



ANA CLÁUDIA MARQUES SILVEIRA

**CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE TORRA DE CAFÉS
ESPECIAIS POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGEM
DIGITAL**

**LAVRAS – MG
2021**

ANA CLÁUDIA MARQUES SILVEIRA

**CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE TORRA DE CAFÉS ESPECIAIS POR MEIO
DE ANÁLISE DE IMAGEM DIGITAL**

Monografia apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Curso
de Engenharia de Alimentos, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Roney Alves da Rocha

Orientador

Eng.^a, M.Sc. Fabiana de Carvalho Pires

Coorientadora

LAVRAS - MG

2021

AGRADECIMENTOS

À Deus, simplesmente por tudo!

À Universidade Federal de Lavras, a escola de ciências agrárias de Lavras e especialmente ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pelas oportunidades e aprendizado.

Ao professor Roney Alves da Rocha pela orientação, conselhos, ajuda e pelo conhecimento concedido a mim na condução deste projeto.

À coorientadora Fabiana de Carvalho Pires pela paciência, disposição, aprendizado e amizade ao orientar e conduzir o tema.

À Maria Helena da fazenda Três Porteiras pelo fornecimento das amostras utilizada para o desenvolvimento do trabalho.

A todos os membros da minha família, especialmente meus pais Cláudio e Maria Hilma pelo apoio, amor e confiança em todas as minhas decisões nas diferentes etapas da minha vida e ao meu irmão Cláudio Filipe.

Aos amigos, pelos momentos e boa convivência durante a graduação, dentro e fora da sala de aula.

Ao meu namorado Bruno, pelo companheirismo, amor, carinho, por ser um incentivador e conselheiro em todos os momentos e singular torcida.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo, sendo o Brasil o maior produtor e exportador. O nível de torra dos grãos de café influencia diretamente a qualidade sensorial da bebida. A torra proporciona ao café, mudanças físicas e químicas de acordo com o binômio tempo e temperatura que é ajustado conforme as características finais que se deseja na bebida. Os consumidores de cafés especiais são criteriosos durante a escolha e compra dos seus cafés, no qual diversas informações são relevantes, dentre elas o nível de torra. A padronização e classificação do nível de torra é necessária, pois na indústria, para se fazer a liberação do café é preciso avaliar o seu nível. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um método alternativo para classificação do nível de torra de cafés especiais em grãos e moído por meio de imagens digitais. Foram utilizadas trinta amostras de cafés em três diferentes níveis de torra: clara, média e escura (com dez amostras em cada nível). Os dados coletados foram avaliados por meio de uma análise exploratória PCA (análise de componentes principais) e de classificação PLS - DA (análise discriminante por mínimos quadrados parciais). A PCA foi capaz de agrupar as amostras de acordo com os níveis de torra, com 99,7% da variância explicada para cafés em grão e 99,85% da variância explicada para café moído. Os modelos PLS - DA apresentaram resultados muito satisfatórios para classificação dos níveis, em que o percentual de acertos na predição para café em grão foi de (100%) para a torra clara (100%) para a torra média e (100%) para torra escura, já para o café em grão foi de (75%) para a torra clara (100%) para a torra média e (100%) para torra escura. O uso de imagens digitais para a classificação do nível de torra apresenta resultados promissores, portanto, é uma ferramenta de controle de qualidade interessante para as indústrias de café para padronização do nível de torra de cafés em grão e moído.

Palavras-chave: Controle de qualidade. Café torrado. Valor Agtron

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVOS	6
2.1	Objetivo geral	6
2.2	Objetivos específicos	6
3	REFERENCIAL TEÓRICO	7
3.1	Indústria do café	7
3.2	Consumo de café no Brasil	7
3.3	Café torrado: Diferentes níveis de torra e o valor Agtron	8
3.4	Critérios de classificação da qualidade do café	10
3.5	Extração de parâmetros de cor RGB / L* a* b* a partir de imagens digitais ..	10
3.6	Análise multivariada aplicada a dados extraídos de imagens digitais	11
4	MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1	Amostras	12
4.2	Avaliação do valor Agtron	12
4.3	Imagem Digital	13
4.4	Análise Multivariada	16
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.1	PCA: Café em grão e moído	17
5.2	PLS - DA: Café em grão e moído	19
5.3	Análise de concordância - <i>Kappa</i>	27
6	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo, no qual o Brasil é o maior produtor e exportador. O café especial possui como característica matéria-prima de qualidade, processos rigorosos de colheita, pós-colheita e torra.

O controle para obter as características desejadas no café torrado é influenciada pelo binômio tempo e temperatura. Durante o processo de torra, o café sofre mudanças físicas e químicas, e um indicativo utilizado para cessar a torração dos grãos é a cor. A indústria de café torrado antes de liberar os lotes para comercialização avalia o nível de torra, que ocorre por meio da avaliação da cor. Essa etapa essencial é realizada, em geral, com a utilização de espectrofotômetro e discos Agtron da SCAA - *Specialty Coffee Association of America*.

Os consumidores de cafés especiais são exigentes e um dos seus critérios de escolha é a qualidade dos grão e nível de torra, uma vez que este processo influencia diretamente no sabor da bebida. Para a análise dos níveis de torra de café existem padrões e equipamentos que auxiliam nesta avaliação, no entanto, são caros e onerosos para pequenas indústrias de café. Por isso, é importante desenvolver métodos alternativos para o controle do nível de torra.

O nível de torra de café é descrito por meio do valor Agtron, no qual geralmente são classificados em torra clara, média e escura. Os equipamentos que são utilizados para a avaliação do valor Agtron são de alto custo e difícil acesso, tais como o espectrofotômetro Agtron e os discos Agtron. Por isso, é comum em indústrias de café o processo de torra ser controlado de maneira subjetiva, por meio da experiência visual do operador, o que compromete a garantia de padronização do produto final.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um método alternativo para classificação do nível de torra de cafés especiais em grãos e moído por meio de imagens digitais. Além disso, uma aplicação prática deste trabalho é o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de classificar os níveis de torra de maneira rápida, para posterior liberação dos lotes com garantia de controle de qualidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um método alternativo para classificação do nível de torra de cafés especiais em grãos e moído por meio de imagens digitais.

2.2 Objetivos específicos

- a) Verificar as relações que podem existir entre as amostras de cafés de diferentes níveis de torra utilizando as variáveis de cor R, G, B e valor Agtron, por meio da análise de componentes principais (PCA).
- b) Avaliar a capacidade discriminante de imagens digitais para classificação de cafés de diferentes níveis de torra, sendo: clara (classe 1), média (classe 2) e escura (classe 3) por meio da análise discriminante de mínimos quadrados parciais (PLS - DA).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Indústria do café

A área da exportação de café brasileiro que mais precisa ganhar representatividade é a do setor de café torrado. Trata-se de um campo muito competitivo e com enorme potencial de valor agregado por exigir um nível alto de especialidade. Para que isso ocorra, a indústria necessita investir em desenvolvimento (SILVA, 2008).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café. Dados de Editora Gazeta (2021) na Tabela 1 mostram o crescimento anual da produção e da exportação de café brasileiro, mesmo diante da bienalidade do café Arábica que provoca anos de baixa e de alta produção.

Tabela 1 - Dados de evolução do volume e receita cambial das exportações brasileiras de café.

Ano	Mil sacas (60 Kg)	Receita Cambial (US\$ Bi)
2016	34.271	5,45
2017	30.929	5,25
2018	35.639	5,25
2019	40.700	5,11
2020	44.518	5,63

Fonte: adaptada de Editora Gazeta (2021).

O mercado mundial utiliza-se dos critérios estabelecidos pelo protocolo da SCAA (*Specialty Coffee Association of America*) na avaliação dos cafés especiais. Cafés que apresentam: acima de 80 pontos na prova de xícara, poucos defeitos e boa bebida, estão se consolidando no mercado. O produtor, para entrar no mercado de cafés especiais, deve buscar meios para se alcançar os critérios exigidos. Uma boa condução da lavoura, colheita dos frutos no momento correto, evitar defeitos e atingir o nível de torra desejado influencia diretamente na qualidade sensorial da bebida, proporcionando uma valorização extra do produto (SENAR, 2017).

3.2 Consumo de café no Brasil

O café se apresenta como uma bebida de consumo tradicional não somente no Brasil, mas no mundo. Uma das características do consumo de café é que tem aumentado

exponencialmente no Brasil é a preferência por cafés especiais. Nos Estados Unidos do total de xícaras de café consumido em 2017, perto de 59% tratava-se de cafés especiais. Na Europa Ocidental o crescimento de novas cafeterias foi superior a 50% comparado a lojas de bebidas e alimentos em geral (DOS REIS ET AL., 2021).

Conforme dados apresentados pelo Conselho Nacional de café (2021), em 2020 o mercado interno de café apresentou crescimento registrando o consumo de 21,2 milhões de sacas no período novembro de 2019 a outubro de 2020, crescimento de 1,34 % em relação ao período anterior. O Brasil manteve-se como o segundo maior consumidor de café do mundo, e no volume total de bebida quente manteve-se como maior mercado mundial em 2019 segundo dados apresentados pela Euromonitor. O consumo per capita apresentou 5,99 kg por ano de café cru e 4,79 kg por ano de café torrado (CONSELHO NACIONAL DE CAFÉ, 2021).

O café torrado e moído destaca-se como maior representação no faturamento das empresas com 81,4% do total, porém uma mudança de comportamento de consumo aparece nos números, o tipo torrado em grão que tinha participação de 3,4% em 2019 saltou para 15% em 2020 (CONSELHO NACIONAL DE CAFÉ, 2021).

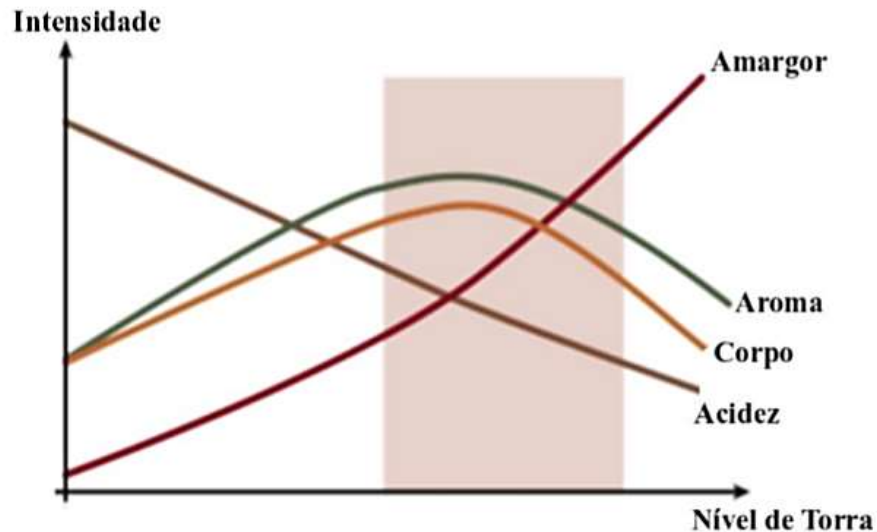
3.3 Café torrado: Diferentes níveis de torra e o valor Agtron

Na busca por uma bebida de qualidade, os critérios estabelecidos pelos consumidores na escolha de café especial são: nível de torra, tipo de bebida e origem. Em contrapartida, para os consumidores de café tradicional a intensidade do café (forte e extra forte) é o único destaque dado como relevante na hora da compra (OLIVEIRA, 2017).

A torra provoca nos grãos de café, mudanças físicas e químicas que são ajustados de acordo com o binômio tempo e temperatura do torrador. Essas mudanças provocam reações que juntam diversos compostos químicos e resultam no sabor e aroma que caracterizam a bebida, café. O resultado final da bebida é altamente afetado pela origem da matéria - prima e cuidados pós - colheita que influenciam na composição dos grãos torrados. Além disso, o nível de torra tem relação direta com sabor do café, já que por meio dela se extrai os compostos que formam a bebida (MELO, 2004).

A Figura 1 apresenta as curvas que descrevem as modificações sensoriais que ocorrem conforme o nível de torra. As três características, acidez, aroma e corpo que definem a qualidade da bebida estão apresentados abaixo. Na torra clara prevalece a acidez, porém conforme a torra escurece esta característica reduz ressaltando as outras (MELO, 2004).

Figura 1 - Curvas que representam os comportamentos das características do café quanto à acidez, ao aroma e ao corpo em função dos níveis de torra que influenciam no sabor da bebida.



Fonte: Pires (2019) e adaptada de Poisson et al. (2017).

O sabor e o aroma do café são formados por compostos voláteis e não voláteis que se apresentam nos grãos antes e/ou posteriormente a torração, o que faz essa fase essencial para o desenvolvimento dos aspectos sensoriais do café. O desenvolvimento da qualidade sensorial depende das reações químicas que ocorrem nessa etapa e variam conforme a espécie e cultivar devido a diversos fatores (MELO, 2004).

No processo de torra a experiência do torrefador é essencial para o acompanhamento visual da cor, porém por ela ser determinante na qualidade do produto uma análise mais precisa se faz necessário. A SCAA e a empresa norte-americana Agtron criaram padrões internacionalmente adotados que permitem de forma indireta acompanhar o processo da torra, portanto, fora do forno. É uma escala de 0 a 100, que se definiu por meio da absorção de luz infravermelha pelo café em grão ou moído, com intervalos de 10 em 10 valores, denominados de número Agtron. Quanto maior o nível de torra, menor será esse número. Há ainda outros padrões no mercado, porém este é o mais aceito. Além desse padrão a empresa Agtron criou o espectrômetro de infravermelho para se determinar o nível de torra e discos cobertos por tintas coloridas conforme os padrões definidos na escala. A SCAA o popularizou para monitoramento da torra por meio de comparações visuais utilizando esses discos coloridos como também por espectroscopia no infravermelho próximo (MELO, 2004).

A indústria utiliza em seus blends e mesclas grãos originados de diversos processamentos que podem apresentar diferenças de estrutura física ao serem torrados. Essas

diferenças após a torração se destacam podendo afetar a qualidade sensorial do produto (SILVA, 2008).

3.4 Critérios de classificação da qualidade do café

A expressão, café especial se torna comum com um aumento dos concursos de qualidade no Brasil, onde provadores treinados avaliam cafés por meio de notas. Já os métodos convencionais de avaliação de café commodities possuem uma avaliação mais simplificada, sem analisar os atributos da bebida. Os consumidores têm exigido cada vez mais um detalhamento desses atributos e para atender às necessidades surgiram formas de descrever os cafés e os pontuar por meio de associações de cafés especiais e da SCAA (SILVA, 2008).

A qualidade da bebida representa grande influência na formação de preço do café. Dessa forma, o produtor deve acompanhar os atributos do seu café, ainda mais em períodos com grande oferta do produto no mercado. Um dos fatores que dificultam uma valorização do café brasileiro é a adoção da bebida dura como referencial de qualidade, coisa que, na prática, não se confirma e acaba sendo um produto que apresenta diversos defeitos (GIOMO, 2012).

A Instrução Normativa nº 8 de 2003 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) apresenta um documento para Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. Esse documento tem como objetivo definir as características de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru classificando - os em categoria segundo a sua espécie (categoria I: café proveniente da espécie *Coffea arabica* e categoria II: café proveniente da espécie *Coffea canephora*), subcategoria de acordo com o seu formato e granulometria (chato e moca), grupo relacionado ao seu aroma e sabor (arábica e robusta), subgrupo de acordo com a sua bebida, classe relacionada a sua coloração e tipo de acordo com o percentual de defeitos (Brasil, 2010).

3.5 Extração de parâmetros de cor RGB / L* a* b* a partir de imagens digitais

Para conseguir fazer uma representação da captação de luz pelos olhos humanos e interpretação do cérebro dada a esta captação utiliza-se da colorimetria, que é uma ciência formada por técnicas que procuraram representar por meio de modelos matemáticos o que os olhos humanos percebem como cor. A análise de cores na agricultura é utilizada amplamente em diversos segmentos, tendo como referência as técnicas colorimétricas (FERREIRA, 2017).

Por meio de câmeras digitais é possível registrar a cor em pixels utilizando - se três

sensores, O modelo mais usado é o RGB. Os sensores registram as intensidades vermelho (R), espectro Verde (G) ou azul (B). Há cinco modelos para transformar RGB em $L^* a^* b^*$: direta, gama, linear, quadrática e neural (LEÓN ET AL. 2006). Com isso, há uma alta eficiência na correlação (FERREIRA, 2017).

3.6 Análise multivariada aplicada a dados extraídos de imagens digitais

Os métodos de reconhecimento de padrões são essenciais para se achar comportamentos semelhantes e reunidos. O avanço computacional e de ferramentas advindas dessa tecnologia proporcionaram a possibilidade de análise em curto espaço de tempo de grande quantidade de informações. Por meio destes padrões encontrados há as tomadas de decisões para diversas áreas de conhecimento (FERREIRA, 2015).

A Análise de Componentes Principais (PCA) é um método utilizado para se realizar a análise multivariada de dados em uma projeção menor do que o grupo original de dados. A PCA permite dar um destaque aos dados importantes, tornando-os mais visíveis para o analista. Por meio do método se consegue verificar dados semelhantes entre amostras e se detectar de uma melhor forma dados que não se assemelham aos demais, tornando, por exemplo, mais fácil perceber falhas em processos industriais no momento em que ocorrem (FERREIRA, 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras utilizadas neste trabalho fazem parte da dissertação de mestrado de Pires (2019). A seguir, serão descritas as etapas de preparo das amostras, coleta dos dados, desenvolvimento e análise dos modelos de classificação.

4.1 Amostras

O café cru, safra 2018, foi coletado na fazenda Três Porteiras localizada no município de Ingaí - MG.

O preparo das amostras para o processo de torra foi realizado em duas etapas, sendo elas: quanto a sua forma e tamanho, utilizando somente os grãos chatos retidos nas peneiras 16 acima e a segunda seleção foi realizada retirando - se as matérias estranhas, impurezas e defeitos extrínsecos, aqueles externos ao grão de café (torrão, pau, pedra) e intrínsecos, oriundos da produção, processamento e armazenamento (grão preto, grão ardido, grão preto verde), deixando somente os sadios e íntegros.

4.2 Avaliação do valor Agtron

A avaliação do valor Agtron foi realizada por meio do espectrofotômetro modelo M - basic II (Agtron Inc., Reno, Estados Unidos da América), conforme descrito por Pires (2019). As amostras de café torrado foram organizadas em três diferentes níveis de torra (Figura 1), de acordo com a numeração dos discos Agtron da SCAA (Agtron Inc., 2010; Agtron & SCAA, 2010).

Figura 2 - Fotografia das amostras de café nos diferentes níveis de torra, de acordo com os valores dos discos Agtron/ SCAA.



Fonte: Fonte: adaptada de Pires (2019).

Tabela 2 - Classificação das amostras de café torrado em função do valor Agtron e a descrição de cada nível de torra.

Classe	Descrição do nível de torra	Número do disco Agtron
1	moderadamente clara a média clara	#75 a #65
2	média clara a média	#65 a #55
3	média a moderadamente escura	#55 a #45

Fonte: adaptada de Pires (2019) e AGTRON/SCAA (2010).

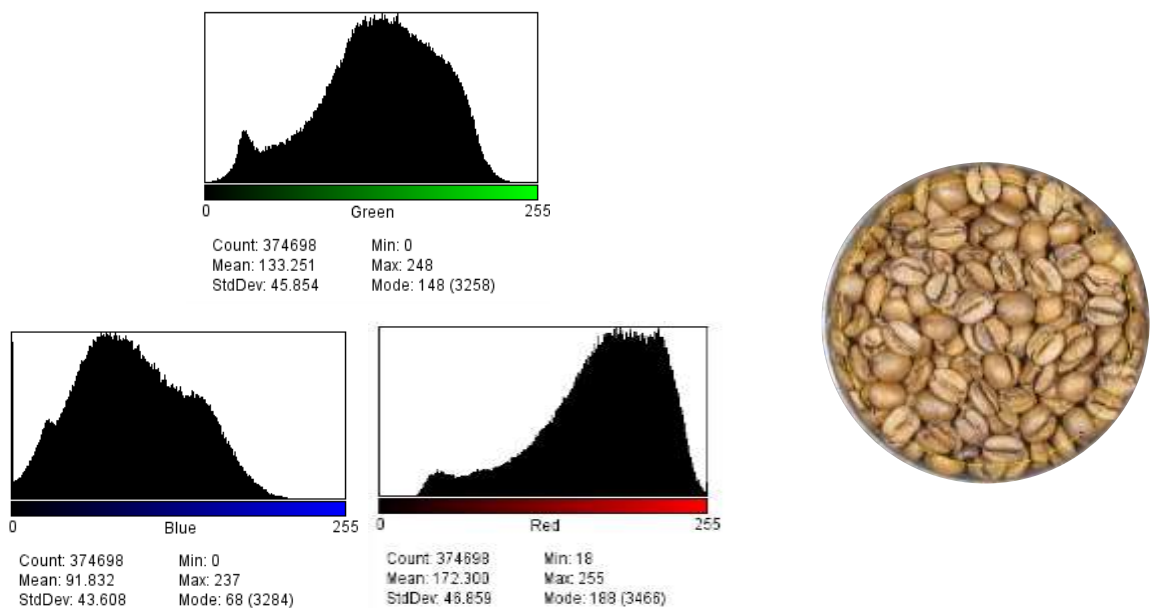
4.3 Imagem Digital

As imagens das amostras de café torrado foram obtidas utilizando o equipamento de visão computacional modelo UVDI - 254 da marca *Major Science* (Major Science Inc., Saratoga, Estados Unidos da América) que consiste em um gabinete fechado com uma câmera digital modelo *PowerShot G12* (Canon Inc., New York, Estados Unidos da América).

Os histogramas de cor foram obtidos por meio do software Fiji ImageJ®, conforme Pires (2019). A seguir, um exemplo de fotografia de cada nível de torra.

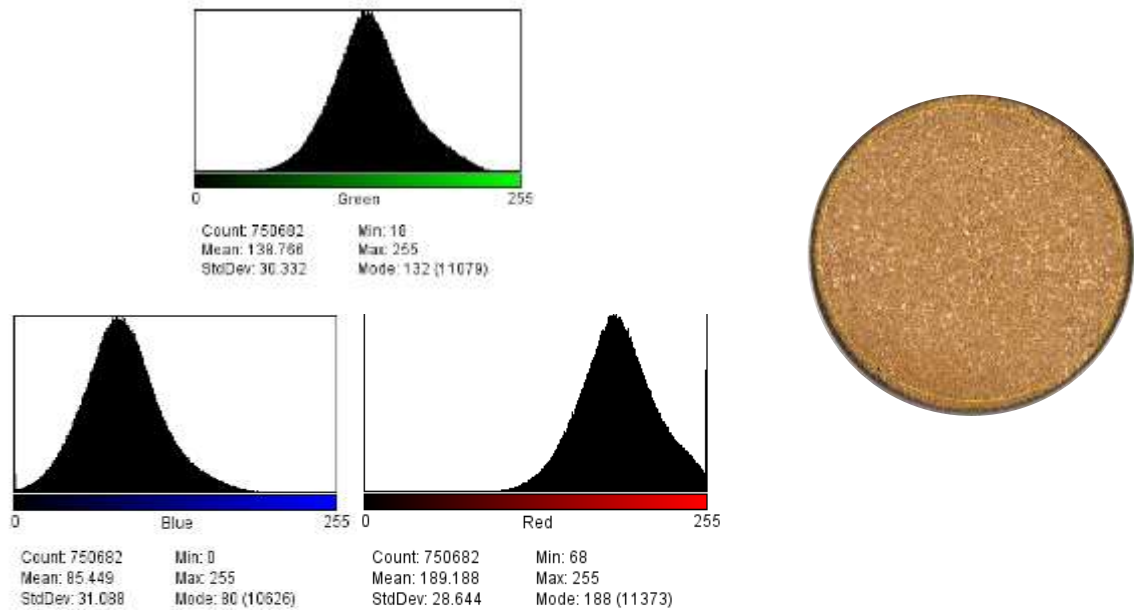
a) Nível de torra moderadamente clara a média clara (Agtron #75 a #65)

Figura 3 - Representação gráfica da metodologia realizada para a obtenção dos histogramas de cor clara do café torrado em grão do processamento de imagens.



Fonte: adaptada de Pires (2019).

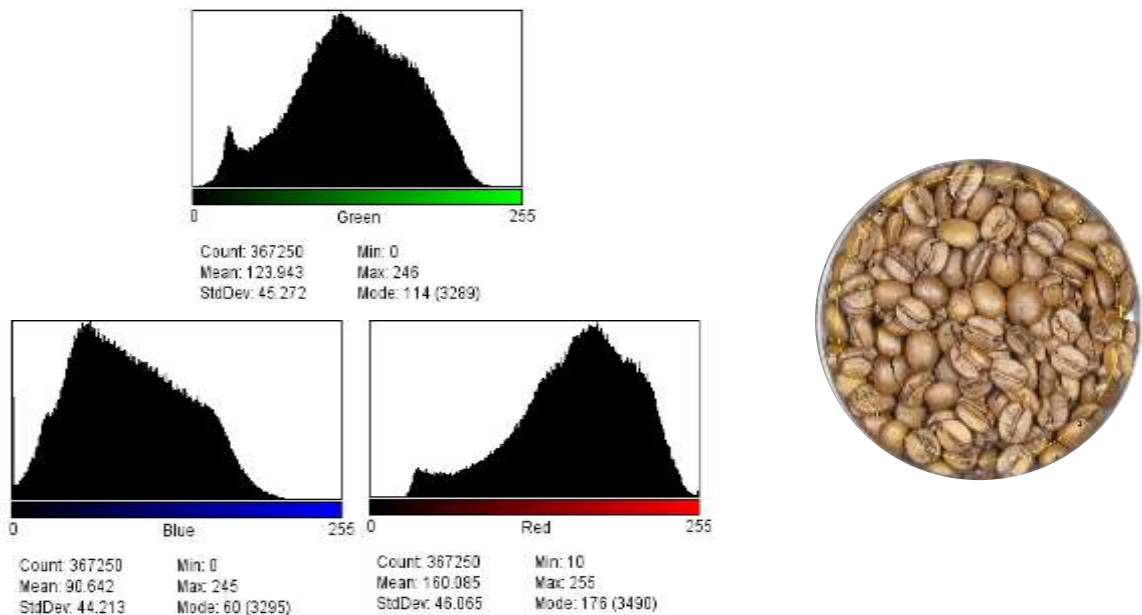
Figura 4 - Representação gráfica da metodologia realizada para a obtenção dos histogramas de cor clara do café torrado e moído do processamento de imagens.



Fonte: adaptada de Pires (2019).

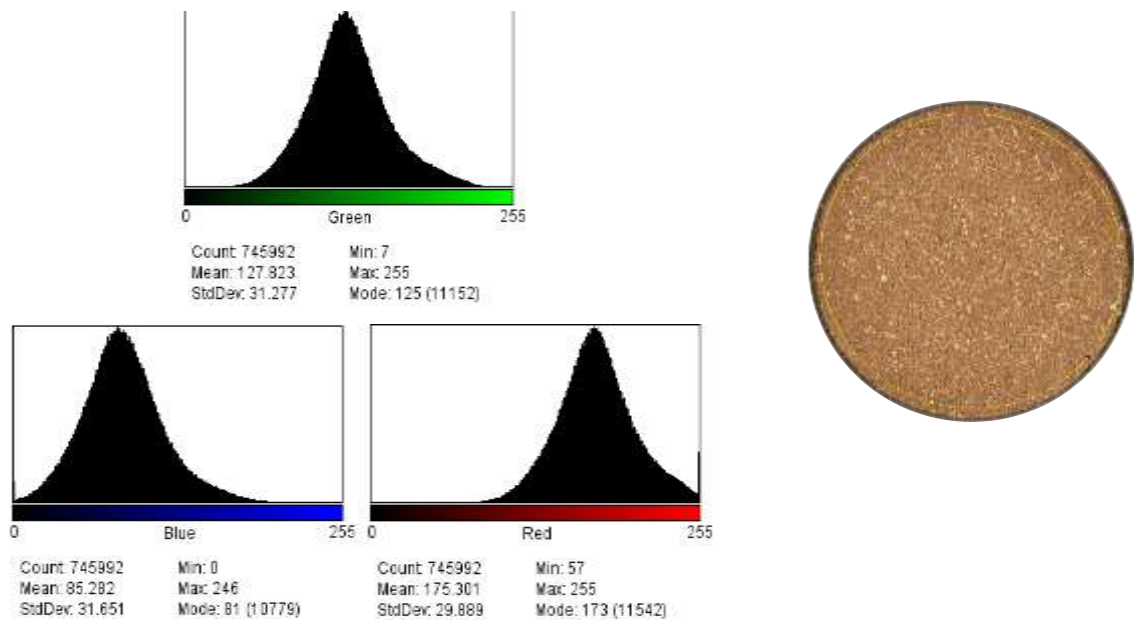
b) Nível de torra média clara a média (Agtron #65 a #55)

Figura 5 - Representação gráfica da metodologia realizada para a obtenção dos histogramas de cor média do café torrado em grão do processamento de imagens.



Fonte: adaptada de Pires (2019).

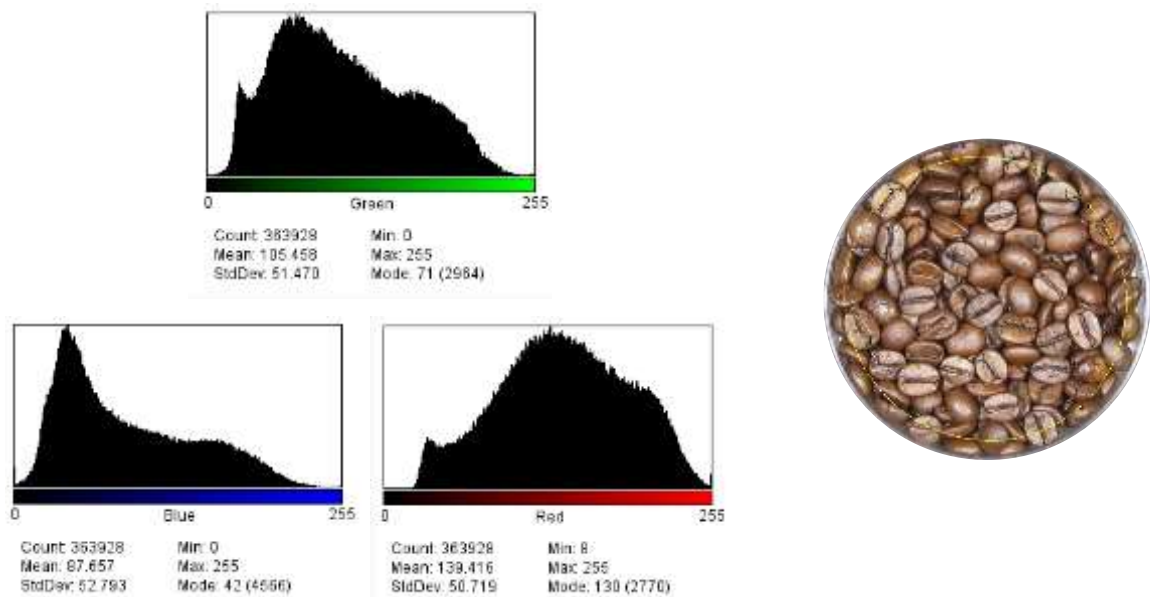
Figura 6 - Representação gráfica da metodologia realizada para a obtenção dos histogramas de cor média do café torrado e moído do processamento de imagens.



Fonte: adaptada de Pires (2019).

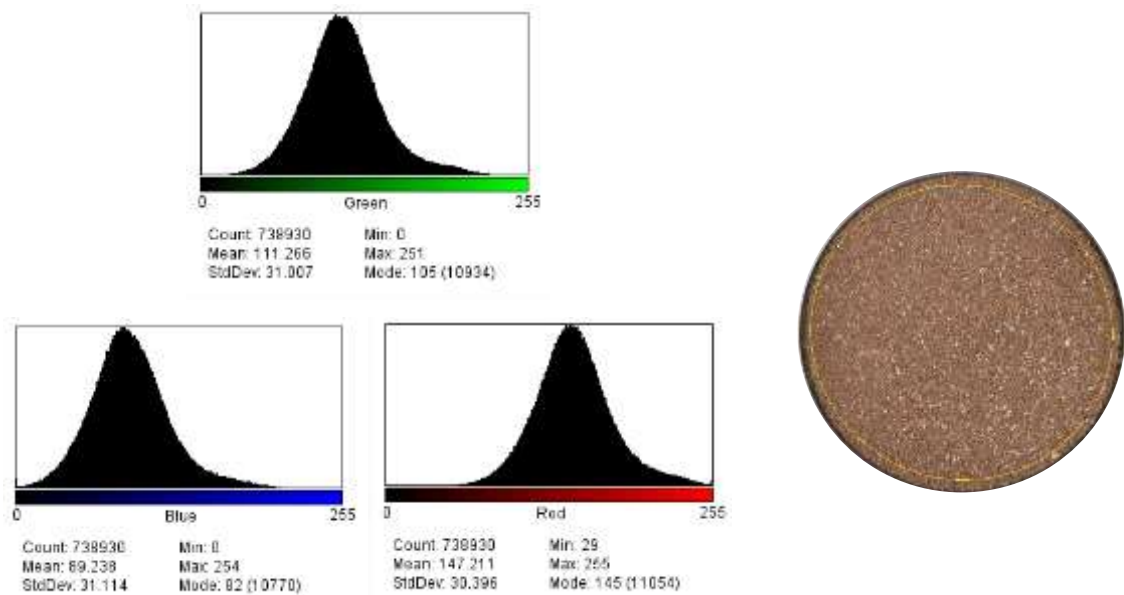
c) Nível de torra média a moderadamente escura (Agtron #55 a #45)

Figura 7 - Representação gráfica da metodologia realizada para a obtenção dos histogramas de cor escura do café torrado em grão do processamento de imagens.



Fonte: adaptada de Pires (2019).

Figura 8 - Representação gráfica da metodologia realizada para a obtenção dos histogramas de cor escura do café torrado e moído do processamento de imagens.



Fonte: adaptada de Pires (2019)

4.4 Análise Multivariada

As análises de componente principal (*Principal Component Analysis- PCA*) e análise discriminante por mínimos quadrados parciais (*Partial Least Square-Discriminant Analysis- PLS-DA*) foram realizadas utilizando o software *Chemoface*.

A análise exploratória PCA foi realizada utilizando os dados autoescalados na matriz X (variáveis de R, G, B e valor Agtron) (NUNES et al., 2012).

O modelo PLS - DA foi construído utilizando 70% do conjunto de dados para o conjunto de calibração e 30% para o conjunto teste, tal seleção foi realizada por meio do algoritmo Kennard-Stone. As amostras que foram utilizadas em cada uma das etapas são apresentadas na Figura 10. E - F para o café em grão e Figura 11. C - D para o café moído. A matriz X foi composta pelas variáveis de cor R, G, B e os dados foram autoescalados. A exclusão das amostras *outlier* foi realizada por meio da análise do gráfico de *leverages versus studentized residuals* (Figura 10. A – C para o café em grão e Figura 11. A para o café moído). O número de variáveis latentes foi escolhido por meio do gráfico de *percentage of successful classification for cross- validation* (Figura 10. D para o café em grão e Figura 11. B para o café moído) (NUNES et al., 2012).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PCA: Café em grão e moído

A Tabela 3 apresenta os valores de correlação obtidos por meio análise de PCA para cafés em grão e moído.

Tabela 3 - Valores de correlação dos parâmetros avaliados de cafés em grão e moídos (R, G, B e Valor Agtron) da análise de componentes principais.

Parâmetros	Café em grão		Café moído	
	PC1 (90,69%)	PC2 (9,01%)	PC1 (90,13%)	PC2 (9,72%)
R	-0,99	-0,26	-0,99	-0,32
G	-1,00	-0,13	-0,98	-0,40
B	-0,86	1,00	0,84	-1,00
Valor Agtron	-0,97	-0,48	-1,00	-0,13

Os resultados da análise PCA (Tabela 3) mostram que foi possível classificar as amostras de café especial quanto ao nível de torra, com 99,7% da variância explicada para cafés em grão e 99,85% da variância explicada para café moído. Isso se dá porque existe uma correlação entre os diferentes níveis de torra e os parâmetros de cor R, G, B e o valor Agtron para o café em grão e moído.

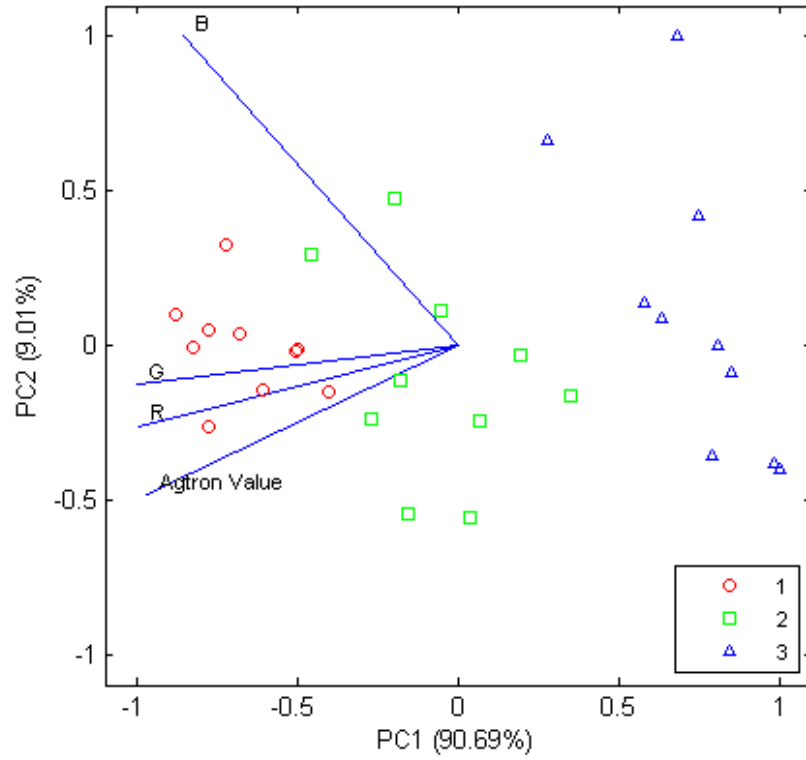
No café em grão, as variáveis R e G exercem menor influência, enquanto que a variável B exerce maior influência. No café em grão os parâmetros em PC1 obtiveram bons resultados, destacando-se o parâmetro G com -1,00, R com -0,99 e Valor Agtron com -0,97.

Para café moído em PC1 destacam-se os parâmetros Valor Agtron com -1,00, R com -0,99 e G com -0,98.

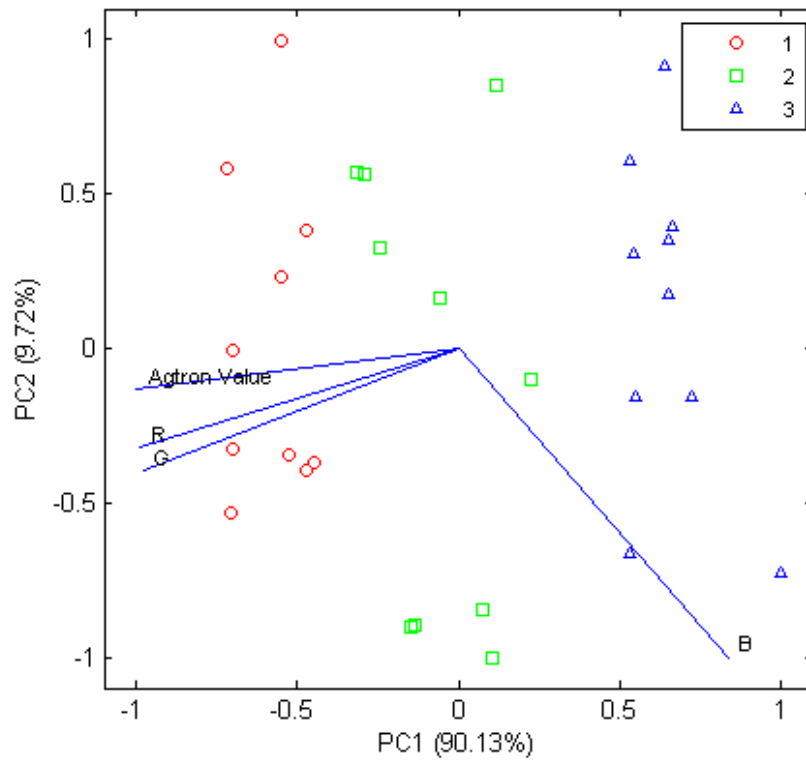
A Figura 9 apresenta os gráficos de PCA para o café em grão (A) e moído (B). Observa-se que os dados estão agrupados em classes 1, 2 e 3, em que são os níveis de torra clara (1), torra média (2) e torra escura (3). Portanto, a análise exploratória de PCA indica que as amostras e as variáveis avaliadas possuem correlação com os níveis de torra clara, média e escura.

Figura 9 - Gráfico biplot da análise de componentes principais para três níveis de torra. A: café em grão. B: café moído. 1 = torra clara; 2 = torra média e 3 = torra escura.

A



B



5.2 PLS - DA: Café em grão e moído

A Tabela 4 apresenta valores de calibração multivariada obtida pela análise de PLS - DA a partir dos valores extraídos da análise de cor RGB e Agtron.

Tabela 4 - Parâmetros estatísticos para modelos PLS - DA

Parâmetros (%)	Café em grão (2 VL)				Café moído (3 VL)			
	Geral	Classes			Geral	Classes		
		1	2	3		1	2	3
Acc (c)	84,21	100,00	57,14	100,00	95,24	100,00	100,00	87,50
Acc (cv)	68,42	80,00	28,57	100,00	95,24	100,00	100,00	87,50
Acc (p)	100,00	100,00	100,00	100,00	88,89	75,00	100,00	100,00

Classes de nível de torra: 1 – torra clara; 2 – torra média; 3 – torra escura para café em grão e moído. *Accuracy in calibration* = Acc (c). *Accuracy in external cross-validation* = Acc (cv) e *Accuracy in prediction* = Acc (p).

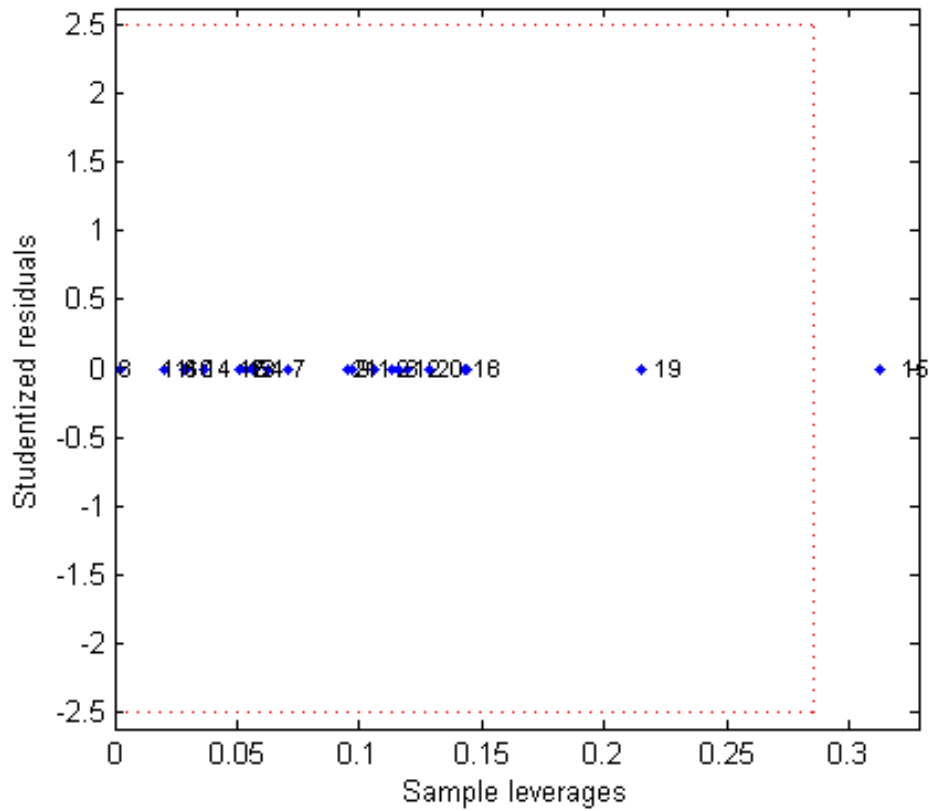
A Tabela 4 apresenta os resultados da análise de PLS - DA. O percentual de classificação correta para o modelo de calibração (*accuracy in calibration*) para café em grão foi de 100 % para torra clara e escura e de 57,14 % para a torra média. Já o percentual de classificação correta para o modelo de calibração (*accuracy in calibration*) para o café moído foi de 100 % para as torras clara (classe 1) e média (classe 2) e 87,5 % para a torra escura (classe 3).

O percentual de classificação correta para o modelo de predição (*Accuracy in prediction*) para café em grão foi de 100 % para as torras clara, média e escura, usando 2 variáveis latentes. Para café moído foi de 100 % para as torras média (classe 2) e escura (classe 3) e 75 % para a torra clara (classe 1), usando 3 variáveis latentes. A Figura 10 - E mostra, perfeitamente, que houve uma distribuição uniforme das amostras conforme a classe de torra na calibração.

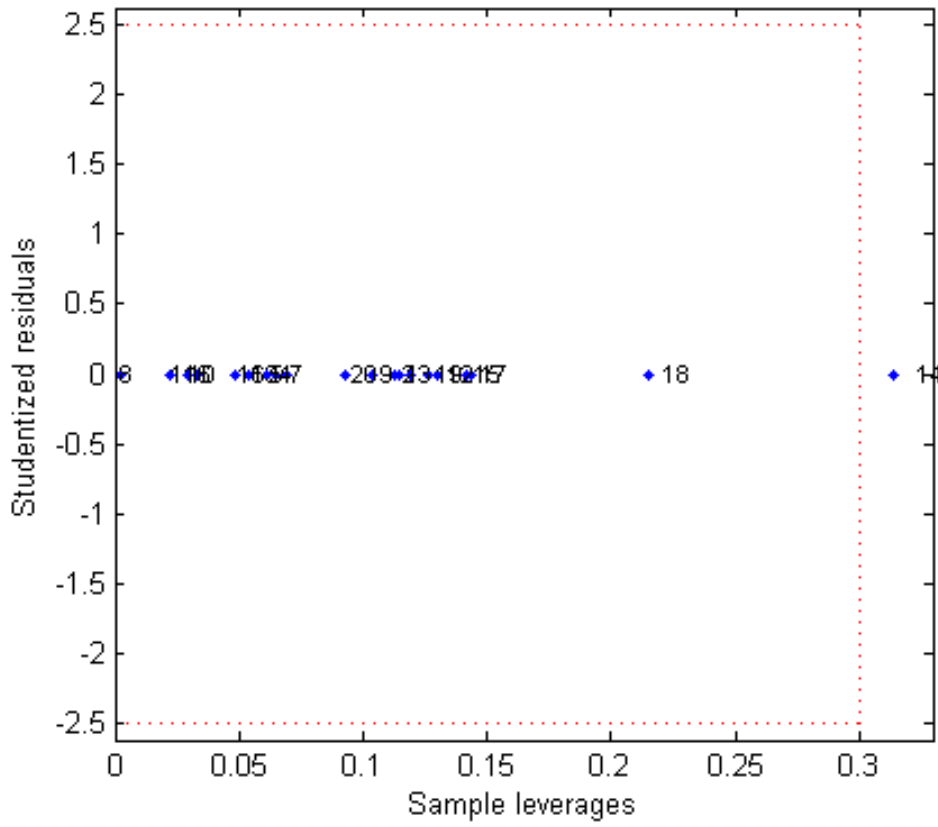
Portanto, a classe torra média para café em grão foi a que apresentou maior dificuldade para o método definir com exatidão conforme a análise PLS - DA no parâmetro de calibração. Um dos fatores que explicam esse resultado é a proximidade dos valores de torra média com torra clara e escura. Este mesmo resultado ocorreu no estudo de Pires et al. (2020) em que a torra média foi classificada incorretamente como torra clara ou escura.

Figura 10 – Modelo PLS - DA para café em grão. A-C: *Leverages versus studentized residuals for outlier test*. D: *Number of latent variables (LV) versus percentage of successful classification for cross-validation*. E: *classes para amostras de calibração*. F: *classes para amostras de validação*. G: *measured versus predicted multiplot*.

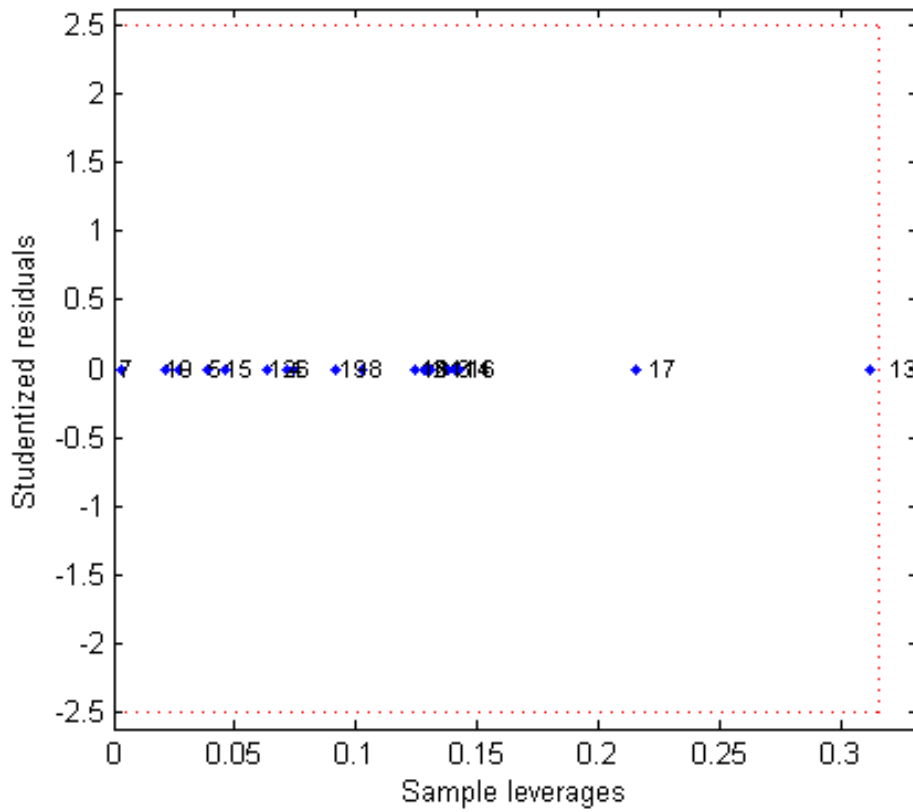
A

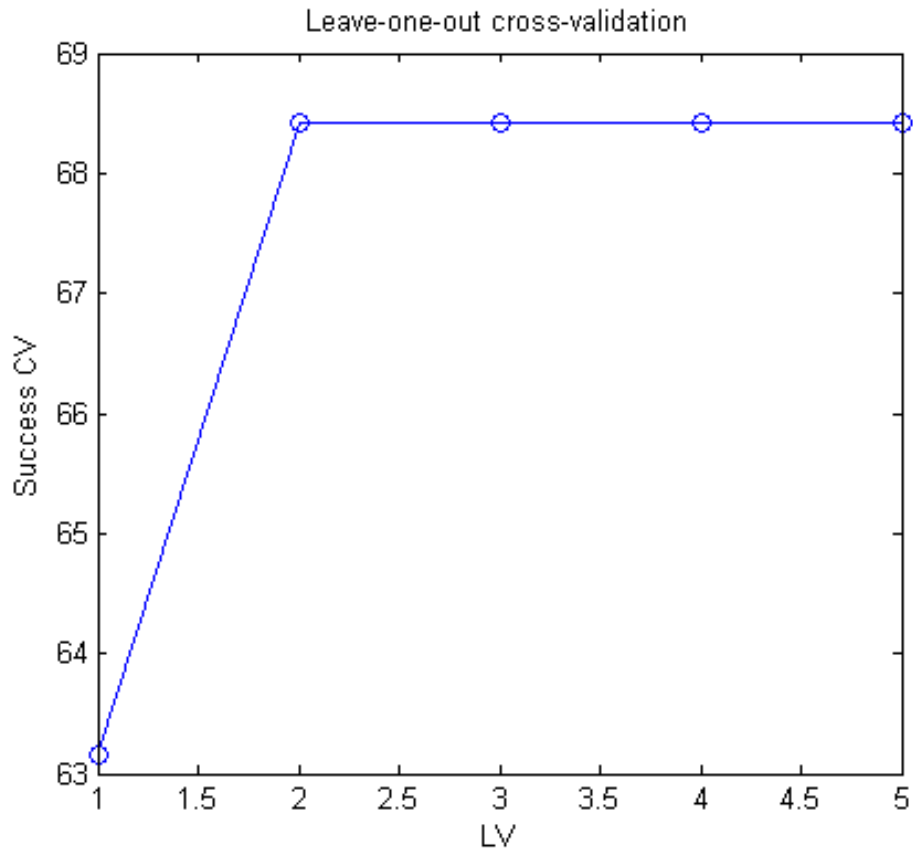
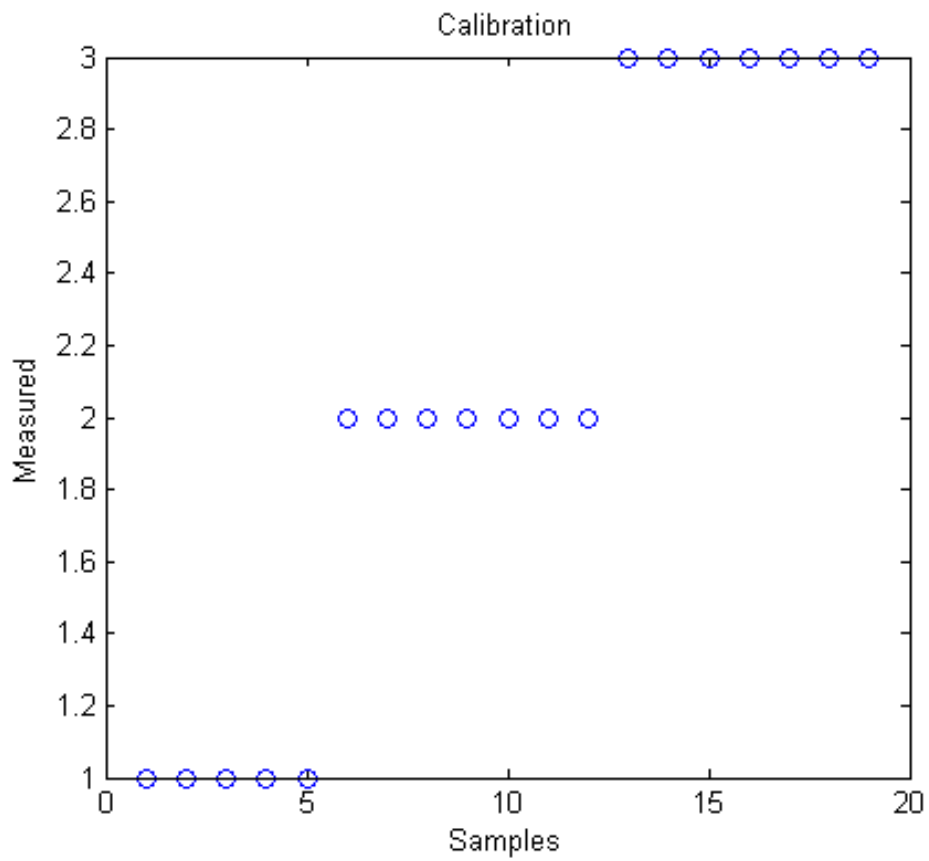


B



C



D**E**

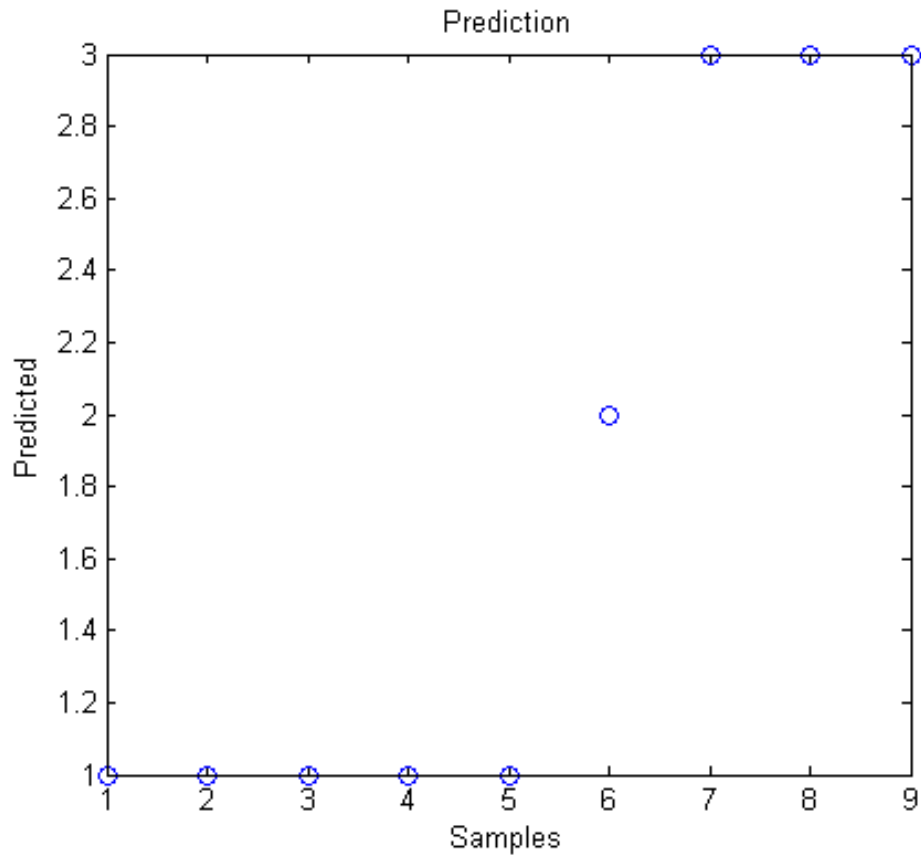
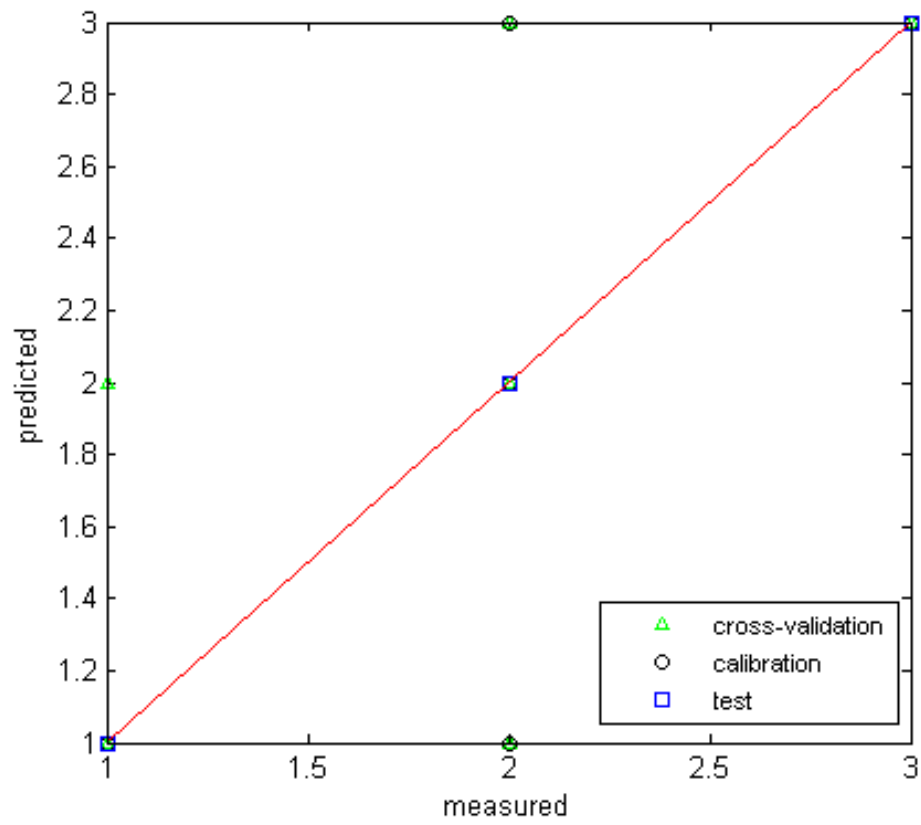
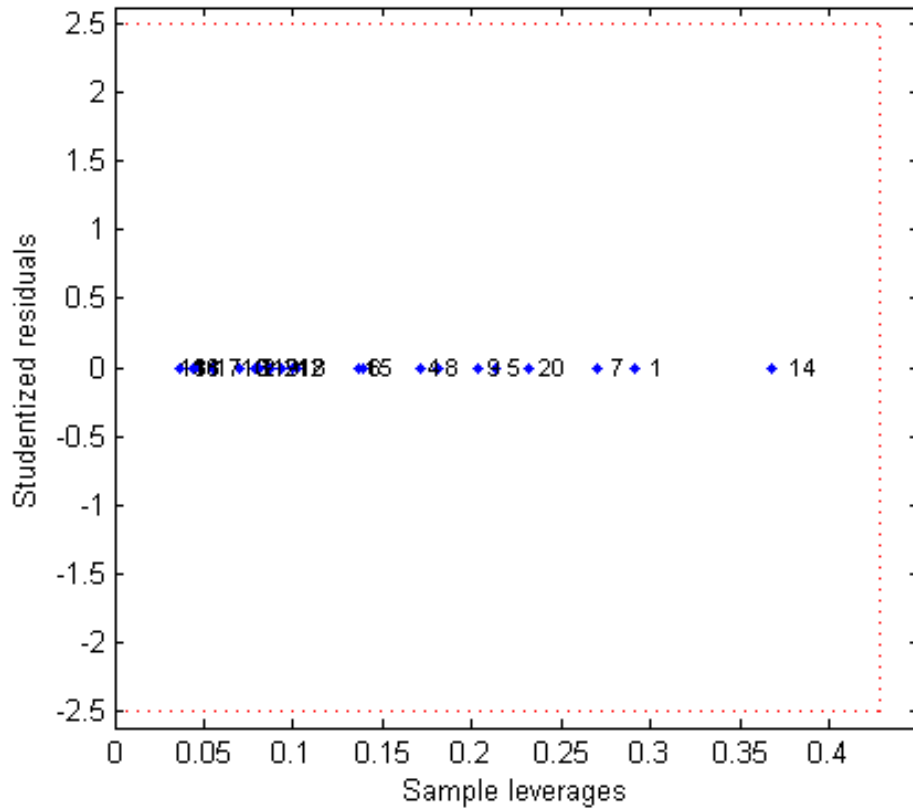
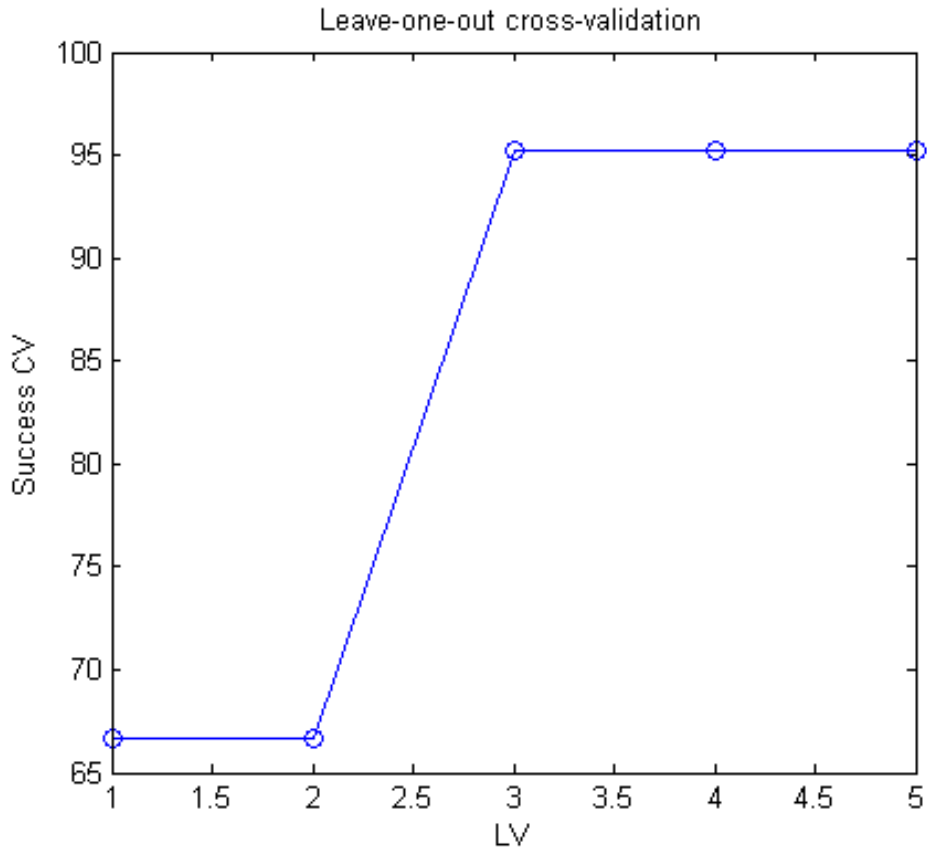
F**G**

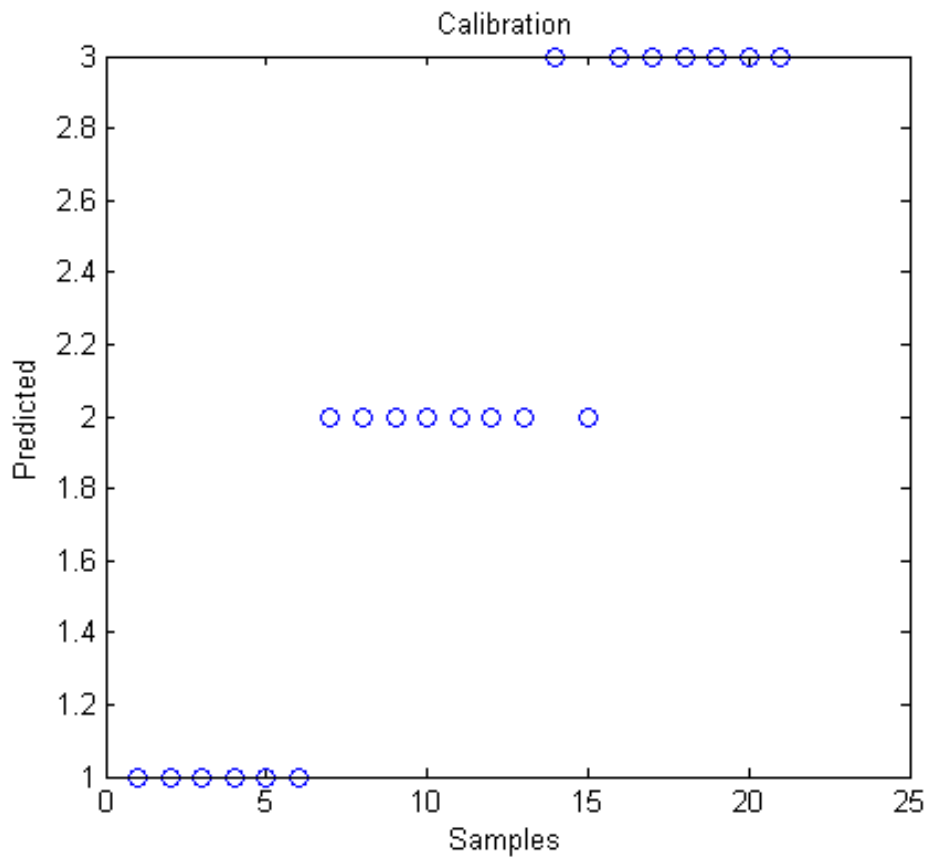
Figura 11 - Modelo PLS - DA para café moído A: *Leverages versus studentized residuals for outlier test.* B: *Number of latent variables (LV) versus percentage of successful classification for cross-validation.* C: *classes para amostras de calibração.* D: *classes for validation samples.* E: *measured versus predicted multiplot.*



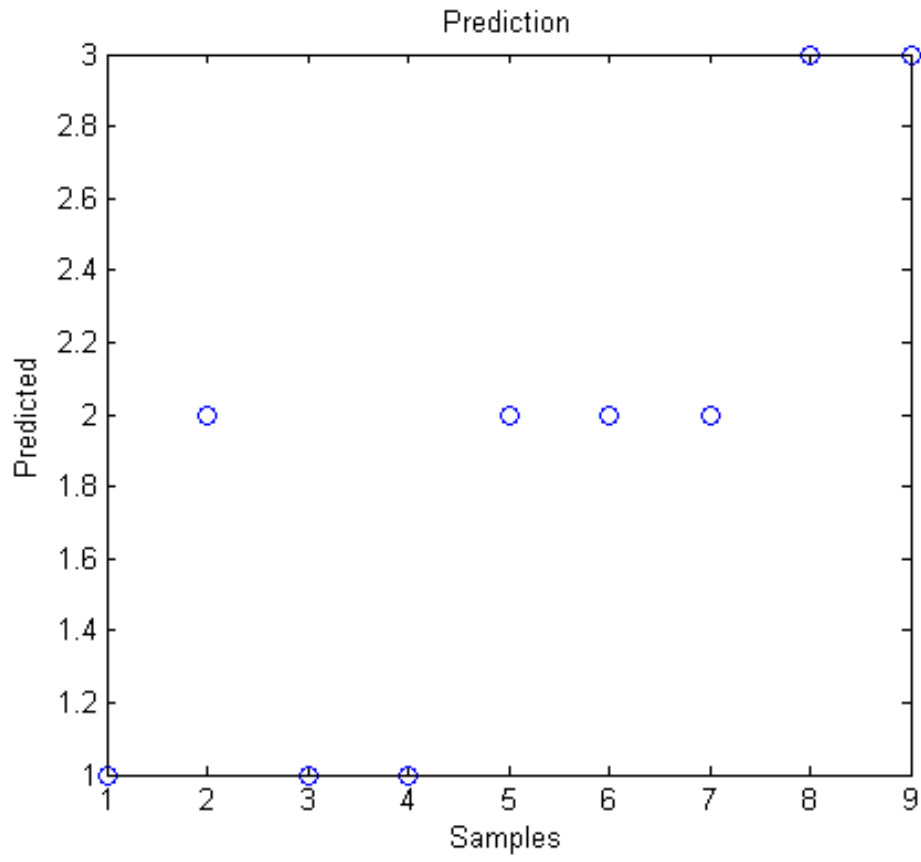
B



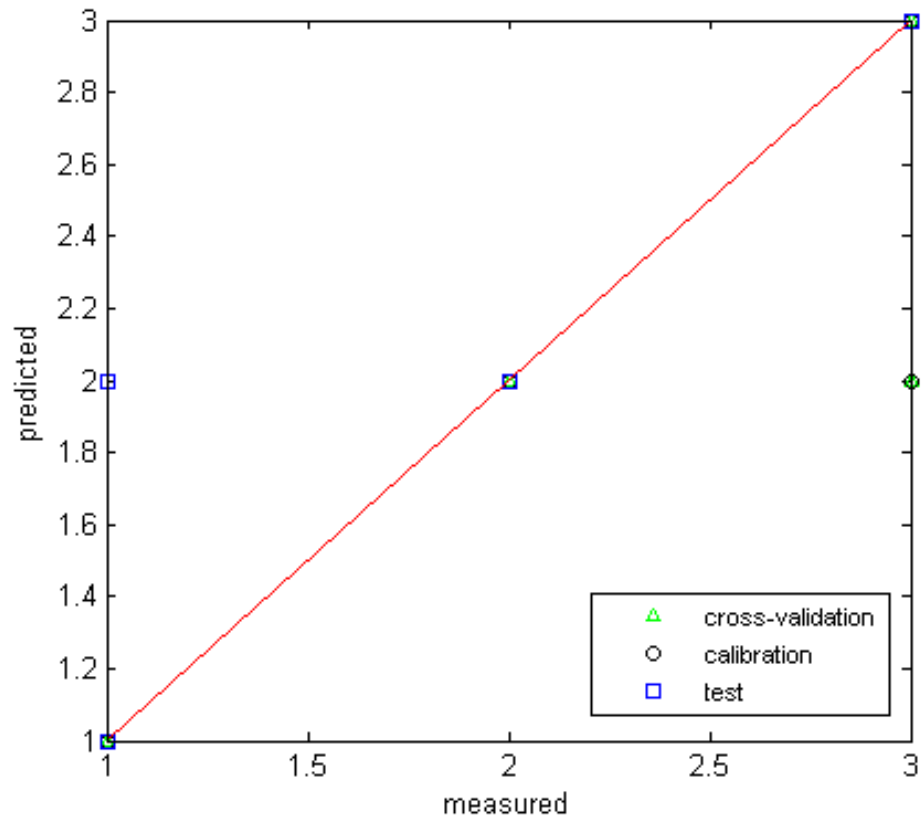
C



D



E



5.3 Análise de concordância- *Kappa*

As Tabelas 5 e 6 apresentam os valores de concordância por meio da estatística *Kappa*.

A análise de concordância entre os níveis de torra dos dados experimentais e preditos (calibração e validação) pelo modelo PLS - DA foi realizada por meio da estatística *Kappa*, utilizando - se as Equações 1 e 2 para o desenvolvimento dos cálculos de valor k .

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B) \quad (\text{Equação 1})$$

$$k = \frac{k_1 - k_2}{1 - k_2} \quad (\text{Equação 2})$$

Tabela 5 - Resultado da análise de concordância para café torrado em grãos por meio da estatística *Kappa*.

Café torrado em grãos				
Nível de torra experimental (A)	Nível de torra predito (B)			Total
	Torra clara	Torra média	Torra escura	
Torra clara	10	0	0	10
Torra média	2	5	1	8
Torra escura	0	0	10	10
Total	12	5	11	28
Equação 1	0.15	0.05	0.14	
$k_2 = \text{Somadas probabilidades}$	0.34			
$k_1 = \text{Pares de observações concordantes}$	0.89			
Equação 2	0.84			

Tabela 6 - Resultado da análise de concordância para café torrado moído por meio da estatística *Kappa*.

Café torrado e moído				
Nível de torra experimental (A)	Nível de torra predito (B)			Total
	Torra clara	Torra média	Torra escura	
Torra clara	9	1	0	10
Torra média	0	10	0	10
Torra escura	0	1	9	10
Total	9	12	9	30
Equação 1	0.10	0.13	0.10	
$k_2 = \text{Somadas probabilidades}$	0.33			
$k_1 = \text{Pares de observações concordantes}$	0.93			
Equação 2	0.90			

Na Tabela 5 de análise de concordância (*Kappa*) para café torrado em grão o valor de k foi de 0,84, considerado um resultado quase perfeito, houve uma discrepância na avaliação de torra média em que apareceram erros de classificação em 3 de 8 amostras. Na Tabela 6 na análise de café torrado moído, o valor de k foi de 0,90 havendo 1 erro em 10 amostras para torra clara, e 1 erro em 10 amostras para torra escura e nenhum erro na torra média. O valor de k para café em grão mostra quanto a amostra é confiável. Os dois foram quase perfeitas, conforme a descrição da Tabela 7.

A Tabela 7 apresenta medidas de concordância para dados categóricos de acordo com a estatística *Kappa*.

O coeficiente de consistência *Kappa* utilizado para descrever a consistência de variáveis na avaliação nominal ou sequencial de uma mesma amostra.

Tabela 7 – Escala do índice *Kappa*.

MEDIDAS DE CONCORDÂNCIA PARA DADOS CATEGÓRICOS	
Estatística kappa	Força de Acordo
<0.00	Pobre
0.00-0.20	Pouco
0.21-0.40	Razoável
0.41-0.60	Moderado
0.61-0.80	Substantial
0.81-1.00	Quase perfeito

Embora essas divisões sejam claramente arbitrárias, elas fornecem "referências" úteis para a discussão do exemplo específico na Tabela.

Fonte: adaptada de Landis & Koch (1977).

A partir da Tabela 7 de (Landis & Koch, 1977) com os dados de k_1 e k_2 , pode - se analisar o nível de confiança da análise de PLS-DA, obtendo bons resultados de concordância, sendo eles quase perfeitos.

6 CONCLUSÃO

A análise de PCA por meio dos parâmetros R, G, B e valor Agtron indicam que as amostras e os parâmetros avaliados possuem similaridade quanto os diferentes níveis de torra clara (classe 1), média (classe 2) e escura (classe 3).

De modo geral, a utilização de imagem digital para classificação do café é possível, bem como utilizá-la como meio de avaliação do nível de torra do grão de café. A técnica é promissora e o resultado obtido sugere a utilização do modelo PLS - DA de calibração multivariada para a classificação do nível de torra do café especial em grão e moído.

O nível de concordância na estatística *Kappa* foi descrito como quase perfeito entre o nível de torra avaliado experimentalmente por meio do valor Agtron em amostras de classes de torra clara, média e escura e o nível de torra destas classes predito pelo modelo PLS- DA.

REFERÊNCIAS

- Agtron & Specialty Coffee Association of America - SCAA. (2010). Roast Color Classification System. (pp. 1-9)
- AGTRON. Specialty Coffee Association. **Roast color classification system**. Long Beach: SCAA, 2010. 9 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.8, 11/06/03. Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. Brasília: MAPA. 2003
- CONSELHO NACIONAL DO CAFÉ. Consumo. 2021. Disponível em: <https://cncafe.com.br/consumo/> Acesso em 18 de Novembro de 2021
- CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ. Tendências de Consumo de Café: Torrado, Torrado e Moído e Solúvel. 2020. Disponível em: www.consorcioquesquisacafe.com.br/index.php/tendencias-de-consumo Acesso em: 18 de Novembro de 2021
- DOS REIS, Nilmar Diogo et al. Percepção dos consumidores da Cafeteria Escola Cafesal-UFLA: uma análise sensorial de diferentes tipos de torra de café especial. **Revista Expectativa**, v. 20, n. 1, p. 17-33.
- EDITORA GAZETA. Anuário Brasileiro do Café 2021. 2021. Disponível em: <https://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-do-cafe-2021/> Acesso em 12 de Outubro de 2021
- Fabiana de Carvalho Pires; Rosemary G.f.a. Pereira; Cleiton Nunes; Roney Alves da Rocha et al. PREDICTION OF AGTRON VALUE AND CLASSIFICATION OF COFFEE ROASTING DEGREES BY COLOR PARAMETERS. In: ANAIS DO 14 SLACA - SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 2021, Campinas. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2021. Disponível em: <https://proceedings.science/slaca-2021/papers/prediction-of-agtron-value-and-classification-of-coffee-roasting-degrees-by-color-parameters> Acesso em: 10 de out. 2021.
- FERREIRA, Marcos David. **Instrumentação na pós-colheita de frutas e hortaliças**. Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico, 2017.
- FERREIRA, Marcia Miguel Castro. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. Editora da UNICAMP, 2015.
- GIOMO, G. S. Uma boa pós-colheita é segredo para qualidade. Campinas-SP **.A Lavoura**, p. 12–21, 2012.
- LOPES, Luciana Maria Vieira. **Avaliação da qualidade de grãos crus e torrados de cultivares de cafeeiro (coffea arabica L.)**. 2000.
- LANDIS, J. R., KOCH, G. G. The measurement of Observer Agreement for Categorical Data. 1977. *Biometrics*, vol. 33, no. 1, pp. 159-174. Acesso em 01 de novembro de 2021

LEÓN, K. et al. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. **Food Research International**, Barking, v. 39, n. 10, p. 1084-1091, Dec. 2006.

MELO, W. L. B. **A importância da informação sobre do grau de torra do café e sua influência nas características organolépticas da bebida**. São Carlos: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2004. 4 p. (Comunicado Técnico, 58).

NUNES, Cleiton A. et al. Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, p. 2003-2010, 2012.

OLIVEIRA, M. Avaliação das informações obrigatórias e facultativas contidas nos rótulos de café tradicional e especial e sua influência na decisão de compra dos consumidores. p. 10512, 2017.

PIRES, Fabiana de Carvalho. **MÉTODOS INSTRUMENTAIS ALTERNATIVOS PARA A PREDIÇÃO DA COR DO CAFÉ TORRADO**. 2019. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Ufla, Lavras, 2019.

Pires, Fabiana, Rosemary Pereira, Michel Baqueta, and Rorey Rocha. 2020. "Classification of Intact and Ground Coffee Roasted under Different Conditions Using NIR Spectroscopy and PLS-DA Strategies of One and Multiclass." : 1.

POISSON, L. et al. The chemistry of roasting: decoding flavor formation. In: FOLMER, B. The craft and science of coffee. Amsterdam: Academic Press, 2017. chap. 12, p. 273-309.

SILVA, J. R. **Otimização do processo de torração do café pelo monitoramento de parâmetros e propriedades físicas e sensoriais**. 2008. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION (SCA). **Cupping protocols**. Califórnia: SCA, 2019. Disponível em: <<https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>>. Acesso em: 20 out. 2021.