplicação realiza então, uma pesquisa através de mapas virtuais para identificar o local presente na fotografia inicial.

A identificação, descrita no Capítulo 4, é dada a partir de técnicas para comparação entre imagens virtuais e sendo as imagens consultadas, panoramas, o sistema pode determinar, utilizando técnicas de triangulação (Capítulo 6), as coordenadas geográficas

do estabelecimento. Essa triangulação é viabilizada neste trabalho através da utilização de um conjunto de técnicas, como a identificação de um histograma para determinar a área mais importante de um panorama e uma convolução do mesmo com uma função gaussiana, permitindo assim, que a aplicação identifique uma direção interessante para o elemento desejado (Capítulo 5).

2. DADOS DE ENTRADA E ACESSO A INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Para atender o objetivo deste projeto é necessário processar os dados de entrada e consultar uma base on-line de dados que associe informações de localização geográfica (*i.e.*, coordenadas de latitude e longitude (Ordnance Survey)) com outras informações, como endereço e fotografias do local. A esta base nos referenciamos neste trabalho como “serviço on-line de mapeamento geográfico”. A Seção 2.1 comenta a forma de interação proposta para a aplicação, enquanto que a Seção 2.2 discute a disponibilidade de serviços on-line com as características e informações desejadas.

O domínio de busca de informações pretendido neste projeto se limita a centros urbanos e, portanto, necessita apenas que sejam consultadas bases de dados com coordenadas geográficas associadas a ruas. Entretanto, tal limitação de escopo não reduz a dificuldade do problema de recuperação de informação, pois é possível ter grande quantidade de coordenadas geográficas associadas a uma única rua. Porém, para fins de simplificação, o serviço on-line consultado não precisa que toda coordenada possível seja mapeada. Basta que pontos chave de maior importância estejam cadastrados e que, a partir deles, seja possível reconstruir informações sobre qualquer parte de um dado logradouro. Assume-se, então, a possibilidade de existência de uma discretização das coordenadas geográficas de modo que as informações de interesse sobre a superfície terrestre sejam suficientemente armazenadas e sejam minimamente replicadas.

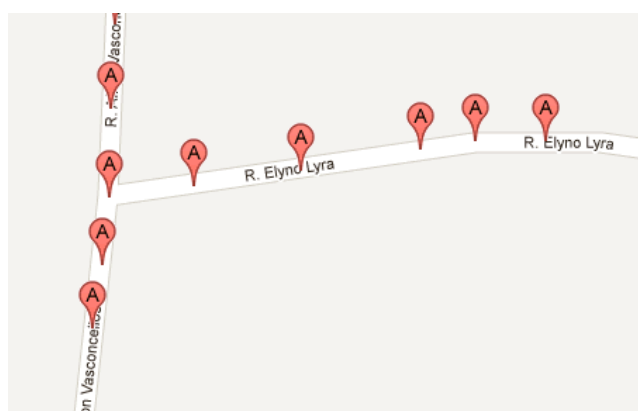


Figura 4 – Pontos Panorâmicos ilustrando os locais, dado um logradouro, que possuem informações geográficas e panorama associados “www.google.com.br”

Para este projeto, é mandatório que as coordenadas cadastradas no serviço on-line de mapeamento geográfico respeitem a disposição das ruas, ou seja, que caso exista alguma via rodoviária entre uma coordenada e outra, que essa seja representada como um caminho possível entre elas. Tal restrição é necessária porque, conforme comentado anteriormente, pretende-se permitir que o usuário do sistema proposto seja capaz de recuperar informações sobre uma edificação fotografada. Assume-se, então, que tal edificação possa ser acessada pelo usuário por meio de uma via rodoviária.

O processo apresentado se baseia em comparação de imagens para determinar a localização correta da edificação e por isso é extremamente necessário que haja uma ampla base de fotografias que sejam associadas às suas coordenadas. Felizmente, este tipo de catálogo de endereços é disponibilizado por algumas empresas que desenvolveram aplicações para prover serviços de pesquisa on-line em mapas, tais como as ferramentas *Google Maps* (Google Corp.) e *Apple Maps* (Apple Inc.).

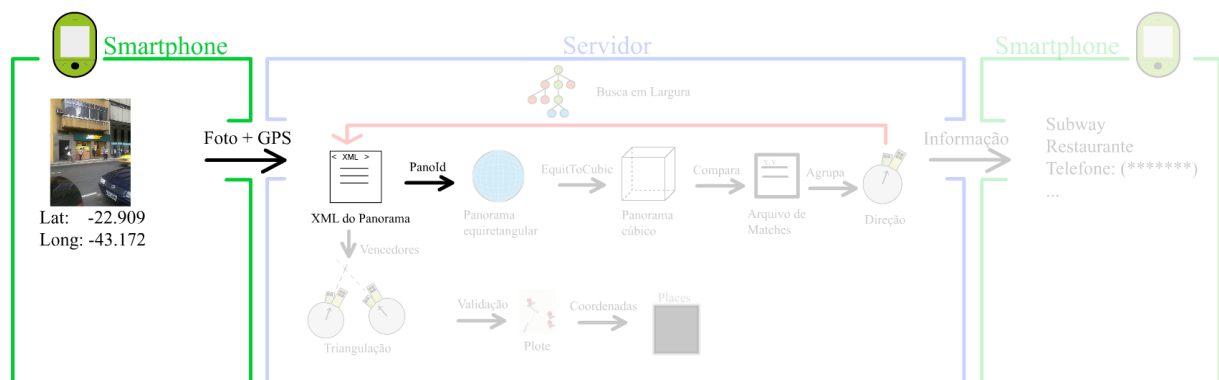


Figura 5 – Etapa de aquisição de informações geográficas e panorama, dado uma coordenada geográfica aproximada.

2.1. Definição dos Dados de Entrada e Forma de Interação

Antes de iniciar o processo de interação com o sistema proposto, o usuário deve se interessar por uma determinada edificação da qual este deseja adquirir informações úteis. Para acionar o sistema o usuário deve utilizar o sistema, previamente instalado em seu *smartphone*, para fotografar o local de interesse, centralizando-o na imagem capturada. Essa fotografia será utilizada num processo de comparação de imagens, cujo funcionamento é detalhado no Capítulo 4.

Ao mesmo tempo em que captura a imagem, *smartphones* atuais podem ser configurados para obter um par de coordenadas geográficas que aproximam a localização do indivíduo sobre o globo terrestre e os armazena no cabeçalho do arquivo de imagem gerado. O par de coordenadas será utilizado pela aplicação para restringir a pesquisa da correta localização da edificação às proximidades das coordenadas fornecidas. Essas coordenadas podem ser facilmente adquiridas por aparelhos que possuam um *GPS* integrado.

É importante ressaltar que as informações geradas pelo *GPS* acoplados a dispositivos como *smartphones* podem ser significativamente imprecisas dependendo de algumas condições, tais como estar entre prédios e outras edificações e também das condições atmosféricas do momento. Na prática isso significa que se o usuário se basear apenas nas coordenadas fornecidas pelo *GPS* para se localizar e localizar a edificação de interesse, este poderá se desapontar, pois poderá vir a ser posicionado no mapa a uma distância grande (de centenas de metros, em alguns casos) de sua real localização. Essa imprecisão justifica o desenvolvimento e utilização do sistema proposto neste trabalho. (Samsung)

2.2. Serviços On-Line de Mapeamento Geográfico

Dentre todos os serviços disponibilizados para a finalidade apresentada, a ferramenta *Google Street View* foi utilizada no desenvolvimento deste projeto por possuir uma base de informações geográficas disponível gratuitamente e, além disso, por manter fotografias associadas a nós de uma malha de coordenadas geográficas.

As informações geográficas disponibilizadas pelo *Google Street View* incluem uma referência global (Norte), possíveis caminhos a seguir a partir de um nó da malha, inclinação do relevo em relação ao nível do mar, dentre outros. Além desses dados, o serviço também disponibiliza imagens panorâmicas com 360° de angulação horizontal e 180° de angulação vertical. Estas imagens são fruto de um projeto ambicioso proposto pela empresa *Google* que visa realizar o mapeamento fotográfico, em nível de rua, de todo o globo terrestre. Entende-se por imagem panorâmica uma forma visual de se representar um ambiente e essa imagem é caracterizada por sua angulação ampla.

Todas as informações disponibilizadas pelo *Google Street View* foram coletadas fisicamente pelo uso de automóveis equipados com câmeras panorâmicas e identificadores de referência geográfica. Uma ilustração de automóvel utilizado, *i.e.*, o *Google Car*, pode ser visto na imagem Figura 6.



Figura 6 – Google Car: Carro equipado com uma câmera panorâmica e um sistema de captura de dados geolocalizáveis.

Um panorama é uma forma visual de representar um determinado ambiente e pode ser caracterizado por sua ampla largura. O mesmo pode ser uma pintura, uma fotografia ou um vídeo, ou ter outras representações.

Enquanto se desloca pelas ruas, as câmeras panorâmicas acopladas ao *Google Car* são acionadas de tempos em tempos e os identificadores geográficos associam coordenadas de altitude, latitude e longitude às imagens capturadas. Exemplos de imagens capturadas podem ser vistos na Figura 7. Em uma etapa posterior à coleta de informações, as imagens capturadas em um mesmo momento são convertidas em panorama (Figura 8), sendo este adicionado a um grafo de panoramas que se sobrepõe às ruas visitadas pelo *Google Car*. Os nós deste grafo são chamados neste trabalho de “ponto panorâmicos”, sendo que em uma visualização em primeira pessoa, nós vizinhos no grafo são utilizados na reconstrução de vistas intermediárias entre ele.



Figura 7 – Fotos utilizadas como base para geração de um panorama equirectangular para a Google Street View (<http://maps.google.com.br/intl/pt-BR/help/maps/streetview/images/original.png>)



Figura 8 – Panorama equirectangular montado a partir das imagens ilustradas na Figura 7 (<http://maps.google.com.br/intl/pt-BR/help/maps/streetview/images/pano.png>)

O serviço disponibilizado pelo *Google Street View* pode ser controlado por completo a partir de endereços eletrônicos (URLs, do inglês *Uniform Resource Locators*) parametrizados. Essas URLs devem conter todas as especificações do objeto de retorno desejado. Um exemplo de endereço eletrônico para este serviço é apresentado a seguir.

`http://cbk0.google.com/cbk?output=xml&ll="-22.00003","-44.88942"`

Como dito anteriormente, a *Google* mantém uma ampla base de informações geográficas, uma com informações de localização e com imagens do local. O retorno esperado para este serviço se limita a um arquivo estruturado (XML, do inglês *eXtensible Markup Language*) com informações ou uma imagem do local. Cada ponto panorâmico está associado a apenas um par de coordenadas geográficas e, por isso, a combinação latitude e longitude pode ser utilizada para identificar de maneira inequívoca.

```
<panorama>
<data_properties image_width="13312" image_height="6656" tile_width="512"
tile_height="512" image_date="2011-09" pano_id="f9z_E4f9ib9h3uEVfMeOtA"
num_zoom_levels="3" lat="-22.903395" lng="-43.125793" original_lat=
"-22.903388" original_lng="-43.125793" elevation_wgs84_m="16.282517">
<copyright>© 2013 Google</copyright>
<text>Rua Presidente Pedreira</text>
<street_range> 61</street_range>
<region>Niterói, Rio de Janeiro</region>
<country>Brasil</country>
<data_flag>1</data_flag>
</data_properties>
<projection_properties projection_type="spherical" pano_yaw_deg="98.94"
tilt_yaw_deg="5.46" tilt_pitch_deg="1.77"/>
<annotation_properties><link yaw_deg="274.57" pano_id=
"0mlw890QYTARmsz3Z-2qNA" road_argb="0x80ffa73" scene="0">
<link_text>Rua Presidente Pedreira</link_text>
</link>
<link yaw_deg="94.57" pano_id="oEqWdjNFIE3ojvrkP0wxJA" road_argb=
"0x80ffa73" scene="0">
<link_text>Rua Presidente Pedreira</link_text>
</link>
</annotation_properties>
</panorama>
```

Figura 9 – Exemplo de um arquivo estruturado (XML) contendo informações do ponto panorâmico.

As imagens armazenadas pela *Google* foram fotografadas para uso estratégico da ferramenta *Google Street View*, que visa proporcionar a seus usuários a imersão virtual em ruas a partir do uso de um computador. As imagens panorâmicas geradas possuem resolução máxima de 12800×6144 (Thompson) podendo ser acessadas em resoluções mais baixas. Por uma questão de eficiência, panoramas com qualidade máxima só podem ser acessados por

partes, denominados *tiles*. Portanto, para obter imagens com qualidade alta a partir deste serviço, é necessário unir as partes adquiridas da imagem e montar uma única imagem, conforme ilustrado na Figura 11.



Figura 10 – Panorama dividido em partes iguais de alta resolução (*tiles*)

2.3. Discussão

No levantamento de requisitos para este projeto, observou-se que o *Google Street View* seria a ferramenta adequada, pois mantém uma organização de dados geográficos que representa, de maneira mais que satisfatória, os centros urbanos. Além disso, este serviço online de mapeamento geográfico disponibiliza uma base ampla de panoramas fotográficos de todo o mundo (Google Corp.).

No entanto, para o desenvolvimento deste projeto seria necessário acesso a dados que não são disponibilizados pela *Google* através de suas bibliotecas convencionais ou por meio de *URLs* montadas de acordo com a especificação disponibilizada. A fim de contornar este problema, foi necessário interpretar todas as informações que poderiam ser úteis no processo e fazer uso de especificações não oficiais disponibilizadas em (Thompson).

Na análise dos dados, os atributos que foram utilizados neste trabalho foram:

PANO_ID: Identificador único, criado pela própria *Google*.

LAT: Latitude virtual do local (localização oficial no mapa virtual).

LNG: Longitude virtual (localização oficial no mapa virtual).

PANO_YAW_DEGREE: Guarda informação sobre a referência global Norte.

Nos próximos capítulos são comentadas, respectivamente, a estrutura de um panorama associado a um ponto panorâmico do *Google Street View* (Capítulo 3) e a técnica utilizada na comparação da imagem de entrada com as imagens que compõem um panorama (Capítulo 4).

3. PANORAMAS

No capítulo anterior, foram definidos todos os dados necessários para iniciar o processo proposto e também foi apresentado um serviço, *Google Street View*, que mantém uma base de dados geográficos e na qual, consultas podem ser realizadas. Para o desenvolvimento deste trabalho, o serviço da *Google* para a ferramenta *Google Street View* foi a mais aderente às necessidades do processo por fornecer não só informações geográficas, como também imagens panorâmicas do local.



Figura 11 – Fotografia panorâmica de Manhattan.

No entanto, os panoramas disponibilizados possuem características de construção que não satisfazem por completo às necessidades deste projeto. A maneira como esses panoramas são disponibilizados pode invalidar a etapa de comparação computacional por introduzir distorções na imagem final. As distorções introduzidas, ilustradas na Figura 12, são causadas pelo sistema de coordenadas adotado na codificação da imagem do panorama. Nesta figura, note como estruturas que são retas no mundo real aparecem curvadas na imagem que representa o panorama. A parametrização de panoramas é discutida na Seção 3.1.



Figura 12 – Fotografia panorâmica equiretangular com distorções introduzidas

A fim de resolver o problema da distorção se faz necessária a aplicação transformações sobre os panoramas para que imagens corrigidas sejam geradas e essas sejam comparadas com a captura realizada pelo usuário. A correção de imagens panorâmicas é discutida na Seção 3.2.

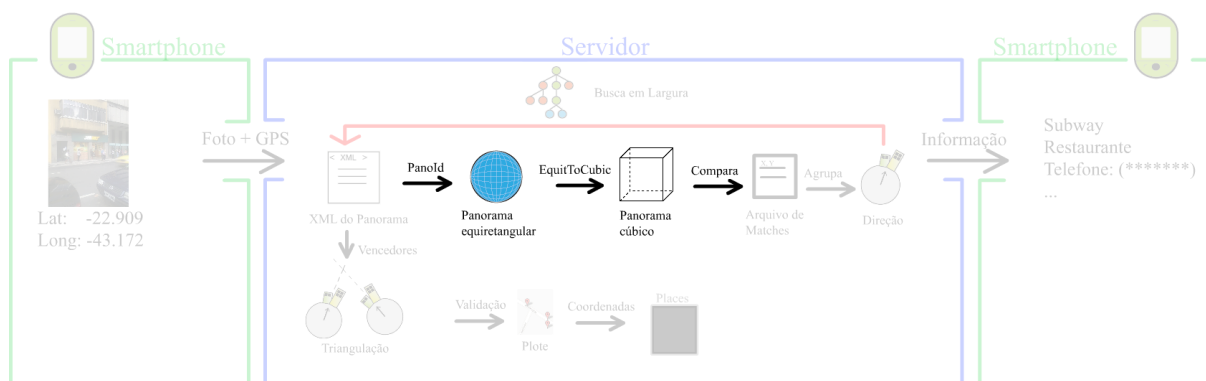


Figura 13 – A partir do identificador do ponto panorâmico é possível obter seu panorama na projeção esférica. Porém, com o alto índice de distorções, é necessário transformar a projeção em cúbica.

3.1. Projeções Panorâmicas e Suas Representações no Plano

Por armazenar a informação visual de todo um ambiente, panoramas podem ser formados a partir de várias fotografias tiradas sucessivamente em direção constante horizontal, vertical ou circular, respeitando uma continuidade. Neste trabalho estamos interessados na disposição circular.

Panoramas circulares podem alcançar até 360° de cobertura do ambiente. Este tipo de panorama induz uma sensação de imersão ambiente se representado de maneira ideal e por isso costumam ser utilizados por aplicações computacionais que aplicam técnicas de realidade aumentada.

Existem diversas maneiras de se representar panoramas circulares e as mesmas se baseiam em técnicas projetivas que podem ou não aplicar distorções na fotografia original. A seguir são comentadas duas representações: por projeção cúbica (Seção 3.1.1) e por projeção esférica (Seção 3.1.2). (Greene)

3.1.1. Projeções Cúbicas

As projeções cúbicas aplicam o mínimo de distorções nas imagens base do panorama. Este tipo de projeção pode ser descrita como uma câmera imersa em um grande

cubo. As imagens utilizadas para formar esse panorama são dispostas nas seis faces desse cubo.



Figura 14 – Simulação da imersão a um panorama cúbico (esquerda) e fotografia panorâmica sob a disposição horizontal cross (direita).

Esse tipo de projeção pode ser utilizado em aplicações que simulam perspectivas, provendo uma sensação de imersão ambiente. No entanto, ela é suscetível a falhas na representação das fronteiras entre os lados do cubo projetivo. Apesar de não ser perfeito para simulações de ambiente imersivo, este apresenta muito poucas distorções entre as imagens originais e o panorama final já gerado e por isso, no contexto deste trabalho, é a representação ideal para uma comparação de imagens.

Na Figura 14, podem ser visualizados um panorama cúbico à esquerda e sua representação planar, *i.e.* *Horizontal Cross*, à direita.

3.1.2. Projeções Esféricas

Respeitando a ideia das projeções cúbicas, as projeções esféricas simulam um ponto de referência no centro de uma esfera cuja superfície inteira representa o ambiente visível. Esta projeção torna-se melhor quanto à sensação imersiva, pois representa melhor a forma como os seres humanos enxergam o ambiente ao seu redor.



Figura 15 – Fotografia panorâmica sob a disposição esférica.

Para armazenar a projeção esférica na forma de uma imagem é preciso mapear a superfície da esfera para um plano. No entanto, representar superfícies esféricas de maneira planar não é trivial. Esse desafio atraiu pensadores da antiguidade e diversas formas de representação foram desenvolvidas (Snyder, 1993).

Dessa época, a representação *equirectangular* foi proposta e considerava uma projeção de uma superfície esférica em um plano. Essa maneira de representar panoramas circulares gera muitas distorções nas imagens finais e, por isso, não preservam fielmente as características do ambiente base. No entanto, essa projeção atende muito bem a aplicações com o propósito simulador de ambiente, produzindo uma sensação de imersão bastante próxima da realidade. Este tipo de representação pode ser visualizado na Figura 15.

A ferramenta *Google Street View* utiliza esse tipo de representação para armazenar os seus panoramas locais e, devido às distorções geradas, não podem ser utilizadas na etapa de comparação automatizada de imagens utilizada neste projeto sem que antes haja uma transformação visual nessas imagens.

Por isso, para avançar no processo descrito neste trabalho, foi necessário diminuir as distorções presentes na representação equirectangular, transformando-o, por exemplo, em uma projeção cúbica.

3.2. Transformação de Projeções Equirectangulares em Faces Cúbicas

O processo de conversão de panoramas com projeção esférica em panoramas com projeção cúbica envolve uma série de conversões entre coordenadas cartesianas e coordenadas esféricas. Em duas dimensões, essa transformação pode ser representada como um círculo

inscrito em um quadrado, sendo o centro comum entre eles, o ponto referencial. Considerando esse esquema, o próximo passo envolve a projeção de todos os pontos do círculo no quadrado que o circunscribe. De maneira análoga, o uso de uma esfera inscrita em um cubo permite a visualização do mapeamento necessário para conversão de uma representação de um panorama equirectangular para um panorama cúbico. As equações que envolvem esse processo seguem abaixo.

A primeira parte do processo de conversão consiste em determinar a representação de cada pixel da imagem equirectangular em coordenadas esféricas, determinando sua disposição na superfície de uma esfera, e a segunda parte consiste em inferir em qual face do cubo o pixel será projetado. (Bourke):

$$u = \frac{2i}{w-1}$$

$$v = \frac{2j}{h-1}$$

Onde (u, v) representam as coordenadas cartesianas de um ponto na imagem *equirectangular*.

$$\theta = u \pi$$

$$\varphi = v \frac{\pi}{2}$$

Onde θ e φ representam as coordenadas esféricas obtidas a partir dos pontos cartesianos.

$$x = \cos \varphi \cos \theta$$

$$y = \sin \varphi$$

$$z = \cos \varphi \sin \theta$$

Onde (x, y, z) são as coordenadas cartesianas da esfera unitária onde se projeta a imagem equirectangular. Além deste passo, ainda seria necessária uma projeção dos pontos da esfera nas faces de um cubo. Todo esse processo é descrito, visualmente, pela Figura 16.

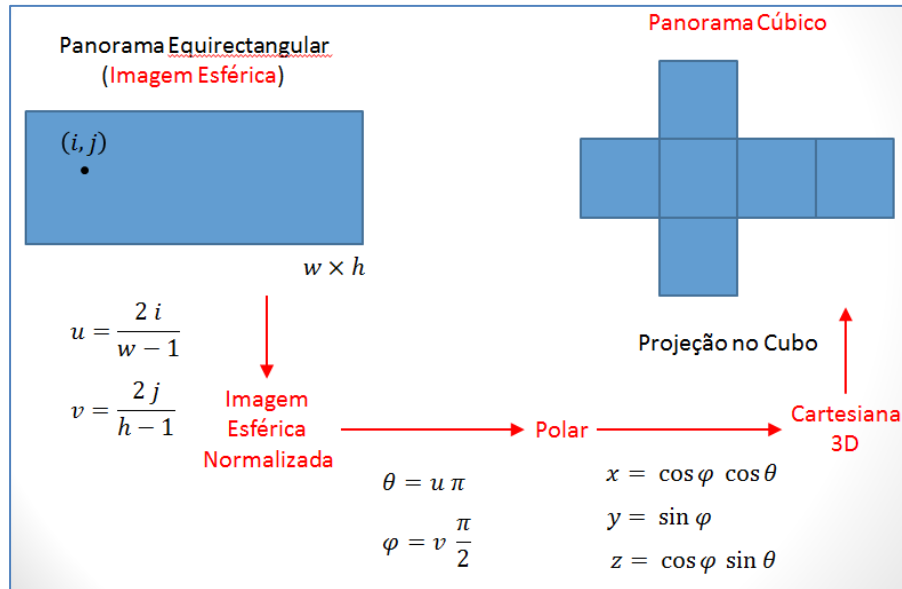


Figura 16 - Processo de transformação de um panorama equirectangular em um panorama cúbico

Na seção 5.2.2, será necessário um mapeamento das coordenadas do panorama cúbico para as coordenadas de um panorama equirectangular que é o inverso dual às equações acima num espaço bidimensional.

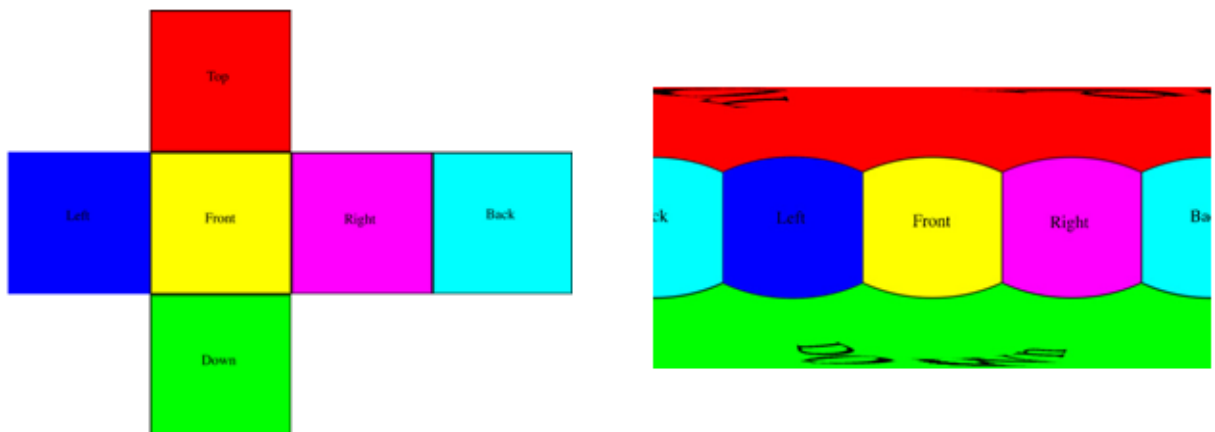


Figura 17 – Mostra as distorções inseridas em um panorama de projeção equirectangular (direita), comparado a um panorama de projeção cúbica (esquerda)

3.3. Discussão

Para executar as transformações de panoramas *equirectangulares* em panoramas cúbicos, foi utilizada a ferramenta *Equirectangular To Cubic Converter* (Panoramically).

Trata-se de uma biblioteca desenvolvida em Java sob a licença *GPL* (do inglês *GNU General Public License* (Smith), o que permite a modificação da implementação disponível e sua incorporação em outras aplicações, como este projeto).

A classe principal da biblioteca *Equirectangular To Cubic Converter* recebe como entrada uma imagem panorâmica equirectangular e gera como saída seis imagens as quais seriam suas representações em projeção cúbica. Para este projeto, a aplicação foi modificada para gerar uma única imagem composta pela concatenação das imagens geradas para as faces frontal, lateral direita, traseira e lateral esquerda do cubo (veja a Figura 18). A criação das faces superior (representando o céu) e inferior (representando o chão) foi evitada, pois essas apresentam, principalmente, informações do chão e do céu, ou seja, dados pouco úteis sobre a edificação de interesse.



Figura 18 – Fotografia panorâmica apenas com as faces frontal, lateral direita, posterior e lateral esquerda concatenadas. Note que na fronteira das faces é possível perceber a quebra de estruturas que são planares no espaço tridimensional.

A maneira como essas imagens esféricas são projetadas no cubo pode ser variada de acordo a posição do cubo exterior, visando uma maior eficácia do processo proposto. Para efeito de simplificação, foi assumida uma única disposição de panorama cúbico a ser examinada, inferindo que a primeira face desse cubo advém da câmera lateral esquerda do *Google Car*, a segunda face, advinda da câmera frontal e assim sucessivamente.

4. COMPARAÇÃO COMPUTACIONAL DE IMAGENS

Conforme comentado nos capítulos anteriores, o usuário de um aplicativo desenvolvido com base neste projeto deve fotografar a edificação alvo de onde se deseja obter informações. O dispositivo móvel deste usuário deve estar conectado à Internet a fim de acessar um serviço que provê todas as informações geográficas apresentadas nas redondezas de sua localização e também panoramas dessas redondezas. Porém, é importante observar que existem casos em que a edificação de interesse está bem apresentada em um panorama, mas que na grande maioria dos casos as edificações de interesse encontram-se parcialmente visível em um panorama ou visíveis sob ponto de vista diferentes do capturado pelo usuário. Esta situação ocorre, por exemplo, quando tal edificação está localizada entre dois nós do grafo de pontos panorâmicos.

Logo, é preciso que seja aplicado algum mecanismo que permita a comparação entre a imagem capturada pelo usuário e as imagens disponibilizadas pelo serviço on-line de mapeamento geográfico. Tal comparação deve ser invariante a existência de uma transformação afim (*i.e.*, transformações que preservam linhas retas) entre as imagens comparadas, pois pode ser assumido que tanto as imagens presentes no banco de informações quanto aquela adquirida por meio de um *smartphone* foram geradas por câmeras pontuais e, por isso, estão relacionadas por um mapeamento afim. A técnica utilizada neste trabalho é descrita na Seção 4.2, sendo esta uma variação da técnica apresentada na Seção 4.1.

Uma vez que o estabelecimento tenha sido identificado por meio de comparação de imagens, o processo poderá seguir para a etapa responsável por determinar a correta localização da edificação no mapa disponibilizado pelo serviço on-line de mapeamento geográfico (Capítulo 5).

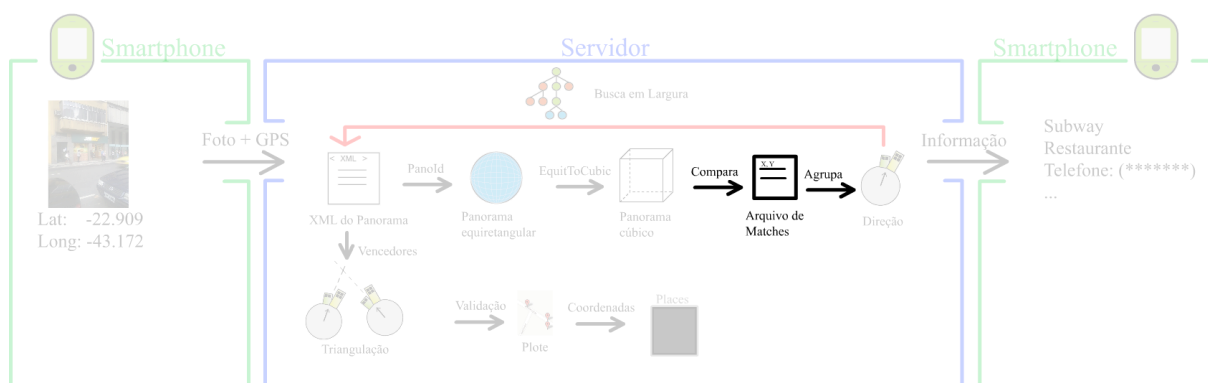


Figura 19 – A partir de um panorama com projeção cúbica, que possui menor número de distorção, é possível realizar a comparação entre este e a foto capturada pelo usuário.

4.1. *Scale Invariant Features Transform (SIFT)*

A *Scale-Invariant Features Transform (SIFT)* (Lowe, 1999) é uma técnica desenvolvida por David Lowe que objetiva comparar duas imagens, aplicando diversas técnicas e filtros para detectar características interessantes para assim poder equiparar as duas imagens.

A técnica começa por identificar as diferenças de contraste na imagem, o que pode se caracterizar como um detector de bordas, identificando esses pontos como sendo interessantes. Logo em seguida, aplica-se uma convolução entre a imagem e uma função gaussiana para eliminar os pontos que representam pouca variação de intensidade. Por manter as linhas retas que formam um objeto numa imagem, as transformações de escala não interferem na detecção desses extremos, a não ser para transformações em escalas muito pequenas. Note as características (pontos roxos) encontradas para os exemplos da Figura 20, a fotografia à esquerda ilustra todas as diferenças de contraste encontradas enquanto que a fotografia à direita demonstra o resultado após a aplicação de um filtro.

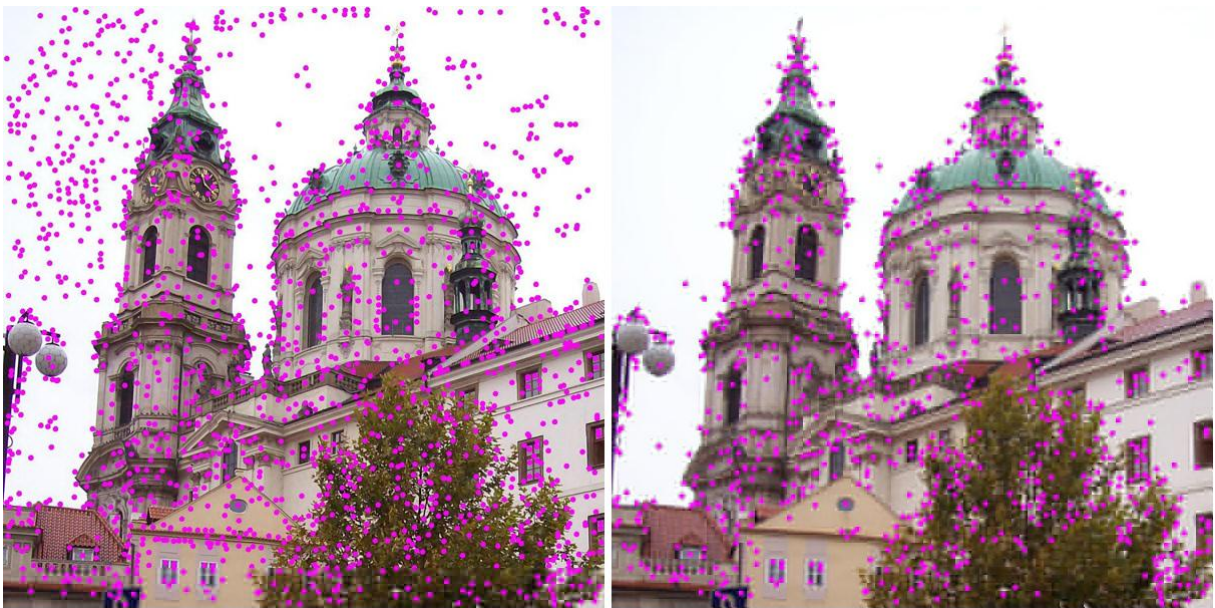


Figura 20 - Funcionamento do filtro gaussiano aplicado aos pontos interessantes encontrados na imagem à esquerda

Após a listagem e definição dos pontos interessantes selecionados para descrever uma imagem, é calculado o gradiente para cada um deles. O gradiente (Thomas, 2002) torna-se o eixo de referência para um determinado ponto e mesmo que sofra uma transformação de rotação, esses gradientes podem ser alinhados, o que torna a técnica invariante à rotação, processo demonstrado na Figura 21.

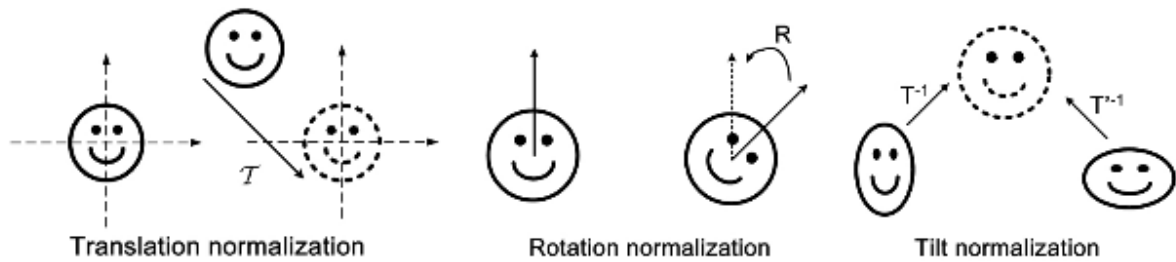


Figura 21 - Exemplo demonstrando as invariáveis do SIFT

Todos esses parâmetros tornam a técnica invariante às transformações de escala, rotação e também de translação. Além disso, a técnica calcula a intensidade dos gradientes, dada uma região próxima de pixels, a cada ponto identificado como interessante. Os gradientes encontrados são então normalizados. Devido à essa normalização ser global para toda a imagem, a técnica não é capaz de eliminar sombras que se formam com a posição de uma fonte de luz pontual e por isso, a técnica é, parcialmente, invariante à iluminação.

Ao final, se obtém todos os descritores, referentes à cada ponto interessante, para uma determinada imagem. Esses descritores podem então ser comparados aos descritores de outra imagem, afim de comparação.



Figura 22 – Exemplo de onde o SIFT atua identificando as características-chave de uma imagem (Lowe, 1999)

Para este projeto, essa técnica não foi suficiente, pois as fotografias poderiam ser tiradas a partir de qualquer ponto de vista e por isso, o *SIFT* deveria ser invariante também a pontos de vista. Na Figura 23, pode ser visto que as imagens não retornaram qualquer semelhança com a aplicação do SIFT.



Figura 23 - Teste de execução do SIFT x ASIFT com imagens reais. SIFT (0 acertos) e ASIFT (20 acertos)

4.2. *Affine Scale-Invariant Features Transform (ASIFT)*

A técnica apresentada na seção anterior apresenta uma limitação que impede sua aplicação direta sobre as imagens utilizada neste trabalho: os descritores gerados não são invariantes a transformações afins. A proposta do projeto é permitir que o estabelecimento seja fotografado de uma pose qualquer. Por isso a necessidade de se utilizar uma técnica que identifique características em comum independentemente do ponto de vista do estabelecimento. Uma variação da técnica SIFT que permite a obtenção de descritores invariantes à transformações afins é a *Affine Scale-Invariant Features Transform (ASIFT)* (Morel, et al., 2009).

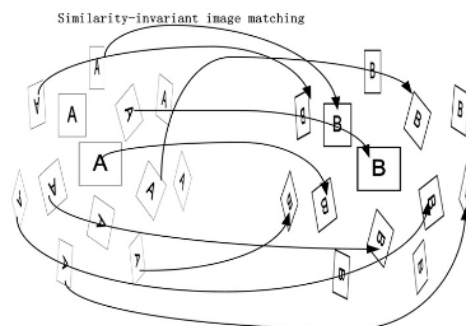


Figura 24 – Exemplo de transformações perspectivas em uma imagem A e B de entrada. (Morel, et al., 2009)

ASIFT é definida de modo a simular diferentes variações de pose na imagem de entrada e, para cada variação, aplica uma execução do *SIFT*. Um exemplo de simulações geradas nas imagens pode ser visualizado na Figura 25. Assim, no contexto deste projeto, uma edificação pode ser fotografada do ângulo que for mais conveniente para o usuário, independente do ponto de vista da foto utilizada como comparativa.



Figura 25 – Exemplo de resultado do ASIFT onde as linhas brancas representam as correspondências em comum para as duas imagens. (Morel, et al., 2009)

Uma característica importante que permite que a aplicação da *ASIFT* seja computacionalmente viável é saber dosar a quantidade de simulações criadas, pois as variações de perspectivas são infinitas e para cada nova imagem simulada uma nova instância do *SIFT* deverá ser executada. Acreditamos que os autores façam uma inferência sobre quais seriam as melhores simulações a serem realizadas, se não o fazem, seria interessante que existisse um estudo sobre isso.

4.3. Discussão

Para viabilizar esta etapa, utilizamos uma ferramenta, desenvolvida em C++, por Guoshen Yu e Jean-Michel Morel (Morel, et al., 2009), e é executada de maneira externa ao protótipo desenvolvido para este projeto.

Ao final da comparação da imagem capturada pelo usuário e da imagem composta pelas faces frontal, lateral direita, traseira e lateral esquerda de um panorama cúbico extraído do ponto panorâmico, a técnica de comparação deve ser capaz de informar o número de correspondências e também suas coordenadas cartesianas em cada uma das imagens.

As coordenadas cartesianas serão organizadas na próxima etapa para a definição dos Pontos Panorâmicos que possuem seu panorama com a melhor visão da edificação. Os panoramas que possuem o maior número de características em comum (em uma determinada região) com a imagem capturada pelo usuário serão denominados *panoramas vencedores*, processo descrito na sessão 5.2. Os panoramas vencedores e a direção com maior correspondência calculada para ser utilizada na etapa de triangulação do Capítulo 6.

5. BUSCA DE ELEMENTOS EM MAPAS VIRTUAIS

Nos capítulos anteriores, foram descritas maneiras possíveis de se identificar a localização geográfica que mais se aproxime do estabelecimento desejado, comparando fotografias associadas às suas coordenadas geográficas com a fotografia atual do estabelecimento. No Capítulo 2, foi definido que a base de informações geográficas utilizadas neste trabalho é a disponibilizada pela *Google*, pois, convenientemente, a empresa fornece uma base de fotografias panorâmicas dos locais associados. Os panoramas disponibilizados, por apresentarem muitas distorções, precisam ser processados para viabilizar a etapa de comparação de imagens (Capítulo 3). O Capítulo 4, por sua vez, mostrou que é possível comparar duas imagens utilizando técnicas que identificam características em comum entre elas, mesmo que os elementos das imagens tenham sido capturados de pontos de vista diferentes.

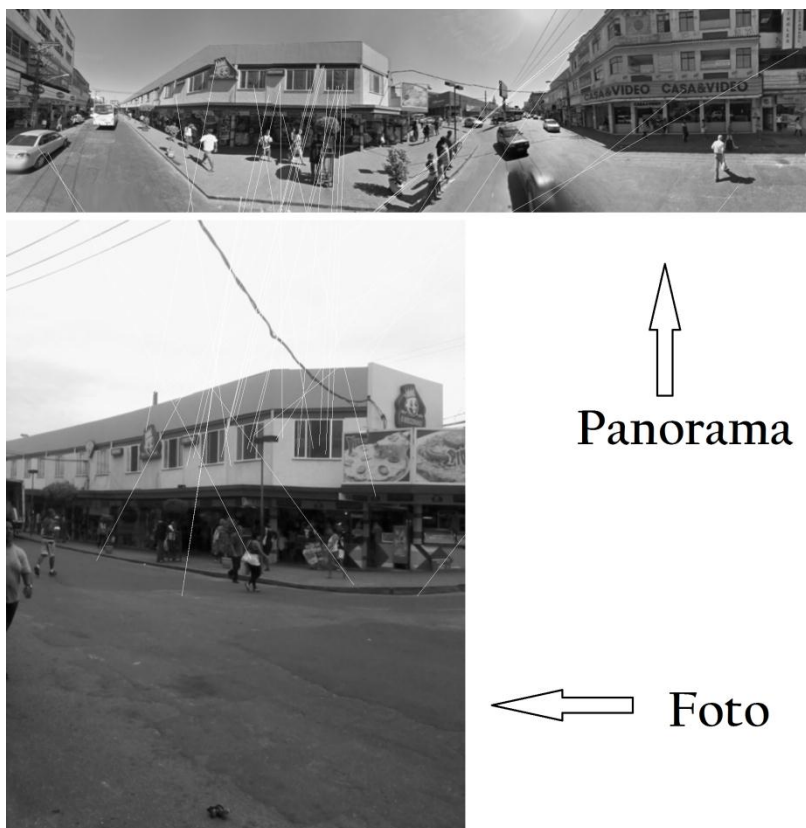


Figura 26 – Comparação, utilizando ASIFT, entre a foto capturada pelo usuário e um panorama com faces cúbicas concatenadas. Observe que várias características da edificação de interesse abaixo foram identificadas no panorama acima.

Considerando que os dados geográficos iniciais são os ideais, a coordenada fornecida seria a própria coordenada da edificação. Porém, todos os sistemas de posicionamento global possuem uma incerteza embutida, inclusive os utilizados pelos *Google Cars* e, principalmente, pelo *smartphone* do usuário. Por isso, torna-se necessária uma busca nos pontos panorâmicos mais próximos das coordenadas geográficas do usuário.

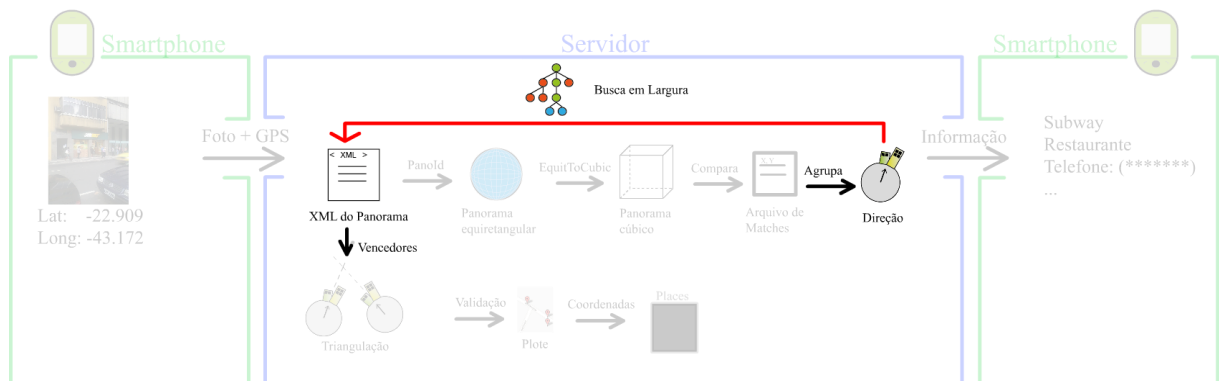


Figura 27 – Com o arquivo de matches gerado pelo ASIFT é possível agrupar as ocorrências e descobrir a sua direção. Isso é feito para seus vizinhos no mapa, o que leva à identificação dos panoramas vencedores.

5.1. Busca Exaustiva pelo Mapa

Devido às incertezas das coordenadas iniciais fornecidas, é muito provável que esses dados não estejam corretos. No entanto, sendo que essas são as únicas informações que temos, elas são importantes como ponto de partida na busca pela localização correta.

A incerteza de um sistema com duas coordenadas pode ser identificada como uma região circular, ou seja, dado um raio de incerteza, o ponto correto pode estar em qualquer lugar dentro desta região. Obviamente, para respeitar regiões, a estrutura de dados fornecida pelo serviço de mapeamento deve ser completa para permitir esse tipo de navegação em mapas. Por isso, foi definido para este trabalho que a melhor maneira de se fazer uma pesquisa nessa região seria aplicando uma busca que avance respeitando essa característica. A busca cega em largura (Souza, et al.) foi escolhida como melhor estratégia por crescer de maneira quase uniforme pela região de incerteza.

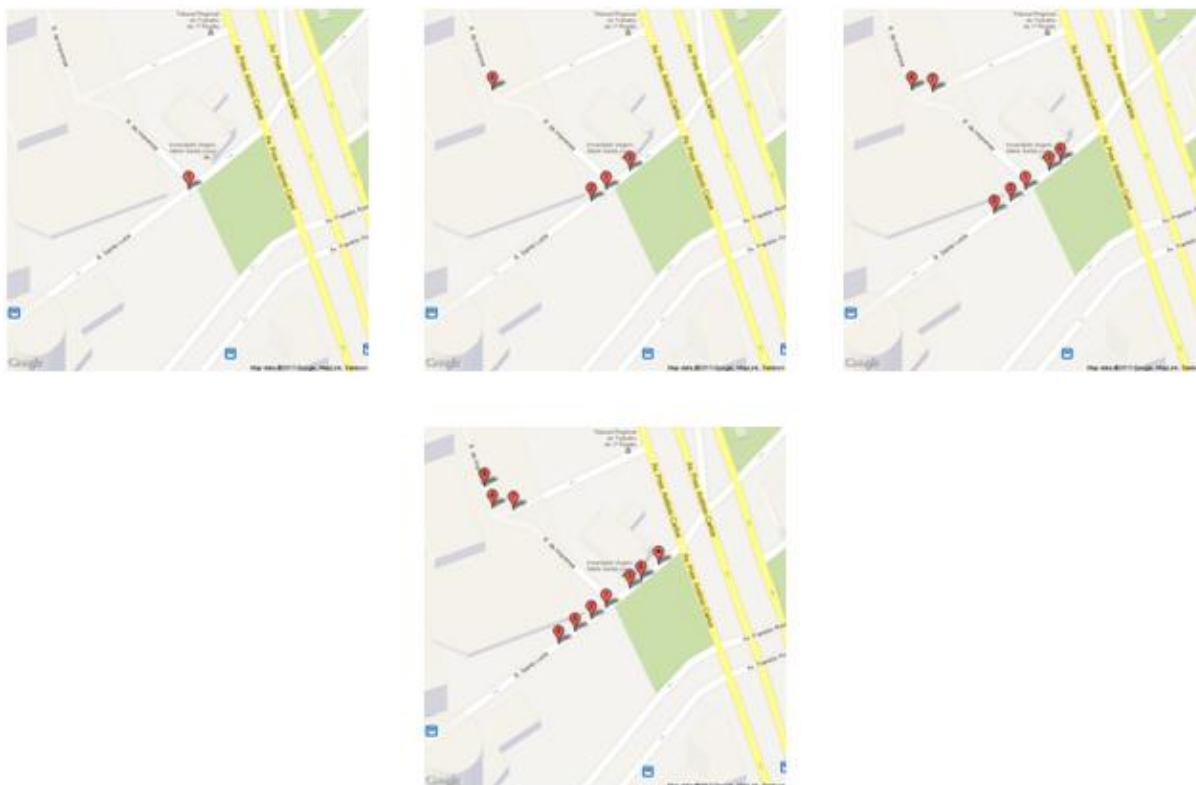


Figura 28 – Demonstração da busca em largura no grafo, a partir de um ponto e buscando todos os vizinhos próximos antes de continuar.

5.2. Escolha de Dois Pontos Panorâmicos Vencedores

Definida a estratégia de busca utilizada, torna-se possível vasculhar toda uma região em busca dos pontos panorâmicos que melhor visualizam a edificação desejada. Visto que a visualização pode ser parcial, para o sucesso deste trabalho, serão escolhidos ao menos dois pontos panorâmicos vencedores. No Capítulo 6 será mostrado como esses dois pontos vencedores são utilizados na obtenção da localização correta.

A escolha dos Pontos Panorâmicos vencedores é feita a partir das características que o algoritmo *ASIFT* identifica nas imagens e partir disso, esses pontos encontrados numa semiesfera (panorama esférico) possuem uma frequência de ocorrência estimada pelo uso de um histograma circular.

Espera-se que a frente da edificação desejada concentre mais acertos ao final da comparação e foi assumido que essa concentração apresente uma distribuição gaussiana no histograma calculado. Devido a isso, aplica-se uma convolução entre o resultado do histograma e uma curva gaussiana e os intervalos angulares com maior frequência de

características em comum são escolhidos como sendo os de maior importância no ponto panorâmico.

5.2.1. Agrupamento dos Acertos Identificados

Determinado que um panorama possui sua largura total associada proporcionalmente ao seu ângulo de visão máximo (360°), é possível fazer uma conversão direta entre a largura de pixels do panorama e seu grau angular para que os acertos sejam agrupados em compartimentos de graus definidos (*i.e.*, *bins* em um histograma circular).

A escolha do tamanho dos compartimentos deve ser tomada com cuidado, pois agrupar poucos graus significa aumentar demais a precisão da aplicação e aumenta também a possibilidade de gerar falso-positivos se tornem significativos na comparação entre bins. Agrupar muitos graus evita que falso-positivos sejam considerados, no entanto, pode vir a diminuir a precisão da aplicação, tornando impraticável determinar a direção correta. Para este projeto foi definido um agrupamento com tamanho de 10° , pois apresentou melhor resultado em relação à 5° e 15° .



Figura 29- Agrupamento dos matches a cada 10 graus.

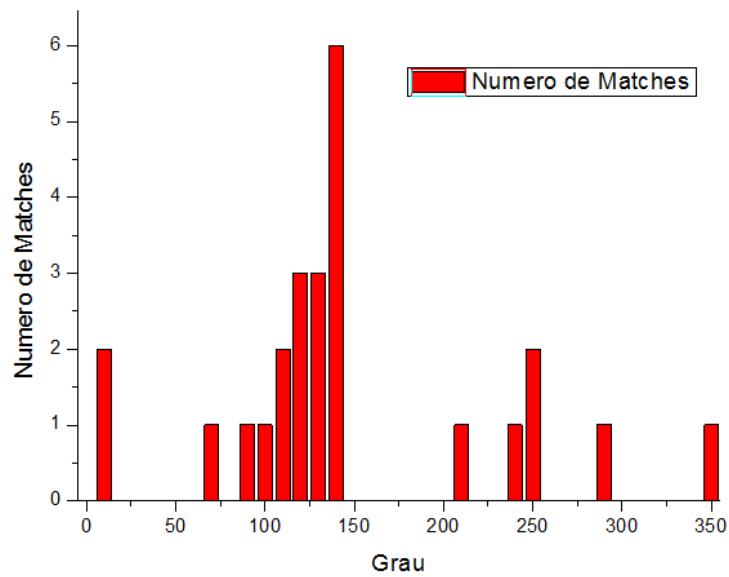


Figura 30– Histograma gerado para a Figura 29

5.2.2. Mapeamento entre Coordenadas de Panoramas Cúbicos e Panoramas Esféricos

Durante o processo de agrupamento, um problema foi identificado e que diminuiu a precisão final dos resultados obtidos. É correto afirmar que um panorama equirectangular (esférico) possui largura total associada ao ângulo máximo de visão. No entanto, da forma como a imagem utiliza na comparação foi construída, os acertos são identificados em um panorama cúbico. Portanto, as coordenadas cartesianas geradas para os acertos não podem ser associados diretamente a um determinado grau entre 0° e 360° . Logo, uma conversão é necessária.

Pode-se assumir uma referência para o panorama cúbico (Figura 31) com base nas faces do cubo. Dado que todas as faces do cubo possuem mesmo tamanho, cada face possuirá largura de um quarto da largura total da imagem (W).

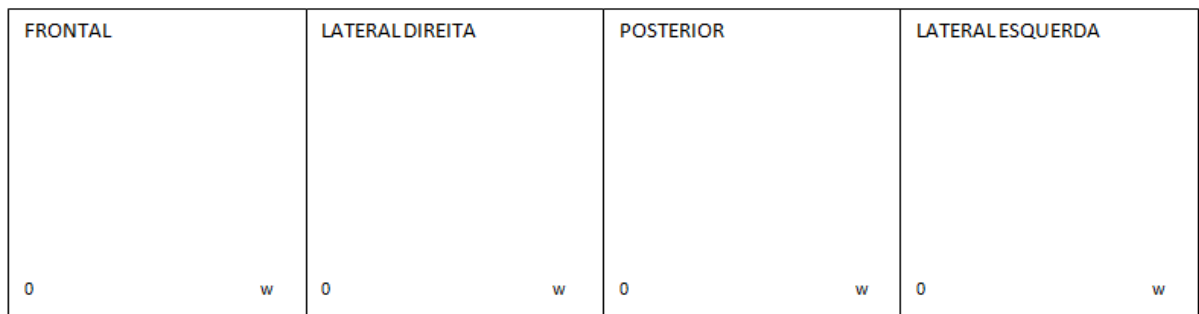


Figura 31 – Imagem do panorama com referenciais.

A vista superior desse cubo será um quadrado, representado pela Figura 32.

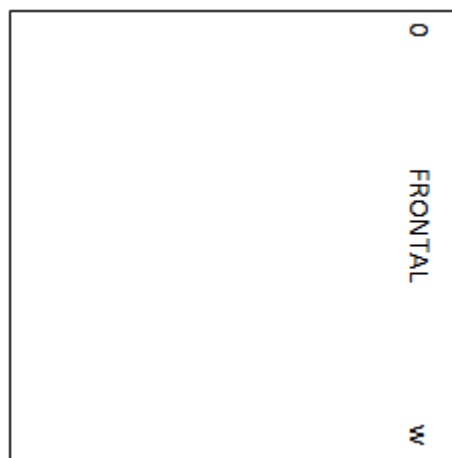


Figura 32 – Vista superior do das faces do cubo.

A representação geométrica do problema identificado pode ser visualizada na imagem a seguir. O círculo inscrito pode ser identificado como um panorama esférico visto de cima e o quadrado externo representa as faces utilizadas do panorama cúbico. A projeção dos pontos do panorama esférico nas faces do panorama cúbico se dá a partir do ponto de referência central.

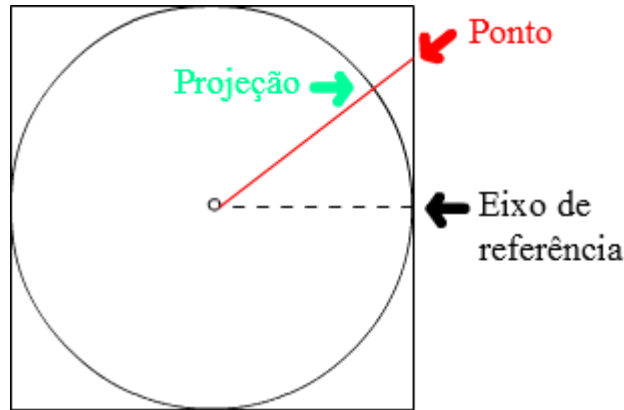


Figura 33 – Vista superior: representação de um panorama esférico (círculo inscrito) e um panorama cúbico (quadrado) desprezando as faces superior e inferior do cubo.

As coordenadas cartesianas dos acertos serão geradas em alguma aresta pertencente ao quadrado externo e para realizar o agrupamento correto, essas coordenadas devem ser projetadas no círculo inscrito e assim poderem ser associadas diretamente ao ângulo de visualização. Por proposições da trigonometria, cada lado do quadrado pode ser, proporcionalmente limitado a um intervalo $[-1..1]$, resultados possíveis da função *tangente* do círculo trigonométrico. A representação visual desta construção pode ser visualizada na Figura 33.

O ponto final definido na borda do panorama equirectangular é resultado da função *arcotangente* do ponto inicial presente na borda do quadrado e, por isso, foi conveniente converter um intervalo $[0..W]$, onde W é a largura do panorama cúbico dividido por quatro faces cúbicas, para o intervalo definido pelas *tangentes* do círculo. Esse novo intervalo é o domínio da função *arcotangente*.

Para realizar a conversão de um ponto x no panorama cúbico, que assume valores no intervalo $0 \leq x < W$, para o intervalo de domínio da função *tangente* ($-1 \leq t \leq 1$) pode-se realizar o seguinte mapeamento linear:

$$\frac{W - 0}{1 - (-1)} = \frac{x - 0}{t - (-1)}$$

$$\frac{W}{2} = \frac{x}{t + 1}$$

$$2x = Wt + W$$

Simplificando, a equação final que associa um ponto do quadrado externo com a um ponto no círculo inscrito é determinada como segue:

$$t = \frac{2x}{W} - 1$$

Onde x é a coordenada abscissa do ponto no quadrado.

$$y = \arctan(t)$$

E y é a projeção do ponto no círculo inscrito.

Sabe-se que a função y assumirá resultados entre resultados canônicos referentes a um lado do quadrado e por isso, é necessário inferir o resultado obtido de acordo com sua localização. Para representar um ponto de uma face canônica em outra face qualquer, dado que um quadrado possui lados iguais, basta girar 90° até que pertença à face desejada.

A Figura 34 exemplifica uma situação onde deverá ocorrer a rotação.

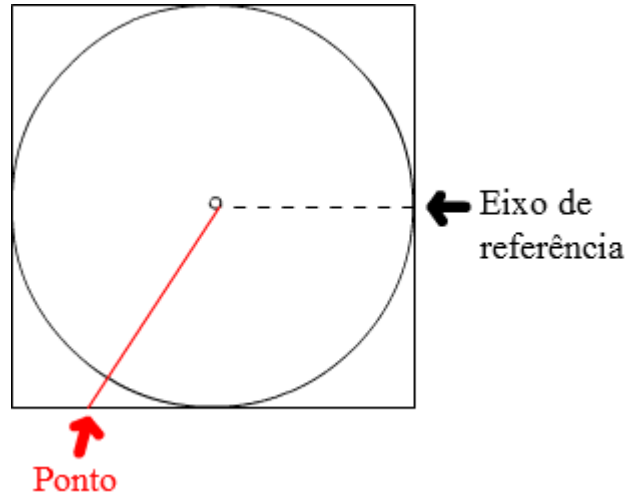


Figura 34 – Exemplo onde o ponto buscado encontra-se na face lateral direita do cubo.

Pode-se realizar os cálculos para a face do cubo denominada anterior como frontal, ou seja, como na Figura 36. Para isso basta adicionar a resposta dos cálculos a diferença entre os ângulos, nesse caso, somar 90 graus.

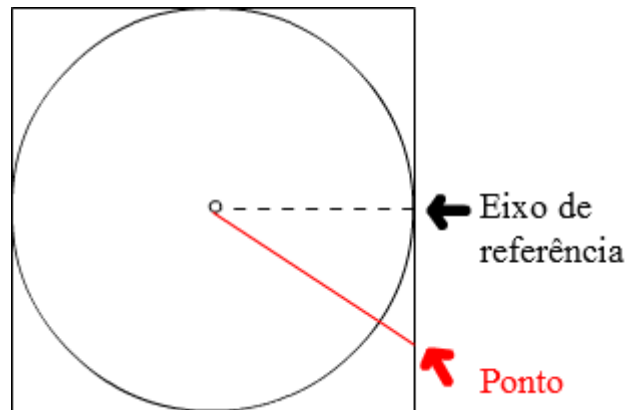


Figura 35 – O cálculo pode ser realizado para a face frontal do cubo.

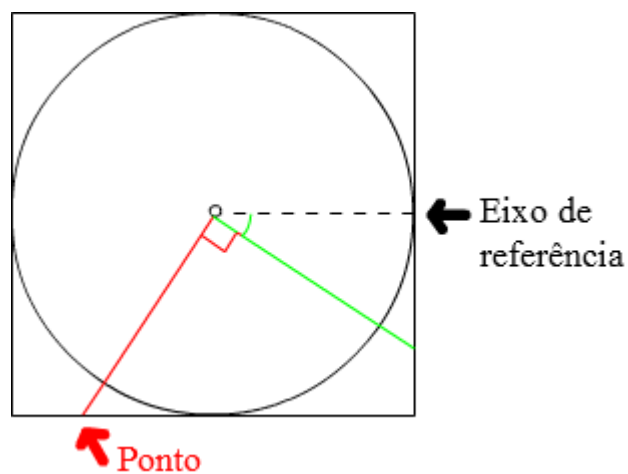


Figura 36 – A resposta final é obtida somando a diferença de graus

Ao final obtemos a projeção do ponto de um panorama cúbico em um panorama equirectangular e agora os acertos podem ser agrupados de maneira correta, melhorando a precisão final da aplicação.

5.2.3. Ponderação da Distribuição de Acertos no Histograma

Visando dar mais importância para as direções cujas regiões próximas também possuem acertos, foi aplicado sobre o histograma de acertos a convolução de uma máscara Gaussiana de peso um. Por meio desta estratégia, problemas de diluição de picos de votos por conta da discretização causada pelo histograma são diminuídos e o pico real de votos é mais facilmente identificado.

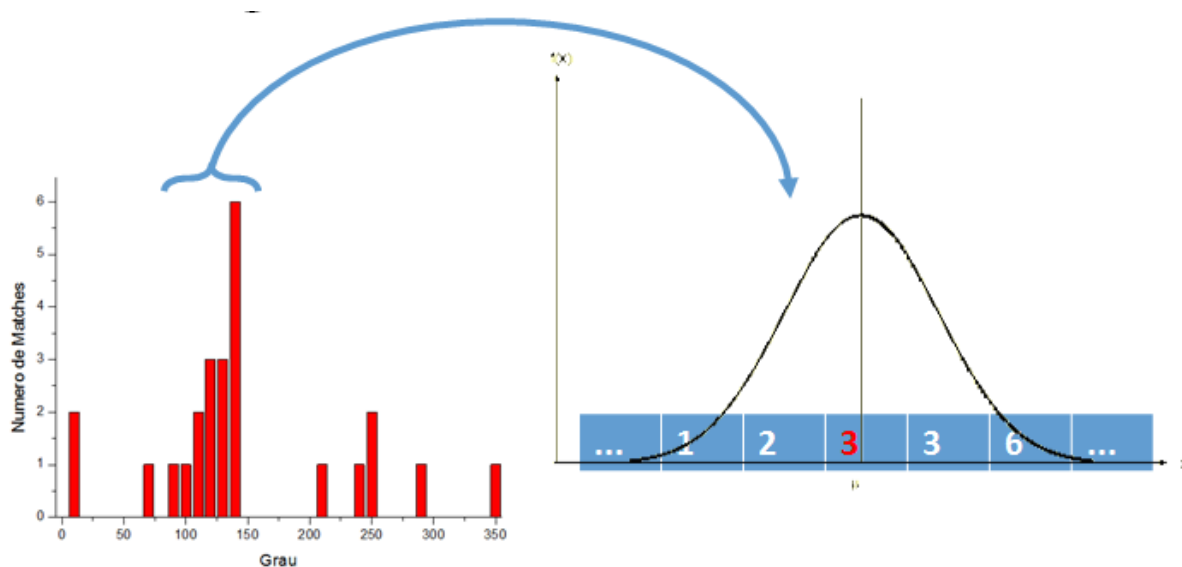


Figura 37 - Demonstração visual da convolução entre o histograma e a curva gaussiana

Neste trabalho, uma convolução foi realizada do tipo $(f * g)(x)$, sendo $f(x)$ a função que representa os valores do histograma criado e $g(x)$ uma função que possui características de uma curva gaussiana, sendo $g(x)$ como uma máscara para ponderar os valores de $f(x)$.

A curva gaussiana utilizada foi gerada a partir do intervalo de pontos

$$[-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3]$$

Considerando um intervalo de 70 graus.

5.3. Descoberta da Direção do Estabelecimento no Ponto Panorâmico

Para cada um dos dois pontos panorâmicos vencedores é necessário identificar a direção que melhor apresenta visão para o estabelecimento. Esta etapa torna-se importante, pois os panoramas utilizados possuem 360° de visualização e isso viabilizará uma futura triangulação (Capítulo 6) aplicada para inferir a localização geográfica do estabelecimento. Entende-se como direção neste caso, a reta que parte do centro do panorama esférico e intersecta o estabelecimento.

De maneira simples, a direção é dada pelo máximo do histograma resultante da convolução descrita na Seção 5.2.

Para garantir que a direção identificada estivesse consistente com a real localização foi necessário o estabelecimento de um ponto de referência global e imutável. O

padrão para criação dos panoramas retornados respeita a referência das câmeras utilizadas, porém essas câmeras são rotacionadas de acordo com a direção da rua.

Conforme visto no Capítulo 2, associado aos panoramas existe um arquivo *XML* que contém informações geográficas de latitude, longitude e a referência global Norte. Essa referência é identificada pelo atributo *yaw_degree*.

Com uma referência global, garante-se que as direções calculadas em panoramas diferentes respeitem o mesmo padrão de referência. Como na filosofia do *SIFT*, a descoberta do ponto de referência global Norte nos garante a invariância em relação à rotação da câmera no momento que o panorama fosse criado.

5.4. Discussão

Na sessão 5.3.1 é discutido a necessidade de considerar os vizinhos as características das coordenadas vizinhas a coordenada estudada e por esse motivo existe um agrupamento de correspondências em compartimento de graus.

Outra técnica utilizada com essa finalidade foi o cálculo da média não ponderada entre um número de compartimentos de graus e o valor dessa média era associado ao compartimento central. Dessa forma, a direção do compartimento com maior valor seria escolhida a direção vencedora.

Como dito na sessão 5.3.3, existia uma aleatoriedade dos resultados e por esse motivo, a técnica da média foi substituída pela convolução com uma distribuição de Gauss, ponderando assim, os compartimentos de graus.

6. CÁLCULO DA LOCALIZAÇÃO CORRETA POR TRIANGULAÇÃO

No Capítulo 5 foi descrito todo o processo para se identificar a direção mais provável para localização de uma edificação de interesse em um ponto panorâmico. A direção descoberta obtida em dois pontos panorâmicos serão importantes neste capítulo para inferir a localização real de tal edificação. Descoberta a localização geográfica da edificação, pode-se concluir que o propósito desse trabalho foi alcançado com sucesso.

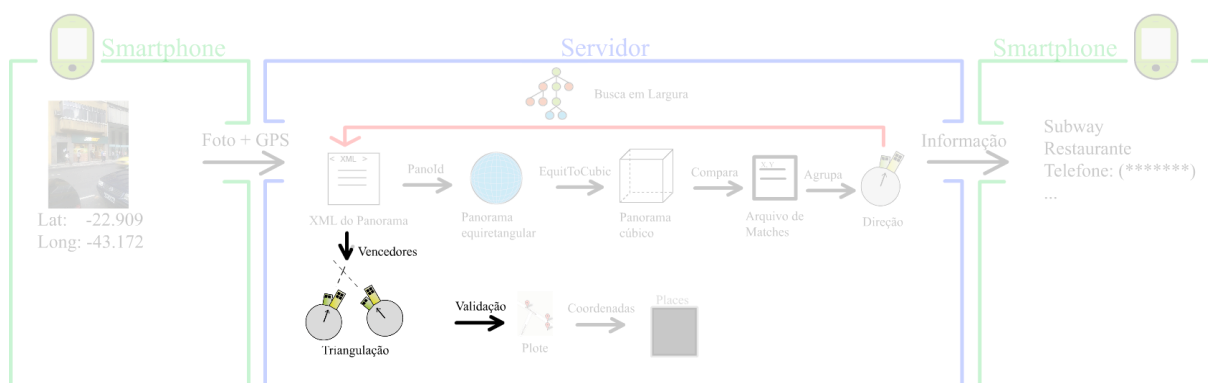


Figura 38 – Com as coordenadas dos panoramas vencedores e as direções de maior número de ocorrências é possível testar e validar resultados.

6.1. Descrição do Problema

A direção determinada definida no capítulo anterior não passa de uma angulação que identifica o estabelecimento desejado dado um panorama circular. No entanto, como toda fotografia, um panorama circular é uma projeção plana de um espaço físico e, por isso, não preserva a coordenada espacial que determina a sua profundidade em relação ao ponto de referência central.

No entanto, essa coordenada perdida pode ser recuperada a partir de uma técnica de triangulação. Sejam dois pontos conhecidos e uma determinada direção definida a partir de cada um desses pontos, é possível determinar onde essas direções se cruzam no espaço e essa intersecção pode ser interpretada como a localização do estabelecimento desejado.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas técnicas da geometria projetiva na solução da triangulação. Primeiramente, definiu-se um mapeamento direto entre as coordenadas geográficas e coordenadas cartesianas, conforme pode ser visualizado na Figura 39. Sendo a origem do plano cartesiano aplicada sobre a intersecção do Meridiano de Greenwich e a linha do equador. (Ordnancy Survey)

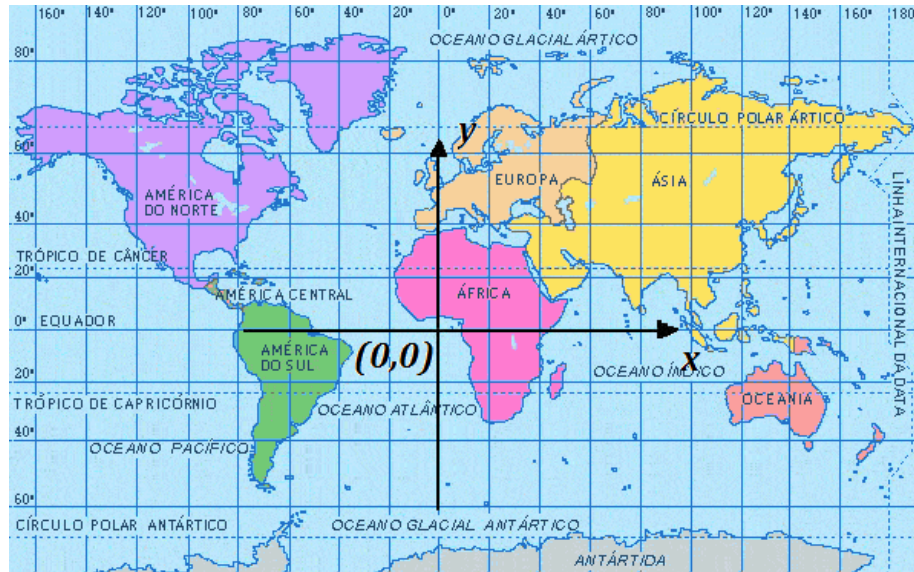


Figura 39 – Mapa Mundial com Coordenadas Geográficas mapeadas diretamente em Coordenadas Cartesianas (<http://www.not1.com.br/wp-content/uploads/2011/04/MUNDO-LATITUDE-LONGITUDE.gif>)

O plano cartesiano base é imerso em um espaço tridimensional de modo que seus pontos finitos podem ser representados como vetores de coordenadas $p = (x, y, w)$, onde x e y representam as coordenadas cartesianas de p no plano homogêneo. A terceira coordenada será fixada em $w = 1$, justamente para simular um plano no espaço. (Montenegro)

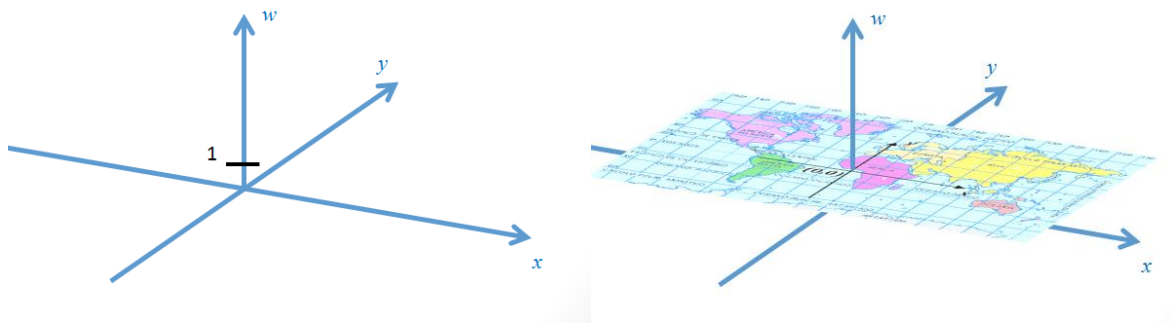


Figura 40 – Representação de um plano homogêneo imerso num espaço em três dimensões

Após esse ambiente matemático criado, pode-se interpretar o problema atual para se encaixar nessa geometria. A representação planar da Terra será interpretada como um plano homogêneo onde as coordenadas geográficas serão interpretadas como coordenadas cartesianas.

Sabendo disso, dados duas coordenadas geográficas (determinados no Capítulo 4), é possível traçar uma direção a partir delas (determinadas no Capítulo 5). Para determinar onde essas direções se intersectam no plano homogêneo, lançamos mão de técnicas da geometria projetiva.

Da geometria projetiva, entende-se que o produto vetorial entre dois pontos gera um vetor ortogonal aos dois e essas informações são suficientes para determinar um plano imerso no espaço. Definindo que os dois pontos utilizados são colineares no plano homogêneo, pode-se interpretar o produto vetorial entre eles, como sendo o cruzamento desse novo plano com o plano homogêneo. A intersecção entre dois planos é uma reta que passa por esses dois pontos.

Conhecendo os coeficientes das retas que representam as direções desejadas, de novo, calcula-se o produto vetorial entre essas duas retas para determinar o ponto de intersecção entre elas. Atentando para o coeficiente w que pode ser diferente de um, nesses casos, projeta-se esse ponto no plano $w = 1$.

Para ilustrar esta técnica, suponha dois Pontos Panorâmicos que possuam melhor visão para o estabelecimento desejado, p_1 e p_2 .

$$p_1 = (x_1, y_1)$$

$$p_2 = (x_2, y_2)$$

A partir de ambos os panoramas, pode-se visualizar o estabelecimento desejado e sua direção faz um ângulo em graus, em relação ao Norte, α_1 e α_2 .

A partir desses ângulos, calculamos os vetores que partem de p_1 e p_2 e possuem tamanho $r = 1$. Para realizar isso, utilizamos a equação paramétrica da circunferência com uma pequena alteração, considerando que os ângulos crescem de forma horária e a partir do Norte definido, diferentemente de um círculo trigonométrico comum.

$$d_1 = p_1 + (\cos(90 - \alpha_1), \sin(90 - \alpha_1))$$

$$d_2 = p_2 + (\cos(90 - \alpha_2), \sin(90 - \alpha_2))$$

A partir de dois pontos, por exemplo p_1 e d_1 , colineares num plano homogêneo, é possível determinar os coeficientes da equação da reta que passa por eles. Assumindo que num espaço homogêneo, esses pontos são tratados como vetores, é possível determinar o

plano em que eles são colineares a partir de um produto vetorial que determina um vetor ortogonal (normal) a eles. Como estamos imersos num espaço homogêneo, todo e qualquer ponto do plano gerado pode ser projetado no plano homogêneo, o que, para a Geometria Projetiva, é o cruzamento entre dois planos, gerando uma reta.

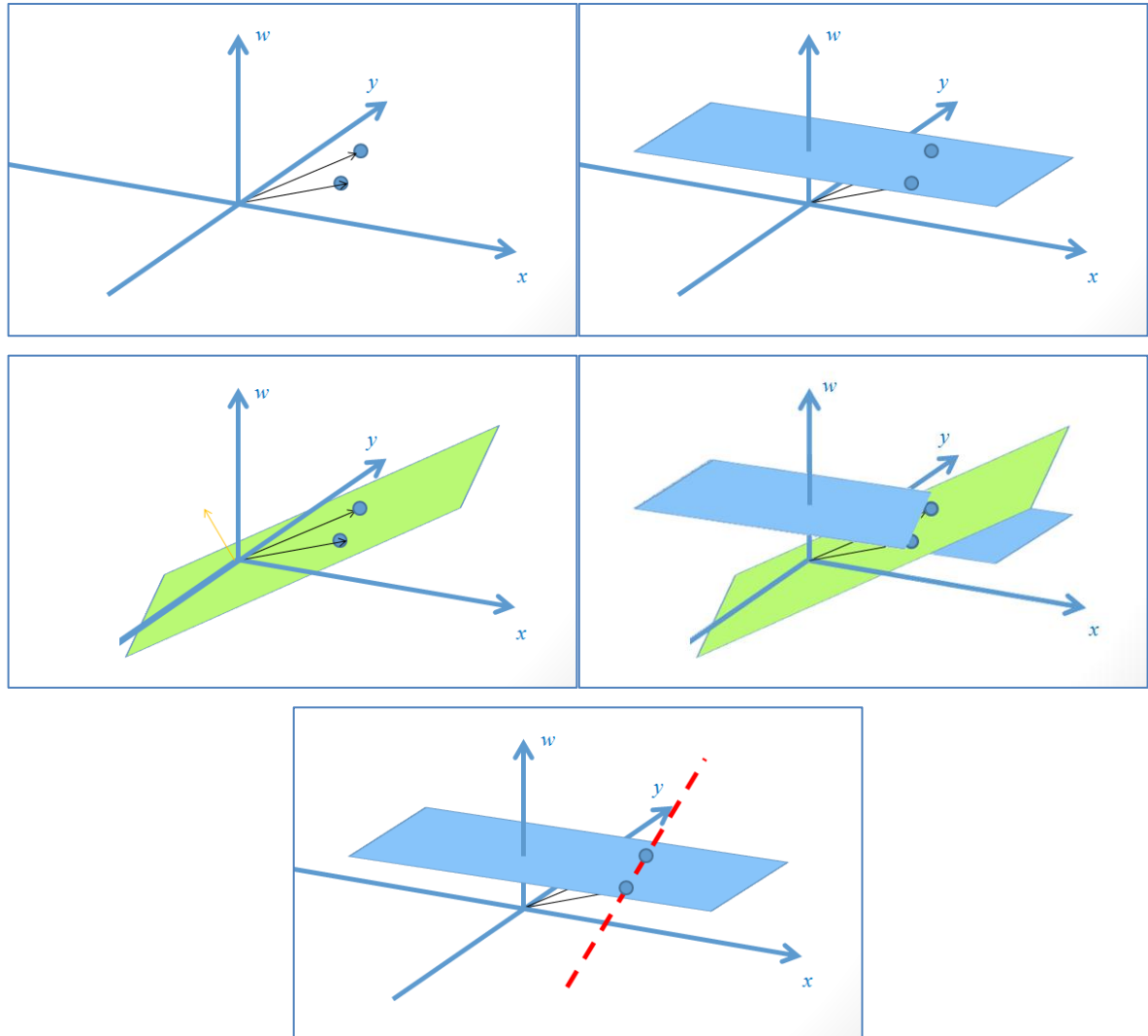


Figura 41 - Processo de cruzamento entre planos no espaço homogêneo, gerando uma reta

Por isso, o próximo passo é determinar os coeficientes das retas r_1 e r_2 aplicando o produto vetorial sobre p_1 e d_1 e sobre p_2 e d_2 .

$$r_1 = p_1 \times d_1$$

$$r_2 = p_2 \times d_2$$

Seguindo o mesmo raciocínio do cruzamento entre planos gerando uma reta, o produto vetorial pode ser aplicado entre retas, gerando um ponto de intersecção.

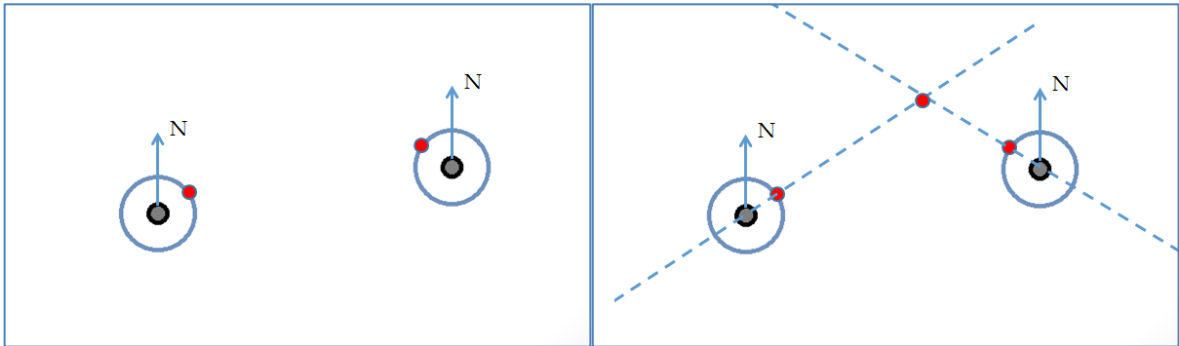


Figura 42 - Representação gráfica de um Ponto Panorâmico, a direção do estabelecimento em relação a ambos e, finalmente, a triangulação.

Sendo assim, o último passo é aplicar o produto vetorial entre as retas r_1 e r_2 para finalmente descobrir a intersecção entre elas.

$$I = r_1 \times r_2$$

Sendo I a intersecção entre as duas retas e, portanto, as coordenadas do alvo. Na Conclusão deste trabalho, mostramos melhorias que podem ser aplicadas para tornar essa informação útil para o usuário final. (Hartley, et al.)

7. RESULTADOS

Para a validação do projeto, um protótipo foi desenvolvido seguindo as etapas descritas nos capítulos anteriores. Primeiramente, este protótipo é capaz de buscar e interpretar as informações geográficas necessárias da empresa *Google* e, através da ferramenta *Equirectangular To Cubic Converter*, transforma os panoramas equirectangulares adquiridos direto para panoramas cúbicos.

O protótipo é capaz de navegar pelos mapas virtuais realizando comparação entre a imagem de entrada e cada um dos panoramas de busca utilizando *ASIFT* e identificando características em comum.

Após estas etapas, é possível identificar qual ponto panorâmico mais se aproxima da edificação desejada e também o segundo mais próximo. As coordenadas geográficas destes dois Pontos Panorâmicos são então utilizadas para realizar uma triangulação e inferir a localização geográfica exata da edificação.

Ao final, o protótipo marca de vermelho os pontos que pesquisou num mapa virtual e de verde os que forem identificados como vencedores e foram utilizados na triangulação. O resultado da triangulação também é marcado como verde.

O protótipo foi desenvolvido na linguagem de programação Java em sua versão mais atualizada e na *IDE Netbeans 7.3*. As bibliotecas utilizadas foram a *Equirectangular To Cubic Converter*, *Java VecMath* e *JavaXT-Core*.

Uma implementação do *ASIFT* sob a linguagem de programação C foi utilizada externamente ao protótipo.

Os dispositivos utilizados para realizar os testes e estudos de caso foram os *smartphones* Samsung, versão *GT-I550B* e *GT-S5360B*. Computadores com especificação, no mínimo, com 2GB de *RAM* e processador *Dual-Core 2.4GHz*.

Devido ao excessivo tempo de resposta da versão do *ASIFT* utilizada, o protótipo apresenta desempenho abaixo do esperado. No entanto, otimizações, tais como a utilização de técnicas programação paralela, podem ser realizadas no *ASIFT* para que se adeque a um tempo considerado razoável para a aplicação. Além disso, por ser uma ferramenta externa, ela calcula, para cada comparação, as características invariantes da fotografia de entrada sendo que para este protótipo, essas características poderiam ser calculadas apenas uma vez.

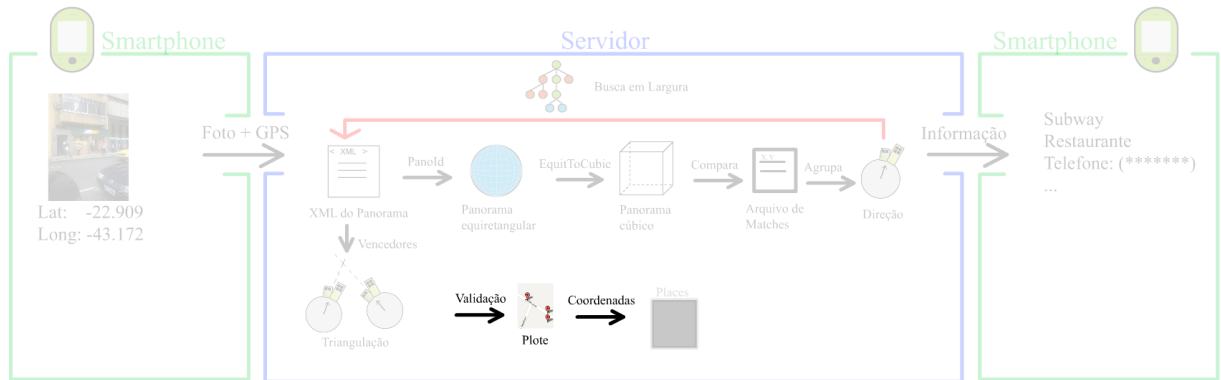


Figura 43 – Com o resultado validado e a coordenada da edificação, pode-se então buscar informações sobre a edificação no *Google Places* ou em serviços equivalentes.

7.1. Estudo de Caso: SUBWAY CINELÂNDIA

Este estabelecimento se encontra no logradouro Santa Luzia, centro da cidade do Rio de Janeiro à beira da rua.

- Fotografia inicial:



FIGURA

- Coordenadas Geográficas antes da execução do protótipo:

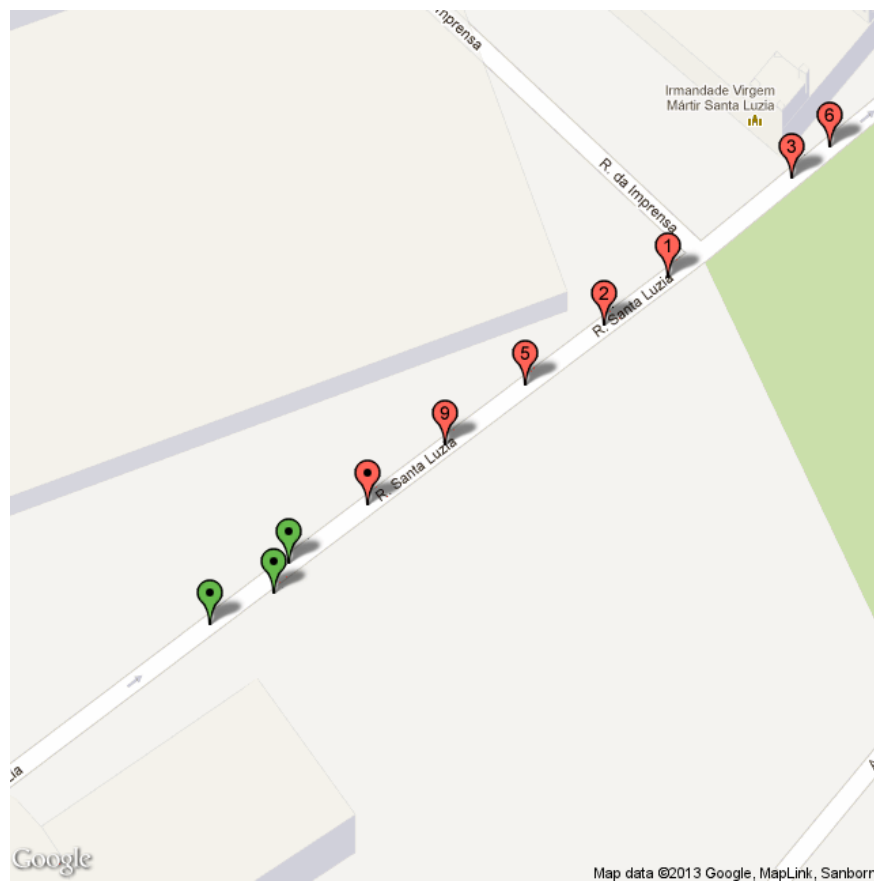
(-22.909797, -43.172657)

- Coordenadas Geográficas após execução a execução do protótipo:
(-22.910084319583667, -43.17304503433192)

- Pontos Panorâmicos vencedores:



- Resultado final visto no mapa virtual:



7.2. Estudo de Caso: AMIGÃO VAREJO

Este comércio encontra-se no município de São João de Meriti, na Avenida Nossa Senhora das Graças. Este foi o primeiro caso testado e foi o validador da técnica de triangulação adotada.

- Fotografia inicial:



FIGURA

- Coordenadas Geográficas antes da execução do protótipo:

(-22.803037, -43.369318)

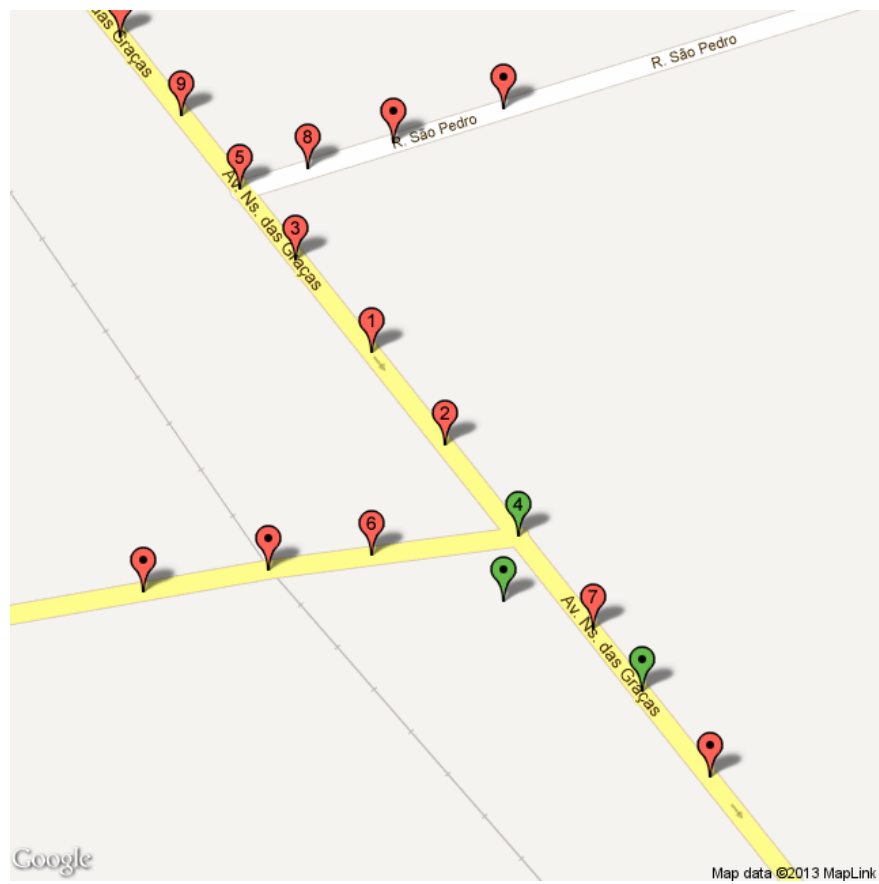
- Coordenadas Geográficas após a execução do protótipo:

(-22.803263330104315, -43.36918773109218)

- Pontos Panorâmicos vencedores:



- Resultado final visto no mapa virtual:



7.3. Estudo de Caso: CAIXA ECONÔMICA CENTRO

Edifício sede da Caixa Econômica Federal, localizado na esquina da Avenida Rio Branco com a Almirante Barroso. Este caso não obteve sucesso e acreditamos que seja devido à má disposição da fotografia (com árvores cobrindo boa porção da fotografia).

- Fotografia inicial:



7.4. Estudo de Caso: CASA SHOW ILHA DO GOVERNADOR

Este estabelecimento encontra-se na Estrada do Galeão, na Ilha do Governador. A fotografia inicial foi adquirida diretamente pela Google e o objetivo principal deste caso foi testar a validade da triangulação. Não foi tão bem sucedido, pois considerou dois Pontos Panorâmicos muito próximos e ângulo de visão para o estabelecimento muito parecido o que fez o protótipo triangular um pouco mais afastado do que deveria.

- Fotografia inicial:



- Coordenadas Geográficas antes da execução do protótipo:

(-22.805401, -43.211693)

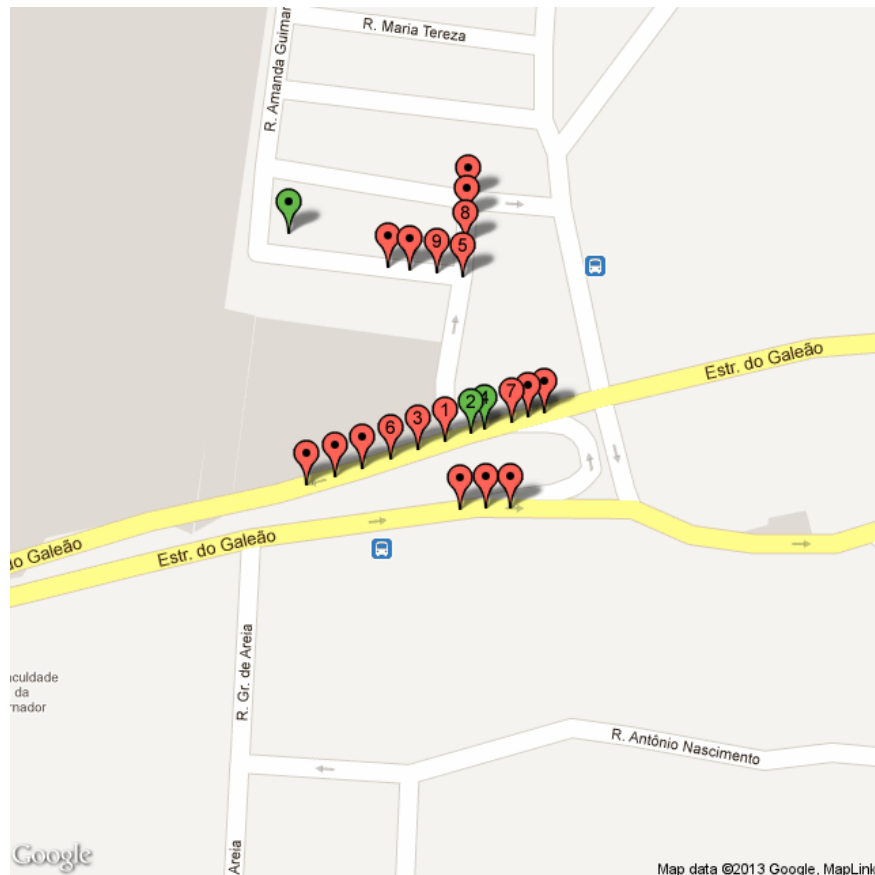
- Coordenadas Geográficas após a execução do protótipo:

(-22.80464301640537, -43.212306652920944)

- Pontos Panorâmicos vencedores:



- Resultado no mapa virtual:



7.5. Estudo de Caso: CAMPUS DIREITO - UFF

Este caso foi muito interessante por mostrar que as fotos descartadas do panorama cúbico podem fazer a diferença. O campus de Direito da UFF possui uma arquitetura peculiar que pode ter atrapalhado a execução do ASIFT mas a parte superior que possui formato triangular aparente não foi considerada, pois é descartada no início como parte do “céu”. Além disso, no momento em que a fotografia foi tirada, a arquitetura estava quase toda “poluída” por cartazes, o que também atrapalha a comparação.

- Fotografia inicial:



- Pontos Panorâmicos vencedores, porém passaram despercebidos:



8. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta uma técnica para tornar viável a descoberta de informações de uma edificação a partir de uma foto, de informações de latitude e longitude aproximadas do local onde a foto foi capturada e do acesso a um sistema on-line de mapeamento geográfico. A técnica apresentada faz uso de técnicas de transformação de panoramas, comparação de imagens e triangulação.

Para os casos de teste considerados, os resultados foram satisfatórios, retornando as coordenadas geográficas aproximadas do local desejado através de uma triangulação. O propósito que deu origem a este projeto foi a de recuperar informações completas sobre uma determinada edificação e esse objetivo compõe a maior parte dos trabalhos futuros para este projeto.

8.1. Trabalhos Futuros

Um par de coordenadas geográficas é suficiente para representar unicamente uma edificação. No entanto, encontrar um serviço virtual que relacione coordenadas geográficas com as informações públicas do estabelecimento pode não ser uma tarefa simples. No caso do sistema de endereçamento adotado pelos Correios no Brasil, construções urbanas são dotadas um número que está diretamente relacionado com a altura da rua, em metros, onde tal edificação encontra-se localizada. Uma vez que a relação número-rua-informações é mais comum nos serviços disponibilizados, a estimativa e o uso desta informação na busca de informações detalhadas sobre a edificação mostra-se uma direção promissora de trabalho futuro.

Para retorno de informações úteis sobre o estabelecimento a partir de um par de coordenadas geográficas existe um serviço disponibilizado pela *Google*, chamado *Google Places* (Google Corp.). Trata-se de uma ferramenta que complementa a suíte da *Google* de mapeamento virtual, assim como o *Google Street View* (Google Corp.) e o *Google Static Maps* (Google Corp.), serviço que permite visualização e manipulação dos mapas virtuais da *Google*.

O *Google Places* pode ser parametrizado via endereço eletrônico e pode retornar informações sobre todos os locais cadastrados dentro de um raio definido. Ao contrário do uso do número do estabelecimento em seu endereço, o uso do *Google Places* permitiria consultas em regiões e países onde não há, ou não é conhecida, uma regra de endereçamento.

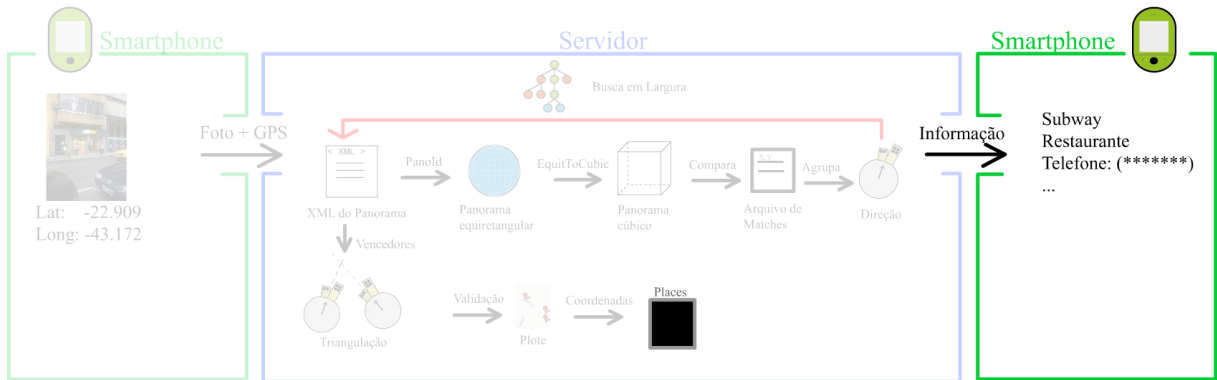


Figura 44 – O Google Places, tratado como uma caixa-preta neste fluxo, retorna as informações da edificação para o smartphone.

Outra direção promissora para trabalhos futuros é a inclusão de técnicas de propagação de incerteza nas computações realizadas, principalmente na etapa de triangulação. Por mesmo da aplicação dessas técnicas, seria possível ter como resultado não apenas uma localização geográfica, mas toda uma região descrevendo a probabilidade de localização da edificação.

Tomando maiores ambições, a *Google* também mantém imagens estereoscópicas que são utilizadas para proporcionar ao usuário imagens panorâmicas em três dimensões. Como uma melhoria para este trabalho, ao invés de se eleger dois Pontos Panorâmicos vencedores para realizar a triangulação, um único ponto panorâmico poderia ser utilizado para a triangulação e assim inferir as coordenadas geográficas do local desejado.

Para objetivos prometidos no início deste trabalho, a aplicação do processo apresentado mostrou-se promissora. Esperamos que os resultados apresentados motivem o desenvolvimento de ferramentas que possam vir a auxiliar na identificação de edificações de maneira simples para o usuário final e que essas ferramentas venham a ser úteis na busca por informações e localização em ambientes que não sejam familiares ao usuário.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apple Inc.** Apple Maps. *Site Oficial da Aplicação Apple Maps*. [Online]
<http://www.apple.com/br/ios/maps/>.
- Bourke, Paul.** *Geometria: Transformações e Projeções*.
- Google Corp.** Google Places Documentation. *Google Places Documentation*. [Online]
<https://developers.google.com/places/documentation/>.
- . Google Static Maps Documentation. *Google Static Maps Documentation*. [Online]
<https://developers.google.com/maps/documentation/staticmaps/>.
- . Google Street View Documentation. *Google Street View Documentation*. [Online]
<https://developers.google.com/maps/documentation/streetview>.
- Greene, Ned.** *Environment Mapping and Other Projections*. s.l. : New York Institute of Technology.
- Hartley, Richard e Zisserman, Andrew.** *Multiple View Geometry in Computer Vision, 2º Ed.* s.l. : Cambridge.
- Lowe, David. 1999.** Object Recognition for local Scale-Invariant Features. 1999.
- Montenegro, Anselmo.** Página Universidade UFF - Cursos. *Página Universidade UFF - Cursos*. [Online] www.ic.uff.br/~anselmo.
- Morel, Jean-Michel e Yu, Guoshen. 2009.** ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison. *Society for Industrial and Applied Mathematics*. 2009.
- Ordnancy Survey.** A Guide to Coordinate Systems. *A Guide to Coordinate Systems*. [Online]
http://www.ordnancesurvey.co.uk/oswebsite/gps/docs/A_Guide_to_Coordinate_Systems_in_Great_Britain.pdf.
- Panoramically.** Equirectangular To Cubic Converter Tool. *Equirectangular To Cubic Converter Tool*. [Online] <http://panoramically.com/equirectangular-to-cubic-converter>.
- Samsung.** Samsung GT-S6102. *Samsung GT-S6102*. [Online]
http://downloadcenter.samsung.com/content/UM/201302/20130216123059946/GT-S6102_UM_Open_Gingerbread_Por_Rev.2.2_130207_Screen.pdf.
- Smith, Brett.** Quick Guide GPL v3. *Quick Guide GPL v3*. [Online]
<http://www.gnu.org/licenses/quick-guide-gplv3.pdf>.

Snyder, John P. 1993. Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections. [A. do livro] Jonh P. Snyder. *Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections*. s.l. : University of Chicago Press, 1993.

Souza, C. de, et al. Busca em Grafos. *Busca em Grafos*. [Online] <http://www.ic.unicamp.br/~fkm/disciplinas/mc448/2012s1/slides/aula17.pdf>.

Thomas, George B. 2002. *Cálculo*. SP : Addison Wesley/Pearson Education, 2002.

Thompson, James. Página Pessoal. *Página Pessoal*. [Online] <http://jamiethompson.co.uk/>.