

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA

ANDRE VINICIUS DESCONSI

APLICAÇÃO DA QUIMIOMETRIA NO ESTUDO DA QUALIDADE DO CAFÉ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Pato Branco – PR
2018**

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA**

ANDRE VINICIUS DESCONSI

APLICAÇÃO DA QUIMIOMETRIA NO ESTUDO DA QUALIDADE DO CAFÉ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Pato Branco – PR
2018**

ANDRE VINICIUS DESCONSI

APLICAÇÃO DA QUIMIOMETRIA NO ESTUDO DA QUALIDADE DO CAFÉ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química.

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Aparecido de Lima

PATO BRANCO

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado Aplicação de Quimiometria no Estudo da Qualidade do Café foi considerado APROVADO de acordo com a ata da banca examinadora N° 1.1.2018-B de 2018.

Fizeram parte da banca os professores.

Vanderlei Aparecido de Lima

Pedro Paulo Pereira

Davi Costa Silva

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Maria Jose da Paz e Ildo Joao Desconsi, por estarem sempre ao meu lado me apoiando em todos os momentos, sem medir esforços para estarem presentes de alguma forma, mesmo na distância.

Dedico também aos minha irmãos João Paulo da Paz e Luana Karoliny Desconsi, que mesmo distantes sempre se fizeram presentes. A toda minha família que de alguma forma colaborou e me incentivou durante todos esses anos de curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo zelo e proteção durante todos os momentos de minha vida. A Nossa Senhora das Graças pela intercessão constante e por todas as bênçãos recebidas. Aos meus pais Ildo João Desconsi e Maria José da Paz por todo apoio, por me ensinarem os valores da vida e acreditarem em mim, mesmo em momentos em que eu mesmo desacreditei, pelas palavras de conforto e também as de cobrança, que sempre me fizeram ser uma pessoa melhor. Aos meus irmãos João Paulo e Luana que são em todos os momentos meu porto seguro e exemplos de seres humanos a quem guardo as melhores lembranças de uma infância bem vivida.

A minha esposa Pamela e minha filha Maria Flor por quem busco sempre ser alguém melhor, para que eu mereça tamanha felicidade e também para que eu seja bom exemplo como pai e companheiro.

A todos os amigos que fiz na graduação, em especial ao Claudio, Fabiana, Marcella e Patrícia. Pelo prazer da caminhada e por dividir as alegrias e dificuldades aliviando assim o peso desses longos anos acadêmicos.

A todo corpo docente que de várias maneiras contribuíram na minha formação profissional. Em especial ao professor Vanderlei, que me cedeu seu tempo, seu conhecimento e me deu todo o suporte necessário.

“ Irmão, você não percebeu
que você é o único representante
do seu sonho na face da terra
Se isso não fizer você correr, chapa
eu não sei o que vai”
(Emicida)

RESUMO

DESCONSI, André Vinicius. Aplicação da Quimiometria no estudo da qualidade do café 32 f. TCC (Curso de Química), Universidade Tecnológica do Paraná. Pato Branco, 2018.

O café é principal produto de exportação brasileiro, concedendo ao Brasil o título de maior exportador de café do mundo. O brasileiro é também o segundo maior consumidor de café do mundo. Quase todo café disponível no mercado é dividido em duas categorias: Arábica (**Coffea arábica L.**) e café robusta/connilon (**Coffea canéfora L.**). Este trabalho teve como objetivo identificar fraudes em cafés comerciais utilizando de quimiometria aplicada em análises de imagens, de padrão RGB (*Red, green, blue*). Cafés puros de alta e baixa qualidade e suas misturas (adulterações) foram fotografados e seus canais de cores de padrão RGB foram extraídos no *software* ChemoStatV2. Os tons de cinzas do padrão RGB foram utilizados para as análises estatísticas. Foram utilizados dois tipos de análises multivariadas complementares. Análise de componentes principais (PCA) e Análise de agrupamento hierárquico (HCA). Com os resultados das análises de componentes principais e das análises de cluster (agrupamento hierárquico) foi possível definir os grupos de cafés que mais se assemelham entre si e compará-los com café considerado padrão (IND A). Cafés puros e cafés adulterados apresentam um padrão característico de cores que podem ser detectados por meio de quimiometria.

Palavras-chave: Café, Quimiometria, Imagem, PCA, HCA.

ABSTRACTS

Coffee is the main Brazilian export product, giving Brazil the title of the largest coffee exporter in the world. The Brazilian is also the second largest consumer of coffee in the world. Almost all coffee available in the market is divided into two categories: Arabica (*Coffea arabica* L.) and robusta / conilon coffee (*Coffea canéfora* L.). This work aimed to identify fraud in commercial coffee using chemometrics applied in image analysis, RGB standard (Red, green, blue). Pure high and low quality coffees and their mixtures (tampering) were photographed and their RGB standard color channels were extracted into the ChemoStatV2 software. The gray tones of the RGB standard were used for statistical analyzes. Two types of complementary multivariate analyzes were used. Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Grouping Analysis (HCA). With the results of the principal component analyzes and the cluster analyzes, it was possible to define the groups of coffee that most resemble each other and to compare them with coffee considered standard (IND A). Pure and adulterated coffees have a characteristic color pattern that can be detected by chemometrics.

x

Keywords: Coffee, Chemometrics, Image, PCA, HCA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escala Sensorial do café torrado e moído.....	19
Figura 2: Principais estados produtores de café do Brasil	20
Figura 3: Imagens capturadas das amostras de café.....	24
Figura 4: Gráfico de dispersão analisando componentes principais utilizando dados da quantidade de pixels em amostras de café padronizadas por imagem de 1000 x 800 pixels.	25
Figura 5: Dendograma completo das amostras de café por ligação simples	27
Figura 6: Gráfico de escores médios das duas primeiras componentes principais utilizando decomposição dos canais RGB das imagens (1000 x 800 pixels) de amostras de cafés	28
Figura 7: Dendograma de média das amostras de café por ligação simples	29

LISTA DE TABELAS

Tabela : Amostras com seus respectivos valores de mercado.....	22
Tabela 2: Definição dos grupos de amostras a serem analisado.....	22

LISTA DE SIGLAS

RGB	Red, Green, Blue
PCA	Principal Component Analysis
HCA	Hierarchical Cluster Analysis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
3 REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
3.1 CLASSIFICAÇÃO DO CAFÉ.....	17
3.2 COMPOSIÇÃO DO CAFÉ.....	17
3.3 CONTROLE DE QUALIDADE.....	18
3.4 ECONOMIA CAFEEIRA.....	19
3.5 QUIMIOMETRIA.....	20
3.5.1 Análise de Componentes Principais (ACP)	21
3.5.2 Análise por Agrupamento Hierárquico (HCA).....	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 METODOLOGIA DE PREPARO DAS AMOSTRAS.....	22
4.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6 CONCLUSÕES	31
7 REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Das muitas histórias contadas sobre o surgimento do café, talvez a mais conhecida seja a do Pastor Kaldi, que viveu na Absínia, há mais de mil. Diz a lenda que enquanto ele pastoreava suas cabras, percebeu que a maioria tinha comportamento calmo e tranquilo enquanto estavam por perto, mas as que por um descuido fugiam para a montanha próxima ficavam agitadas. Certo dia, ele seguiu-as para descobrir o mistério. Assim percebeu que ao alimentar-se de pequenos frutos amarelo avermelhados de arbustos que haviam ali, voltavam com comportamento alterado. O Pastor contou o fato a um monge da região que decidiu experimentar o fruto na forma de infusão (MARTINS,2012).

O nome tem origem do árabe *qahwa* e quer dizer vinho, por isso ao chegar na Europa, o café era conhecido como "vinho da Arábia" (MARTINS, 2012). Devido a grande busca do produto, o café expandiu-se e foi transportado para o Novo mundo. Colonizadores europeus trouxeram-no à Cuba, Guianas, Porto Rico e chegando ao norte do Brasil.

Segundo a pesquisa desenvolvida pelo MEC (2005), em 1727 o militar e sertanista Sargento Francisco de Mello Palheta começou o cultivo do café em Belém que logo se espalhou sobre o território nacional. Da produção inicial, utilizada somente para o mercado doméstico, em pouco tempo o café tornou-se sustento da economia brasileira e já no fim do século 18, o Brasil exportava o grão.

O primeiro grande impacto econômico ocorreu na crise de 1929, quando o café já era o principal produto de exportação do país. Com a quebra da bolsa de Nova York o preço internacional do café caiu pelos excedentes da exportação e milhões de sacas estocadas tiveram que ser queimadas (MEC, 2005).

No primeiro decênio da Independência, o Brasil tinha o café como o terceiro produto de exportação. À sua frente estavam apenas o açúcar e o algodão, que, embora decadentes, ainda figuravam no mercado internacional (FARIA; MANOLESCU,2004).

Atualmente, nas operações de comercialização do café, especialmente no estabelecimento do preço do produto, influem muito as oscilações nas cotações em Bolsas internacionais especializadas, como a de Nova York para os cafés arábica e a de Londres para cafés robusta (COSTA,2013).

De acordo com Ferreira e Santos (2017) a safra estimada para 2017 deveria atingir um volume total de 44,77 milhões de sacas de 60 kg. Desse montante em torno de 76% do tipo arábica e 24% robusta. Uma produtividade de aproximadamente 24 sacas por hectare.

O Brasil é o maior produtor e exportador de café no mundo e o brasileiro é o segundo maior consumidor deste produto. Segundo o Balanço Comercial do Agronegócio, em dezembro de 2016, o produto representou 9,8% das exportações brasileiras, movimentando o montante de US\$ 600,74 milhões (BESSA; FERREIRA, 2018).

Atualmente, se há conhecimento de mais de 60 espécies de café, no Brasil as que predominam no mercado são, majoritariamente duas variedades: o café o Arábica (**Coffea Arábica L.**) e o Robusta/Conilon (**Coffea Canephora L.**) e também suas misturas - chamados *Blends*. Além dos tipos de café, outras discriminações relacionadas ao controle de qualidade na produção são observadas: duro ou mole, grau de torra, dimensão do grão (através de peneiramento), cor do grão (que indica conservação ou envelhecimento), etc. Esses são quesitos fundamentais, já que afetam diretamente no valor de comércio.

A legislação nacional permite cafés do tipo *Blends* para comercialização no mercado. Esse tem a finalidade de levar ao consumidor final um produto agradável nos quesitos do tipo, amargor, sabor, coloração e preço. Depois de torrado e moído, no café é comum encontrar cascas e paus proveniente do próprio cafeeiro. Contudo, outras espécies vegetais de menor custo como: milho, soja, cevada e arroz são propositalmente inseridos para fraudar o café. Este material estranho além de alterar a qualidade do produto, causa danos econômicos e até à saúde do consumidor (MATOS et al, 2012).

Para identificar os compostos químicos e também fraudes em cafés, podem ser utilizadas técnicas analíticas aliadas à quimiometria. A Quimiometria juntamente com técnicas espectroscópicas aparecem como alternativas para identificação simples e precisas para distinguir adulterantes e discriminantes de defeito em café, milho e cevada (REIS; FRANCA; OLIVEIRA, 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar fraudes em cafés comerciais utilizando-se quimiometria aplicada a imagens.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 CLASSIFICAÇÃO DO CAFÉ

O pé de café pertence ao gênero da família Rubiaceae que tem diversas espécies. A predominância mundial é dividida em espécies do tipo **Coffea arabica L.** (arábica) e **Coffea canéfora L.** (café robusta/conilon), e também as misturas designadas *Blends* (MATOS et al., 2012).

A produção cafeeira mundial se divide em torno de 70 % arábica que se desenvolve em regiões com temperaturas amenas e terrenos montanhosos. Em comparação com a do tipo robusta ele é mais vulnerável a pragas, geadas e doenças. Tem grãos relativamente maiores que o Robusta e um sabor mais adocicado e acidífero. Na produção do café arábica, o Brasil é o país que possui menor custo de produção deste tipo de café, o qual, aliado à produtividade, tem garantido a manutenção e o crescimento da participação no mercado internacional (SAES; NAKAZONE,2004).

O café Robusta tem em torno de 30% da produção mundial, devido a qualidade dos grãos e apreço pela bebida, que afeta diretamente o comércio. Essa espécie de café é mais resistente às doenças, pragas e variações de temperatura. Devido a qualidade e o preço do grão, o café Robusta é comumente utilizado para produção de cafés solúveis e instantâneos através de via seca (BANKS et al., 1999).

3.2 COMPOSIÇÃO DO CAFÉ

Quimicamente falando, a composição do café é diversa, contrariando ideias como a de que o café possui em sua composição apenas cafeína. É composto por uma série de açúcares, gorduras, minerais e ácidos, o que lhe garante uma boa posição quando apresentado em estudos médicos. Uma de suas principais vantagens estaria associada à sua propriedade antioxidante, capaz de reduzir a produção de radicais livres malignos ao nosso organismo, assim como apresentaria grandes benefícios à circulação sanguínea. Estudos recentes demonstram que, se consumido em doses razoáveis, o café não afetaria o sono nem prejudicaria o

coração. Poderia, ao contrário, ajudar na ação preventiva da depressão e suas consequências (tabagismo, alcoolismo, uso de drogas e suicídio). Mas para que o café se mantenha com todas essas qualidades, é preciso todo um cuidado especial com a semente (ENCARNAÇÃO; LIMA, 2003).

Para Amorim (1998), as transformações químicas que ocorrem no grão do café, conduzindo a uma qualidade de bebida inferior, são de natureza enzimática. Assim as enzimas possuem papel fundamental na formação e amadurecimento do grão, pois são elas que atuam no grão de café acarretando transformações químicas, e levando a existir vários tipos de café. A composição química do café é caracterizada pela presença de vários constituintes voláteis e não voláteis, como ácidos, aldeídos, cetonas, açúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos graxos, compostos fenólicos, cafeína e outros, assim como, enzimas que agem sobre estes próprios constituintes (SILVETZ 1963, p. 379).

3.3 CONTROLE DE QUALIDADE

A qualidade do produto final está diretamente relacionada com a composição dos grãos torrados, que é influenciada pela composição dos grãos crus e suas condições de processamento (BANKS et al, 1999).

No Brasil, a qualidade do café é avaliada, principalmente, em função de duas classificações: por tipo e por bebida.

Os principais critérios da avaliação por tipo são o aspecto e a quantidade de defeitos presentes em uma amostra de 300 gramas de café beneficiado. O principal método de avaliação sensorial do café é pela análise sensorial ou "prova da xícara" onde degustadores treinados saboreiam a bebida, analisam aroma, sabor, cor, textura e sabor residual (MEC, 2005).

A figura 1 apresenta uma escala sensorial do café moído utilizada na análise do produto, nela possível se ver a relação entre a avaliação sensorial do produto e suas categorias: não recomendável, tradicional/extraforte, superior e gourmet.



Figura 1: Escala Sensorial do café torrado e moído

Fonte: ABIC, 2003

3.4 ECONOMIA CAFEIEIRA

A produção do café no Brasil na segunda metade do século XX pode ser caracterizada por momentos de alta e baixa, seja pela elevação dos preços ou pelos problemas climáticos recorrentes em regiões produtoras do grão (MEDEIROS; RODRIGUES, 2017). Estima-se que o café emprega 3,5 milhões de pessoas diretamente e sustenta uma população de cerca de 15 milhões (ABIC: 2000).

Segundo dados do 4º Levantamento da Safra de café de 2016, da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a safra brasileira alcançou 51,37 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, sendo os principais estados produtores: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná, Rio de Janeiro, Goiás e Mato Grosso, que correspondem, juntos, por cerca de 98,6% da produção nacional (MAPA, 2016).

Na figura 2 é possível se ver em destaque os principais estados produtores de café, no Brasil, é possível também se observar as regiões em que o plantio dos cafés arábica e robusta ocorrem em maior frequência ou em conjunto.

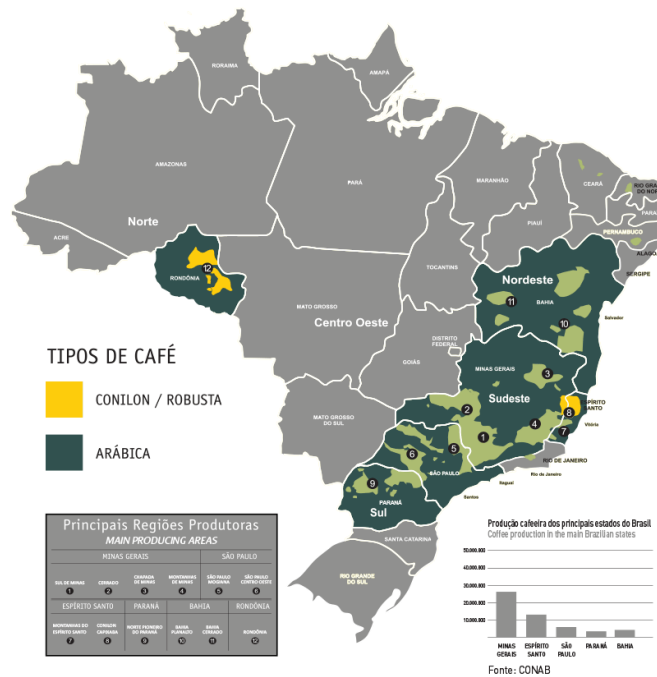


Figura 2: Principais estados produtores de café do Brasil

Fonte: (GSB2, 2018)

Ressalta-se que a cafeicultura brasileira é uma das mais exigentes do mundo em relação a questões sociais e ambientais, havendo uma preocupação em garantir a produção de um café sustentável. A atividade cafeeira é desenvolvida com base em rígidas legislações trabalhistas e ambientais (ROSA, et al., 2013).

Apesar do crescimento da participação do Brasil no mercado de café, não há como voltar à posição monopolista que o país detinha do passado recente (SAES; NAKAZONE,2004).

3.5 QUIMIOMETRIA

A quimiometria é o campo da química que usa de instrumentos estatísticos e matemáticos para o planejamento e otimização das condições experimentais, e para a extração de informação química relevante de dados químicos multivariados. Métodos quimiométricos são largamente empregados em química de alimentos, não apenas na forma de modelos de calibração, mas também para a realização de análises exploratórias e construção de modelos de classificação (PEDRO, 2004)

A quimiometria, pode ser também utilizada na análise multivariada de imagens, onde, a partir de imagens digitais padronizadas é realizada a extração de elementos presentes na figura, conhecidos como pixels, em que cada pixel é caracterizado por n séries espectrais denominados canais, e destes, é extraído grande número de informações. (GELADI et al., 1992).

O RGB é o sistema de imagens coloridas mais comum. Nele, cada pixel é definido a partir de valores de intensidade de vermelho (*Red*), verde (*Green*) e azul (*Blue*) na região visível do espectro magnético (ANTONELLI et al., 2004).

3.5.1 Análise de Componentes Principais (ACP)

A Análise de componentes principais procura transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto, denominadas componentes principais. O objetivo é encontrar a melhor maneira de aproximar toda a informação contida em várias variáveis em um conjunto relativamente menor, perdendo o mínimo possível de informação. A ACP tem como meta abordar aspectos como a geração, seleção e interpretação de componentes principais analisados. É possível ainda investigar as variáveis de maior influência na formação de cada componente (VICINI, 2005).

3.5.2 Análise por Agrupamento Hierárquico (HCA)

Análise de agrupamento, ou clustering, é o nome dado para o grupo de técnicas computacionais que tem como intuito diferenciar objetos por associação, utilizando das características similares que estes possuem. A ideia consiste em colocar em um mesmo grupo objetos que sejam similares de acordo com algum critério pré-determinado (VICINI, 2005).

A análise de agrupamentos estuda todo um conjunto de relações interdependentes. Esta análise não distingue entre variáveis dependentes e independentes, isto é, variáveis do tipo causa e efeito, como na regressão (VICINI, 2005).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 METODOLOGIA DE PREPARO DAS AMOSTRAS

Para o estudo foram selecionadas 4 marcas de café industrial adquiridos em um supermercado de Pato Branco - PR e um tipo de café artesanal proveniente da região sul do Estado de Minas Gerais.

A escolha dos cafés foi feita a partir do gradiente de preços, os quais podem ser observados na tabela 1.

As amostras foram remanejadas das embalagens para vasilhames com tampa e agitados afim de melhorar a homogeneidade.

Para construir a mistura das amostras, e simular adulterações no café pesou-se 50 g de cada marca e misturou-se cada um com 50 g do café definido como padrão (IND A).

Denominação	Valor Comercial (R\$/250) g
Industrial A	12,49
Industrial B	7,80
Industrial C	6,90
Industrial D	3,80
Artesanal	

Tabela 1: Amostras com seus respectivos valores de mercado

Fonte: Própria (2018)

Após homogeneização cada amostra e também suas misturas foram divididas de maneira igual em recipientes com as mesmas dimensões, a tabela 2 apresenta as amostras analisadas e as misturas realizadas.

Café
Industrial A
Industrial B
Industrial C
Industrial D
Artesanal
Industrial A + Industrial B
Industrial A + Industrial C
Industrial A + Industrial D
Industrial A + Artesanal

Tabela 2: Amostragem e tipos de cafés analisados

Fonte: Própria (2018)

A escolha do café Industrial A como padrão foi pelo motivo de ser o único em que se encontrou informações, expressando ser 100% do tipo arábica.

Uma vez as amostras estando preparadas, se realizou a captura de imagens das mesmas, em ambiente de iluminação constante, à distância fixa e sem a presença de fatores que viessem a implicar no acréscimo de erros, como grande circulação de pessoal ou fontes de luz paralelas. As imagens foram capturadas de um celular da marca Xiaomi do modelo Mi A1 e recortadas através de programas de edição para se enquadrarem nas dimensões de 1000 x 800 *pixels*. Conforme a figura 3.

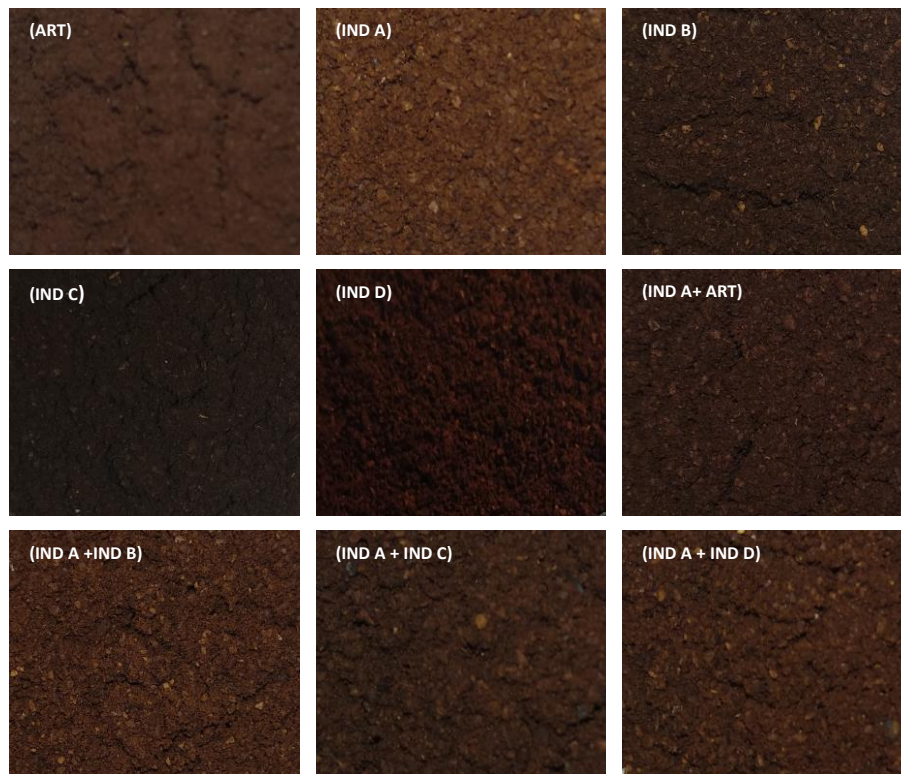


Figura 3: Imagens capturadas das amostras de café

Fonte: Própria (2018)

4.2 METOLOGIA DE ANÁLISE

Este trabalho teve a finalidade de encontrar as diferenças existentes em cafés comerciais utilizando de técnicas estatísticas multivariadas que foram realizadas no software ChemoStat versão V2 (build 2609.67f4721). Os métodos estatísticos utilizados foram: o método *cluster* (ou agrupamento) que compara as principais características semelhantes entre as amostras e classifica por grupos homogêneos e a Análise de Componentes Principais (ACP) que tem o objetivo de reduzir um grande conjunto de variáveis para um conjunto mais significativo, que são representadas pelos fatores ou pelas componentes principais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de componentes principais (PCA) é um método de identificar a relação entre características extraídas de dados. As duas componentes principais juntas explicam 76,36% da variabilidade dos dados. O gráfico de escores (Figura 4) mostra a dispersão entre as amostras analisadas.

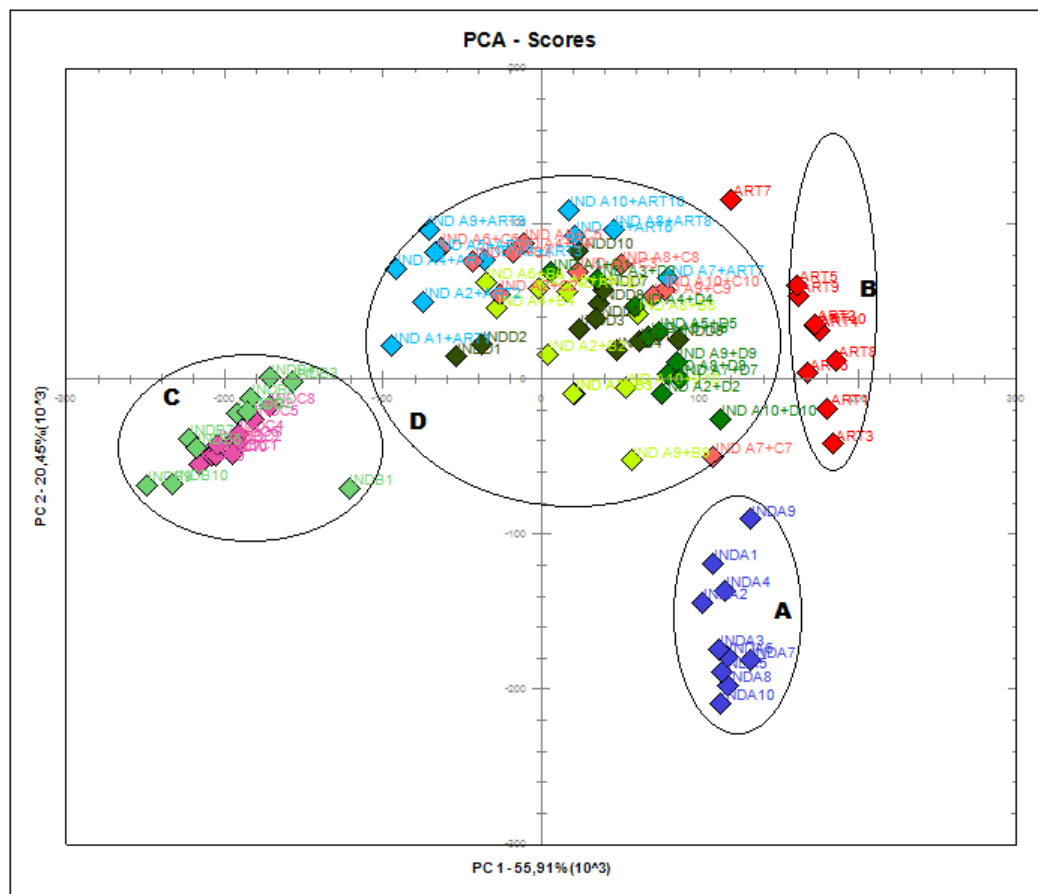


Figura 4: Gráfico de dispersão analisando componentes principais utilizando dados da quantidade de pixels em amostras de café padronizadas por imagem de 1000 x 800 pixels.

Fonte: Própria (2018)

No presente trabalho foram utilizados três canais de cores do padrão RGB; vermelho, verde e azul. Estes canais foram decompostos em seus 256 tons de cinza. Isso corresponde a 768 variáveis dependentes respectivos às três cores, vermelho, verde e azul.

Previamente foi possível identificar quatro grupos majoritários formados pela análise de componentes principais. No grupo A, são encontrados os cafés do tipo Industrial A, com maior valor de mercado. É notável que dentre os quatro grupos

formados, esse é o que tem maior similaridade entre os componentes principais, isso se comprova pela proximidade das amostras ao mesmo grupo. O que sugere um produto com maior controle de qualidade desde a separação do grão, torra do produto, estocagem e assim por diante.

O grupo B é composto somente por cafés do tipo Artesanal. Esse é também o grupo de cafés puros que mais se assemelha com o Industrial A, considerado padrão. Tal fato é sugerido por ser um café cultivado sem intenção de comércio, logo é possível sugerir que tal café tenha um maior cuidado no manejo desde a matéria prima, passando pelas etapas de secagem, torragem e pela moenda. Justificado pelo alto nível de aglomeração das amostras. Das 10 amostras do café tipo Artesanal, apenas a ART7 se distinguiu das demais. É possível considerar que, apesar de não haver comprovação de testes de controle de qualidade, as amostras presentes no grupo, apresentam boa qualidade.

No grupo denominado C, estão contidas toda as amostras dos cafés Industriais B e C, que em termos de preços, são cafés com valores medianos. É um grupamento mais condensado de amostras, ou seja, o conjunto em que as amostras mais se assemelham muito entre si, onde apenas um indivíduo (IND B1) diferenciou dos demais.

No último e maior grupo, D, estão contidas todas as misturas: IND A + IND B; IND A + IND C; IND A + IND D; IND A + ART, e também o conjunto IND D que é o único puro que se assemelha com as misturas. Isto, a princípio leva a crer que o café de menor valor comercial, marca IND D tem uma qualidade inferior quando comparado com outros tipos puros de cafés de alta qualidade. Este fato do café industrializado, IND D apresentar características de misturas de outros cafés, mostra que este café apresenta alto teor de mistura, baixo grau de homogeneidade e possivelmente fraudado

Para Mello, et al (2013) a ACP aplicada a controle de qualidade de alimentos aparece como alternativa para complementar a atual análise comparativa de alimentos e que é possível obter conjuntos de dados adequados capazes de detectar diferenças relacionadas às condições de cultivo e variedades. E que foi possível confirmar através do ACP dos cafés.

Para os cafés mistos, era esperado um comportamento de alocação entre aos de grupos sem mistura, visto que, todas as misturas (fraudes) foram constituídas de 50% de café puro industrializado com alta qualidade, IND 1 e os outros 50% para

cada um dos demais cafés. Além da análise de componentes principais, também se realizou a análise de agrupamento hierárquico, HCA (Figura 5).

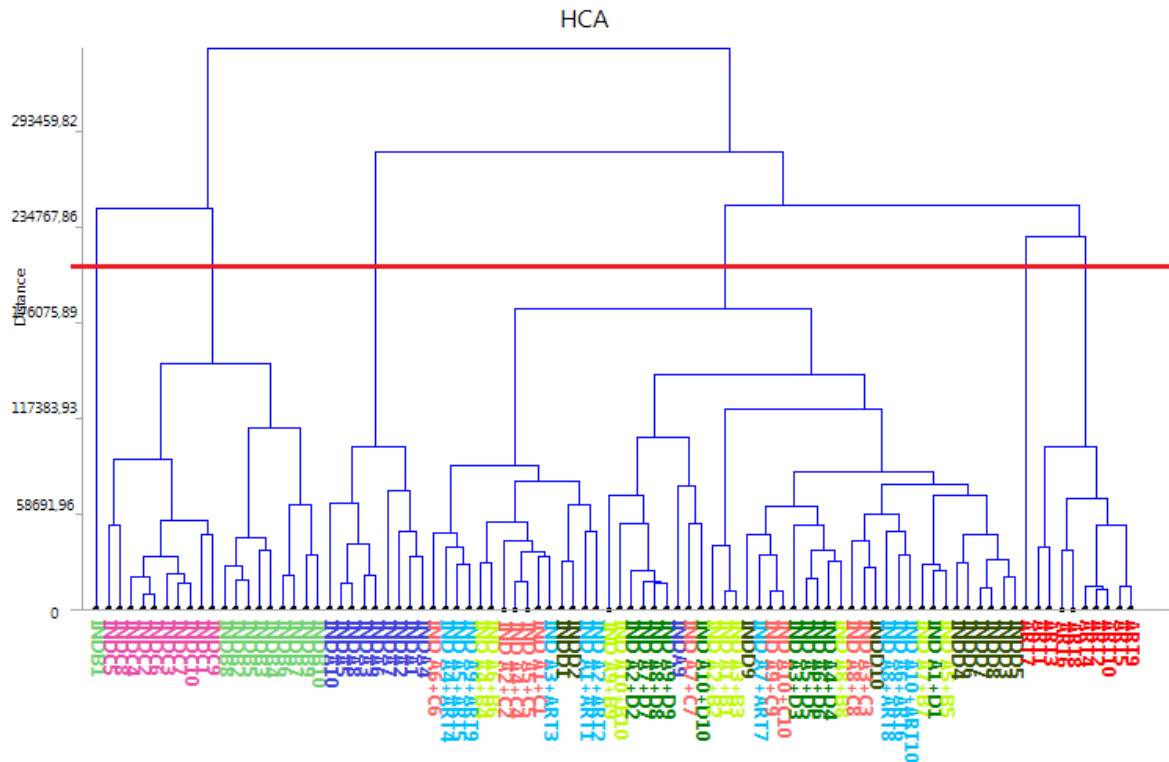


Figura 5: Dendrograma completo das amostras de café por ligação simples

Fonte: Própria (2018)

De acordo com Vicini (2005) o nível de corte no gráfico é o que determina o número de grupos, isso ocorre, de maneira geral, em relação as maiores distâncias em que foram formados os grupos, mas, deve sempre ser levado em conta os critérios adotados pelo pesquisador. Para aplicar a análise de agrupamento, optou-se por apresentar os métodos de agrupamento hierárquicos aglomerativos e distancias Euclidianas.

Após traçado o nível de corte, foram formados seis grupos. Quatro grupos principais e outros dois com apenas uma amostra cada. O primeiro grupo é formado apenas pela amostra IND B1, demonstrando que essa difere das demais. Essa mesma amostra, se difere das presentes amostras do grupo C apresentado na Figura 3. O grupo subsequente apresenta as amostras referentes aos tipos de café

IND B e IND C, e a partir do dendograma pode se observar que os dois tipos de café, apesar de serem puros, ou seja, sem misturas (adulterações), se diferem entre si, formando dois subgrupos distintos.

Em seguida outro grupo foi formado, o grupo das amostras do café industrializado, IND A, que se mostra o grupo com maior similaridade, comprovado pelas menores distâncias euclidianas (altura da linha vertical).

O quarto grupo que é constituído de um maior número de amostras, é o grupo com as amostras adulteradas, contendo 50% de café puro de alta qualidade com 50% de café de baixa qualidade. Este grupo apresenta características de café de alta e de baixa qualidade. A formação deste grupo representa os cafés que foram adulterados.

O quinto grupo formado apenas constou por amostras do café artesanal ART, apresentando alto grau de distinção dos demais tipos de cafés, assim como no caso do grupo formado pelo café industrial, IND B.

O último grupo representa o café ART (artesanal), tal qual os demais cafés sem mistura, e esse apresenta similaridade entre si no grupo e distinção dos demais tipos de cafés.

Para Rech (2014) toda a informação presente no dendograma é importante, pois é possível obter semelhanças globais sobre a composição dos produtos. Assim é possível revelar informações que permitam identificar adulterações

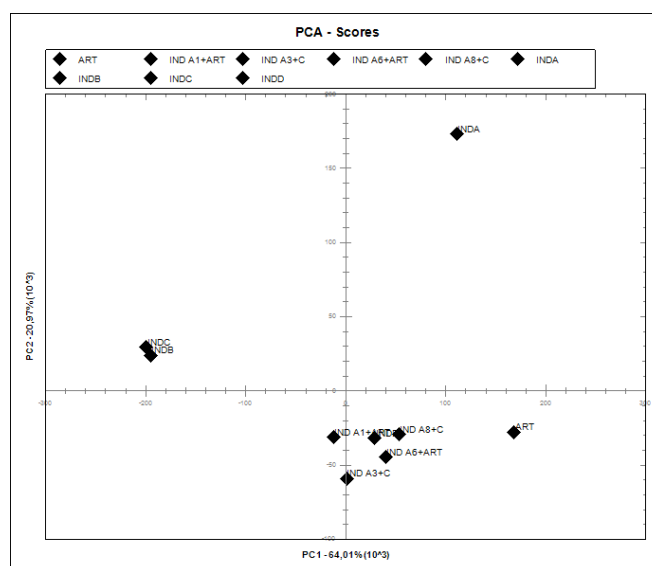


Figura 6: Gráfico de escores médios das duas primeiras componentes principais utilizando decomposição dos canais RGB das imagens (1000 x 800pixels) de amostras de cafés

Fonte: Própria (2018)

Para a análise de componentes principais relacionados a média de cada grupo de dados, observamos primeiramente que a soma das duas primeiras componentes principais foi 84,98% (Figura 6). Nesta análise de ACP também foi utilizado a distância Euclidiana para formação dos grupos.

O gráfico de dispersão ou escores da PC1 x PC2 (Figura 6) evidenciou a formação de agrupamentos distintos entre as médias dos grupos de café. Neste gráfico, a PC 2 foi responsável pela distinção entre os diferentes tipos de café. Na porção superior do gráfico de escores estão as amostras IND C e IND D próximas uma da outra e a IND A, completamente distinta da demais. Na porção inferior estão as amostras referentes aos tipos de cafés: IND A + ART; IND A + IND B; IND A + IND C; IND D e ART. A média dos cafés artesanais difere em relação ao PC 2 das amostras Industriais A. Mas se considerado em função de PC 1, elas se assemelham. O que não ocorre com os grupos IND B e IND C.

De acordo com (MELO, et al., 2013) a ferramenta PCA reduz a complexidade dos dados e fornece uma melhor visualização das possíveis conexões entre as variáveis. A ideia básica é reduzir a dimensionalidade e revelar estruturas ocultas em um conjunto de dados para que estas estruturas possam ser descritas.

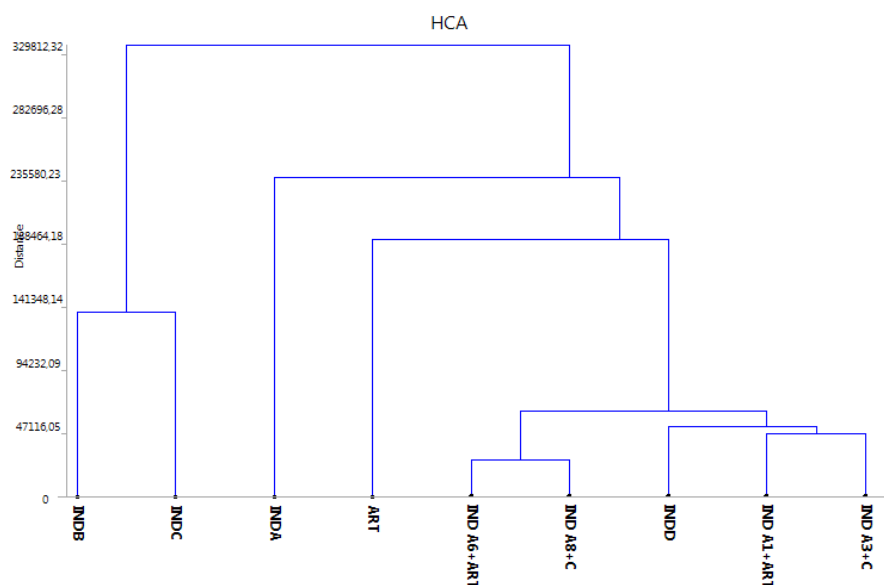


Figura 7: Dendrograma de média das amostras de café por ligação simples

Fonte: Própria (2018)

Utilizando o dendograma das médias, apresentado na figura 7, fica evidenciado a semelhança geral dos grupos. A partir desse é possível afirmar e comprovar pelo gráfico de dispersão a semelhança de amostras que estão agrupadas no primeiro cluster, amostras IND B e IND C, é possível ainda justificar pela altura vertical, que indica alta semelhança entre essas amostras. Nota-se ainda, a diferença desses dois cafés dos demais.

No dendograma (Figura 7) observa-se ainda o café IND A e o café ART, como grupos distintos e bem diferentes dos demais. E por último, nota-se a formação de um grupo formado com as referentes misturas (adulterações), sempre com o café tipo IND D. Neste grupo principal, ainda observa-se a formação de dois subgrupos. O primeiro onde se assemelham os cafés IND A+ IND B e IND A + ART e o outro com IND D; IND A + IND D e IND A + IND C.

Os resultados obtidos com HCA complementam aqueles obtidos por PCA, fornecendo uma visão de conjunto de todas as amostras e como estas se assemelham. Por outro lado, a PCA permitiu uma melhor interpretação dos grupos naturalmente formados, pois distinguiu melhor a contribuição dos dados relativos à produção na formação dos agrupamentos (GRANJA, 2018).

6 CONCLUSÕES

A análise multivariada é uma ferramenta estatística de grande utilidade. Por meio destas técnicas é possível sintetizar um grande número de variáveis em um número menor de variáveis, chamadas latentes ou fatores. Assim, foi possível aplicar a técnica de PCA para identificar fraudes de cafés. As análises gráficas obtidas pelos dendogramas e pelo gráfico de dispersão, são gráficos complementares para reconhecimento de padrões, o que facilita no entendimento de um grande conjunto de dados, justificada pela variância acumulada e pelo agrupamento hierárquico.

A possibilidade de se utilizar grande quantidade de dados utilizando de recursos computacionais tem despertado o interesse de indústrias para a quimiometria que podem ser utilizadas no controle de qualidade e em processos industriais.

Por fim, é possível sugerir métodos de análises multivariadas para o controle de qualidade, desde que, haja um padrão de comparação confiável e cada pesquisador encontre o método que melhor representam seus dados. Esses resultados mostram a importância do controle de qualidade de produtos elaborados em indústrias de alimentos.

7 REFERÊNCIAS

- ABIC – Associação Brasileira da Indústria de Café. “**Cafés do Brasil**”. Abril de 2000
- ANTONELLI, A.; COCCHIB, M.; FAVAA, P.; FOCAB, G.; FRANCHINIA, G., MANZINIB, D.; ULRICIA, A. **Automated evaluation of food colour by means of multivariate image analysis coupled to a wavelet-based classification algorithm**. *Analytica Chimica Acta*, v. 515, p. 3-13, jul. 2004.
- AMORIM, H. V. de; **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração de qualidade**. Piracicaba, ESALQ. 1978, p.85
- BANKS, M.; McFADDEN, C.; ATKINSON, C. *The world encyclopedia of coffee*. London: Lorenz Books, 1999. 256 p.
- BESSA, F.; FERREIRA, L. T. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Café no Brasil*. 2018. Disponível em: <<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>>. Acesso em 27 de mai 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Café**. Brasília, 2005. 27 p. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/publica_setec_cafe.pdf>. Acesso em: 25 mai.2018
- COSTA., Rodrigo Correa. **Fundação Procafé: Entendendo as variações do preço de café na Bolsa**. Disponível em: < <https://www.cafepoint.com.br/colunas/analises-cafeeiras/fundacao-procafe-entendendo-as-variacoes-do-preco-de-cafe-na-bolsa-86431n.aspx>> Acesso em: 25 mai. 2018
- ENCARNAÇÃO, R. de O.; LIMA, D. R. **Café e Saúde Humana**. Brasília, abril de 2003. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/.../1/Cafe-e-saude-humana.pdf>> Acesso em: 23 mai .2018
- FARIA, A. C. dos S.; MANOLESCU, F. M. K. **A Produção do café no Brasil Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, VIII,2004, Anais eletrônico...** São José dos Campos: UNIVAP,2004. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/pdf/IC6-8.pdf> Acesso em: 25 mai. 2018

FERREIRA, L. T.; SANTOS, J. **Safra brasileira de café é de 44,77 milhões de sacas em 2017, sendo 34,07 milhões de café arábica e 10,71 de conilon.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28569816/safra-brasileira-de-cafe-e-de-4477-milhoes-de-sacas-em-2017-sendo-3407-milhoes-de-cafe-arabica-e-1071-de-conilon>> Acesso em: 25 mai. 2018.

GELADI, P.; GRAHN, H.; ESBENSEN, K; BENGTSSON, E. Multivariate Image Analysis. *Trends in analytical chemistry*, v. 11, n. 3, 1992.

GRANJA, I. J. A., Avaliação da Espectroscopia no Infravermelho Combinada a Análise Multivariada para a caracterização de bebidas saborizadas a base de soja

GSB2 PUBLICIDADE. **Regiões Cafeeiras.** Disponível em: <<http://www.rossignolli.com.br/regioes-cafeeiras.php>> Acesso em: 23 de maio de 2018.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUARIA. **Café no Brasil**, Rio de Janeiro, Mapa, 2016.

MARTINS, A. L. Origens. MARTINS, A. L. **História do Café.** São Paulo: Contexto, 2012. V.1.

MATOS, E. C.; MATOSINHOS, F. C.L.; SAMPAIO, M. L.; VALENZUANA, V. C. T.: **Café Torrado e Moído** (*Coffea sp*). 2012. Disponível em:<<http://www.funed.mg.gov.br/wp-content/uploads/2012/01/Atlas-de-Microscopia-%E2%80%93-Caf%C3%A9-Torrado-e-Mo%C3%ADdo.pdf>>. Acesso em:26 mai. 2018.

MEDEIROS R.de V. V; RODRIGUES P. M A; **A ECONOMIA CAFEIEIRA NO BRASIL E A IMPORTÂNCIA DAS INOVAÇÕES PARA ESSA CADEIA** . Disponível em : <https://www.researchgate.net/publication/320309831_A_ECONOMIA_CAFEIEIRA_NO_BRASIL_E_A_IMPORTANCIA_DAS_INOVACOES_PARA_ESSA_CADEIA?enrichId=rgreq-5324f35f8f166ddc8b80808f1cd24bf8-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzMyMDMwOTgzMTtBUzo1NDc5NjAzODUwO TM2MzJAMTUwNzY1NTM0NDIwMQ%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf> . Acesso em 27 mai 2018

MELLO, C. S., VAN DIJK, J.P., VOORHUIJZEN, KOK, E. J., ARISI, A.C. M. Principal component analysis of potato proteomic data aiming complementary food assessment. (**New Biotechnology**) (2013).

PEDRO, A.M.K. **Determinação simultânea e não-destrutiva de sólidos totais e solúveis, licopeno e beta-caroteno em produtos de tomate por espectroscopia no infravermelho próximo utilizando calibração multivariada, 2004.** Dissertação (Mestrado em Físico-Química) -Universidade de Campinas, Campinas, SP

RECH, A. M., Avaliação da Espectroscopia no infravermelho combinada a análise multivariada para a caracterização e controle de qualidade de bebidas a base de soja. 2014.Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,2014.

REIS, N.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Performance of diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy and chemometrics for detection of multiple adulterants in roasted and ground coffee. **LWT Food Science and Technology**, v. 53,p. 395–401, 2013

ROSA, D. da S.; NUNES, A. C. C.; SANTOS, L. J. M.; SOUSA, C. S. de. **A Adequação Ambiental na Torrefação do Café.** Getec, São Paulo, v. 6, p. 167-180, jun de 2017

SAES, M. S. M; NAKAZONE, D. **O agronegócio café do Brasil no mercado internacional.** Revista Fae Business, São Paulo v. 1, 9, p 40 – 42, set. 2004.

SIVETZ, Michel de; Coffee processing technology Westport, Connecticut, AVI., 1963, v.2. 379p.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática,** Santa Maria, 2005. 215 p.

