

APLICAÇÃO DA TÉCNICA ÓTICA DO BIOSPECKLE LASER NA ANÁLISE DE QUALIDADE DE FRUTOS DE TOMATES

Thainara Rebelo da SILVA^{1*}, Thaísa Bochat BELLO², Anderson Gomide COSTA³

¹ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Bolsista FAPERJ, Departamento de Engenharia, UFRRJ, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. ² Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Engenharia, UFRRJ, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. ³ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia, UFRRJ, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

*E-mail: thainararebelo3@gmail.com.

RESUMO: Técnicas óticas podem ser utilizadas no desenvolvimento de sensores que possibilitem a análise da variabilidade espacial da qualidade de frutos em campo, além de auxiliar na tomada de decisão do momento de colheita. Objetivou-se com este trabalho, utilizar a relação entre atributos fisiológicos de frutos de tomate e o índice de atividade biológica obtida pela técnica ótica do biospeckle laser para criar classificadores a partir de redes neurais para distinguir frutos de tomates em diferentes estádios de maturação. Um total de 150 tomates em três estádios de maturação foram utilizados no experimento, e se obtiveram atividade biológica e sete atributos fisiológicos. A relação entre os atributos fisiológicos e a atividade biológica foi avaliada utilizando análise de componentes principais. Os escores das componentes principais que apresentaram a porcentagem de explicação acumulada maior que 70,00 % foram utilizados como vetor característica para entrada nas redes neurais para gerar três redes neurais artificiais com distintas entradas. A rede neural que apresentou maior desempenho de classificação obteve um coeficiente Kappa significativo de 0,70 e uma exatidão global de 91,67%, com a entrada de três componentes principais, obtidas pela relação da covariância dos parâmetros atividade biológica, brix, firmeza, teor de água e nível de verde.

Palavra-chave: Visão artificial de máquinas, maturação, redes neurais, análise de componentes principais.

APPLICATION OF BIOSPECKLE LASER OPTICAL TECHNIQUE FOR QUALITY ANALYSIS OF TOMATO FRUIT

ABSTRACT: Optical techniques can be used to develop sensors that enable the analysis of the spatial variability of fruit quality of the field, and assist in decision making the time to harvest. The objective of this research was to use the relationship between physiological attributes of tomato fruits and the biological activity index obtained by biospeckle laser optical technique to create classifiers from neural networks to distinguish tomato fruits at different stages of maturation. A total of 150 tomatoes at three maturation stages were used in the experiment, and biological activity and seven physiological attributes were obtained. The relationship between physiological attributes and biological activity was evaluated using principal component analysis. The principal components scores that presented the percentage of accumulated explanation greater than 70.00% were used as a characteristic vector for input into the neural networks to generate three artificial neural networks with different inputs. The neural network that presented the highest classification performance obtained a significant Kappa coefficient of 0.70 and an overall accuracy of 91.67%, with the entry of three principal components, obtained by the relation of the covariance parameters of biological activity, brix, firmness, water content and green level.

Keywords: Artificial vision machines, maturation, neural networks, principal component analysis.

1. INTRODUÇÃO

O uso de sistemas automatizados aplicados na agricultura é alvo de pesquisas mundialmente explorado nos dias atuais (BORTH et al., 2014; ZÚÑIGA, 2012). A utilização destes sistemas se torna uma alternativa por parte dos produtores que almejam um aumento da

eficiência no manejo das culturas, em termos produtivos, qualitativos, sustentáveis e econômicos, e por parte da indústria que busca um controle mais rigoroso dos padrões de qualidades dos produtos agrícolas. A visão artificial de máquinas é um tipo de sistema de automatização que vem sendo amplamente aplicados para solucionar diversos problemas na agricultura, se

apresentando como uma alternativa para a inspeção visual e manual de produtos agrícolas (VIEIRA et al., 2015; SIQUEIRA, 2015).

O tomate é o produto olerícola de maior difusão de uso no mundo, sendo assim, deve ser apresentado com a qualidade adequada, a qual está ligada ao estágio de maturação do fruto. No Brasil, grande parte das inspeções de tomates são realizadas através da classificação visual dos frutos, utilizando a base de padronizações de referências do Centro de Qualidade em Horticultura (CEAGESP, 2006). A inspeção de frutos para a avaliação de sua qualidade é um campo de aplicação de grande interesse (LOURO et al., 2006).

A técnica do biospeckle laser se baseia em um fenômeno óptico de interferência que acontece quando um feixe de luz coerente incide sobre a superfície de um material, onde há atividade de origem biológica (BRAGA, 2017). Os padrões gerados quando observados de forma sucessiva estão associadas com a atividade biológica existente no material analisado. Sua aplicação na determinação de estádios de maturação e qualidade de frutos tem sido encontrada em diversos estudos, sendo relacionada a alterações metabólicas provenientes de parâmetros físicos e biológicos (COSTA et al., 2017; SAMUEL et al., 2017).

A análise de componentes principais é uma técnica da estatística multivariada que torna possível reter o máximo de informação com redução de dados e permite gerar índices caracterizados pela a variância do conjunto de parâmetros que definem o objeto analisado. Estes índices, quando associados a classificadores supervisionados, como as redes neurais artificiais, podem ser utilizados como padrões de entradas para a realização da classificação de amostras em categorias (ZHANG et al., 2014).

As redes neurais artificiais (RNAs) são sistemas de computação inspirados nas características de processamento de informação encontradas nos neurônios reais e suas interconexões. Quando de forma supervisionada, o instrutor confere o quanto a rede está próxima de uma solução aceitável, adaptando na concepção do treinamento os pesos entre os neurônios, de modo a prover uma menor diferença entre as saídas desejadas (YUKIE, 2012). Diante disso, objetivou-se com esse trabalho, utilizar a relação entre atributos fisiológicos de frutos de tomate e o índice de atividade biológica obtida técnica ótica do biospeckle laser para criar classificadores a partir de redes neurais para distinguir frutos de tomates em diferentes estádios de maturação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os tomates utilizados no experimento foram selecionados em uma unidade comercial do município de Seropédica-RJ, sendo do formato Caqui. Utilizou-se 150 frutos divididos em três estádios de maturação (imaturos, colorido e maduro) a partir das características colorimétricas definidas pela CEAGESP (CEAGESP, 2006) por meio de inspeção visual.

Na aquisição das imagens do biospeckle laser, utilizou-se um microscópio portátil de alta resolução, ligado diretamente a entrada USB de um computador, um laser de He-Ne de 50mW de potência, suportes móveis e

um jogo de lentes e filtros redutores de intensidade. O microscópio foi posicionado de modo que possa ser capturado a reflectância do laser após ser incidida na amostra, gerando assim o padrão do biospeckle.

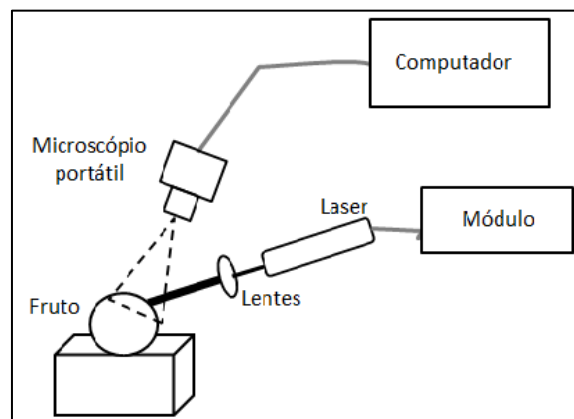


Figura 1. Configuração experimental para aquisição das imagens do biospeckle laser.

Fonte: do autor.

Os seguintes atributos fisiológicos foram obtidos segundo os métodos descritos nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (PADILHA et al., 2008): peso, firmeza da polpa, brix, pH, acidez titulável e teor de água, além do nível de verde obtido por meio de uma imagem digital RGB.

A rede neural utilizada para classificar os frutos, foi do tipo feedforward treinada pelo algoritmo da retropropagação do erro, utilizando a variação de Levenberg-Marquadt para acelerar o tempo de treinamento e melhorar o desempenho na classificação dos padrões (DEMUTH et al., 2008).

A arquitetura das redes neurais foi composta por uma camada de entrada, duas camadas intermediárias, uma com 7 neurônios e outra com 2 neurônios e uma camada de saída com 3 neurônios. As camadas intermediárias e as camadas de saída utilizaram a tangente hiperbólica como função de ativação. Foi utilizado um sistema binário na camada de saída, sendo 0 1 referente a frutos classificados na classe imaturos, 1 1 na classe colorido e 1 0 na classe maduros.

Foram desenvolvidas três redes neurais, sendo a rede neural 1 (RN1) com a entrada de três componentes principais, associadas a covariância dos atributos de atividade biológica, brix, firmeza, teor de água e nível de verde; a rede neural 2 (RN2) com a entrada de dois componentes principais, associadas a covariância dos atributos de atividade biológica, firmeza, teor de água e nível de verde; a rede neural 3 (RN3) com a entrada de quatro componentes principais, associadas a covariância do peso, firmeza da polpa, brix, ph, acidez titulável, teor de água e nível de verde.

Para desenvolvimento das redes neurais, foram utilizados os escores de 90 tomates (30 frutos de cada estágio de maturação), escolhidos aleatoriamente, onde 75 % foi para treinamento e 25 % para validação da rede neural. Para o teste da rede neural foram utilizados os escores dos outros 60 tomates restantes. Tendo em vista que no início do treinamento os parâmetros das redes são gerados aleatoriamente e estes valores influenciam o treinamento, a arquitetura foi treinada 10 vezes. Escolheu-

se a que apresentou a maior porcentagem de acerto na classificação das amostras de teste.

Os parâmetros de desempenho da rede neural (acurácia do produtor, acurácia do usuário, exatidão global) foram determinados por meio da matriz de confusão obtida na classificação das amostras de teste. A significância do índice Kappa foi analisada por meio do teste Z, o que permitiu verificar se a classificação pelas redes neurais foi considerada melhor que uma classificação ao acaso (DE LEEUW et al., 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de componentes principais 1 (PCA1), utilizando a atividade biológica, firmeza da polpa, brix, teor de água e nível de verde como parâmetros de qualidade quanto a maturação dos tomates, foi observado que as componentes principais PC1, PC2 e PC3 apresentaram um percentual de explicação da variância dos dados em função da maturação dos frutos maior que 70%. Na componente principal 2 (PCA2) utilizando os parâmetros atividade biológica, firmeza teor de água e nível de verde, a relação entre os atributos de qualidade foram explicadas pelas duas primeiras componentes (PC1 e PC2). Por fim, na análise da componente principal 3 (PCA3), a relação entre a atividade biológica e todos os atributos fisiológicos avaliados neste trabalho, pôde ser explicado por meio de quatro componentes principais (PC1, PC2, PC3 e PC4). Os índices (escores) destas componentes foram utilizados como vetor característica para o desenvolvimento de cada rede neural (Tabela 1).

TABELA 1. Explicação da variância dos parâmetros fisiológicos e nível de verde em função do estágio de maturação dos tomates por meio das componentes principais (CP) através dos dados da proporção acumulada da variância

	CP1	CP2	CP3	CP4
PCA 1	46,1 %	65,7 %	80,7 %	-
PCA 2	53,4 %	75,3 %	-	-
PCA 3	31,2 %	50,2 %	63,8 %	74,9 %

A relação entre a atividade biológica e parâmetros de qualidade de frutos pode ser encontrada em outros trabalhos que utilizaram variáveis como sólidos solúveis (SKIC et al., 2016), firmeza da polpa (COSTA et al., 2017) e nível de clorofila (ZUDNEK E NERPPICH, 2012) como parâmetros comparativos. O espalhamento e absorção da luz laser pelo tecido vegetal durante a iluminação para geração do fenômeno do biospeckle estão relacionados com os constituintes químicos dos frutos como pigmentos, açúcar e água (BRAGA, 2017). A avaliação da relação entre a atividade biológica e atributos de fisiológicos avaliados neste trabalho reforça os resultados obtidos pelas pesquisas anteriormente citadas e demonstra que a técnica ótica do biospeckle laser pode ser utilizada para gerar índices associados à maturação de frutos de tomate, sendo uma ferramenta com potencial para ser utilizada em sistemas automatizados baseados em visão artificial para inspeção de qualidade de frutos.

As redes neurais desenvolvidas para classificação dos frutos de tomate de acordo com estágio de maturação foi testada em um conjunto de 60 frutos de tomates (20

imaturos, 20 coloridos e 20 maduros). Ao analisar a matriz de confusão (Tabela 2), observou-se que acurácia do produtor na RN1 foi a maior, ou seja, 75,00% dos frutos imaturos, 75,00% dos frutos coloridos e 90,00% dos frutos maduros foram classificados corretamente. Já ao analisar a acurácia do usuário, concluiu-se que dos frutos classificados como imaturos 79,00% foram classificados corretamente, enquanto que dos frutos classificados como coloridos 71,40% foram classificados corretamente e dos frutos classificados como maduros 90,00% foram classificados corretamente.

TABELA 2. Matriz de confusão obtida entre o grupo de frutos utilizados para o teste e a classificação resultante após a aplicação da rede neural, onde AP é acurácia do produtor e AU acurácia do usuário

	MADUROS		COLORIDOS		IMATUROS	
	AP	AU	AP	AU	AP	AU
RN1	90%	90%	75%	71,4%	75%	79%
RN2	35%	70%	75%	45,5%	75%	88,2%
RN3	65%	62%	30%	35,3%	55%	50%

A exatidão global e o coeficiente Kappa, apresentados na Tabela 3, demonstraram que a RN1 apresentou uma melhor capacidade de classificar os frutos de tomate em função do estágio de maturação, quando comparada a RN2 e RN3. O coeficiente Kappa foi considerado substancialmente forte (LANDIS E KOCH, 1977) e a classificação realizada pela rede neural foi considerada melhor que uma classificação ao acaso a um nível de significância de 0,01 pelo teste Z, pois se obteve um Z calculado maior eu o Z tabelado de 2,54.

TABELA 3. Parâmetros de desempenho das redes neurais utilizadas no conjunto de teste (20 imaturos, 20 coloridos e 20 maduros)

	RN1	RN2	RN3
Índice Kappa	0,70	0,43	0,25
Exatidão global	91,67%	57,90%	65,52%
Z calculado	9,04	4,69	2,61

Por ser maior quando comparado a RN2 e RN3, o desempenho obtido pela RN1 demonstra que este classificador tem potencial para ser aplicado em sistemas automatizados que visem selecionar frutos maduros de outros frutos que ainda não estejam nesta condição de maturação.

4. CONCLUSÕES

Concluiu-se que a relação entre a atividade biológica, mensurada pela técnica ótica do biospeckle laser, associada a atributos fisiológicos de frutos de tomate em diferentes estádios de maturação pode ser explicada utilizando a análise de componentes principais. Os índices gerados a partir da análise de componentes principais podem ser utilizados como vetores característicos de entrada para classificação de frutos de acordo com o estágio de maturação utilizando as redes neurais artificiais.

A rede neural a qual utilizou as componentes principais obtidas pela relação da variância entre a atividade biológica e os atributos firmeza da polpa, brix, teor de água e nível de verde, apresentou o melhor

desempenho podendo ser aplicada em sistemas automatizados que tenha por finalidade a classificação de frutos de tomate em diferentes estádios de maturação.

A técnica do biospeckle laser poderá ser utilizada para o desenvolvimento de sensores portáteis que possam ser utilizados em campo na geração de mapas de variabilidade espacial em função da qualidade de frutos de tomate e como uma ferramenta para auxílio na tomada de decisão do momento adequado para colheita.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), à FAPERJ e ao CNPq.

6. REFERÊNCIAS

BORTH, M.R.; CEZAR, J.I.; PISTORI, H.; FAVARINI, C.R. A visão computacional no agronegócio: aplicações e direcionamentos. **7º Encontro Científico de Administração, Economia e Contabilidade (ECAECO)**, 2014.

BRAGA, R.A. When noise became information: State-of-the-art in biospeckle laser. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 4, p. 359-366, 2017.

CEAGESP – Centro de qualidade em horticultura. **Classificação do tomate**. ABH. São Paulo, 2006.

COSTA, A.G.; PINTO, F.A.; BRAGA, R.A.; MOTOIKE, S.Y.; GRACIA, L. Relationship between biospeckle laser technique and firmness of *Acrocomia aculeata* fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 68-73, 2017.

DE LEEUW, J.; JIA, H.; YANG, L.; LIU, X.; SCHMIDT, K.; SKIDMORE, A. K. Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 1, p. 223-232, 2006.

DEMUTH, H.; BEALE, M.; HAGAN, M. Neural network toolbox™ **6. User's guide**, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz, v. 1: **Métodos químicos e físicos para análises de alimento**, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985, p. 199-120.

LANDIS, J.R.; KOCH G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, p.159-75, 1977.

LOURO, A.H.F; MENDONÇA, M.M; GONZAGA, A. **Classificação de tomates utilizando redes neurais artificiais**. São Carlos, São Paulo, Brasil. 2006.

SAMUEL, B.; RETHEESH, R.; ANSARI, M. Z.; NAMPOORI, V. P. N.; RADHAKRISHNAN; P.; MUJEEB, A. Cross-correlation and time history analysis of laser dynamic specklegram imaging for quality evaluation and assessment of certain seasonal fruits and vegetables. **Laser Physics**, v.27, n.10, p.105601, 2017.

SIQUEIRA, T.T. **Framework para reconhecimento de maturação de frutos**, 2015.

SKIC A.; SZYMAŃSKA-CHARGOT M.; KRUK B.; CHYLIŃSKA M.; PIECZYWEK PM, KURENDA A.; ZDUNEK, A.; RUTKOWSKI K.P. Determination of the Optimum Harvest Window for Apples Using the Non-Destructive Biospeckle Method. **Sensors**, v.16, n.5, p.661-676, 2016.

VIEIRA, D.A.P; SOARES, M.J; SOUZA, E.R.B. **Qualidade de frutos de cultivares tomate para processamento**. 2015.

YUKIE, V.M. **Cursos de Redes Neurais usando o Matlab**. Belém-Pará-Brasil. 2012.

ZHANG, Y.; WANG, S.; JI, G.; PHILLIPS, P. Fruit classification using computer vision and feedforward neural network. **Journal of Food Engineering**, v. 143, p. 167-177, 2014.

ZÚÑIGA, A.M.G. **Sistema de visão artificial para identificação do estado nutricional de plantas**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
