

Contagem de Carunchos do Bambu através de Técnicas de Limiarização

Pedro Lucas França Albuquerque*, Bruno Aristimunha Pinto^{†§}, Jean Marcel Peres Martins*
Edilson Soares da Silveira^{††}, Marney Pascoli Cereda[†], Hemerson Pistori*

* Grupo de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Visão Computacional (INOVISÃO),

[†] Centro de Tecnologia e Análise do Agronegócio (CeTeAgro),
Universidade Católica Dom Bosco (UCDB)

[‡] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (IFMS) câmpus Campo Grande.

[§] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Faculdade de Computação - FACOM

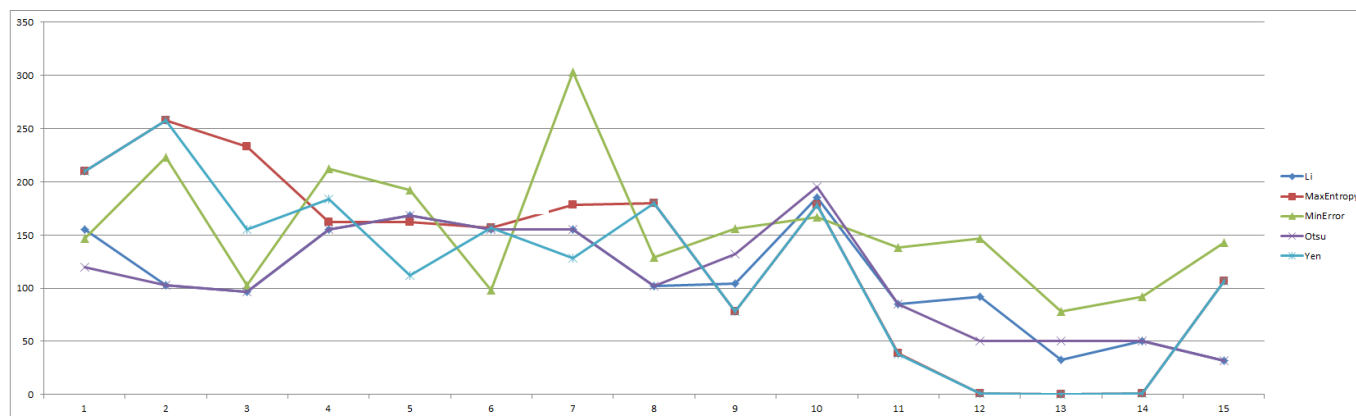


Figura 1. Resultados de experimentos com 5 técnicas de segmentação para rastreamento de carunchos do bambu.

Resumo—Buscando a valorização da utilização do bambu no Brasil, estão sendo desenvolvidos estudos com diferentes espécies e inseticidas para reduzir o impacto de sua principal praga, que é o caruncho-do-bambu. Um equipamento foi desenvolvido em Mato Grosso do Sul para dar maior agilidade a estes estudos que envolvem a análise do comportamento do caruncho em ambientes controlados. Neste artigo se apresenta o resultado de experimentos com cinco técnicas de limiarização que estão sendo utilizadas na construção de um módulo de visão computacional para automatizar a contagem de carunchos na arena utilizada na análise do comportamento deste inseto.

Keywords—Visão computacional; Insetos; Bambu; Limiarização;

Abstract—In order to increase the promotion and development of the use of bamboo in Brazil, studies with several species and insecticides have been developed to alleviate the impact of its major pest: the beetle *Dinoderus minutus*. A test arena was engineered in the state of Mato Grosso do Sul to increase the agility of these studies that concern the analysis of it *Dinoderus minutus* behaviour in controlled environment. This paper provides an evaluation of five thresholding methods applied in a computer vision application of automated insect counting used in the behavioural analysis of this insect.

Keywords—Computer vision; Insects; Bamboo; Thresholding;

I. INTRODUÇÃO

Os insetos da ordem Coleoptera destacam se como os mais importantes dentre aqueles que são prejudiciais aos ecossistemas florestais [1, Berti *et al.*, 1979]. Estes animais representam 40% das espécies de insetos conhecidas e 25% de todas as espécies animais e vegetais já descritas [2, Resh e Carde, 2003]. Apesar de serem encontrados nos mais variados ambientes, a grande maioria dos besouros é terrestre [3].

De acordo [4, Lima, 1955] as brocas da família Bostrichidae atacam madeiras secas estocadas e recém colhidas. Segundo [5, Carrio, 1997], larvas de brocas que atacam madeira, formam galerias através de perfurações, geralmente no mesmo sentido das fibras, alimentando-se delas. Estas larvas, [6, Oliveira *et al.*, 1986], alimentam-se do amido, proteínas e açúcares armazenados nas células da madeira, sendo incapazes de digerir a celulose. Para [7, Matoski, 2005], os Bostrichideos podem causar grandes prejuízos econômicos, sendo que, a praga mais preocupante contra o bambu, é a espécie *Dinoderus minutus*, conhecido como praga do bambu.

O *D. minutus* foi descrito cientificamente pela primeira vez, em 1775, pelo entomologista dinamarquês Johan Christian Fabricius (1745-1808). Segundo [8, Spilman, 1982], esse caruncho é um inseto cosmopolita, adaptando-se muito facilmente em diferentes regiões do mundo, sendo comum em

estoques de bambu pós-colheita.

Segundo [9, Plank, 1948], o caruncho do bambu é mais ativo em baixa luminosidade, no qual tanto os adultos como as larvas alimentam-se dentro de colmos armazenados. Ainda, os adultos penetram no bambu através de feridas ou das extremidades cortadas e fazem túneis perpendiculares às fibras parenquimáticas, em torno dos colmos, onde os ovos são depositados. Também, para [10, Yanwen *et al.*, 1996], o *D. minutus* não tem reação fotoestática em direção à luz. Ainda segundo estes autores, os adultos possuem uma grande capacidade de tolerância à fome.

O tamanho deste inseto adulto varia de 3 a 4 mm de comprimento e 1 a 1,5 mm de largura, com cor castanho-avermelhada e preto-acastanhada e com um corpo cilíndrico [11, Gorski *et al.*, 2003]. Como se trata de um inseto muito pequeno, [12, Silva, 2011] sugere que no manejo destes em experimentos, convém utilizar um pincel fino com a ponta umedecida para transferi-lo de um lugar a outro, pois devido as dimensões reduzidas dos carunchos, a pinça entomológica pode ser muito agressiva, podendo deslocar seus élitros, inviabilizando seu uso nos ensaios de deterioração.

Experimentos envolvendo o caruncho do bambu geralmente são realizados sob a supervisão humana, podendo ocorrer análises imprecisas recorrentes da fadiga, pois as observações podem durar até 72 horas além de que as dimensões corporais deste inseto são muito pequenas. A partir desta problemática, foi desenvolvido um software e analisado o seu desempenho para contagem e rastreamento do caruncho a partir da utilização de técnicas de limiarização.

No presente trabalho, analisamos uma variedade de métodos de limiarização, baseados no estudo de desempenho realizado por [13, Sezgin e Sankur, 2004] que classificou 40 técnicas com enfoques diferentes. Seleccionamos quatro técnicas que obtiveram alto desempenho em análise de imagens de testes não destrutivos: Li, MaxEntropy, MinError, Otsu e Yen.

Para análise do desempenho do software, foram realizados testes a partir de uma série de experimentos. Os dados coletados (imagens) foram armazenados e organizados em um banco de imagens da Universidade Católica Dom Bosco - UCDB, contendo os insetos marcados manualmente, em um sequência de quadros. A criação deste banco de imagens é uma das consequências deste trabalho, e pode ser acessado em http://trac.gpec.ucdb.br/wiki/site_bambu/CARUN30T.

Apresentaremos na Seção II algumas pesquisas correlatas e, na Seção III, são descritas a segmentação e as técnicas de limiarização utilizadas nos experimentos. Os resultados e discussões realizados, a partir da execução dos testes e coleta dos dados, estão na Seção IV. Por fim, as conclusões e sugestões para trabalhos futuros aparecem na última seção.

II. SEGMENTAÇÃO POR LIMIARIZAÇÃO

Segmentação, para [14, Szeliski, 2010], consiste em particionar uma imagem em duas partes, de forma a identificar corretamente as regiões com objetos e um fundo. Há vários conjuntos de técnicas com estratégias variadas para este particionamento, entre eles, as técnicas de limiarização.

Por definição, limiarização com binarização é a segmentação da imagem em duas classes: plano do objeto e plano de fundo, através da seleção de um limiar no valor de intensidade dos pixels [15, Yen *et al.*, 1995]. As técnicas de limiarização são amplamente utilizadas em visão computacional pela facilidade de implementação e, também pelo, baixo custo computacional.

Para particionar a imagem de entrada nestas duas classes, as variadas técnicas de limiarização utilizam diferentes atributos da imagem a fim de obter um limiar de intensidade (T) ótimo. O valor de T é ótimo quando a imagem do objeto de interesse é integralmente apresentada no plano do objeto e todos os objetos remanescentes estão no plano de fundo [16].

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{se } f(x, y) > T \\ 0, & \text{se } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

As cinco técnicas selecionadas para este trabalho podem ser divididas em duas categorias: aglomeração e entropia. O primeiro grupo consiste em algoritmos que dividem a imagem em duas classes, essa separação pode acontecer se os objetos de cada classe possuem o máximo de similaridades entre si. Em contrapartida, o segundo grupo utiliza a entropia das regiões do plano do objeto e plano de fundo, a entropia cruzada entre a imagem original e a binarizada.

Dentre os métodos de aglomeração, Otsu é um dos mais referenciados, seu funcionamento consiste na seleção do ponto de limiarização através da minimização da soma ponderada da variância entre-classe dos pixels do plano de fundo e do plano do objeto para estabelecer um limiar ótimo. Esta técnica mostra que minimizar a variação intra-classes é o mesmo que maximizar a variação entre as classes [17, Otsu, 1979]. No mínimo erro, a escolha do limiar é realizada otimizando uma função de classificação do histograma. Este parâmetro é designado para minimizar a classificação de probabilidade de erro baseando-se na condição de que os histogramas são representados por densidades de misturas Gaussianas [16].

Dentre os algoritmos baseados em entropia, Li utiliza o método de limiarização por entropia mínima cruzada que utiliza o critério de consistência de dados entre a imagem original e a binarizada [18, Barron e Butler, 2006]. Máxima Entropia e Yen consideram as duas classes de imagem (plano do objeto de plano de fundo) como duas fontes de sinais diferentes, de tal forma que quando a soma das entropias das duas classes é máxima, a imagem atingiu o limiar ótimo de segmentação [19, Kapur *et al.*, 1986][18, Barron, 2006]. Pode-se analisar o efeito de cada método aplicado em uma região das imagens utilizadas neste projeto na Figura 2.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos com carunchos foram realizados no Instituto Sao Vicente, Base de Pesquisa da Universidade Católica Dom Bosco - UCDB e no Centro de Tecnologia e Análise do Agronegócio - CeTeAgro, localizados no município de

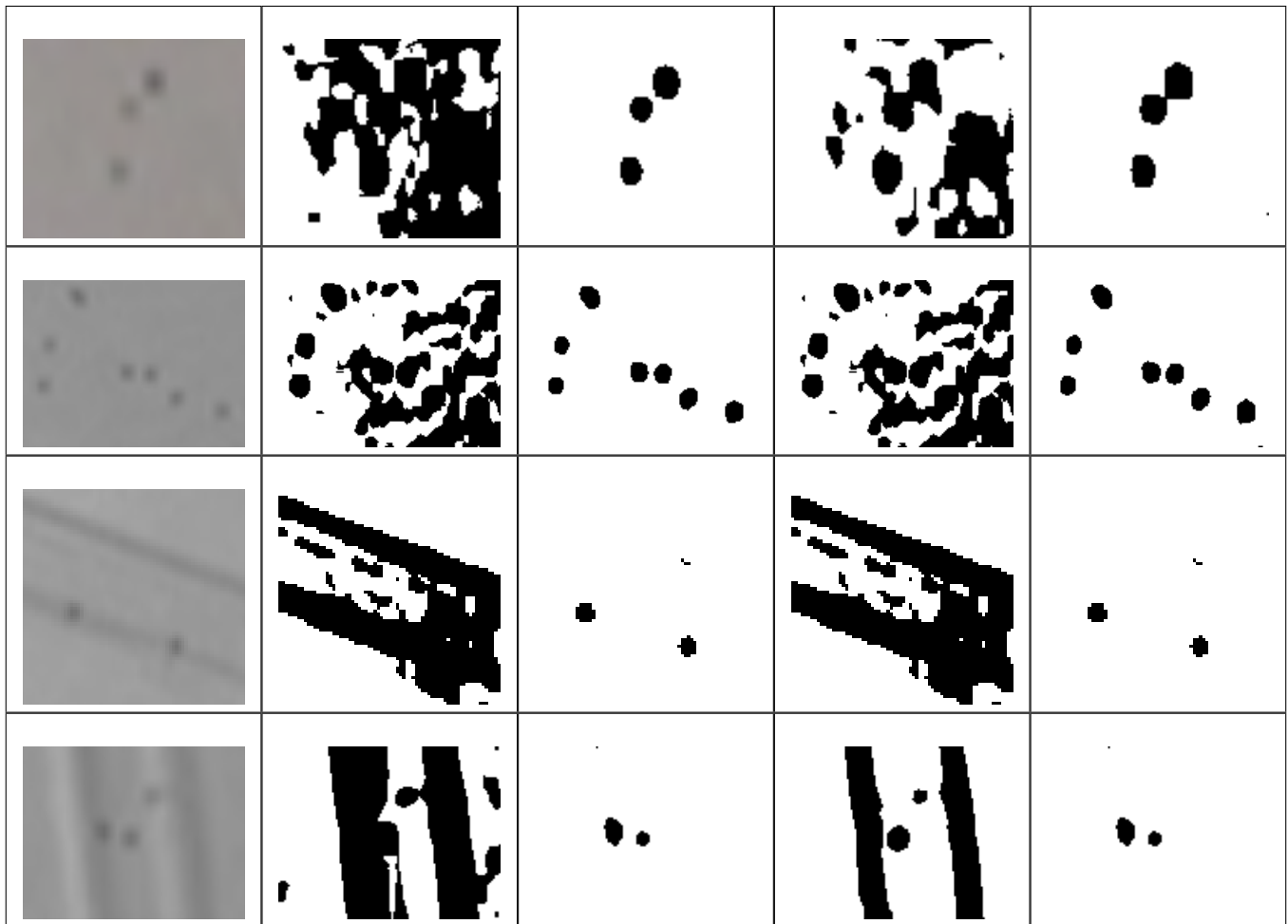


Figura 2. Primeira coluna com a imagem de entrada, seguido da saída dos métodos: Li, MaxEntropy, MinError e Yen, respectivamente.

Campo Grande – MS, com coordenadas geográficas 20 23' 14" latitude sul e 54 36' 29" latitude oeste, a 532 metros de altitude.

A sala utilizada para a realização dos experimentos possuía área de 9 m², iluminada com duas lâmpadas tubulares frias de 20 W. Neste ambiente foi disposta uma arena de acrílico transparente (Figura 3), com diâmetro de 2,40 m, apoiada sobre um tecido branco para destacar a visualização do caruncho. A utilização de tecido com o objetivo de neutralizar uma determinada área de visualização é uma prática comum na realização de experimentos com insetos.

Destaca-se algumas características dessa arena, tais como, uma região central cilíndrica que é utilizada para a liberação dos carunchos e, ao final dos prolongamentos, blocos retangulares com as distribuições de dietas para verificar a atração deste inseto. Esta arena encontra-se submetida para patente sob solicitação de privilégio com o número de protocolo BR 10 2014 027689 0 GRU 0000221406308972.

No ensaio registrado, em cada uma das extremidades da arena foi depositado um tolete de bambu desidratado da espécie *Bambusa vulgaris*, com 10 cm de altura e 4 cm de largura. Para estabilidade da filmadora foi adaptado um

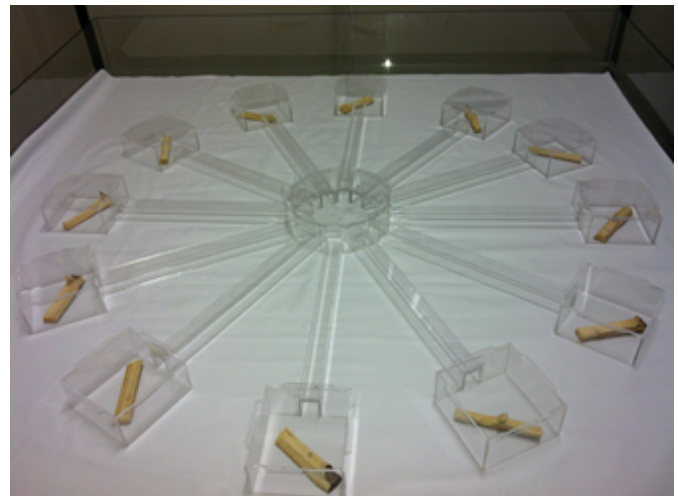


Figura 3. Ambiente experimental, arena de acrílico.

suporte metálico proposto por [20, Borea e Naka, 2013], que aprimorou a qualidade das imagens, tornando a captura mais

apropriada para o processamento. A construção do banco de imagens consistiu do registro dos experimentos com carunchos, gravados com a filmadora Sony DCR-SR300, lentes Carl Zeiss Vario-Sonnar, com a resolução de 720 x 480 pixels e 30 quadros por segundo.

No tratamento das imagens, recortou-se o vídeo em 10 intervalos com 1 minuto de duração cada. Estas imagens captavam movimentações relevantes, tais como movimentações rápidas ou aglomeração de carunchos. Nesses trechos, houve a marcação manual de um quadro, a cada 4 segundos de vídeo, obtendo 15 quadros por vídeo, a junção desses quadros foi utilizada para a criação das imagens de referência.

Com o auxílio do software ImageJ [21, Scheider, 2012], identificou-se as posições (x,y) aproximadas em pixels do centro de massa dos carunchos, nas imagens de referência. Com esses dados, realizou-se a comparação entre as técnicas, sendo a marcação em vermelho a técnica manual e as marcações em azuis as técnicas aplicadas, como destacado na Figura 4.

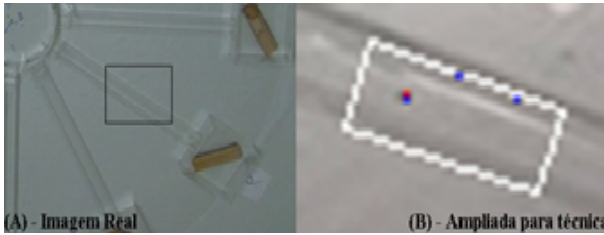


Figura 4. Figura correspondente ao esboço da arena.

Para avaliar o desempenho de cada técnica de limiarização definiu-se a métrica da distância Euclidiana, sendo que essa distância é determinada por:

$$d_{ab} = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}$$

Entre o ponto encontrado pela técnica, ponto A (x_a, y_a), e a marcação manual, ponto B (x_b, y_b). Assim, quanto menor o valor encontrado, mais precisa será a técnica, segundo as imagens de referência. Caso haja diferença na quantidade de elementos entre a referência e a técnica, alguns pontos não possuirão par equivalente, portanto, é considerada como distância euclidiana, a distância máxima entre dois pontos no interior da Região de Interesse - ROI.

A definição do acerto (verdadeiro positivo) ocorreu quando os métodos realizam a marcação dentro do raio de precisão. Esse parâmetro foi identificado por meio do ImageJ, no qual mensuramos no banco de imagens, o tamanho do inseto, possuindo 5 pixels de raio, no máximo, e para segurança amostral, devido à imprecisão manual, optou-se pelo dobro como raio de precisão, ou seja, 10 pixels.

Com isso, os falsos positivos são os pontos das técnicas que não possuem par correspondente dentro do raio de precisão e, da mesma forma, falsos negativos serão os pontos da marcação manual isolados. Desta forma, todos os pares que não possuem distância Euclidiana menor que o raio de precisão é constituído de um falso positivo e um falso negativo.

Com isso, consequentemente, evidenciou-se mais três métricas avaliativas consequentes para observarmos o comportamento das técnicas, sendo: falso positivo, falso negativo e verdadeiro positivo.

Para identificar se as técnicas de limiarização diferem estatisticamente em relação ao desempenho através da métrica da distância Euclidiana, foi utilizado o teste não-paramétrico de [22, Friedman, 1940], disponível no software estatístico R, versão 3.1.2. Cada bloco correspondeu a um dos dez vídeos, com um nível de significância de noventa e cinco por cento ($p\text{-value} < 0.05$) e com o pós-teste (post hoc) utilizado, também disponível no R. O teste post-hoc tem como base o teste de Wilcoxon com correção para FWER (Family-wise Error Rate) descrito por [23, Hollander e Wolf, 1999].

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando a metodologia apresentada, obtivemos as distâncias Euclidianas totais, uma métrica de precisão, de cada quadro nas diferentes técnicas utilizadas. A Tabela I apresenta a média dos falsos positivos, falsos negativos e verdadeiros positivos totais dos vídeos.

Tabela I
MÉDIA CINCO TÉCNICAS DE LIMARIZAÇÃO EM 10 VÍDEOS

Técnica	Falsos Positivos	Falsos Negativos	Verdadeiros Positivos
Li	24,9	19,6	10,6
MaxEntropy	17,6	18,5	11,7
MinError	20,7	21	9,2
Otsu	21,8	20,1	10,1
Yen	15,8	17,1	13,1

O desempenho médio corresponde à média aritmética das distâncias Euclidianas de todos os quadros do vídeo correspondente. Na Tabela II, apresentamos o desempenho médio das técnicas nos dez vídeos. Os dados em destaque ressaltam o melhor desempenho no vídeo (menor distância Euclidiana). Apresentamos na penúltima linha a média geral e, posteriormente, o desvio padrão.

Tabela II
DESEMPENHO MÉDIO DAS CINCO TÉCNICAS DE LIMARIZAÇÃO EM 10 VÍDEOS

Vídeos	Li	MaxEntropy	MinError	Otsu	Yen
Primeiro	111	135	154	109	119
Segundo	64	65	64	64	62
Terceiro	129	139	131	119	142
Quarto	32	39	31	24	31
Quinto	49	58	52	49	54
Sexto	38	35	33	38	30
Sétimo	118	59	45	89	56
Oitavo	136	61	61	100	61
Nono	58	64	47	69	51
Décimo	58	73	56	70	70
Média	79,3	72,8	67,4	73,1	67,6
Desvio Padrão	39,70	35,76	41,35	31,10	35,91

Os dados apresentados correspondem à média da distância Euclidiana total por vídeo analisado. Destacamos, na Figura 5, que a menor distância Euclidiana calculada, entre as cinco

técnicas utilizadas, foi obtida pela técnica de Mínimo Erro e, entre as outras, em ordem crescente, foram as técnicas de Yen, Máxima Entropia, Otsu e Li.



Figura 5. Distância Euclidiana média dos 10 vídeos por técnica.

Evidenciamos, na Figura 6, o resultado do processamento do terceiro vídeo, onde podemos notar a proximidade do desempenho das cinco técnicas. Como expor todos os dados não traz informações relevantes, exibimos o resultado por quadro de somente um dos vídeos.

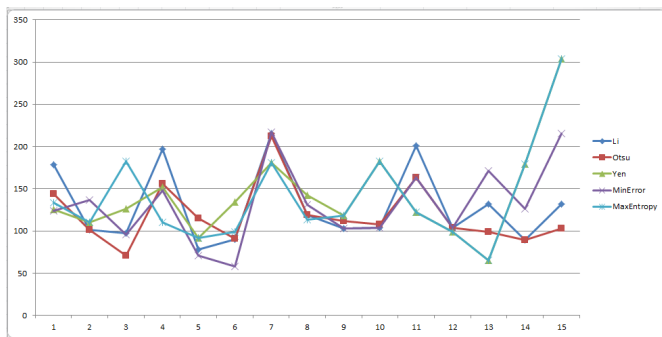


Figura 6. Figura correspondente ao gráfico Distância Euclidiana x Quadros

O valor-p calculado pelo teste de Friedman foi igual a 0.1135 indicando que a hipótese nula não pode ser rejeitada ao nível de significância de 5%, ou seja, analisando o diagrama de caixas observamos que os métodos não divergem estatisticamente, e as técnicas de limiarização possuem o mesmo desempenho neste nível e no ambiente experimental testado.

- MaxEntropy X Li: 0.7703151
- MinError X Li: 0.7279479
 - Otsu X Li: 0.9863594
 - Yen X Li: 0.9060918
- MinError X MaxEntropy: 0.1134126
- Otsu X MaxEntropy: 0.4479781
- Yen X MaxEntropy: 0.2458657
- Otsu X MinError: 0.9497578
- Yen X MinError: 0.9962334
- Yen X Otsu: 0.9962336

O diagrama de caixas (box-plot) presente na Figura 7 também mostra a proximidade dos resultados das técnicas. Os

valores-p obtidos no pós-teste, e apresentados a seguir, indicam que o desempenho de todas as técnicas são estatisticamente equivalentes, já que o menor valor obtido foi de 11%.

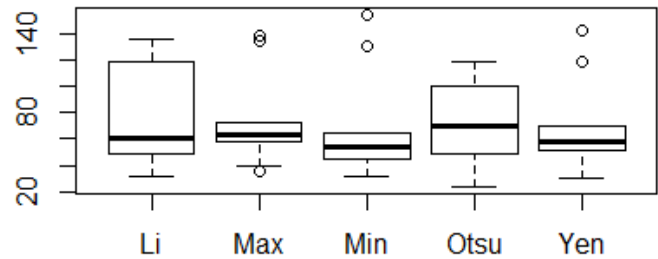


Figura 7. Diagrama de caixas obtido pelo software R.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho, avaliamos o desempenho da contagem do caruncho do bambu com cinco diferentes técnicas de limiarização, sendo: Li, Máxima Entropia, Mínimo Erro, Otsu e Yen.

Para mensurar o desempenho destas técnicas, elaboramos um banco de imagens com diferentes trechos de experimentos com estes insetos, considerando a marcação manual de alguns quadros selecionados. Contrapondo o resultado da contagem com a marcação manual podemos demonstrar que, através de testes de hipótese, as cinco diferentes técnicas de segmentação possuem performance semelhante e não apresentam divergências no resultado final. Em virtude disso, as cinco técnicas podem ser aplicadas.

Para a realização de trabalhos futuros, indicamos que devem ser realizados experimentos com a captura de imagens de melhor qualidade e ambientes noturnos. A aplicação de diferentes técnicas de limiarização e diferentes propostas de avaliação de precisão também podem ser realizadas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu apoio financeiro da Universidade Católica Dom Bosco - UCDB, da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul - Fundect-MS e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ, no Processo 574 516/2008-5.

REFERENCES

- [1] E. B. Filho, "Coleopteros de importância florestal: 1 - scolytidae," *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, no. 39, pp. 39-43.
- [2] V. H. Resh and R. T. Carde, *Encyclopedia of Insects*, 1st ed. Academic Press, 2003.
- [3] C. Gillott, *Entomology*, 3rd ed. Springer, 2005.
- [4] A. M. C. Lima, "Insetos do brasil," 9th tomo (Coleopteros) - *Escola Nacional de Agronomia*, p. 289, 1955.
- [5] J. M. Carrio, *Patologia de cerramientos y acabados arquitectonicos*, 2nd ed. Editorial Munilla-Leria, 1997.
- [6] A. M. F. Oliveira, A. T. de Lelis, E. S. Lepage, G. A. C. Lopez, L. C. S. Oliveira, M. D. Cañedo, and S. Milano, "Agentes destruidores da madeira," E. S. LEPAGE (Coord.) *Manual de preservação de madeiras*, vol. 11, pp. 99-279, 1986.

- [7] S. L. S. Matoski, "Comportamento de *dinoderus minutus fabricius* (1775) (coleoptera: Bostrichidae) em lâminas torneadas de madeira," *iências Florestais*, Universidade Federal do Paraná, 2005.
- [8] T. J. Spilman, "False powderpost beetles of the genus *dinoderus* in north america (coleoptera, bostrichidae)," *The Coleopterists Bulletin. Comut*, vol. 36, no. 41, pp. 193–196, 1982.
- [9] H. K. Plank, "Biology of the bamboo powder-post beetle in puerto rico," *Federal Experiment Station in Puerto Rico*, vol. 44, p. 29, 1948.
- [10] L. Yanwen, Y. Qin, and T. Jindeng, "Major pests infesting bamboo woods and their control," *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, vol. 23, no. 41, pp. 55–56.
- [11] D. N. O. S. N. S. C. R. P. L. Romuald Górski, GALLO and F. E. BERTI, "Evaluation of the effectiveness of natural essential oils in the monitoring of the occurrence of greenhouse whitefly (*trialeurodes vaporariorum* westwood)," *Jornal of Plant Protection*, vol. 9, pp. 393–397, 2003.
- [12] R. G. da Silva, "Tratamento do bambu com ácido pirolenhoso contra a deterioração por brocas," Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de campinas, Campinas, São Paulo, 2011.
- [13] M. Sezgin and B. Sankur, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation," *Journal of Electronic Imaging*, 2004.
- [14] R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer, 2010.
- [15] J.-C. Yen, F.-J. Chang, and S. Chang, "A New Criterion for Automatic Multilevel Thresholding," *IEEE Transactions on Image Processing*, 1995.
- [16] J. Kittler and J. Illingworth, "Minimum error thresholding," *Pattern Recognition*, 1986.
- [17] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979.
- [18] U. Gonzales-Barron and F. Butler, "A comparison of seven thresholding techniques with the k means clustering algorithm for measurement of bread crumb features by digital image analysis," *Journal of Biosystems Engineering*, 2006.
- [19] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, and A. C. K. Wong, "A New Method for Gray-Level Picture Thresholding Using the Entropy of the Histogram," *Graphical Models and Image Processing*, 1986.
- [20] G. Borea and M. H. Naka, "Estudo de um projeto de instrumentação de um aparato para monitoramento do comportamento da preferência alimentar do caruncho de bambu," in *Anais XVII Encontro de Iniciação Científica da Universidade Católica Dom Bosco - UCDB*, 2013.
- [21] C. A. Schneider, W. S. Rasband, and K. W. Eliceiri, "Nih image to imagej: 25 years of image analysis," *Nature Methods*, vol. 9, pp. 671–675, 2012.
- [22] M. Friedman, "A comparison of alternative tests of significance for the problem of m rankings," *The Annals of Mathematical Statistics*, vol. 11, p. 86–92, 1940.
- [23] M. Hollander and D. A. Wolf, *Nonparametric Statistical Methods*. John Wiley & Sons, 1999.