

## PLATAFORMA DIGITAL PARA MENSURAÇÃO DE GRÃOS DE CAFÉ ESPECIAIS: ESCALA AGTRON OBTIDA ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS<sup>1</sup>

Dimas Samid Leme<sup>2</sup>; Emanuelle Moraes de Oliveira<sup>2</sup>; Bruno Henrique Groenner Barbosa<sup>4</sup>; Rosemary Gualberto Fonseca A. Pereira<sup>5</sup>; Flávio Meira Borém<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Trabalho financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), realizado no Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT-Café), Campus Universidade Federal de Lavras (UFLA)

<sup>2</sup>Eng. de Sistemas e Automação, MS, DEG-UFLA, Lavras – MG. dimasufla@gmail.com

<sup>3</sup>Eng. de Alimentos, MS, DCA-UFLA, Lavras – MG. emanuelle.oliveira@ifmg.edu.br

<sup>4</sup>Eng. Elétrica, Professor DSc, DEG-UFLA, Lavras – MG. brunohb@deg.ufla.br

<sup>5</sup>Farmácia, Professora DSc, DCA-UFLA, Lavras – MG. rosegfap@dca.ufla.br

<sup>6</sup> Eng. Agrícola, Pós DSc, DEG-UFLA, Lavras – MG. flavioborem@deg.ufla.br

**RESUMO:** Este trabalho fundamenta-se no conceito de Redes Neurais Artificiais e Regressão Linear com objetivo de apresentar os processos de indexação de imagens de grãos de café torrados, selecionados por divergência de cores. Os atributos descritivos das amostras foram obtidos seguindo os padrões internacionais definidos pela Associação Americana para Cafés Especiais (SCAA), posteriormente convertidos em matrizes numéricas para treinamento e validação do modelo. A partir da definição do trabalho iniciou-se a seleção das amostras, limpeza, peneira, torra, obtenção de seu valor na escala Agtron e fotografia. A ferramenta escolhida para a implementação da metodologia foi: Matlab R2014a, software interativo de alta performance voltado para cálculos numéricos. O objetivo é atingir um resultado hipoteticamente melhor que o obtido por sistemas que utilizam modelos baseando somente em colorímetros ou que empregam sistemas especialistas separadamente. O uso desta técnica reduz o tempo de resposta e dispêndio computacional, selecionando uma função de primeiro grau que apresente os melhores resultados. Foram obtidas margens de erro baixas com uma amostragem pequena, indicando a possibilidades de melhores ajustes com maior volume de amostras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cafés-especiais; Torra; Fotografia; RGB; CIEL\*a\*b\*; Sistema de Visão Computacional; Agtron.

### PLATAFORM TO MEASUREMENT OF SPECIAL COFFEE BEANS: AGTRON SCALE OBTAINED THROUGH PHOTOGRAPHY

**ABSTRACT:** This work based on the concept of Artificial Neural Networks and Linear Regression to present the indexing processes of roasted coffee beans photographed, differentiated by color divergence. The descriptive attributes of the samples were obtained following the international standards protocol of American Association for the Specialty Coffee (SCAA), then converted to numeric spreadsheets for training and validation of the model. From the definition work began on the sample selection, cleaning, sieve, roasting, obtaining all values in photos and Agtron scale. The tool selected for the implementation of the methodology was: Matlab R2014a, an interactive software of high performance to numerical calculations. The goal is to achieve a hypothetically better result than that obtained by systems using models based only on colorimeters or employing expert systems separately. The choice of this technique reduces the time to response and time to process in computers, selecting a first-degree function to present the best results. Low error rates with a small sampling were obtained, indicating the possibilities of best fit with a larger volume samples.

**KEYWORDS:** Special coffee; Roast; Pictures; RGB, CIEL\*a\*b\*; Computational vision system; Agtron.

### INTRODUÇÃO

Atualmente o setor cafeeiro tem elevada importância no desenvolvimento econômico do Brasil constituindo o segundo produto de maior exportação agrícola do país (CONAB, 2015). A qualidade do café é determinada principalmente pelos precursores presentes no grão cru correspondente aos fatores genéticos, ambientais e tecnológicos, além dos atributos de sabor e aroma formados durante o processo de torração (BORÉM, 2008). Durante a etapa de torração do café, centenas de compostos são produzidos por reações pirolíticas. A intensidade com que o grão é torrado é ditada pelo ponto em que o aquecimento dos grãos é interrompido, e também pode ser relacionada a alterações na coloração dos grãos durante o processamento térmico (BORGES, 2002).

O processo de torrefação pode ser dividido em estágios tendo como primeiro estágio a secagem a qual é caracterizada pela liberação de água e compostos voláteis presentes nos grãos. Durante este período, a cor dos grãos muda de verde para amarelo. O segundo estágio, ou torrefação propriamente dita, é caracterizado por reações exotérmicas de pirólise, que resultam numa modificação drástica da composição química dos grãos, acoplada à liberação de grandes quantidades de gás carbônico. Neste estágio, a cor dos grãos varia de marrom claro a escuro, devido à caramelização dos açúcares.

O final desta etapa é caracterizado pelo estouro dos grãos, cujo volume duplica. A partir deste ponto, faz-se necessário o resfriamento imediato dos grãos (terceiro estágio), para evitar a carbonização dos mesmos (SIVETZ; DESROSIER, 1979; BORÉM, 2008). A variação da cor durante o processo de torra é extremamente importante, pois este serve como um parâmetro de qualidade do grão a ser torrado. Assim, a cor do grão de café torrado pode prever muito sobre a qualidade desta bebida.

Atualmente, são diversos os instrumentos utilizados para avaliação da cor durante a torra, como colorímetros e o Agtron Inc., porém são medições pouco conclusivas que avaliam somente uma pequena superfície da amostra, não avaliando esta como um todo. Surgem, assim, os sistemas de visão computacional, dispositivos para mensuração de cores mais objetivos que possibilitam a avaliação da superfície da amostra por meio de processamento digital das imagens tiradas por câmeras fotográficas digitais (WU & SUN, 2013).

A utilização de inteligência computacional baseada em redes neurais surgiu como uma alternativa para verificação da cor em alimentos em sistemas de visão computacional (LÉON, 2006). O espaço de cor utilizado e as variáveis obtidas durante a calibração do sistema envolvem características do alimento e outras externas, como luz, câmera fotográfica e temperatura. Este trabalho teve como objetivo a construção de um sistema de visão computacional para avaliação da cor do café torrado com base na utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA) e regressão linear com múltiplas variáveis.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas duas amostras de cafés tipo arábica contendo 8 Kg cada, as amostras foram colhidos em setembro de 2014, e armazenadas em embalagens herméticas com injeção de CO<sub>2</sub> (Ribeiro, 2010), para melhor conservação das características físicas dos grãos crus (incluindo a cor). A amostra com processo de pós colheita natural apresentou cor verde, e a amostra com processamento de pós colheita química apresentou cor verde azulada. Realizou-se, inicialmente uma classificação física e peneira seguindo o protocolo internacional para tratamento de cafés especiais (SCAA, 2014). Em seguida, foi medida a umidade destes grãos por um equipamento da marca Agrológic, modelo AL-1000, apresentando valores 10.2 e 8.7 para natural e cereja descascado, respectivamente. Para a torra, foi fracionado 20 porções contendo 150 gramas cada e torradas utilizando um torrador para até 200g. com controle de exaustão preciso e medidor de temperatura analógico. Para a torra foram utilizadas diferentes curvas, objetivando a obtenção de diferentes colocações, como demonstrado na Figura 1.



Figura 1. Escalas de cores de torração obtidas para análise em diferentes tonalidades.

As frações torradas foram avaliadas pelo equipamento Agtron, modelo M-BASIC II, e fotografadas pelo sistema de digitalização de imagens compacto da empresa Major Science, acoplado a uma câmera digital modelo G-12/Canon (Figura 2). A câmera foi ajustada em modo manual, com abertura ISO 120, luz fluorescente, abertura igual a 1/25, objetivando-se a fidelidade de cores durante o processo de captura das amostras. As imagens foram salvas no modelo RAW (.CR2), sem compressão e com a máxima resolução possível (12 M.pixels).



Figura 2. Sistema de aquisição de imagens desenvolvido para classificação de grãos de café torrados inteiros e moídos

Inicialmente é necessária a calibração do sistema de visão computacional, ou seja, a construção de um modelo de transformação de espaço de cores de RGB (obtido pelas imagens da câmera digital) para CIELAB, pois este último é considerado absoluto, independente de marca ou modelos de equipamentos.

O sistema CIELAB, desenvolvido pela Comissão Internacional de Iluminação d'Eclairage (CIE, 1986), é composto por três parâmetros interligados tridimensionalmente (Figura 3):

- vetor  $L^*$ , responsável pela tonalidade de cinza;  $0^\circ$  à  $100^\circ$  preto e branco respectivamente;
- vetor  $a^*$ , responsável pelas tonalidades entre o espectro de cor verde e vermelho;  $-120^\circ$  à  $+120^\circ$ ;
- vetor  $b^*$ , responsável pelas tonalidades entre o espectro de cor azul e amarelo;  $-120^\circ$  à  $+120^\circ$ ;

Este modelo tridimensional emprega os mesmos valores independente dos equipamento e marcas utilizadas.

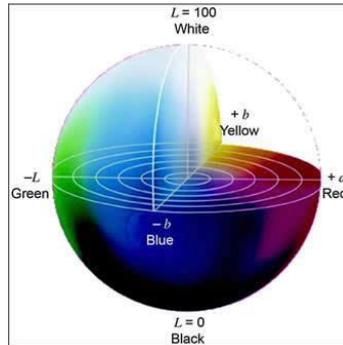


Figura 3. Modelo tridimensional CIEL\*a\*b\*

Foram fotografadas 98 cartelas com cores próximas as dos grãos torrados sendo que para cada cartela (imagem) o valor médio de cor em RGB foi obtido. Além disso, os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram medidos por um colorímetro portátil da marca Minolta, modelo CR-300. Os valores em RGB de cada imagem foram utilizados como entradas para treinamento de uma Rede Neural Artificial (utilizada como modelo de transformação de espaço de cores) e os valores em CIELAB como saídas da RNA. A RNA possui uma camada oculta com 5 neurônios escondidos com função de ativação sigmoidal. Para estimação dos parâmetros da rede foi utilizado o algoritmo de Levenberg Marquardt (Braga et al, 2007). O erro de aproximação entre os valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  estimados pelo modelo neural e os obtidos pelo colorímetro foi avaliado segundo os critérios abaixo (LEÓN et al, 2006):

$$\bar{e} = \frac{e_L + e_a + e_b}{3}, \quad (1)$$

no qual, as variáveis são obtidas por meio das funções:

$$e_L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|L_i^* - \hat{L}_i|}{\Delta L},$$

$$e_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|a_i^* - \hat{a}_i|}{\Delta a},$$

$$e_b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|b_i^* - \hat{b}_i|}{\Delta b},$$

onde  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ , e  $\Delta b$  referem-se ao intervalo de componentes Lab.

Com a rede treinada, cada amostra torrada foi fotografada e convertida para CIEL\*a\*b\* (Tabela 1), construindo assim um colorímetro digital baseado em imagens tiradas por uma câmera fotográfica.

Como o objetivo não é apenas apresentar o valor em Lab das amostras, mas também apresentar o valor Agtron das mesmas, dois modelos de regressão linear foram propostos. No primeiro modelo de regressão (múltiplas variáveis) os valores Lab das diferentes colorações de torra são utilizados para estimação do valor correspondente de Agtron medido pelo equipamento Agtron. No segundo modelo de regressão as imagens obtidas são convertidas em escala de cinza e o valor médio de intensidade de cinza é utilizado no modelo para predição do valor real da Agtron da amostra, Tabela 2.

Foram utilizados 16 exemplos de torras para treinamento e 4 para validação, sorteadas aleatoriamente, para identificação dos parâmetros dos modelos de regressão propostos. A hipótese e função de custo foram definidas seguindo o critério:

$$h_{\theta}(x) = \theta^T x = \theta_0 x_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \dots + \theta_n x_n \quad (2)$$

$$J(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (h_{\theta}(x^{(i)}) - y^{(i)})^2$$

onde  $x_0, x_1$  e  $x_2$  são respectivamente  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para o modelo de regressão de múltiplas variáveis e  $x_0$  é a intensidade de cinza para o modelo de regressão de uma variável  $h_{\theta}(x)$  é o valor Agtron encontrado. A função de custo foi empregada para diminuir o erro entre  $h_{\theta}(x)$  estimado e seu valor real medido.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Os arquivos obtidos da câmera (.CR2), possuem 16 bits de profundidade em RGB, com 64 bits para representar cada componente de cor, isso possibilitou a conversão com 8 casas de precisão em cada um dos vetores convertidos em CIELAB (Tabela 1), possibilitando ajustes precisos a pequenas variações na escala Agtron entre cada componente (Figura 4). O padrão de distribuição pode ser verificado na Figura 5.

Tabela 1. Valores das amostras convertidas para o modelo CIELab.

Natural				Cereja Descascado			
L-conv.	a-conv.	b-conv.	Agtron	L-conv.	a-conv.	b-conv.	Agtron
4.64623842	5.42155698	-6.33472931	120	4.60670260	5.40129952	-6.40767623	89.5
4.64010455	5.42139378	-6.34714031	117	4.59545385	5.39871791	-6.42569039	83
4.61855589	5.41186486	-6.38621462	100	4.59166051	5.39321587	-6.43221278	76.4
4.58871799	5.39420156	-6.43548464	89	4.58914785	5.39208729	-6.43590467	71.3
4.59243753	5.39579117	-6.43030316	74.7	4.58540456	5.39106208	-6.44126676	69.5
4.58659097	5.39220467	-6.44050072	66.7	4.58250757	5.39144297	-6.44702747	67.4
4.57804500	5.38371100	-6.45387849	60	4.57575895	5.38278143	-6.45793482	57.8
4.57676498	5.38579042	-6.45391521	59.1	4.56683509	5.37985129	-6.46845678	48
4.56898004	5.37765513	-6.46747184	51	4.56490775	5.37685280	-6.47322145	43.3
4.55382186	5.37402640	-6.48299849	33	4.55924709	5.37716184	-6.47820015	37

O erro médio quadrático obtido para o modelo de transformação, utilizando-se cartelas de cores – equação (1), é menor do que 1.2% (0.98). Esta precisão permitiu uma alta acurácia quando aplicado as amostras de torra. A regressão linear empregada, utilizou metodologia de gradiente descendente com número de iterações igual a 1000 e índice de ajustes baixo (0.0000015), e apresentou como resultado a equação:

$$\text{Agtron estimado} = 0.734318 + 3.388345 * L\text{-conv.} + 3.970327 * a\text{-conv.} + (-4.694510 * b\text{-conv.})$$

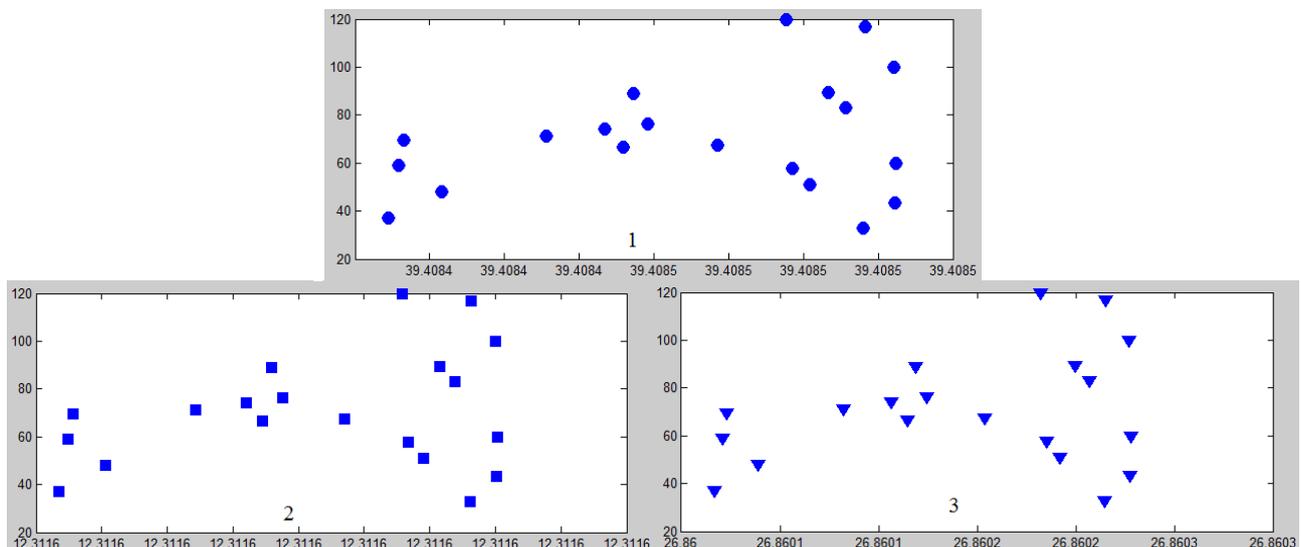


Figura 4. Distribuição dos valores L(1), a(2), b(3), em relação ao índice Agtron.

O segundo modelo de regressão com amostras convertidas diretamente de RGB para um valor médio de escala de cinza (Tabela 2), utilizou para ajuste o número de iterações igual a 1000 e índice de ajuste baixo (0.000005), e apresentou como resultado a equação:

$$\text{Agtron estimado} = 0.007607 + 0.200781 * \text{Ind. Cinza}$$

Tabela 2. Valores de Agtron e de intensidade de cinza para cada amostra.

Amostra	Natural		Cereja Descascado	
	Ind. Cinza	Agtron	Ind. Cinza	Agtron
Cor 1	672.638	120	440.920	89.5
Cor 2	626.902	117	369.136	83
Cor 3	497.168	100	357.534	76.4
Cor 4	335.664	89	343.396	71.3
Cor 5	356.524	74.4	320.476	69.5
Cor 6	324.347	66.7	297.956	67.4
Cor 7	288.859	60	274.653	57.8
Cor 8	276.358	59.1	224.485	48
Cor 9	242.995	51	215.903	43.3
Cor 10	151.994	33	179.026	37
Média	377.345	77.02	302.348	64.32

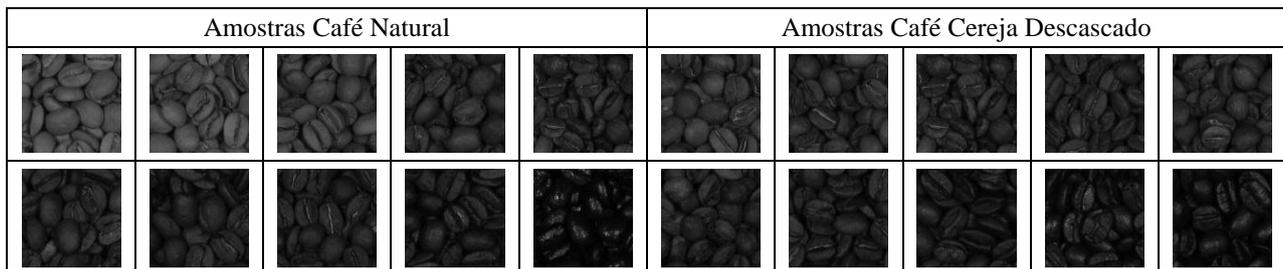


Figura 5. Escalas de tons de cinza obtidas para análise.

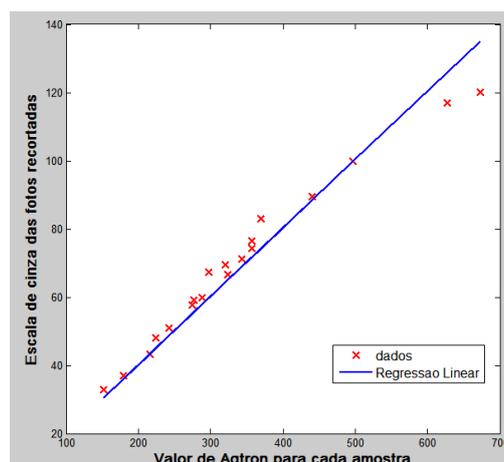


Figura 6. Regressão linear empregada aos valores em escala de cinza

## CONCLUSÕES

A otimização de processos para classificação de cores em grãos de café torrados são de extrema importância para organização de dados relacionados a qualidade da bebida. Os modelos de regressão empregados possibilitaram a apresentação dos valores em CIELab e em escala Agtron. Entretanto, se faz necessário um número amostral maior que

o empregado. Os modelos apresentaram melhores resultados de aproximação para valores abaixo de 70 Ag. Contudo, considerando um intervalo de  $\pm 5$  Ag. o erro médio, para escala de cinza, se encontra abaixo dos 20%. Concluindo, este modelo de visão computacional pode ser empregado, com baixo custo, em análises de grãos torrados (inteiros e moídos), ou estendido para análise de outros produtos da indústria alimentícia, com consequências na melhoria do controle de qualidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA P. A.; CARVALHO A. F.; LUDEMIR T. B. . Redes Neurais Artificiais – Teoria e aplicações – 2º Edição.  
BORÉM, F. M. Pós colheita do café. Lavras: UFLA (1º edição), 2008, p. 631.  
BORGES, M. L. A.; FRANÇA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; CORRÊA, P. C.; GLÓRIA, M.B.A. Estudo da variação da coloração de café arábica durante a torra em diferentes condições de aquecimento. Revista Brasileira de Armazenamento Especial – Viçosa – MG, n. 5, p. -3-08, 2002.  
CIE Colorimetry (2nd ed.). Wien, Austria: CIE Central Bureau Kegelgasse Publication No 15.2 (1986). 27 A-1030 disponível em: <<http://www.cie.co.at/S>>.  
COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO(Conab). Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2015, primeiro levantamento, janeiro/2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 2 abr. 2015.  
FABIANA C. R.. Armazenamento de café beneficiado em embalagens herméticas com injeção de CO<sub>2</sub>. Disponível em: <<http://www.cafepoint.com.br/radares-tecnicos/poscolheita/armazenamento-de-cafe-preservacao-da-qualidade-que-vem-do-campo-34893n.aspx>>.  
MATLAB, <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>> Acesso 12/02/2015  
MAJOR SCIENCE <<http://www.majorsci.com/4-03-UVDI.html>> Acesso em 17/01/2015  
LEÓN, K.; MERY, D.; PEDRESCHI, F.; LEÓN, J. Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. In: Food Research International, Chile, 39: 1084-1091, 2006.  
SIVETZ, M.; DESROSIER, N. W. Coffee Technology. Westport: Avi Publishing Co., 1979.  
WU, D. ;SUN, D.W. Colour measurements by computer vision for food quality control- A review. Food Science e Technology, v.29, p. 5-20, 2013.