

DETECÇÃO DE REGIÕES EM CENÁRIOS NATURAIS UTILIZANDO UM SISTEMA DE VISÃO CATADIÓPTRICO

RODRIGUES Victor de Assis
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)
victorassisrd@gmail.com

TRENTINI Vinicius Bergoli
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)
vinicius_trentini@hotmail.com

TRONCO Mário Luiz
Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo (USP)
mltronco@sc.usp.br

LÚLIO Luciano Cássio
Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo (USP)
luciano.lulio@gmail.com

RESUMO: Esse trabalho utiliza um sistema de visão catadióptrico para capturar imagens de um cenário natural agrícola e realizar o levantamento de regiões que possam auxiliar diversas aplicações na área da Robótica Móvel Agrícola. Os sistemas de visão catadióptricos buscam capturar uma imagem 360° do ambiente a partir da combinação de lentes e espelhos. A imagem omnidirecional é retificada e seus quadrantes são extraídos, originando quatro novas imagens que representam lados de visão do veículo. Uma etapa de segmentação por cor é proposta utilizando como base o algoritmo Otsu Thresholding. No final do processo, é possível visualizar as regiões de interesse de cada quadrante.

PALAVRAS-CHAVE: Visão omnidirecional, robôs agrícolas móveis, sistemas catadióptricos, ambientes externos agrícolas.

ABSTRACT: *This paper uses a catadioptric vision system to capture images of a natural agricultural scenario and to perform the recognition of regions. This recognition can be useful to many applications in the mobile robotic area. The catadioptric vision systems aim to obtain a 360-degree vision of the environment by using a combination of lenses and mirrors. The omnidirectional image obtained is unwrapped and its quadrants are generated, which represents each side of the vehicle. The step of segmentation using color band is applied based on the Otsu Thresholding algorithm. In the last step of the process, the regions of interest for each quadrant can be visualized.*

KEYWORDS: *Omnidirectional vision, agricultural mobile robots, catadioptric systems, agricultural outdoor environments.*

1. INTRODUÇÃO

Existem muitos problemas da Agricultura de Precisão que utilizam informações presentes no ambiente para poderem alcançar seus objetivos. Nesses sistemas, os sensores de visão são equipamentos populares pois permitem uma captura baseada em grande quantidade de informações do ambiente sem a necessidade de contato físico, além de possuírem custos bastante acessíveis se comparados a outros tipos de sensores.

Em alguns problemas da área da Visão Computacional, entretanto, é necessário ampliar o campo de visão para aumentar a eficiência das aplicações. Na Agricultura de Precisão tarefas como vigilância de ambientes, rastreamento, navegação e mapeamento de ambientes (BONARINI et al., 2000; BAKER; NAYAR, 1999) exigem um grande volume de informações para que seus processos funcionem adequadamente.

Os Sistemas de Visão Omnidirecional podem ser uma alternativa para

umentar a capacidade de captura de informações do ambiente, pois fornecem técnicas que possibilitam obter imagens 360° do ambiente (NAYAR, 1997). Dentro dessas técnicas estão os sistemas omnidirecionais catadióptricos, criados a partir da combinação de lentes e espelhos.

Esse trabalho pertence ao módulo de visão computacional do projeto AgriBOT. O AgriBOT é uma plataforma robótica modular com o objetivo de locomoção em ambientes típicos da área agrícola, possuindo como finalidade a aquisição de dados e pesquisa de novas tecnologias para o sensoriamento remoto para a área agrícola (NEPAS, 2014). O projeto teve a atuação de professores e estudantes de graduação e pós-graduação da EESC/USP (Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo). Além disso, diversas entidades brasileiras importantes participaram do projeto, como a FINEP (“Financiadora de Estudos e Projetos”), Embrapa (“Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária”) e Jacto S.A. company (DIAZ et al., 2013). As culturas estudadas nesse projeto são milho, cana-de-açúcar e laranja.

Esse trabalho consiste na captura e identificação de regiões em imagens omnidirecionais relacionadas ao percurso efe-

tuado pela plataforma robótica em cenários agrícolas. A identificação de regiões presentes no ambiente permite a precipitação de situações que possam ocorrer durante a navegação. Essas informações resgatadas do ambiente servem de base para outros módulos do veículo, sendo este intimamente ligado ao sistema de controle de navegação da plataforma robótica base (NEPAS, 2014). Entretanto, durante o desenvolvimento desse trabalho foi possível identificar que a solução poderia se tornar uma aplicação modular, auxiliando outros sistemas da Agricultura de Precisão a alcançarem seus objetivos por meio das informações geradas, tanto de forma total como parcial.

O trabalho é organizado como segue: a Sessão 1 apresenta a metodologia do trabalho e os conceitos utilizados, a Sessão 2 apresenta os resultados obtidos e na Sessão 3 a conclusão.

2. PROPOSTA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos esperados para o desenvolvimento do projeto foi proposta uma metodologia de desenvolvimento contendo etapas de processamento de imagens. Na Figura 1 é possível observar uma visão geral dessa metodologia.

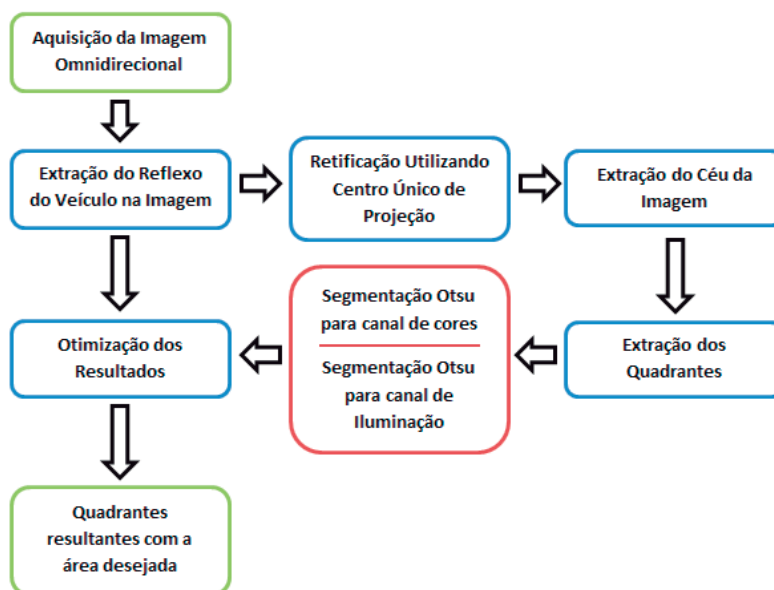


Figura 1 - Visão geral das etapas do sistema de visão

Na Figura 1 é possível observar que a metodologia foi dividida em várias etapas. A etapa de Aquisição da Imagem Omnidirecional tem como objetivo obter imagens com boa qualidade, abstraindo particularidades encontradas no ambiente agrícola. Na etapa de extração do reflexo do veículo, é eliminada a região do veículo na imagem para aumentar a eficiência das etapas posteriores. Na etapa de retificação utilizando Centro Único de Projeção, a etapa omnidirecional originalmente obtida é transformada em uma imagem panorâmica utilizando, no método de retificação, a propriedade de Centro Único de projeção presente no espelho hiperbólico utilizado. Após a retificação, na imagem panorâmica ocorre a extração do céu, visando aumentar a eficiência da etapa de segmentação e após é executada a extração de quadrantes, buscando extrair da imagem panorâmica quatro quadrantes onde cada um é correspondente a um lado de visão do veículo. Assim, em cada quadrante é aplicado o algoritmo de segmentação. Dependendo da presença de verde no quadrante, o algoritmo de segmentação é aplicado em canais diferentes do espaço de cores HSV. Após a segmentação, é aplicadas técnicas para otimização dos resultados obtidos, como uma máscara de detecção de caminhos e o algoritmo de limpeza de área, gerando ao final do processo os quatro quadrantes resultantes com as áreas desejadas. Detalhes de cada etapa estão presentes nas próximas seções.

2.1. AQUISIÇÃO DE IMAGENS



Para a construção do sistema de visão utilizou-se aço e alumínio por serem materiais resistentes as vibrações geradas pelas irregularidades do terreno. Para os experimentos foi utilizada uma câmera Ximea xiQ USB 3.0 modelo MQ013CG-E2, capaz de adquirir imagens 640x480 pixels. Mesmo a câmera suportando resoluções maiores, a escolha dessa configuração é motivada pelo comprimento que a imagem panorâmica é gerada pelo processo de retificação, uma vez que imagens muito grandes aumentam os custos de processamento. O sistema de exposição de luz e balanço de brancos da câmera foram ligados para obter uma melhor qualidade das imagens devido as condições encontradas no ambiente. O suporte foi alocado na parte central superior do veículo, contemplando o campo de visão em ambas as direções da imagem. A distância entre câmera e espelho deve permitir que o reflexo da câmera e do veículo na imagem obtida não obstrua informações importantes do ambiente para o problema tratado. Na Figura 2 é possível analisar a alocação do sistema no veículo.

2.2. ETAPA DE RECORTE DO VEÍCULO

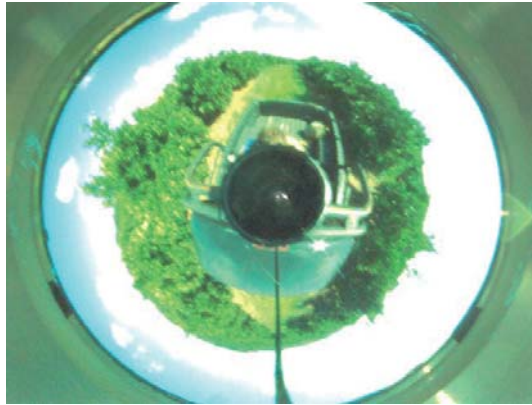
Dependendo da forma em que o sistema de visão foi alocado no veículo, pode surgir na superfície do espelho uma região destinada área à reflexão do veículo. Por se tratar de uma área pouco interessante para o problema tratado e também visando aumentar a eficiência do algoritmo de segmentação, essa área deve ser eliminada.



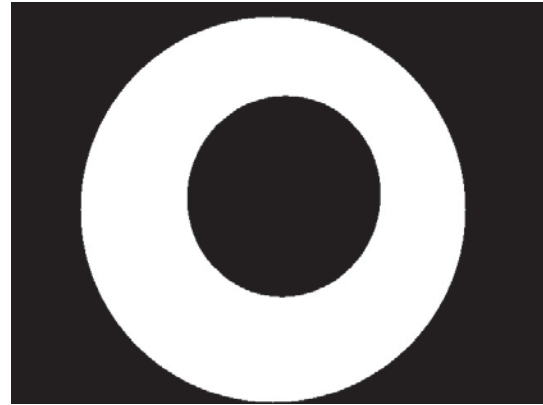
Figura 2 - Alocação do sistema omnidirecional no veículo

Uma máscara de corte foi configurada com o intuito de definir qual a área de interesse para as demais etapas do sistema. Na Figura 3 (a) é possível verificar uma imagem omnidirecional obtida pelo sistema

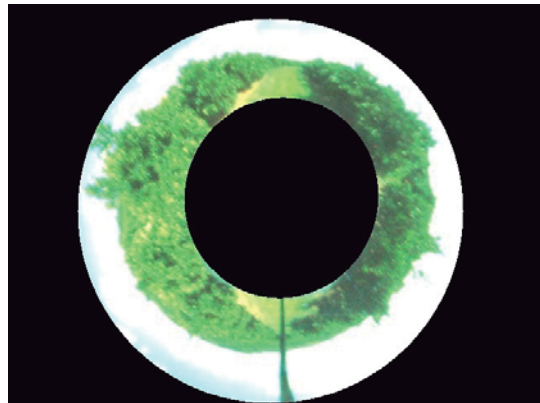
de visão, em (b) é possível observar um exemplo de máscara para essa imagem e em (c) a aplicação da máscara na imagem omnidirecional.



(a)



(b)



(c)

Figura 3 - Aplicação da máscara de interesse nas imagens omnidirecionais. Em (a) a imagem original obtida, em (b) a máscara de corte utilizada e em (c) o resultado dessa etapa de processamento

Nessa etapa, torna-se conveniente a utilização de uma máscara circular, onde o centro corresponda à coordenada central utilizada pelo processo de retificação da imagem, processo descrito na seção 1.3. Essa configuração beneficia etapas posteriores do processo, pois consegue gerar imagens panorâmicas sem a presença de regiões ausentes de informação. Entretanto, deve-se tomar cuidado com informações importantes do ambiente que podem ser eliminadas com a utilização da máscara, necessitando estudar cada caso de forma particular.

3.1. ETAPA DE RETIFICAÇÃO DA IMAGEM

A etapa de retificação consiste na geração de imagens panorâmicas a partir de imagens omnidirecionais. Para isso, foi utilizada a técnica do mapeamento de coordenadas utilizando a propriedade de centro único de projeção do espelho hiperbólico, descrita por Grassi Jr. (GRASSI JR; OKAMOTO JR., 2007). Essa propriedade, presente em espelhos parabólicos e hiperbólicos, permite a utilização de um mapeamento polar linear, gerando no processo de retificação uma imagem livre de distorções verticais. Na Figura 4 é possível verificar o resultado dessa etapa de processamento.

A etapa de retificação da imagem possibilita utilização de técnicas de



Figura 4 - Retificação da Imagem Omnidirecional

processamento de imagens e inteligência artificial que exigiriam uma adaptação caso fossem aplicadas diretamente nas imagens panorâmicas.

2.4. ETAPA DE EXTRAÇÃO DO CÉU DA IMAGEM

Outra região presente na imagem capturada é o céu. A extração desse elemento é necessária pois permite aumentar a eficiência do algoritmo de segmentação aplicado.

Para realizar essa operação, foi aplicado dois thresholds no espaço de cores HSV da imagem, técnica aplicada apenas na metade superior da imagem panorâmica. A limitação da região de aplicação torna o processo mais rápido e reduz erros, uma vez que a técnica é aplicada apenas na

região em que o céu pode estar localizado.

O primeiro threshold tem como objetivo retirar a área azul do ambiente. Os limiares encontrados para segmentar essa região foram mínimo de 150° e máximo de 270° para o canal Hue e mínimo de 110 e máximo de 255 para o canal Value. O canal precisou ser verificado para ignorar pixels pretos que possam ter valores dentro dos limites estabelecidos no canal Hue.

O segundo threshold tem como objetivo segmentar áreas que contenham nuvens. Nessa técnica é utilizado o intervalo de 0 à 20 para o canal Saturation e intervalo de 240 à 255 para o canal Value. Na Figura 5 é possível verificar um resultado dessa etapa de processamento.

2.5. ETAPA DE EXTRAÇÃO DE QUADRANTES

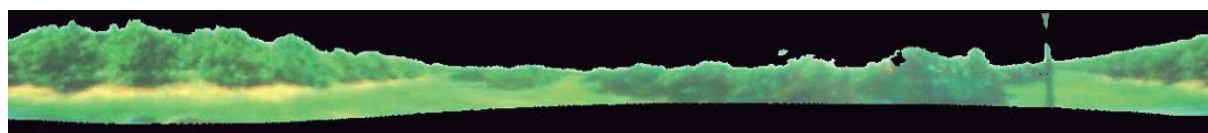


Figura 5 - Etapa de extração do céu da imagem

Ao navegar por cenários naturais desestruturados, a imagem frequentemente contém informações de diferentes colorações de plantas e solos. Quando o veículo estiver no final de uma linha de navegação, a imagem capturada pode conter informações de várias outras ruas, árvores de vários tipos, sombras e mudança repentina da coloração do terreno. O isolamento da visão de cada lado do veículo em imagens separadas pode ser uma abordagem interessante, uma vez que o algoritmo de segmentação se baseará apenas nas informações próximas e é possível assim avaliar um limiar para cada tipo de cenário encontrado. Assim, essa abordagem visa melhorar a eficiência da etapa de segmentação.

A extração de quadrantes visa separar a imagem panorâmica em quatro novas imagens onde cada uma representa um lado de visão do veículo.

2.6. PRESENÇA DE VERDE NAS IMAGES

O trabalho utiliza duas formas de aplicação para o algoritmo de segmentação Otsu Threshold. A condição que define qual técnica será executada é a presença de regiões verdes no quadrante analisado.

Para encontrar a presença das regiões verdes, um novo threshold em espaço HSV é executado no quadrante utilizando o intervalo de limiares 90° à 150° para o espaço Hue e o intervalo de 50 à 255 para o

canal Value. O canal Value é utilizado como filtro desse processo para não abranger regiões de pixels pretos.

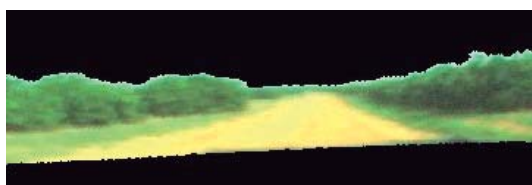
Após selecionar a região da imagem que pertencem aos pixels verdes, é possível verificar a porcentagem de pixels verdes presentes na imagem.

2.7. ADAPTAÇÃO DO OTSU THRESHOLD

O algoritmo de segmentação por cor Otsu Threshold (OTSU, 1979) tem como objetivo encontrar o melhor valor para se dividir um histograma de uma imagem em escala de cinza. Para isso, o método busca encontrar o maior grau de variância entre diferentes grupos de pixels. É possível analisar a aplicação desse algoritmo em vários trabalhos da área (JIANG, ZHAO, 2010; JIANG et al., 2013). O algoritmo foi escolhido por permitir resultados satisfatórios em um tempo de processamento bastante rápido, beneficiando diversas aplicações. Com a utilização desse algoritmo, em conjunto com as técnicas e resolução das imagens utilizadas, foi possível obter resultados em tempo real.

No projeto, o algoritmo Otsu Threshold foi adaptado para que pudesse ser executado em grupos de pixels específicos do histograma da imagem. O objetivo dessa adaptação é encontrar o pixel que representa o maior grau de variância dentro de um grupo de pixels. Nas duas técnicas utilizadas o algoritmo é executado duas vezes nos canais especificados, onde a primeira execução é analisado todo o histograma e a segunda apenas o grupo de pixels em que o limite inicial é definido pelo primeiro limiar calculado.

2.8. OTSU THRESHOLD PARA O CANAL DE CORES



(a)



(b)

Figura 6 - Aplicação do Otsu Threshold no canal de cores, onde em (a) é possível observar o quadrante analisado e em (b) o resultado da segmentação

Nos quadrantes que possuem uma participação de verde inferior a 80%, é aplicada a técnica do Otsu Threshold no espaço de canal Hue. Esse método será aplicado em cenários onde as ruas para navegação destacam-se das áreas representadas pelos pomares. Como o algoritmo de segmentação é adaptado para ser executado mais de uma vez no intuito de maximizar a eficiência dessa etapa, o limiar calculado na primeira execução do algoritmo é utilizado como parâmetros de entrada para uma segunda execução. Na Figura 6 (a) é possível analisar um quadrante com pouca predominância de verde e em (b) é possível verificar um resultado dessa etapa de segmentação.

2.9. OTSU THRESHOLD PARA MÚLTIPLOS CANAIS

Quando a participação de verde nos quadrantes for superior a 80%, ou seja, quando as regiões dos pomares possuem cores bastante próximas das ruas de navegação, o algoritmo aplicado somente no canal de matiz do espaço de cores HSV torna-se pouco eficiente. Para segmentar as imagens com essa condição utilizamos o algoritmo Otsu Threshold Adaptado nas informações do canal Value. Assim, o canal Hue é utilizado para filtrar os pixels verdes e, com a técnica Otsu, a relação de luminosidade é aproximada para obter as regiões desejadas. Na Figura 7 (a) está ilustrada um quadrante predominantemente verde e em (b) é possível analisar os resultados obtidos por essa técnica.

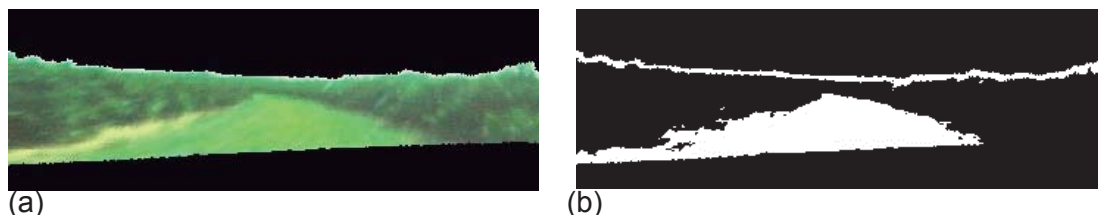


Figura 7 - Aplicação do Otsu Threshold em regiões predominantemente verdes, onde em (a) é possível observar o quadrante analisado e em (b) o resultado da segmentação

2.10. ALGORITMOS PARA OTIMIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Após o processamento da segmentação, é necessário aprimorar os resultados obtidos até o momento. A primeira etapa para esse procedimento é a aplicação de uma máscara que limita a região em que se pode encontrar a rua de navegação. Essa máscara deve ser definida fora da etapa de execução do sistema, e pode ser única para cada quadrante da imagem. O tamanho e formato da máscara podem também variar de acordo com cada aplicação.

Na Figura 8 é possível verificar um exemplo de máscara para detecção de caminhos.

Mesmo com a aplicação da máscara, a imagem ainda pode apresentar regiões pequenas ou insatisfatórias na imagem que podem atrapalhar os procedimentos de pós-processamento. É necessário eliminar essas regiões que não possuem importância para o problema tratado. Um método foi criado para realizar a limpeza dessas regiões. Nesse algoritmo, o objetivo é encon-



Figura 8 - Exemplo de máscara de corte para detecção de caminhos

trar regiões pequenas de pixels brancos e eliminá-los.

O algoritmo percorre a imagem da esquerda para a direita e de cima para baixo. Após, calcula-se a quantidade de pixels brancos consecutivos para todos os lados do pixel analisado e, caso a quantidade for menor que um valor pré-definido em pelo menos três lados do pixel, o pixel torna-se preto. Foi utilizado o valor de 5 pixels de tolerância para utilização desse algoritmo. Na Figura 9 (a) é possível observar um quadrante após a etapa de segmentação e em (b) é possível analisar os resultados obtidos pelas técnicas de otimização dos resultados.

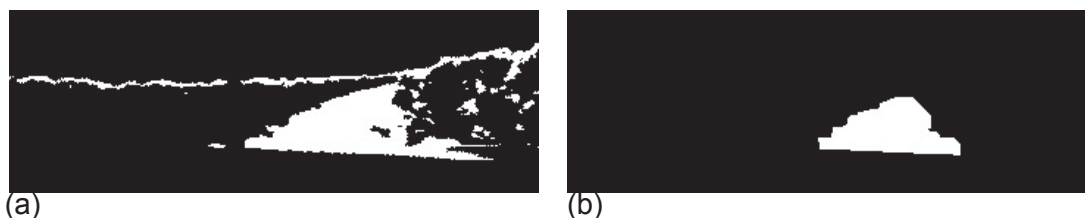


Figura 9 - Eficiência do algoritmo de limpeza de regiões

3. RESULTADOS

Para demonstração dos resultados é possível observar um momento que o veículo se encontra realizando a navegação entre linhas de plantio de pomares, confor-

me ilustrado na Figura 10, sendo que em (a) é possível visualizar a visão frontal do veículo, em (b) a visão lateral direita do veículo, em (c) a visão da traseira do veículo e em (d) a visão lateral esquerda do veículo.

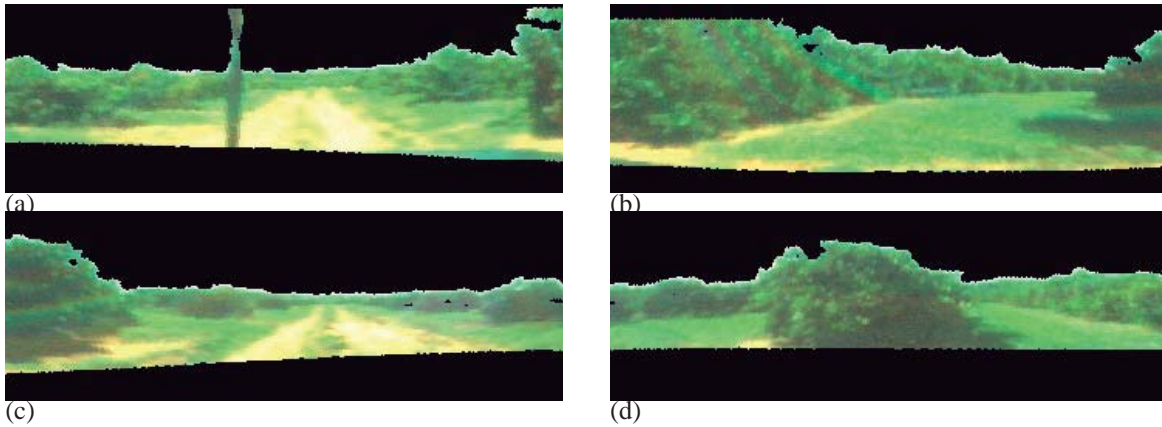


Figura 10 - Quadrantes resultantes da situação analisada

Para cada quadrante é calculada a porcentagem de verde. Nesse cenário, os quadrantes (b) e (d) apresentaram uma porcentagem maior ou igual a 80%, enquanto que os quadrantes (a) e (c) apresentaram uma porcentagem inferior a 80%. Assim, nos quadrantes (b) e (d) foram aplicadas as técnicas do Otsu Threshold para múltiplos canais, enquanto que nos quadrantes (a)

e (c) foram aplicadas as técnicas do Otsu Threshold para o canal Hue do espaço HSV. Na Figura 11 é possível observar os resultados dessa etapa de segmentação. É possível identificar em cada quadrante as regiões brancas que podem representar caminhos de navegação. Aplicando a máscara de corte e os algoritmos de limpeza, é possível obter os resultados ilustrados na Figura 12.

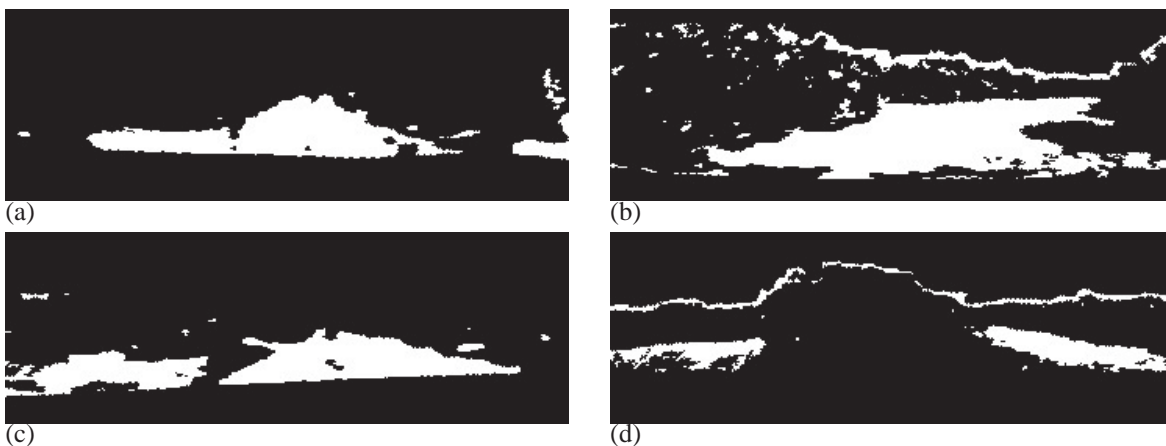


Figura 11 - Resultados da etapa de segmentação com aplicação do Otsu Thresholding

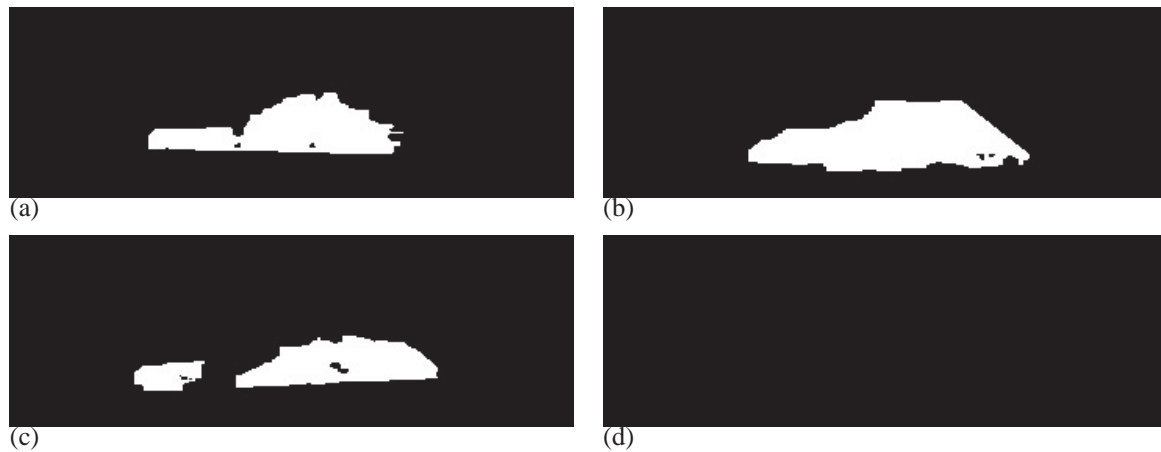


Figura 12 - Resultados da Etapa de Inserção de Máscara e Otimização dos resultados

Na Figura 12 (a) pode-se identificar o caminho que o veículo estava percorrendo no momento da captura da imagem, reconhecendo a eficiência do processo. Em (b) identifica-se uma possibilidade de rota alternativa na lateral direita do veículo, sem demais observações. Em (c), são observadas duas áreas candidatas para serem trajetórias para navegação, porém essas áreas, na etapa de pós-processamento, devem ser avaliadas se suportam as medidas físicas do veículo. Como o quadrante (c) ilustra as informações da traseira do veículo, a região menor presente no quadrante pode já ter sido avaliada em um momento anterior.

Na Figura 12 (d) foi possível identificar que nenhum caminho foi selecionado na imagem. Isso porque no quadrante original existia um obstáculo na imagem. Com a aplicação da máscara de corte, as áreas identificadas na etapa de segmentação ficaram fora do limite do campo de visão.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto a construção do sistema de visão e aspectos encontrados do ambiente, foi possível concluir que a visão omnidirecional, apesar da utilização massiva em ambientes fechados e controlados, pode ser aplicada em problemas presentes na área da agricultura de precisão. É possível também obter imagens com boa qualidade, apesar dos desafios propostos pelo

dinamismo do ambiente. Para isso, devem-se tomar precauções no desenvolvimento do sistema e construção dos equipamentos.

A Etapa de Retificação da Imagem permite a aplicação de novos métodos relacionados a problemas que envolvem a Agricultura de Precisão, porém é necessário atenção na utilização em ambientes desestruturados. Além disso, a eficiência da etapa de segmentação está diretamente ligada à combinação de técnicas para o isolamento de regiões importantes para o sistema.

Como proposta de melhoria, o suporte do sistema de visão pode ser alocado a uma altura maior no veículo utilizado, de forma que a área de interesse da imagem seja mais abrangente. Isso permitiria também utilizar máscaras de corte menores para extração da área do reflexo do veículo, aumentando a quantidade de informações no sistema. Além disso, a utilização de uma máscara de corte de formato circular e que esteja corretamente alinhada com o centro-base da retificação da imagem também seria ideal para facilitar a utilização das imagens resultantes nas etapas de pós-processamento da imagem.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio nessa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

BAKER, A.; ALIVERTI, P.; LUCIONI, M. *An omnidirectional vision sensor for fast tracking for mobile robots*. Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1999. IMTC/99. Proceedings of the 16th IEEE. 2000.

BAKER, S.; NAYAR, S. K. A Theory of Single-Viewpoint Catadioptric Image Formation. In: INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER VISION, P. 175-196, 1999.

BONARINI, A.; ALIVERTI, P.; LUCIONI, M. *An omnidirectional vision sensor for fast tracking for mobile robots*. Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1999. IMTC/99. Proceedings of the 16th IEEE. 2000.

DIAZ, J. F. A. et al. AgriBot - Mobile robot to support of agricultural precision activities. 22nd International Congress of Mechanical Engineering, COBEM, Ribeirão Preto, p. 6243-6254, nov., 2013.

GRASSI JR, V.; OKAMOTO JR., J. 2007. *Development of an omnidirectional vision system*. Mechatron-

ics and Machine Vision in Practice.

ISHIGURO, H. 1998. Development of Low-Cost Compact Omnidirectional Vision Sensors and their applications. International Conference on Information Systems – ICIS.

JIANG, H.; XIAO, Y.; ZHANG, Y.; WANG, X.; TAI, H. 2013. Curve Path Detection of Unstructured Roads for the Outdoor Robot Navigation.

JIANG, G.; ZHAO, C. 2010. A Vision System Based Crop Rows for Agricultural Mobile Robot. In. International Conference on Computer Applications and System Modeling.

NAYAR, S. *Catadioptric omnidirectional camera*. IEEE Computer Society Conference, 1997.

NEPAS. Núcleo de ensino e pesquisa em automação e simulação: AgriBOT. Disponível em: <<http://www.simulacao.eesc.sc.usp.br/roboticaagricola/index.php/robos-agricolas/agriBOT>>. Acesso em: 3 ago. 2014.

OTSU, N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics, 9(1):63–66.

Victor de Assis Rodrigues: aluno de mestrado junto ao Programa de Pós Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, campus de São José do Rio Preto. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Visão Computacional.

Vinicius Bergoli Trentini: aluno de mestrado junto ao Programa de Pós Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, campus de São José do Rio Preto. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Visão Computacional.

Luciano Cássio Lúlio: pesquisador do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Automação e Simulação (NEPAS) pelo Departamento de Engenharia Mecânica (SEM/EESC/USP) da Universidade de São Paulo. Atua em projetos de pesquisa em computação reconfigurável e evolutiva, sistemas de controle e algoritmos cognitivos em sistemas microcontrolados embarcados aplicados à robótica móvel e industrial.

Mário Luiz Tronco: Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela Universidade de São Paulo (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1993) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1999). Atualmente é professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da EESC - USP. Suas áreas de atuação incluem: robôs móveis autônomos, redes neurais artificiais, visão computacional, automação da manufatura e aplicações de redes de alta velocidade. É professor orientador junto ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da EESC - USP - São Carlos.