

## Uso de Sombra das Imagens para Estimação Automática de Rumo Aplicada a Navegação Aérea Autônoma de Veículos Aéreos Não Tripulados

Marielcio Gonçalves Lacerda <sup>1</sup>  
Camila Souza dos Anjos <sup>1</sup>

1 Instituto de Estudos Avançados – IEAv Caixa Postal 6044 – 12.228-970 –  
São José dos Campos - SP, Brasil  
{marielcio, camilasa}@ieav.cta.br

**Abstract.** The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) has increasingly in civilian and military applications. Normally the military applications are often realized in inhospitable environments, whether for geographical reasons or war conflicts. In order to fulfill this type of mission, it is important that the UAV be provided with an autonomous navigation system so that it can fulfill its flight planning without the need for human intervention during the whole period. The main autonomous navigation systems currently used are based on GNSS (Global Navigation Satellite System), whose technology is not of Brazilian domain. An alternative form is the development of an autonomous navigation system based on images. Due to the great complexity of this system, it is necessary to develop several tools that aid in the autonomous navigation. This work aims to develop a navigation aid based on shadow identification of an image or a sequence of images and the analysis of the data of the time and the location of the image, determining the direction of flight (Rumo) that the aircraft is flying, making any necessary corrections. The system was developed in C++ language. Preliminary results indicated a great potential for the use of shadow identification in autonomous navigation aid systems.

**Palavras-chave:** UAV, autonomous navigation, shadow detection, VANT, Navegação Autônoma, Detecção de Sombra.

### 1. Introdução

Atualmente, tem-se verificado um contínuo aumento do emprego de Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs) ou Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), popularmente denominadas drones. Esse aumento decorre principalmente do baixo valor de aquisição, operação e manutenção, além da facilidade de uso e da possibilidade de serem utilizados em regiões inóspitas por motivo de condições geográficas ou de conflitos armados, por exemplo, de modo a não submeter a tripulação a nenhum tipo de risco. Tais aeronaves apresentam expectativas crescentes em aplicações duais, ou seja, civis e militares, tais como: operações de vigilância, reconhecimento, monitoramento ambiental e agrícola, aerolevanteamento, transporte de carga, ataque a alvos no solo etc. (Medeiros et al., 2010; Castro et al., 2009; Shiguemori et al., 2008; Martins et al., 2006).

A Navegação Aérea consiste em conduzir uma aeronave em segurança, entre pontos determinados. É a condução de um veículo voador com habilidade e segurança através do espaço com a observação de pontos de referência (Infraero, 2014). Portanto, para que a navegação seja precisa, é fundamental que sejam conhecidas a localização atual da aeronave e seu rumo entre pontos conhecidos. Um dos maiores desafios nesta área é dotar um VANT da capacidade de navegação autônoma, de modo a reduzir a dependência dos Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS) (Martins et al., 2006), cuja tecnologia é dominada por poucos países, países estes que em situações extremas podem atenuar a qualidade do sinal, tornando o sistema impreciso para a navegação aérea.

A Navegação Aérea Autônoma é imprescindível em muitas situações devido à necessidade de que o VANT realize uma missão sem a interferência humana durante todo o trajeto, como em missões de reconhecimento em território inimigo ou em locais de difícil acesso. Uma das abordagens para navegação aérea autônoma consiste em capturar e processar imagens da região sobrevoada para realizar comparações em tempo real com um conjunto de imagens

georreferenciadas, visando a estimação da posição do VANT (Medeiros et al., 2010; Castro et al., 2009; Shiguemori et al., 2008). O planejamento de uma trajetória consiste na determinação de uma sequência de coordenadas de navegação, também denominadas pontos de referência ou waypoints, que é enviado para o sistema de controle do veículo autônomo, para realizar a navegação de uma coordenada de origem até uma coordenada de destino (Medeiros et al., 2010).

Esses sistemas de navegação autônomos baseados por imagens são extremamente complexos, sendo imprescindível o uso de diversas ferramentas de confirmação das informações de voo, de modo a tornar a navegação aérea real o mais próximo possível da planejada. Uma possibilidade de desenvolvimento de uma dessas ferramentas é um sistema capaz de gerar a informação do rumo da aeronave baseado na informação das coordenadas de dois pontos. Para navegação aérea, as coordenadas são expressas no sistema de coordenadas geodésicas, onde cada coordenada é formada por uma latitude, uma longitude e uma altitude (Medeiros et al., 2010). Outra possibilidade é fazer uso de coordenadas geográficas para estimação automática do rumo de um VANT para aplicação na navegação aérea autônoma, com o emprego de uma árvore de decisão (Lacerda et al., 2015).

De forma geral, nas imagens aéreas as áreas sombreadas costumam omitir informações importantes no momento da interpretação de imagens. Porém, o tema abordado neste trabalho tem por objetivo fazer uso das sombras contidas nas imagens para estimação automática do rumo de um VANT para aplicação na navegação aérea autônoma.

É de conhecimento geral que as condições de iluminação solar variam conforme a época do ano, o horário do dia e a região imageada. Dessa maneira, para o emprego do presente instrumento de auxílio à navegação autônoma torna-se necessário o conhecimento de alguns dados do voo do momento de obtenção das imagens, como: data (dia e mês), horário Zulu (adotado internacionalmente para a navegação aérea) e a latitude média local ( $xx^{\circ}xx'xx''$  S).

## **2. Metodologia de Trabalho**

A metodologia empregada neste estudo consiste em duas etapas preliminares e na sequência a obtenção do dado da estimativa do rumo. A primeira etapa consiste em obter duas imagens consecutivas e na sequência correta que foram obtidas, identificar a área sombreada nas imagens e os objetos que geraram as respectivas sombras. A segunda etapa consiste em analisar as informações de voo supramencionadas e definir a posição do sol e o ângulo e a direção da sombra, baseados nos cálculos realizados pelo algoritmo. Em seguida, de posse dessas informações, realizar a junção dos dados e determinar a direção de voo do VANT.

Portanto esse trabalho pretende desenvolver um sistema de auxílio a navegação que a partir de imagens obtidas de um local conhecido (latitude conhecida), pode-se determinar a direção de voo baseado na análise das imagens contidas na imagem.

### **2.1. Reconhecimento de áreas sombreadas e dos objetos geradores das sombras**

Existem, na literatura atual, diversos trabalhos que versam sobre diferentes métodos para realizar a separação do objeto e sua respectiva sombra em uma imagem, conforme apresentado na Figura 1.

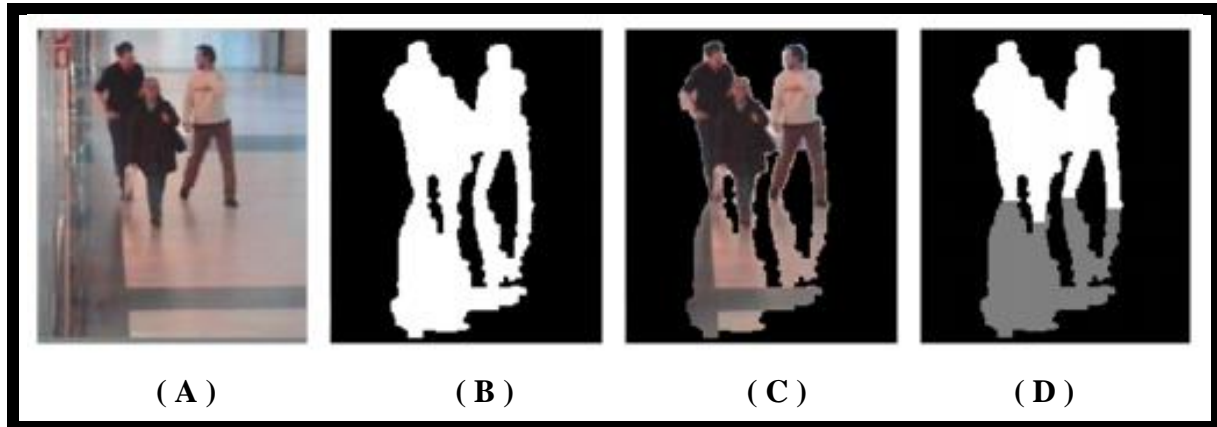


Figura 1. Exemplo de separação de objeto e sua respectiva sombra. Onde: (A) é a cena original; (B) máscara criada a partir da separação do objeto e da sombra do restante da imagem; (C) sobreposição da máscara sobre o frame; (D) máscara final com a separação do objeto (em branco) e da sombra (em cinza).

Fonte: Sanin et al. (2013).

Como a ideia principal do trabalho não se trata da separação da imagem e da respectiva sombra e sim do desenvolvimento do método de auxílio a navegação autônoma, nesse artigo, adotou-se como referência básica o trabalho desenvolvido por Sanin et al. (2013), cuja a ideia principal da utilização do Método da Cromaticidade será apresentada a seguir.

Dentro do Método da Cromaticidade o fator mais importante é escolher um espaço de cores com uma separação de intensidade e Cromaticidade. Diversos espaços de cores, como o HSV e o RGB normalizado, por exemplo, provaram ser robustos para detecção de sombras. A abordagem HSV é muito usual, tendo em vista que o espaço de cores fornece uma separação natural entre cromacidade e luminosidade. Como o valor (V) é uma medida direta da intensidade, os pixels na sombra devem ter um valor menor do que os pixels no plano de fundo. Seguindo as sugestões de cromacidade, uma sombra moldada no fundo não altera sua tonalidade (H) e os autores observam que as sombras frequentemente reduzem a saturação (S) dos pontos. Portanto, um pixel é considerado como sendo parte de uma sombra se as três condições seguintes forem satisfeitas:

$$\beta_1 \leq (F_p^V / B_p^V) \leq \beta_2 \quad (F_p^S - B_p^S) \leq \tau_S \quad |F_p^H - B_p^H| \leq \tau_H$$

onde:  $F_p^C$  e  $B_p^C$  representam os valores de componente de HSV para o pixel de posição  $p$  no frame ( $F$ ) e na imagem de referência ( $B$ ), respectivamente.  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\tau_S$  e  $\tau_H$  representam limiares que são otimizados empiricamente.

## 2.2. Análise dos dados de voo

Sabe-se que a Terra realiza dois movimentos em relação do sol: translação e rotação. O movimento de Rotação (Figura 2A) é aquele que a Terra executa em torno de si mesma ou do seu eixo imaginário. O movimento acontece no sentido oeste-leste. A Terra leva 23 (vinte e três) horas, 56 (cinquenta e seis) minutos e 4 (quatro) segundos para completar uma volta em torno si mesma, ou seja, aproximadamente 24 (vinte e quatro) horas podendo afirmar que se concluiu 1 (um) dia. A maior consequência deste movimento é a sucessão dos dias e das noites. Porém, o Sol não consegue iluminar toda a Terra uniformemente. Logo, pontos da Terra que neste exato momento estão iluminados, estão se contrapondo a outros que estão na penumbra (sombra), ou seja, na noite. Por causa dessa desigualdade surge a necessidade da criação de um mecanismo para a padronização do tempo, denominada de Fuso-Horário.

O movimento de Translação (Figura 2B) é o deslocamento da Terra ao redor do Sol (órbita). A execução do movimento é caracterizada por uma elipse. Por isso, que a distância entre a Terra e o Sol varia de acordo com a época do ano. Uma volta completa dura 365 dias e 6 horas. A distância percorrida pela Terra com uma volta completa é de 930 milhões de quilômetros, com uma velocidade média da Terra nesse percurso é de 29,9 km/s. Em consequência desse movimento temos a ocorrência das estações do ano.

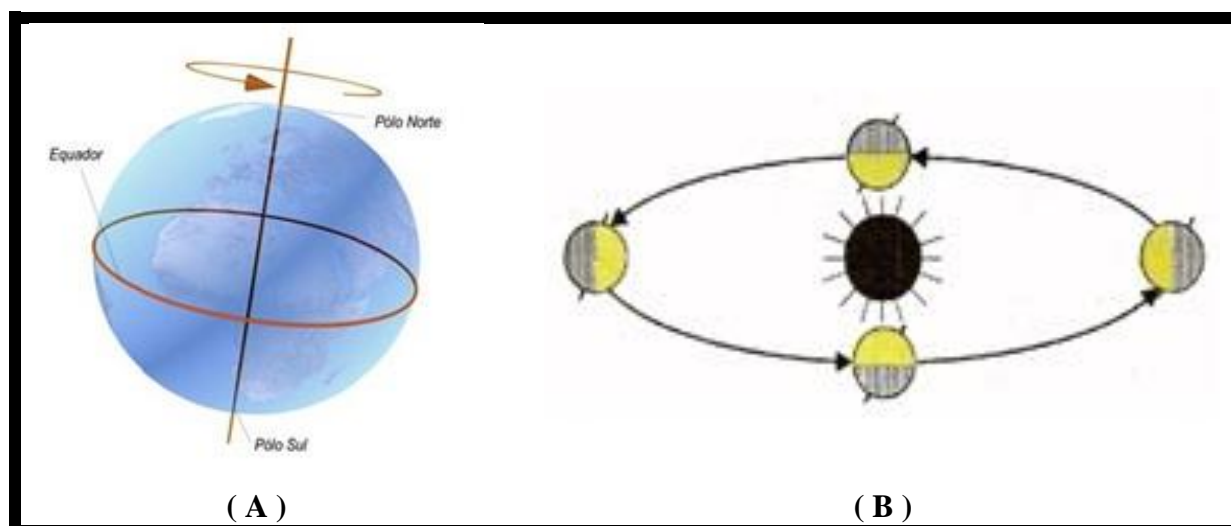


Figura 2. Em (A), representação do movimento de Rotação da Terra. Em (B), representação do movimento de Translação da Terra. (Fonte: <https://esquadraodoconhecimento.wordpress.com/ciencias-humanas/geografiaregionalizacao-mundial/os-movimentos-da-terra-rotacao-e-translacao/>)

As estações do ano (Figura 3) acontecem devido ao movimento de translação em conjunto com existência da inclinação de  $23^{\circ}27'$  do eixo terrestre em relação ao plano da elíptica.



Figura 3. Representação das estações do ano, equinócios e solstícios para o Hemisfério Sul. (Fonte: <https://esquadraodoconhecimento.wordpress.com/ciencias-humanas/geografiaregionalizacao-mundial/os-movimentos-da-terra-rotacao-e-translacao/>)

No equinócio os dias e noites iguais (ocorre aproximadamente em 21 de março – início do outono, para o hemisfério sul, ou da primavera, para o hemisfério norte e em 23 de setembro – início da primavera para o hemisfério sul, ou do outono, para o hemisfério norte). Neste momento o Sol encontra-se perpendicular ( $90^{\circ}$ ), ao meio dia, na Linha do Equador. No solstício



temos que no verão os dias mais longos que as noites, enquanto que no inverno: noites mais longas que os dias

Dessa forma, o movimento de translação da Terra é aquele que exige maior atenção no momento de definição da posição do sol e conseqüentemente do ângulo e da direção da sombra, pois a posição do sol varia conforma a época do ano e a latitude do ponto considerado. Por exemplo, um local com latitude igual a 2°S, terá direção apontando para o Norte em determinado período do ano e para o Sul em outro determinado período.

Para a elaboração desse trabalho, considerou-se que a Terra realiza sempre um movimento com velocidade constante em relação ao sol, tanto no que se refere ao movimento de Translação como o movimento de Rotação.

De maneira geral a posição do sol em relação à Terra varia dentro dos trópicos. Os trópicos da Terra são paralelos. Sendo assim, eles possuem latitudes específicas. No caso do Trópico de Câncer, a latitude é de 23°27' N (23 graus e 27 minutos Norte), enquanto no Trópico de Capricórnio as latitudes são de 23°27' S (23 graus e 27 minutos Sul). Assim, todos os pontos com latitudes maiores que 23°27' S terão suas sombras sempre apontadas para o Sul, enquanto que todos os pontos com latitudes maiores que 23°27' N terão suas sombras sempre apontadas para o Norte. Todos os pontos que estiverem dentro dos trópicos, ou seja, com latitudes menores que 23°27' S e 23°27' N, necessitarão de uma análise do dia e do mês para a definição da direção da sombra.

A distância entre os trópicos é igual a 46°54' (quarenta e seis graus e cinquenta e quatro minutos) ou 2.814' (dois mil e oitocentos e quatorze minutos de grau) ou 168.840'' (cento e sessenta e oito mil e oitocentos e quarenta segundos de grau). Como essa distância é percorrida duas vezes (337.680'' – trezentos e trinta e sete mil e seiscentos e oitenta segundos de grau) em 1 (um) ano ou 365 (trezentos e sessenta e cinco) dias, consideramos a velocidade relativa do Sol igual a aproximadamente 925''/dia (quatrocentos e sessenta e três segundos de grau por dia). Como nos equinócios (aproximadamente 22 de março e 22 de setembro), sabemos que o sol está exatamente sobre a Linha do Equador (Latitude igual a 00°00'), a posição do sol pode ser estimada a partir dessas datas com base na velocidade determinada. Dessa forma, entre 22 de março e 22 de setembro o sol estará sobre o Hemisfério Norte, chegando a latitude do Trópico de Câncer aproximadamente em 22 de junho; e entre 22 de setembro e 22 de março, estará sobre o Hemisfério Sul, chegando a latitude do Trópico de Capricórnio aproximadamente em 22 de dezembro. Assim, pode-se determinar a posição do sol em qualquer dia do ano, atentando-se aos períodos citados, e, conseqüentemente, a direção geral da sombra (Norte ou Sul) para qualquer latitude conhecida.

A análise realizada anteriormente diz respeito apenas as características da sombra em relação ao Movimento de Translação da Terra, informando a direção geral da sombra (Norte ou Sul), porém o Movimento de Rotação também deve ser analisado, para a definição precisa do ângulo de direção da sombra. Para essa análise, considerou-se que a Terra possui uma velocidade relativa constante e que o nascer do sol ocorre sempre às 6 (seis) horas e que o pôr-do-sol ocorre sempre às 18 (dezoito) horas, com o sol estando na perpendicular do ponto exatamente às 12 (doze) horas. Para uma maior exatidão do método, no cálculo do horário, deve-se desconsiderar o horário de verão, pois este é uma espécie de adaptação do horário verdadeiro. Como o movimento aparente do Sol se dá de Leste para Oeste, no período compreendido entre 6 (seis) e 12 (doze) horas as sombras possuem direção Oeste, enquanto que no período entre 12 (doze) e 18 (dezoito) horas, possuem direção Leste.

É evidente que na realidade, a sombra tem a direção conjugada da influência do movimento de Rotação com o de Translação.

## 2.2. Análise conjunta dos dados

Após a análise da imagem e definição do objeto e sua respectiva sombra e conhecendo-se a direção (ângulo) da sombra, fundindo-se essas duas informações, pode-se determinar qual o rumo da aeronave. Porém, para que a análise seja correta são necessárias duas imagens consecutivas onde ambas contenham áreas sombreadas.

### 3. Resultados

A tabela abaixo, apresenta alguns resultados de simulações realizadas no programa desenvolvido no OpenCV.

Data de Obtenção	Latitude da Posição do Sol	Latitude do Local	Direção Geral da Sombra
01/Janeiro	20°52'50" S	05°30'30" S	N
25/Janeiro	14°42'50" S	05°30'30" S	N
01/Fevereiro	13°10'20" S	05°30'30" S	N
25/Fevereiro	07°00'20" S	05°30'30" S	N
01/Março	05°23'45" S	05°30'30" S	S
<b>22/Março</b>	<b>00°00'00"</b>	<b>05°30'30" S</b>	<b>S</b>
30/Março	02°03'20" N	05°30'30" S	S
01/Abril	02°34'10" N	05°30'30" S	S
30/Abril	10°01'15" N	05°30'30" S	S
01/Maio	10°16'40" N	05°30'30" S	S
25/Maio	16°26'40" N	05°30'30" S	S
01/Junho	18°03'15" N	05°30'30" S	S
<b>22/Junho</b>	<b>23°27'00" N</b>	<b>05°30'30" S</b>	<b>S</b>
30/Junho	21°23'40" N	05°30'30" S	S
01/Julho	21°08'15" N	05°30'30" S	S
30/Julho	13°41'10" N	05°30'30" S	S
01/Agosto	13°10'20" N	05°30'30" S	S
25/Agosto	07°00'20" N	05°30'30" S	S
01/Setembro	05°23'45" N	05°30'30" S	S
<b>22/Setembro</b>	<b>00°00'00"</b>	<b>05°30'30" S</b>	<b>S</b>
30/Setembro	02°03'20" S	05°30'30" S	S
01/Outubro	02°18'45" S	05°30'30" S	S
25/Outubro	08°28'45" S	05°30'30" S	N
01/Novembro	10°16'40" S	05°30'30" S	N
25/Novembro	16°26'40" S	05°30'30" S	N
01/Dezembro	18°03'15" S	05°30'30" S	N
<b>22/Dezembro</b>	<b>23°27'00" S</b>	<b>05°30'30" S</b>	<b>N</b>
30/Dezembro	21°23'40" S	05°30'30" S	N

Tabela 1. Dados obtidos por intermédio do programa desenvolvido, sendo as colunas 1 e 3 os dados fornecidos (Data de Obtenção da Imagem e Latitude do Local Imageado) e as colunas 2 e 4 os dados calculados automaticamente (Posição do Sol e Direção Geral da Sombra).

Horário	Ângulo Solar	Horário	Ângulo Solar	Horário	Ângulo Solar
06:00	90°	12:00	0°	09:00	45°
06:30	82,5°	12:30	7,5°	09:05	43,75°
07:00	75°	13:00	15°	09:10	42,5°
07:30	67,5°	13:30	22,5°	09:15	41,25°
08:00	60°	14:00	30°	09:20	40°
08:30	52,5°	14:30	37,5°	09:25	38,75°
09:00	45°	15:00	45°	09:30	37,5°
09:30	37,5°	15:30	52,5°	09:35	36,25°
10:00	30°	16:00	60°	09:40	35°
10:30	22,5°	16:30	67,5°	09:45	33,75°
11:00	15°	17:00	75°	09:50	32,5°
11:30	7,5°	17:30	82,5°	09:55	31,25°
12:00	0°	18:00	90°	10:00	30°

Tabela 1. Dados obtidos por intermédio do programa desenvolvido, sendo as colunas 1, 3 e 5 representam os horários simulados de obtenção da imagem e as colunas 2, 4 e 6 representam os respectivos ângulos solares em função do horário.

A figura 3 mostra um exemplo prática da associação das informações obtidas por meio do algoritmo apresentado nesse trabalho e uma imagem obtida por um VANT. A imagem foi obtida no dia 01 de Novembro de 2016, às 14hs 58 min em um local com Latitude de 23°15'08" S.

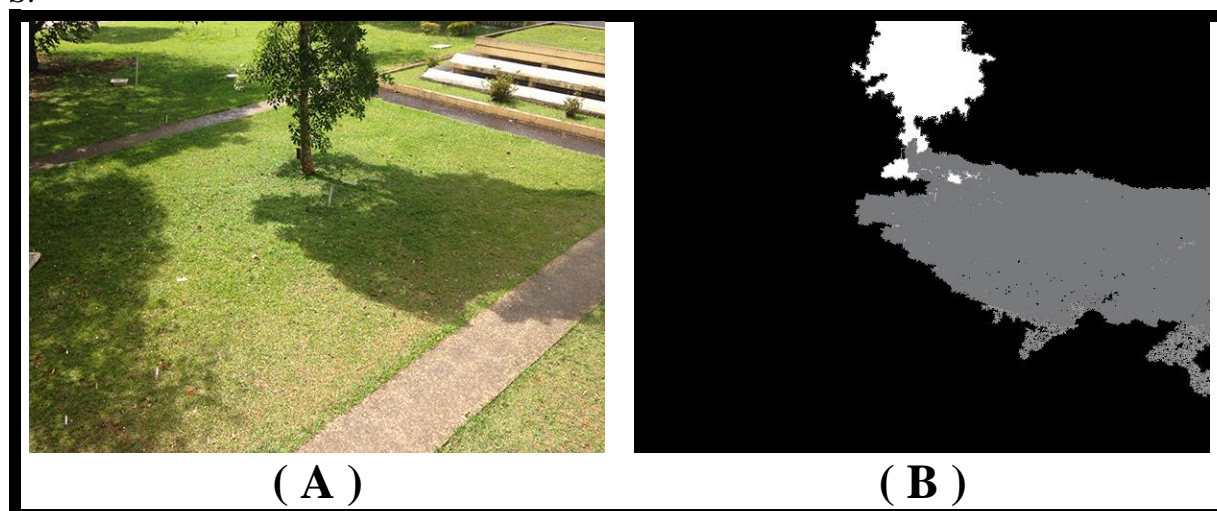


Figura 3. Em (A) a imagem obtida por um VANT e em (B) a separação da sombra e do objeto que a gerou.

Fazendo o processamento dessa imagem pelo algoritmo desenvolvido, concluiu-se que no momento de obtenção da imagem, o sol estava na posição 10°16'40" S. Como o local no qual a imagem foi obtido tem Latitude de 23°15'08" S, a sombra tem direção geral voltada para o Sul. Como o horário de obtenção da imagem é 14hs 58min, temos que o ângulo solar é igual a 44° 30' em direção Leste.

#### 4. Conclusões

Os resultados preliminares indicaram grande potencial de utilização em sistemas de auxílio a navegação autônoma. Porém o método deve ser testado em mais imagens obtidas por voos de VANT.

#### 5. Referências Bibliográficas

Castro, A. P.; Silva, J.; Medeiros, F.; Shiguemori, E. Restauração de Imagens e Detecção Automática de características à Navegação Aérea Autônoma. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 6813-6819. Disponível em:

<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.22.49.50/doc/6813-6819.pdf>>.

Acesso em: 12 ago. 2016.

Infraero Aeroportuários. Disponível em:  
<<http://www.infraero.gov.br/portal/index.php/es/navegacion-aerea.html>>. Acesso em: 20.out.2014

Lacerda, M. G.; Anjos, C. S.; Shiguemori, E. Uso de Coordenadas Geográficas para Estimção Automática de Rumo Aplicada a Navegação Aérea Autônoma de Veículos Aéreos Não Tripulados. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. P. 5599-5605. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1132.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

Medeiros, F.; Silva, J. Grafos de Visibilidade Aplicados à Representação Computacional de Ambientes de Navegação Aérea. In: WORCAP 2010. Anais... São José dos Campos: INPE. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, 2010. Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2010/07.22.17.39/doc/Felipe%20Medeiros.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

Sanin A.; Sanderson C.; Lovell, B. C. Shadow Detection: A Survey and Comparative Evaluation of Recent Methods. Pattern Recognition, v.45, n http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2011.10.001.>. Acesso em: 20 set. 2016.

Shiguemori, E.; Martins, M.; Medeiros, F. Reconhecimento de Pontos de Controle para Navegação Aérea utilizando Redes Neurais e Transformada de Gabor. In: Caderno de Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento do Instituto de Estudos Avançados. Anais... São José dos Campos: Instituto de Estudos Avançados. 2008, v.1, p.46.

Shiguemori, E.; Martins, M.; Medeiros, F.; Dominiciano, M.; Monteiro, M. Módulo de Visão Computacional do Projeto PITER: Aplicações à Navegação Aérea Autônoma por Imagens. In: Simpósio de Sensoriamento Remoto das Forças Armadas – SERF. Anais... São José dos Campos: Instituto de Estudos Avançados. 2008, p.26 – 27.