

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA – DAQUI**  
**CURSO DE QUÍMICA**

**ALINE SASSO**

**CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO POR MEIO DE  
ANÁLISES DE COLORIMETRIA, BIOMETRIA E ESPECTROSCOPIA  
NO INFRAVERMELHO FTIR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**  
**2016**

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA – DAQUI  
CURSO DE QUÍMICA**

**ALINE SASSO**

**CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO POR MEIO DE  
ANÁLISES DE COLORIMETRIA, BIOMETRIA E ESPECTROSCOPIA  
NO INFRAVERMELHO FTIR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO  
2016**

ALINE SASSO

**CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO POR MEIO DE  
ANÁLISES DE COLORIMETRIA, BIOMETRIA E ESPECTROSCOPIA  
NO INFRAVERMELHO FTIR**

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.

Professor Orientador: Dr. Vanderlei Aparecido de Lima.

Professora Coorientadora: Dra. Taciane Finatto

PATO BRANCO  
2016

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

O trabalho de diplomação intitulado “CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO POR MEIO DE ANÁLISES DE COLORIMETRIA, BIOMETRIA E ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO FTIR” foi considerado APROVADO de acordo com a ata da banca examinadora N° 6.1.2016 – B de 2016.

Fizeram parte da banca os professores.

Prof. Dr. Vanderlei Aparecido de Lima

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Taciane Finatto

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marina Leite Mitterer Daltoe

A meus pais Lourenço Edmar Sasso e  
Marta Rosa de Oliveira Sasso, e minha irmã  
Mariane Sasso, que foram as pessoas que  
mais me deram força sempre. Amo vocês.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, tenho fé que todas as coisas acontecem por um motivo que só Ele sabe e nos faz entender com o tempo. Agradeço por sempre atender minhas orações.

À minha amada e preciosa família que mesmo alguns estando longe estiveram dispostos a me ajudar seja qual fosse a situação, me deram muita força, calma e com certeza muito amor.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vanderlei Aparecido de Lima e minha coorientador Profa. Dra. Taciane Finatto. Com certeza me considero com muita sorte por ter tido a oportunidade de trabalhar com vocês. Duas pessoas incríveis, exemplos de professores, sempre dispostos a me atender com muita calma quando mais precisava. Meu muito obrigada por toda a ajuda e principalmente pelo conhecimento que me proporcionaram.

A Profa. Dra. Marina Leite Mitterer Daltoe por aceitar fazer parte da minha banca e por todas as correções de valiosas contribuições neste trabalho.

Aos meus queridos amigos, que nessa jornada me mostraram o real significado dessa palavra. Não tenho como citar o nome de todos que me ajudaram, pois eu tenho a sorte de ter muitos preciosos amigos. Espero ter retribuído de alguma forma toda a ajuda que vocês me deram!

Ao GEAstro por me proporcionar anos de muito aprendizado e diversas experiências que considero extremamente enriquecedoras, tanto profissionalmente como pessoalmente, em especial a professora Tina Andreolla, Ricardo Martins e Adriano Correa por me auxiliarem nos momentos mais difíceis da graduação.

À UTFPR e a todos os professores que fizeram parte da minha jornada contribuindo e muito para meu crescimento pessoal e profissional.

“Imagine uma nova história para sua vida e acredite nela.”  
(Paulo Coelho)

## RESUMO

SASSO, Aline. Caracterização de genótipos de feijão por meio de análises de colorimetria, biometria e espectroscopia no infravermelho FTIR. 49 pg. TCC (Curso de Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

Mundialmente o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado um dos legumes mais importantes no que diz respeito em produção e consumo. Na dieta dos brasileiros é considerado um alimento básico que, por sua vez, é fonte de proteína vegetal. A produção desse grão é realizada por diversos produtores, que possuem diferentes cultivos e tecnologias disponíveis. O objetivo deste trabalho foi analisar genótipos de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelas técnicas de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier – FTIR, biometria e colorimetria, bem como caracterizá-los por meio de análises estatísticas. Os tratamentos estatísticos utilizados na caracterização foram: análise de fator, análise de agrupamento pelo método *K-Means*, Análise de Componentes Principais (ACP), análise de correlação e regressão múltipla. Foi observado que os fatores que mais contribuíram para a classificação dos genótipos de feijão das análises estudadas foram: massa e largura (biometria) e os parâmetros  $b^*$ ,  $c^*$  e  $L^*$  (colorimetria). A análise de agrupamento foi muito satisfatória pois foi possível obter grupos bem claros em relação as análises de colorimetria e biometria. Na ACP obteve-se três principais grupos pela análise de infravermelho. A análise de correlação informou que há uma associação direta entre comprimento-massa e largura-massa dos grãos. A regressão múltipla informou que a massa dos grãos possui forte influência para os demais parâmetros biométricos avaliados. Desse modo, os resultados das classificações dos feijões foram em geral satisfatórios, pois obteve-se uma boa caracterização dos genótipos, isso se levado em conta que suas origens e características intrínsecas de cada genótipo.

**Palavras chaves:** Feijão, biometria, colorimetria e infravermelho.

## ABSTRACT

SASSO, Aline. Characterization of bean genotypes using colorimetric analysis, biometrics and infrared spectroscopy FTIR. 49 pg. TCC (Curso de Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

Worldwide, the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is considered as one of the most important vegetables regarding production and consumption. In the Brazilian diet it is considered a staple food which, in turn, is a source of vegetable protein. The production of such grain is accomplished by a variety of producers, and different crops and technologies are used to that end. The aim of this study was to analyze bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) by Fourier Transform Infrared Spectroscopic techniques - FTIR, biometrics and colorimetry, as well as characterize them by chemometrics. The statistical methods used in the characterization were: factor analysis, cluster analysis by the *K-Means* method, PCA, correlation analysis and multiple regression. It was observed that the factors that contributed the most to the classification of bean genotypes of the studied analyzes were: mass and width (biometrics) and parameters  $b^*$ ,  $c^*$  and  $L^*$  (colorimetry). Cluster analysis was very satisfactory because it was possible to obtain very clear groups regarding the analysis of colorimetry and biometrics. In PCA was obtained three main groups by infrared analysis. The correlation analysis reported that there is a direct association between long-mass and wide-mass of grains. Multiple regression reported that the mass of grains has a strong influence on other biometric parameters evaluated. The results were generally satisfactory and good characterization of the genotypes was obtained, if taken into account that the origin of each genotype is the same and that the grains studied were not selected, but randomly separated.

**Key Words:** Beans, biometrics, colorimetry and infrared.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Esquema representativo da anatomia da estrutura externa da semente do feijão .....	19
<b>Figura 2</b> – Esquema representativo da anatomia da estrutura interna da semente do feijão .....	20
<b>Figura 3</b> – Diagrama de cálculo da diferença de cor no sistema CIELAB.....	23
<b>Figura 4</b> - Fotos dos 20 genótipos de feijão estudados nesse trabalho.....	29
<b>Figura 5</b> - Resultado da análise de regressão múltipla obtida com a biometria dos 20 genótipos de feijão.....	35
<b>Figura 6</b> – Espectro de infravermelho de um grão do genótipo comercial ANFC 9... 38	
<b>Figura 7</b> – Espectro de infravermelho de um grão do genótipo Crioulo C.....	38
<b>Figura 8</b> – Espectro gerado por meio das absorvâncias dos 20 genótipos de feijão, contendo cinco espectros por genótipos.....	40
<b>Figura 9</b> – Resultado da ACP com os dados obtidos a partir da análise de infravermelho com um grão de cada um dos 20 genótipos de feijão por meio do tratamento matemático <i>Smooth</i> .....	41

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Descrição da estrutura externa da semente de feijão .....	20
<b>Tabela 2</b> – Descrição da estrutura interna da semente de feijão .....	20
<b>Tabela 3</b> – Classificação da forma da semente segundo os coeficientes J e H.....	21
<b>Tabela 4</b> – Resultado das análises dos parâmetros biométricos de cada genótipo com suas respectivas médias seguidas de mais ou menos o desvio padrão.....	32
<b>Tabela 5</b> – Resultado das comunalidades na análise de fator para os parâmetros obtidos na biometria.....	33
<b>Tabela 6</b> - Resultado da análise de agrupamento no modelo <i>K-Means</i> em três grupos segundo os parâmetros biométricos, contendo os 20 genótipos distribuídos com suas respectivas categorias em grão pequeno, médio e grande, e a média das distâncias dos genótipos ao centro do grupo pertencente.....	34
<b>Tabela 7</b> – Resultados das análises de cor para cada genótipo.....	36
<b>Tabela 8</b> - Resultado da análise de fator para os parâmetros obtidos na colorimetria.....	36
<b>Tabela 9</b> - Resultado da análise de agrupamento no modelo <i>K-Means</i> em três grupos segundo os parâmetros de cor, contendo os 20 genótipos distribuídos com suas respectivas distâncias ao centro do grupo em que está contido.....	37
<b>Tabela 10</b> - Absorções de infravermelho observadas na análise do genótipo comercial ANFC 9 e do genótipo Crioulo C seguidas de uma breve descrição segundo a literatura.....	39

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>8</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 DELIMITAÇÃO DO PROJETO</b> .....	<b>16</b>
<b>3 HIPÓTESES</b> .....	<b>16</b>
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
4.1 OBJETIVO GERAL .....	17
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>5 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
5.1 FEIJÃO ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	18
5.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO GRÃO DE FEIJÃO .....	19
5.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS DE FEIJÃO .....	22
5.4 COLORIMETRIA .....	23
5.5 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER – FTIR .....	24
5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	25
5.6.1 Análise de fator .....	26
5.6.2 Análise de agrupamento.....	26
5.6.3 Análise de Componentes Principais - ACP .....	26
5.6.4 Análise de correlação .....	27
5.6.5 Análise de regressão múltipla .....	27
<b>6 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
6.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS.....	29
6.2 PARÂMETROS BIOMÉTRICOS .....	30
6.3 COLORIMETRIA .....	30
6.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER - FTIR .....	30
6.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	31
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>42</b>
<b>9 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>43</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>46</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Mundialmente o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado um dos legumes mais importantes no que diz respeito em produção e consumo (NJOROGE et al., 2015). Na dieta dos brasileiros é considerado um alimento básico que, por sua vez, é fonte de proteína vegetal. A produção desse grão é realizada por diversos produtores, que possuem diferentes cultivos e tecnologias disponíveis, contudo recentemente foi apontada a agricultura familiar como a grande responsável pela produção de feijão no Brasil (SILVA; WANDER, 2013).

O feijoeiro exige muitos nutrientes para seu desenvolvimento, um dos motivos para tal exigência é por possuir um ciclo curto. Tais nutrientes devem ser oferecidos em épocas e estádios adequados (BINOTTI et al., 2007).

Para se obter uma planta com grãos considerados ideais para consumo e também com boas características, tais como: alto potencial produtivo; resistência às principais doenças da cultura em questão; eficiência no uso de nutrientes; resistência à seca; dentre outras, é utilizado o processo de melhoramento genético da espécie. Esse processo é feito a partir de sementes melhoradas, as quais são produzidas em altos padrões de qualidade, garantindo a incorporação da tecnologia gerada para esse fim (DIDONET, 2013).

Embora o processo de melhoramento genético traga muitos benefícios aos produtores, infelizmente o uso de grãos de feijão para semeadura ainda é muito comum e, nesse caso, tais grãos não podem ser caracterizados como sementes porque não há confiabilidade sobre sua procedência, potencial fisiológico, pureza genética, pureza física e sanidade que são características de sementes apenas (DIDONET, 2013).

Segundo Matos (2015), a diferença entre sementes e grãos, é que a semente tem que ser capaz de germinar e produzir uma nova planta, logo é destinada ao cultivo, já o grão é destinado apenas à alimentação ou indústria como matéria-prima, porém isso não o torna incapaz de germinar (MATOS, 2015). Com base nesta definição pode-se afirmar que toda semente é um grão, mas nem todo grão pode ser considerado semente.

O uso de sementes certificadas de feijão comum ainda é muito restrito no Brasil, segundo a Associação Brasileira de Sementes e Mudanças no ano de 2012 a taxa de uso de sementes certificadas foi apenas de 18%. A principal causa apontada é a utilização

de grãos salvos, geralmente da última safra, que são produzidas sem as normas legais exigidas para a produção formal e mesmo assim as titulam erroneamente como sementes. Esta prática afeta a produção, pois tais sementes não tem a qualidade de uma de origem formal, ou seja, produzida dentro das normas legais. No caso do consumo próprio do produtor, geralmente, é utilizado a semente adquirida em trocas com vizinhos, parentes ou em feiras de sementes tradicionais (DIDONET, 2013).

Segundo dados fornecidos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (2015) por meio de pesquisas realizadas até o ano de 2013, além das sementes salvas, existem as sementes de cultivares. Segundo a Lei <sup>o</sup> 9.456/1997 (lei de proteção de cultivares), cultivares são espécies de plantas que foram melhoradas, porque com o tempo o homem propiciou o cruzamento entre algumas espécies para obter uma variedade genética com certas características desejadas (UFRGS, 2015 apud KISHI, 2004).

O feijão é um alimento com baixo teor de lipídeos e sódio e não contém colesterol, mas é uma fonte rica em carboidratos, vitaminas, minerais e fibra alimentar (SOARES et al., 2012). Esse alimento contém todos os aminoácidos essenciais para a alimentação humana, é rico em lisina, mas limitante em aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína). Os cereais por sua vez são ricos em aminoácidos sulfurados e limitantes em lisina, por esse motivo se faz necessária a combinação do feijão com cereais (RIBEIRO et al., 2007).

Para se analisar perfis químicos de feijões, a análise espectroscópica por infravermelho médio pode ser utilizada. O infravermelho é um método espectroscópico moderno e, atualmente, é um dos principais recursos para a identificação e reconhecimento estrutural de substâncias orgânicas (LOPES; FASCIO, 2004). Além da técnica de espectroscopia por FTIR, a técnica de colorimetria irá compor o padrão de cor dos grãos, pois é um importante dado morfológico em legumes.

Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi analisar e classificar genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) de variedades locais e comerciais, por meio de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier - FTIR, por técnicas de colorimetria, biometria e análises estatísticas.

## **2 DELIMITAÇÃO DO PROJETO**

Este projeto tem por objetivo a classificação de 20 diferentes genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Os 20 genótipos incluem 8 variedades locais (crioulas) e 12 variedades comerciais. As amostras fazem parte de uma coleção de trabalho do Laboratório de Biologia Molecular da UTFPR – Câmpus Pato Branco. Foram realizadas análises por espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier - FTIR e colorimetria utilizando os equipamentos do Laboratório de Alimentos e da Central de Análises, ambos da UTFPR – Câmpus Pato Branco. As amostras foram analisadas na condição de grão bruto. Após dados coletados, precedeu-se com as classificações das variedades de feijões por meio de análises estatísticas.

## **3 HIPÓTESES**

1. Os genótipos de feijão se diferenciam quanto ao espectro de infravermelho, cor e parâmetros biométricos?
2. As análises estatísticas serão eficiente para classificar os diferentes genótipos de feijão?

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Analisar genótipos de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelas técnicas de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier – FTIR, biometria e colorimetria, bem como caracterizá-los por meio de análises estatísticas.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os diferentes genótipos de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) por técnica de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier médio;
- Analisar os diferentes genótipos de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) por técnica de colorimetria;
- Analisar os diferentes genótipos de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) por parâmetros biométricos;
- Interpretar os espectros de infravermelho e padrão de cores em grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.);
- Caracterizar os genótipos de feijão por meio de análises estatísticas.

## 5 REFERENCIAL TEÓRICO

### 5.1 FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa que se mostra quase obrigatória no prato do povo brasileiro, englobando a população rural e urbana. Destaca-se por ter uma boa adaptação às diversas condições climáticas encontradas no Brasil, e diante de tantas tecnologias disponíveis atualmente, tornou-se cultivado inclusive na época de inverno (ARAUJO et al., 1996).

No Brasil o feijão é cultivado em três safras anuais, porém é uma das poucas culturas que é auto regulável, ou seja, se uma safra for escassa ou excessiva os produtores ajustam a área plantada para compensar essa diferença. É a espécie mais cultivada quando comparada às demais do gênero *Phaseolus* (ARAUJO et al., 1996). Pesquisas realizadas até o ano de 2013, indicam que o Brasil é o segundo maior produtor de feijão do mundo perdendo apenas para a Índia (FAOSTAT, 2015). No Brasil, o maior produtor nacional é o estado do Paraná, com uma produção de 700.371 toneladas em uma área colhida 468.662 ha, sendo também o maior nesses 2 quesitos e obtendo um rendimento médio de 1494 Kg há<sup>-1</sup>, rendimento esse, apenas menor que o obtido pelo estado de São Paulo (1970 Kg há<sup>-1</sup>) segundo dados do IBGE de 2013.

A safra não afeta significativamente a composição nutricional do feijão. Possui alto conteúdo proteico, teor de lisina, fibra alimentar, teor de carboidratos e a presença de vitaminas do complexo B, porém aponta baixo conteúdo de aminoácidos sulfurados, que são encontrados em alta quantidade em cereais como o arroz, e por esse motivo sendo a combinação mais observada pelo povo brasileiro. Embora a safra não afete a composição nutricional, fatores climáticos extremos, local de plantio e a cultivar escolhida podem afetar, pois é uma planta muito suscetível às doenças e pragas (ARAUJO et al., 1996).

Devido à grande importância de leguminosas secas como o feijão na alimentação humana do mundo inteiro, a 68ª Assembleia Geral da ONU (Organização das Nações Unidas) declarou "2016 o Ano Internacional das Leguminosas" (*International Year of Pulses*) com o tema: "Sementes Nutritivas para um Futuro Sustentável". Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação

e a Agricultura), as leguminosas secas (feijão, ervilha, grão-de-bico, lentilhas) representam uma fonte alternativa de proteínas mais barata do que as encontradas nas carnes. Elas também têm o dobro das proteínas do trigo e o triplo do arroz, são ricas em micronutrientes, aminoácidos e vitamina B, substâncias que as tornam componentes essenciais de uma dieta saudável (FAO, 2015).

## 5.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO GRÃO DE FEIJÃO

Uma cultivar ou genótipo pode ser identificada pela descrição dos caracteres morfológicos do feijão que são dados pela anatomia do mesmo (ARAUJO et al., 1996).

A semente tem a função de produzir uma nova planta, ela é comparada com uma reserva de energia elaborada sob muitos cuidados, pois poderá influenciar os resultados da nova safra (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2000). Embora o grão não seja destinado ao cultivo, isso não significa que se ele for armazenado em boas condições não poderá germinar.

Pode-se observar as estruturas internas e externas de uma semente de feijão nas figuras 1 e 2 bem como as descrições de cada termo botânico e suas respectivas descrições nas tabelas 1 e 2.

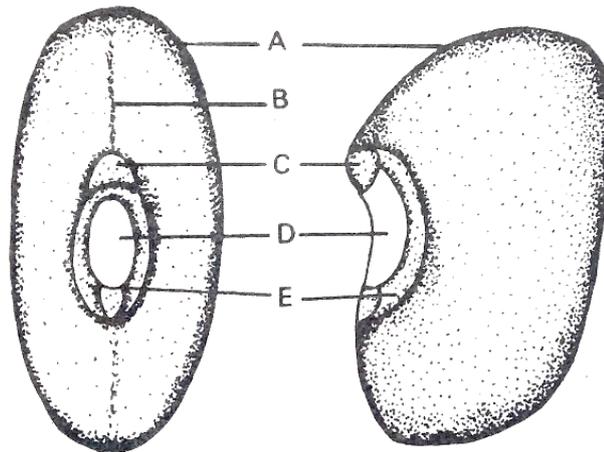


Figura 1. Estrutura externa da semente: A. tegumento; B. rafe; C. micrópila; D. hilo; E. halo.

**Figura 1 – Esquema representativo da anatomia da estrutura externa da semente do feijão.**

**Fonte:** (ZIMMERMANN, 1988).

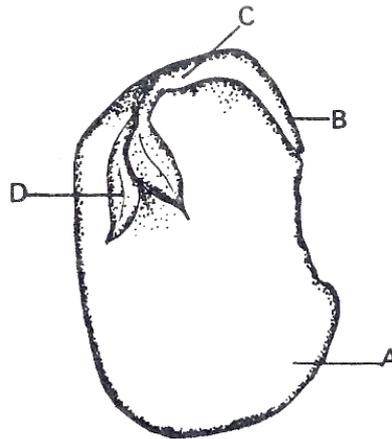


Figura 2. Estrutura interna de semente: A. cotilédone; B. radícula; C. hipocótilo; D. plúmula.

Figura 2 – Esquema representativo da anatomia da estrutura interna da semente do feijão.

Fonte: (ZIMMERMANN, 1988).

Tabela 1 – Descrição da estrutura externa da semente do feijão.

Letra	Nome	Descrição
A	Tegumento	É considerada uma capa que protege o grão e é o local onde os pigmentos estão localizados
B	Rafe	Sutura que tem a finalidade de unir o tegumento externo da semente
C	Micrópila	Abertura que se realiza a absorção de água
D	Hilo	Anatomicamente é um tecido vascularizado e permeável
E	Halo	Estrutura que cerca o hilo da semente

Fonte: (ZIMMERMANN, 1988) e (DA COSTA, 2015).

Tabela 2 – Descrição da estrutura interna da semente do feijão.

Letra	Nome	Descrição
A	Cotilédone	Folha que se forma no embrião e contém as reservas necessárias à germinação e ao desenvolvimento inicial do embrião vegetal
B	Radícula	Raiz do embrião
C	Hipocótilo	Região de transição entre a plúmula e a radícula
D	Plúmula	Pequena gema que dá origem ao caule e as folhas

Fonte: (ZIMMERMANN, 1988).

Embora as estruturas mencionadas sejam as mesmas para todas as sementes do feijão, a composição nutricional e a textura será característica de cada cultivar (ZIMMERMANN, 1988).

Quanto ao tamanho, cada cultivar de feijão pode possuir um tamanho de semente característico, isso irá depender de fatores como: temperatura, umidade, fertilidade do solo, espaçamento e época de plantio (ARAUJO et al., 1996).

A fim de se estabelecer uma classificação para o tamanho das sementes, algumas análises de peso foram realizadas em 100 sementes de diversos tamanhos e então obteve-se a seguinte classificação: muito pequena < 20 g; pequena 20 a 30 g; média 30 a 40 g; normal 40 a 50 g e grande > 50g (ARAUJO et al., 1996).

Segundo PUERTA ROMERO (1961) a forma da semente é definida através dos valores encontrados no cálculo dos coeficientes J e H, as equações (1 e 2) referentes podem ser observadas a seguir (ARAUJO et al., 1996 apud PUERTA ROMERO, 1961).

$$J = \frac{\text{Comprimento}}{\text{Largura}} \quad (1) \qquad H = \frac{\text{Espessura}}{\text{Largura}} \quad (2)$$

Para a obtenção da forma da semente, os resultados dos coeficientes devem ser comparados com os valores da tabela 3.

**Tabela 3 – Classificação da forma da semente segundo os coeficientes J e H.**

<b>Forma</b>	<b>J (mm)</b>	<b>H (mm)</b>
Esférica	1,16 a 1,42	-
Elíptica	1,43 a 1,65	-
Oblonga ou reniforme curta	1,66 a 1,85	-
Oblonga ou reniforme média	1,86 a 2,00	-
Oblonga ou reniforme longa	> 2,00	-
Achatada	-	< 0,69
Semi cheia	-	0,70 a 0,79
Cheia	-	> 0,80

**Fonte: (ARAUJO et al., 1996).**

A forma da semente pode ser utilizada para ajudar na identificação de uma cultivar, pois fatores como comprimento e espessura das sementes varia significativamente entre as cultivares (ZIMMERMANN, 1988).

Em relação as cores, existe uma grande variedade de cores do tegumento das sementes, por esse motivo vários estudos foram realizados em função de analisar-se há algum padrão característico das cores nas sementes de feijão (ARAUJO et al., 1996).

VILHORDO (1978) em experimentos com algumas cultivares comerciais de feijão, observou a cor das sementes em três etapas: logo após a colheita, após um ano e após 2 anos. Ao obter os resultados ele pode concluir que a classificação comercial de sementes com base em sua cor, deve ser feita logo após a colheita, pois com o passar do tempo o tegumento tende a escurecer, dificultando assim a diferenciação das cultivares por meio da análise da cor, contudo não sendo impossível realizar tal diferenciação nas demais etapas (ARAUJO et al., 1996 apud VILHORDO, 1978).

É importante ser realizada a análise de cor, pois além de sua importância comercial, ela tem relação direta com a composição química do tegumento da semente e isso independe da cultivar que está sendo analisada. Todas as cultivares, possuem compostos fenólicos localizados principalmente no tegumento da semente, porém existe uma grande diversidade encontrada no feijão (flavonoides, taninos, ligninas, ácidos fenólicos, etc.) e é justamente esta diversidade que origina as diferentes cores encontradas, ou seja, o composto fenólico e sua respectiva quantidade que irá definir a cor do tegumento do feijão (AFONSO, 2010).

### 5.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS GRÃOS DE FEIJÃO

Além de ser uma fonte rica em carboidratos a composição química do feijão é bem diversificada. Alguns fatores contribuem para tal diversificação, são eles: variedade, condições ambientais, modificações genéticas, entre outros (AFONSO, 2010). Portanto espera-se que a composição química de diferentes cultivares de feijão se diferencie, pois, as condições em que cada cultivar é submetida são diferentes.

Segundo dados apresentados por Afonso (2010), os lipídeos compõem a menor porcentagem da composição química do feijão já os hidratos de carbono são os constituintes majoritários. Ao analisar os aminoácidos presentes no feijão e concluiu-se que ele possui em sua composição oito aminoácidos dos essenciais para o nosso organismo e sete dos não essenciais, destacando-se o ácido glutâmico (aminoácido não essencial) que apresenta o teor mais alto. Para a análise de vitaminas, o maior teor foi a vitamina K e para a análise de minerais, prevaleceu o potássio (AFONSO, 2010).

Pesquisadores tentam proporcionar cada vez mais que esse alimento tão consumido pela maior parte da população, seja mais nutritivo aumentando o teor de alguns aminoácidos e para isso é necessário que exista uma variabilidade genética entre as diversas variedades desta leguminosa (RIBEIRO et al., 2007).

#### 5.4 COLORIMETRIA

A interação da luz com a matéria resultará no que se chama de cor, porém sabe-se que a cor observada pelo olho humano irá variar de acordo com o observador, portanto se faz necessário um equipamento para essa análise (OLIVEIRA, 2006).

Equipamentos responsáveis por analisar a cor (radiação visível) de uma amostra são chamados de fotocolorímetros ou fotômetros. Tais equipamentos tem como objetivo definir ou medir a intensidade das cores e posteriormente comparar a um padrão. Para obter a separação dos diferentes comprimentos de onda obtidos na análise de uma amostra qualquer, o equipamento utiliza prismas ou redes de difração (CIENFUEGOS; VAITSMAN, 2000).

Os padrões analisados são de acordo com o sistema CIELAB, onde as cores são descritas como ilustrado na figura 3.

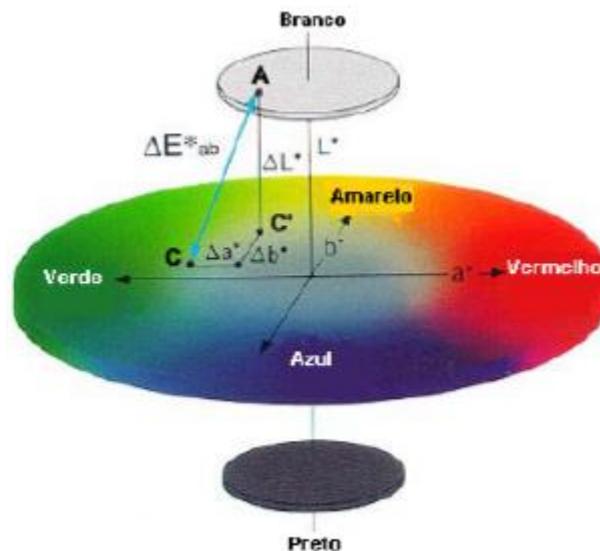


Figura 3 – Diagrama de cálculo da diferença de cor no sistema CIELAB.

Fonte: (OLIVEIRA, 2006).

Cada coordenada colorimétrica do gráfico traz a seguinte informação:

**Coordenada a\*:** conteúdo de vermelho a verde;

**Coordenada b\*:** conteúdo de amarelo a azul;

**Coordenada L\***: luminosidade;

**Coordenada h**: tonalidade;

**Coordenada C\***: croma (OLIVEIRA, 2006).

A cor dos vegetais está entre os principais atributos de qualidade que o consumidor nota, que é totalmente influenciado por diversas características intrínsecas do vegetal e também do processamento em que foi submetido (FÁVARO et al., 2000).

Quando o consumidor atribui a identificação do produto como sendo um produto fresco, faz com que aumente a aceitabilidade no mercado, agregando valor ao mesmo (FÁVARO et al., 2000).

Durante o processamento dos vegetais, há grandes chances de ocorrer transformações nas moléculas responsáveis pela pigmentação da cor (carotenoides, antocianinas, flavonóides, clorofila), principalmente quando há aplicação de calor (FÁVARO et al., 2000).

Em resumo, o processo de aquisição de cor se baseia em medir a luz e converter esta energia luminosa em energia elétrica com o auxílio de uma célula fotoelétrica (CIENFUEGOS; VAITSMAN, 2000).

## 5.5 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER – FTIR

A espectroscopia no infravermelho médio é uma técnica que estuda o comportamento da radiação eletromagnética quando em contato com a matéria orgânica (LUZ, 2003). A faixa de frequência da onda eletromagnética que corresponde a radiação infravermelho está situada entre as regiões das radiações visível e microondas (CIENFUEGOS; VAITSMAN, 2000).

As moléculas de uma maneira geral possuem uma simetria, número e modo de vibração característico (LUZ, 2003). A identificação das moléculas presentes em amostras é feita analisando as suas vibrações fundamentais, que são originadas do estado fundamental para um estado excitado de energia mais baixa (PAVIA et al., 2010). Portanto, a interação da radiação infravermelho para cada molécula será característica.

Para ser feita a análise de uma molécula por FTIR, é necessário que exista uma variação do momento de dipolo elétrico, visto que é uma consequência do modo como a molécula vibra ou rotacional naturalmente. Tais vibrações possuem duas classificações principais: deformação axial (ou estiramento) e deformação angular (dentro e fora do plano), ambas ainda podem ser simétricas ou assimétricas (LUZ, 2003).

Os espectros produzidos pelo espectrofotômetro são extremamente complexos, independente da molécula que está sendo analisada, por esse motivo o espectro produzido por uma amostra desconhecida deve ser sempre comparado ao de uma conhecida analisando a correlação dos picos presentes no espectro que é dado por radiação *versus* frequência (CIENFUEGOS; VAITSMAN, 2000).

O espectro gerado por FTIR é considerada uma propriedade físico-química da molécula auxiliando na identificação de compostos (LUZ, 2003).

Mesmo que o espectro no FTIR seja característico da molécula, alguns picos de grupos de átomos ocorrem quase que na mesma frequência, isto porque são grupos funcionais possuindo assim a mesma simetria e sua identificação se torna o objetivo principal da técnica (CIENFUEGOS; VAITSMAN, 2000).

Há alguns fatores que devem ser levados em conta para a interpretação de um espectro de infravermelho, são eles: resolução adequada e intensidade razoável; composto utilizado razoavelmente puro; o equipamento deve estar devidamente calibrado; o método de manipulação da amostra deve ser especificado (SILVERSTEIN et al., 2007). No caso deste trabalho, a amostra foi analisada *in natura* pelo método de Refletância Total Atenuada – ATR.

## 5.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A estatística está cada vez mais se destacando como uma poderosa ferramenta para análise de dados, isso em várias áreas de conhecimento, porém, os materiais didáticos sobre o assunto ainda são limitados dificultando o estudo (VICINI; SOUZA, 2005).

O surgimento das análises estatísticas aplicadas em química se fez necessário, pois análises quantitativas passaram a ser realizadas por equipamentos que geram um resultado multivariado, ou seja, com mais de uma variável resposta (CRUZ, 2003).

### 5.6.1 Análise de fator

Esta análise é composta por um vasto conjunto de técnicas estatísticas, e seu principal objetivo é reduzir o número de variáveis existentes na análise de forma que a quantidade de informação perdida seja a menor possível. A aplicação desta técnica torna os resultados mais claros na interpretabilidade do conjunto de dados (VICINI; SOUZA, 2005).

Assim como a Análise de Componentes Principais (ACP), esta técnica tenta explicar parte da variação do conjunto diminuindo as variáveis, porém ela parte de um modelo estatístico prévio que divide a variância total (FLECK; BOURDEL, 1998).

### 5.6.2 Análise de agrupamento

A análise de agrupamento é uma técnica que permite a separação de objetos ou variáveis por semelhança, agrupando-os segundo suas características em comum, permitindo assim uma classificação dos resultados sem perder a informação geral do estudo. Esta técnica é empregada em diversas áreas, pois ela permite o estudo individual de cada grupo com semelhanças entre si e a relação que este grupo terá com os demais (VICINI; SOUZA, 2005).

Existem dois processos de aglomeração para esta análise: hierárquico e não hierárquico. No caso da aglomeração hierárquica, a estrutura será no formato de árvore onde a sequência dos aglomerados será crescente em relação à abrangência de grupos, e no caso da aglomeração não hierárquica isto não ocorre, a metodologia aplicada será de uma partição com um número fixo de grupos (VICINI; SOUZA, 2005).

O processo adotado nesse estudo é o *K-Means*. O *K-Means* é um algoritmo de agrupamento não hierárquico que visa minimizar a distância dos elementos a uma quantidade de conjuntos escolhido pelo usuário (LINDEN, 2009). A escolha de conjuntos deve ser feita em função de encontrar a melhor interpretabilidade dos resultados.

### 5.6.3 Análise de Componentes Principais - ACP

É uma técnica de análise multivariada, ou seja, esta técnica permite analisar um conjunto de variáveis, e tem como objetivo principal encontrar uma função

matemática que possa explicar as variações obtidas nos resultados segundo esse conjunto de variáveis iniciais. A ACP, também fará o redimensionamento das variáveis originais, facilitando assim a extração de informações. A técnica é sensível às correlações baixas, ou seja, se o grau de semelhança entre as variáveis for mínimo a análise será prejudicada por essa técnica (VICINI; SOUZA, 2005).

A ACP adota o conceito que as variáveis possuem relação linear com os fatores. Portanto, a interpretação dos resultados pode ser dada por regressão linear obtendo assim uma equação de reta que apresenta a estrutura de dados (VICINI; SOUZA, 2005).

Se fosse para representar graficamente a ACP ela poderia ser em forma de uma nuvem de pontos individuais no espaço onde as saídas fornecem imagens aproximadas dessa nuvem de pontos, e a ACP mede justamente a qualidade de tal aproximação (FLECK; BOURDEL, 1998).

#### 5.6.4 Análise de correlação

Correlacionar significa empregar uma relação entre duas variáveis, de forma que descreva o comportamento da mesma (GUIMARÃES, 2008).

Análise de correlação é uma medida de relacionamento de duas variáveis, sendo assim uma medida de similaridade (LINDEN, 2009). Se faz necessário o estudo do grau de relacionamento entre duas ou mais variáveis para verificar com precisão o grau de interferência que uma variável tem em outra (GUIMARÃES, 2008).

Tal correlação é representada pela letra “r”, coeficiente de Pearson, e não possui nenhuma unidade de medida. O sinal do resultado obtido na análise também traz informações importantes, de forma que se for positivo indica uma associação direta e o sinal negativo indica associação inversa entre duas variáveis. Associação direta pode ser entendida que quando uma variável aumenta a outra também irá aumentar, e a associação inversa que quando uma variável aumenta a outra irá decrescer (LINDEN, 2009).

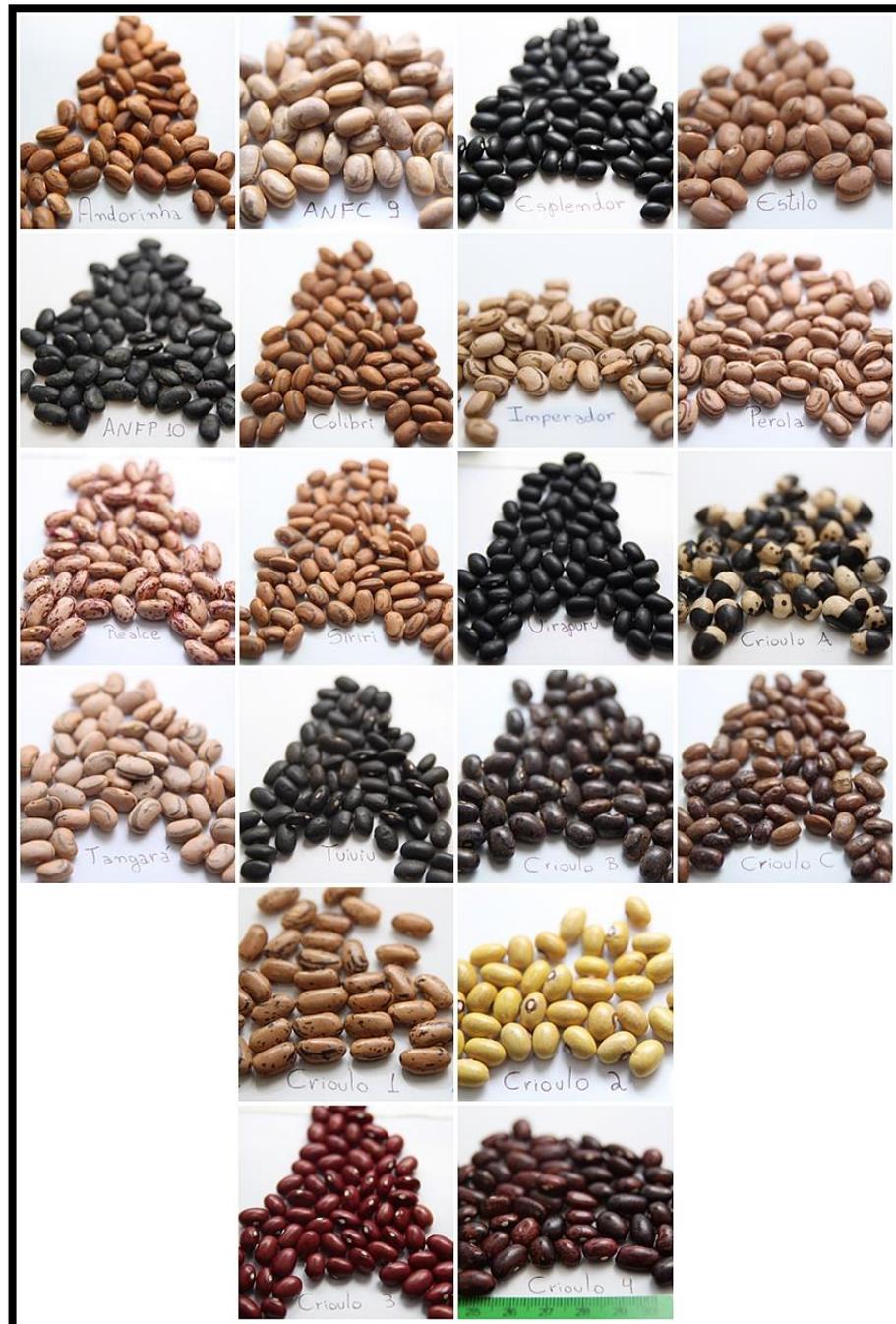
#### 5.6.5 Análise de regressão múltipla

Em análise de dados, a técnica de análise de regressão é utilizada para criar uma relação entre as variáveis (BARROS et al., 2008).

A regressão múltipla tem esse nome por conta que estuda três ou mais variáveis, onde uma variável será dependente e as demais independentes. Uma análise contendo duas variáveis gera uma reta, porém a análise realizada com três variáveis irá gerar um plano (GUIMARÃES, 2008).

## **6 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram realizadas análises de biometria, colorimetria e infravermelho nas amostras dos 20 genótipos de feijão (Figura 4). Todas as análises foram realizadas na UTFPR – Câmpus Pato Branco durante o período de 07/2015 a 05/2015.



**Figura 4 – Fotos dos 20 genótipos de feijão estudados nesse trabalho.**  
**Fonte:** Autoria própria.

### 6.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

Os grãos dos 20 genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) analisados pertencem a coleção de trabalho do laboratório de Biologia Molecular da UTFPR – Câmpus Pato Branco, sendo que para cada genótipo foram separados 100 grãos aleatoriamente (Figura 4). A procedência e a safra de cada genótipo são

desconhecidas, sendo apenas informado que as safras são a partir de 2011. Os grãos ficaram acondicionados em embalagens plásticas, mantidos a  $10^{\circ}\text{C} \pm 2$  e baixa umidade no intuito de preservar a qualidade das sementes.

## 6.2 PARÂMETROS BIOMÉTRICOS

Em pelo menos cinco grãos de cada genótipo aferiu-se: a largura, comprimento, espessura com o auxílio de um paquímetro e a sua respectiva massa com o auxílio de uma balança analítica. Por meio das informações de largura, comprimento e espessura foi possível obter os coeficientes J e H com o auxílio da tabela 3. O peso médio dos grãos de cada genótipo foi feito com 100 grãos que ficaram disponibilizados para as análises.

## 6.3 COLORIMETRIA

A análise de cor foi realizada em aproximadamente 50 grãos de cada genótipo, sendo realizada uma análise para cada genótipo, através do colorímetro modelo CR400 da marca Konica Minolta. O equipamento que foi utilizado para esta análise nos dá como resposta diversos parâmetros, porém só foram analisados os parâmetros  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $L^*$  e  $h$ , que são os parâmetros importantes na análise de cor dos alimentos.

## 6.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER - FTIR

Cinco grãos de cada genótipo foram analisados no equipamento FTIR com sistema Frontier<sup>®</sup> da marca PerkinElmer<sup>®</sup> no modo ATR. Os cinco grãos foram analisados no estado físico bruto.

As condições de análise no equipamento estão descritas a seguir:

- Faixa de análise:  $400\text{ cm}^{-1} - 4000\text{ cm}^{-1}$
- Resolução:  $2\text{ cm}^{-1}$
- Acumulações: 32 varreduras
- Unidade da abscissa:  $\text{N}^{\circ}$  de onda
- Unidades da ordenada: % A
- Medidor de força: varia para cada grão
- Tipo de varredura: amostra

O resultado do FTIR é fornecido na forma de planilha do Excel, estas planilhas foram transformadas em espectros pelo *software* Origin, para posterior comparação com a literatura e identificação dos grupos funcionais presentes (PAVIA et al., 2010).

## 6.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Após a obtenção dos resultados das análises já mencionadas e posterior interpretação dos mesmos, os dados de cor, biométricos e espectrais de genótipos de feijão foram classificados por meio de: análise de fator, análise de agrupamento, Análise de Componentes Principais – ACP, análise de correlação e regressão múltipla. O conjunto de dados originais foi padronizado pela seguinte equação (Equação 3):

$$X_{\text{Padronizado}} = \left[ \frac{(X - \bar{x})}{S} \right] \quad (3)$$

Onde,

**X** = Valor de cada medida,

$\bar{x}$  = Média da coluna,

**S**= Desvio padrão do conjunto de dados da coluna.

Estas análises serão realizadas por meio do programa de estatística:

- *Software* Pirouette 4.0;

Os gráficos dos espectros de infravermelho das amostras de feijão, foram tratados no programa:

- *OriginPro* 8.5.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados os resultados (Tabela 4) das análises biométricos dos grãos de feijão dos 20 genótipos analisados. Importante ressaltar que a variação dos parâmetros biométricos encontrada no mesmo genótipo é devido a variação de tamanho dos grãos que ocorre dentro de uma vagem de feijão, onde os grãos estudados nesse trabalho não foram selecionados de acordo com alguns parâmetros e sim escolhidos aleatoriamente.

**Tabela 4 - Resultado das análises dos parâmetros biométricos de cada genótipo com suas respectivas médias seguidas de mais ou menos o desvio padrão.**

<b>Amostra</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Largura (mm)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Coefficiente J</b>	<b>Coefficiente H</b>	<b>Forma</b>
Andorinha	0,23 ± 0,02	10,98 ± 0,83	6,64 ± 0,59	5,12 ± 0,79	1,65	0,77	Elíptica semi cheia
ANFC 9	0,27 ± 0,01	10,95 ± 0,43	7,62 ± 0,12	5,47 ± 0,34	1,43	0,71	Elíptica semi cheia
ANFP 10	0,25 ± 0,04	11,18 ± 1,32	7,79 ± 0,82	5,87 ± 0,08	1,43	0,75	Elíptica semi cheia
Colibri	0,26 ± 0,02	10,89 ± 0,67	6,40 ± 0,13	5,49 ± 0,15	1,70	0,85	Oblonga cheia
Esplendor	0,28 ± 0,03	10,57 ± 0,47	7,61 ± 0,66	5,60 ± 0,60	1,38	0,73	Esférica semi cheia
Estilo	0,22 ± 0,01	10,41 ± 0,49	6,45 ± 0,32	5,70 ± 0,38	1,61	0,88	Elíptica cheia
Imperador	0,25 ± 0,00	10,57 ± 0,34	6,44 ± 0,17	5,71 ± 0,16	1,64	0,88	Elíptica cheia
Perola	0,30 ± 0,02	10,92 ± 0,54	7,59 ± 0,34	5,46 ± 0,28	1,43	0,72	Elíptica semi cheia
Realce	0,52 ± 0,03	15,06 ± 0,54	8,35 ± 0,55	6,73 ± 0,53	1,80	0,80	Oblonga cheia
Siriri	0,24 ± 0,01	10,42 ± 0,26	6,48 ± 0,26	4,80 ± 0,32	1,60	0,73	Elíptica semi cheia
Tangara	0,34 ± 0,05	12,43 ± 0,80	7,60 ± 0,33	5,54 ± 0,90	1,63	0,72	Elíptica semi cheia
Tuiuiu	0,25 ± 0,02	10,77 ± 0,91	6,56 ± 0,25	5,28 ± 0,28	1,64	0,80	Elíptica cheia
Uirapuru	0,24 ± 0,02	9,94 ± 0,52	6,61 ± 0,42	5,38 ± 0,45	1,50	0,81	Elíptica cheia
Crioulo A	0,52 ± 0,06	12,51 ± 0,35	8,81 ± 0,28	7,44 ± 0,85	1,41	0,84	Esférica cheia
Crioulo B	0,45 ± 0,02	11,89 ± 1,11	8,20 ± 0,37	6,71 ± 0,57	1,44	0,81	Elíptica cheia
Crioulo C	0,25 ± 0,01	10,86 ± 0,24	6,76 ± 0,22	5,30 ± 0,23	1,60	0,78	Elíptica semi cheia
Crioulo 1	0,32 ± 0,04	13,48 ± 0,52	7,04 ± 0,10	4,87 ± 0,40	1,91	0,69	Oblonga achatada
Crioulo 2	0,36 ± 0,03	11,13 ± 0,38	7,32 ± 0,34	6,37 ± 0,21	1,52	0,87	Elíptica cheia
Crioulo 3	0,32 ± 0,02	10,86 ± 0,41	7,17 ± 0,33	5,95 ± 0,25	1,51	0,82	Elíptica cheia
Crioulo 4	0,38 ± 0,05	12,76 ± 0,77	7,42 ± 0,23	5,82 ± 0,32	1,71	0,78	Oblonga semi cheia

Foi realizada a análise de fator para verificar os fatores mais significativos na classificação dos 20 genótipos. A análise apresentou como resposta, que os fatores que apresentaram uma comunalidade acima de 0,7, foram selecionados para as posteriores classificações. Neste caso, os parâmetros massa e largura foram os mais importantes para compor a estrutura de dados de biometria dos genótipos de feijões (Tabela 5).

A análise de fator é importante na pré-classificação, pois outras análises foram realizadas com base no resultado desta, com o intuito de diminuir as variáveis sem que haja uma grande perda das informações importantes para a classificação dos genótipos contidas em todo o conjunto de dados.

**Tabela 5 - Resultado das comunalidades na análise de fator para os parâmetros obtidos na biometria.**

<b>Variáveis</b>	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>	<b>Fator 3</b>	<b>R<sup>2</sup> Múltiplo</b>
Massa (g)	0,930045	0,931311	0,934889	0,858224
Comprimento (mm)	0,611321	0,958134	0,985286	0,638524
Largura (mm)	0,748255	0,758286	0,994457	0,617164
Espessura (mm)	0,645591	0,903608	0,988319	0,626866

Após a obtenção dos principais fatores para a biometria, realizou-se a análise de agrupamento. Nesse trabalho foi feito no modelo *K-Means*, que gera como resultado os respectivos agrupamentos (Tabela 6), previamente determinados pelo usuário. Nesses grupos são contidas as informações referentes a possível categoria atribuída para esta classificação e também a média das distâncias dos genótipos ao centro do grupo pertencente a fim de verificar as dispersões. Nesse caso a menor dispersão foi do grupo de grão pequeno, e isso detona que dentre os grãos menores de feijão a variação dos parâmetros biométricos é baixa.

Para os parâmetros biométricos, o número de grupos determinados na análise foi três, e este número foi escolhido de acordo com a melhor interpretabilidade dos resultados.

Nesta análise pode ser observado que os parâmetros biométricos não podem ser utilizados para diferenciar os genótipos entre comercial ou crioulo, pois estes são agrupados sem distinção. Neste agrupamento os grãos ficaram separados em três grupos sendo eles representados pelos tamanhos dos grãos em pequeno, médio e grande.

**Tabela 6 - Resultado da análise de agrupamento no modelo K-Means em três grupos segundo os parâmetros biométricos, contendo os 20 genótipos distribuídos com suas respectivas categorias em grão pequeno, médio e grande, e a média das distâncias dos genótipos ao centro do grupo pertencente.**

<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
<u>Grão pequeno</u>	<u>Grão médio</u>	<u>Grão grande</u>
0,07	0,14	0,16
Andorinha	ANFC 9	Realce
Colibri	ANFP 10	Crioulo A
Estilo	Esplendor	Crioulo B
Imperador	Perola	
Siriri	Tangará	
Tuiuiu	Crioulo 1	
Uirapuru	Crioulo 2	
Crioulo C	Crioulo 3	
	Crioulo 4	

Como esperado, a análise de correlação para a biometria, apresentou que há uma associação direta entre comprimento – massa e largura – massa, de forma que quanto maior o comprimento e mais largo for este grão evidentemente maior será sua massa.

Com o resultado da análise de regressão múltipla (Figura 5) pode ser observado a relação que as variáveis comprimento, largura e espessura (variáveis independentes) tem sobre a massa (variável dependente) dos grãos dos 20 genótipos. A análise gerou um R<sup>2</sup> ajustado de 0,8538 e um índice de 95% de confiança, indicando que a massa e as demais variáveis da biometria têm uma alta correlação, ou seja, as massas dos grãos dos 20 genótipos possuem forte influência das variáveis comprimento, largura e espessura.

Os resultados obtidos nessa análise deram como resposta uma equação (Equação 4) que explica o comportamento matemático dessa regressão:

$$m = 0,4343 C + 0,3069 L + 0,3891 E \quad (4)$$

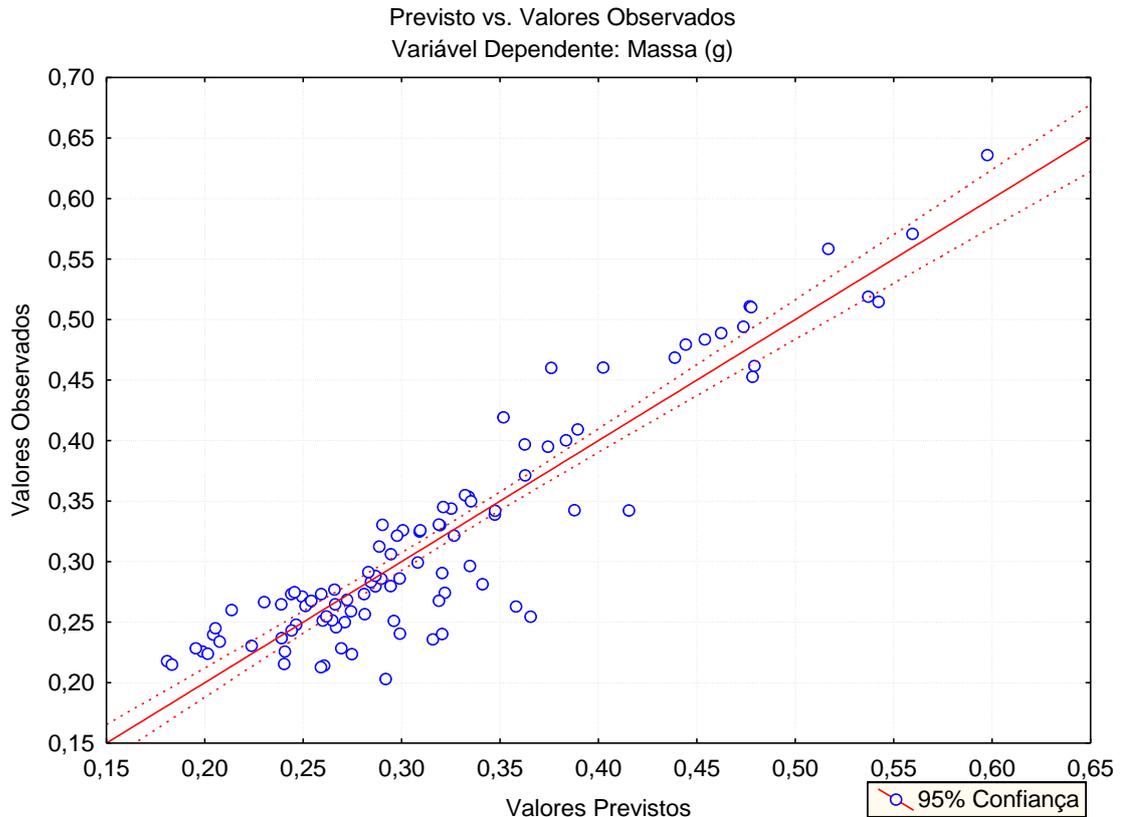
Onde:

**m**= massa (g);

**C**= comprimento (mm);

**L**= largura (mm);

**E=** espessura (mm).



**Figura 5 - Resultado da análise de regressão múltipla obtida com a biometria dos 20 genótipos de feijão.**

**Fonte:** Autoria própria.

Segundo (SIQUEIRA, 2013) a luminosidade para grãos de feijão é satisfatória até um valor de  $L^*$  de aproximadamente 55, para se ter um bom valor no mercado, portanto, todos os genótipos estão dentro de um valor de  $L^*$  satisfatório para o mercado.

As análises estatísticas realizadas com os parâmetros obtidos na colorimetria (Tabela 7) foram: análise de fator e análise de agrupamento.

Na tabela 7 são apresentadas médias para os parâmetros  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $L^*$  e  $h$ , pois estes são os parâmetros mais importantes na análise de cor dos alimentos dentre todos os parâmetros obtidos nessa análise com o equipamento utilizado.

**Tabela 7 – Resultados das análises de cor para cada genótipo.**

<b>Amostras</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>c*</b>	<b>L*</b>	<b>h (Hue)</b>
Andorinha	6,38	8,90	10,95	37,73	54,38
ANFC9	3,58	7,84	8,62	40,76	65,44
ANFP10	-0,72	-0,11	0,73	29,69	188,52
Colibri	3,54	5,00	6,13	34,41	54,70
Esplendor	-0,99	0,05	0,99	29,62	176,94
Estilo	4,68	7,21	8,60	38,45	57,06
Imperador	3,76	8,19	9,01	42,66	65,34
Perola	4,08	7,60	8,62	40,54	61,74
Realce	4,58	6,68	8,10	38,12	55,54
Siriri	4,74	6,54	8,08	34,98	54,08
Tangara	3,95	8,08	8,99	43,09	63,94
Tuiuiu	-0,63	0,13	0,64	29,22	168,33
Uirapuru	-0,48	-0,04	0,48	29,79	184,48
CriouloA	0,83	5,81	5,87	39,64	81,85
CriouloB	0,46	0,90	1,01	30,57	62,95
CriouloC	2,80	4,07	4,94	34,87	55,48
Crioulo1	4,90	7,59	9,04	36,00	57,14
Crioulo2	1,61	15,22	15,31	41,72	83,97
Crioulo3	6,59	2,02	6,90	29,31	17,06
Crioulo4	2,65	0,94	2,82	29,31	19,57

A análise de fator foi realizada a fim de obter os fatores que mais influenciam na classificação dos genótipos, ou seja, quais os fatores que apresentam resultados mais distantes quando comparados os resultados dos 20 genótipos. A análise apresentou como resposta, que os fatores que apresentaram comunalidade acima de 0,7 para a coluna Fator 1 que seriam os resultados mais significativos da análise, foram os parâmetros b\*, c\* e L\* (Tabela 8).

**Tabela 8 - Resultado da análise de fator para os parâmetros obtidos na colorimetria.**

<b>Variáveis</b>	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>	<b>Fator 3</b>	<b>R<sup>2</sup> Múltiplo</b>
a*	0,639276	0,913082	0,958038	0,899752
b*	0,840738	0,973292	0,977144	0,988132
c*	0,923310	0,951931	0,983524	0,988025
L*	0,708426	0,897088	0,952354	0,846537
H (Hue)	0,551395	0,908282	0,980364	0,691189

Após a obtenção dos principais fatores para a colorimetria, realizou-se a análise de agrupamento. Os resultados gerados nessa análise informam a separação dos genótipos nos grupos (Tabela 9) por meio de semelhanças na cor do tegumento dos grãos segundo os parâmetros analisados na colorimetria. Também foi calculado a média das distâncias dos genótipos ao centro do grupo pertencente (Tabela 9), a fim de verificar a dispersão de cada grupo. Neste caso a menor variação foi obtida no grupo 3.

Para os parâmetros de cor, o número de grupos determinados na análise foi três, e este número foi escolhido de acordo com a melhor interpretabilidade dos resultados.

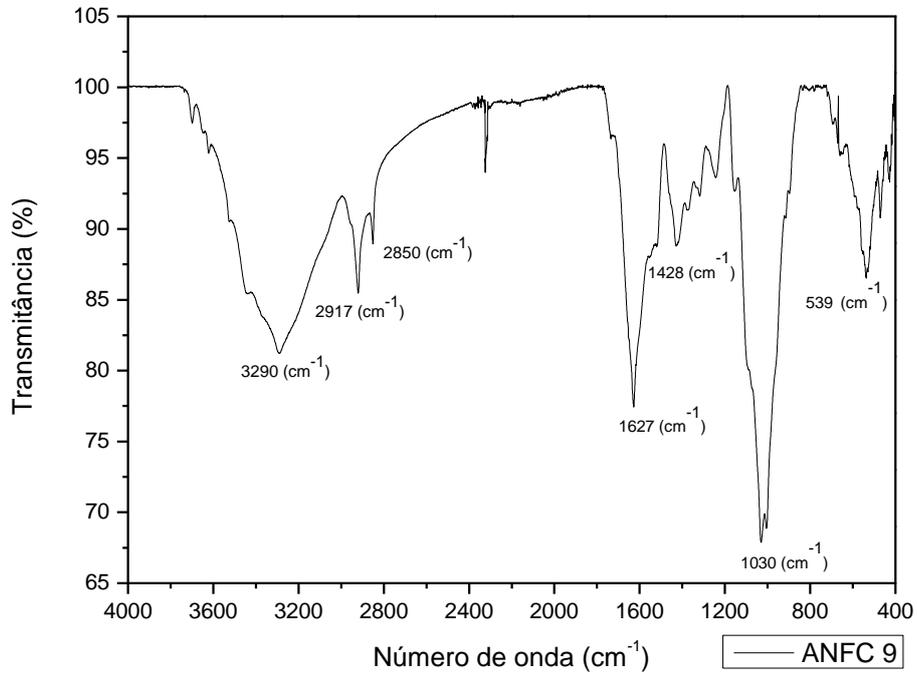
Nesta análise é importante ser destacado que os 20 genótipos analisados são de diferentes safras e isto influencia na luminosidade da cor, o que pode explicar o agrupamento de alguns genótipos de cores visualmente diferentes.

**Tabela 9 - Resultado da análise de agrupamento no modelo K-Means em três grupos segundo os parâmetros de cor, contendo os 20 genótipos distribuídos com suas respectivas distâncias ao centro do grupo em que está contido.**

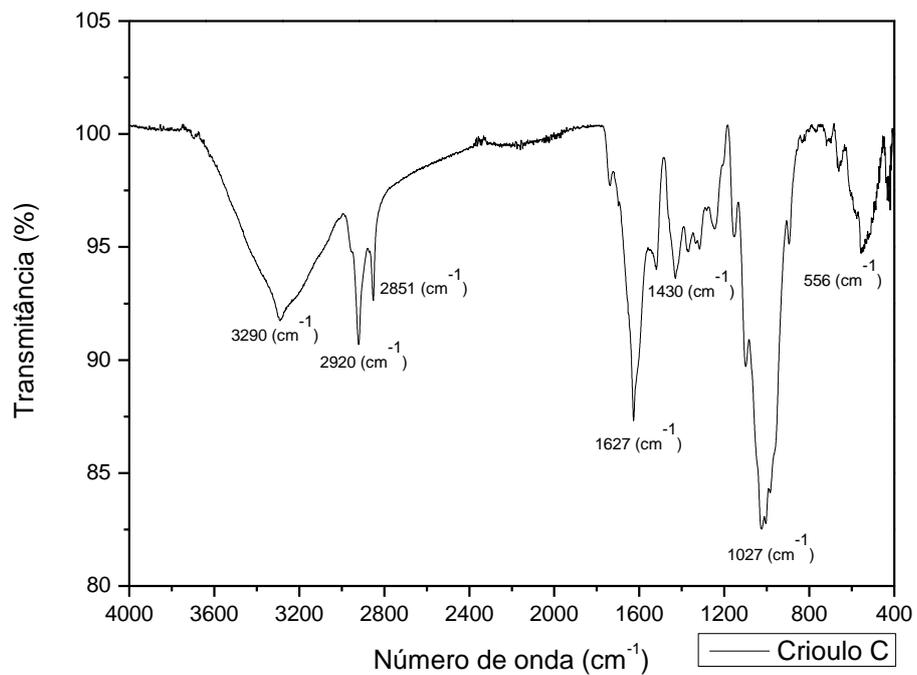
<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
1,50	2,00	1,07
Colibri	Andorinha	ANFP 10
Estilo	ANFC 9	Esplendor
Realce	Imperador	Tuiuiu
Siriri	Perola	Uirapuru
Crioulo A	Tangará	Crioulo B
Crioulo C	Crioulo 2	Crioulo 3
Crioulo 1		Crioulo 4

Os espectros gerados no equipamento de infravermelho FTIR, a fim de evidenciar a composição química observada nos genótipos de maneira geral, foi apresentado apenas o espectrograma de um genótipo comercial (Figura 6) dos 12 estudados nesse trabalho e o espectro de um genótipo crioulo (Figura 7) dos oito estudados nesse trabalho. A escolha destes dois espectros se fez por meio de uma seleção de resultados gerados apenas com o intuito de exemplificar esta análise espectroscópica. Como os principais picos observados nos dois espectros são muito próximos, estes foram apresentados tabela (Tabela 10) contendo os principais grupos funcionais observados na análise bem como a possível origem destes segundo a

literatura (SILVERSTEIN et al., 2007). Os demais espectros serão apresentados nos apêndices.



**Figura 6 – Espectro de infravermelho de um grão do genótipo comercial ANFC 9.**  
**Fonte:** Autoria própria.



**Figura 7 – Espectro de infravermelho de um grão do genótipo Crioulo C.**  
**Fonte:** Autoria própria.

Os espectros dos 20 genótipos de feijão apresentaram picos nos mesmos números de onda ou muito próximos uns dos outros, variando apenas as intensidades, e isso pode ser utilizado como um indicativo de mesma composição química em todos os genótipos.

**Tabela 10 - Absorções de infravermelho observadas na análise do genótipo comercial ANFC 9 e do genótipo Crioulo C seguidas de uma breve descrição segundo a literatura.**

<b>Número de onda(cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Descrição</b>	<b>Possível origem</b>
3400–3200	Amina secundária	Prolina
3290	Deformação axial O-H	Aminoácido
2920–2917 e 2851-2850	Deformação axial C-H alifático	Ácido glutâmico
1627	Deformação axial de C=C do anel	Compostos fenólicos
1430–1428	Deformação angular no plano C-O-H	Carboidrato
1030-1027	Deformação axial de C-O	Carboidrato
556-539	Deformação angular O-H	Aminoácido

As bandas observadas na região de 3400-3200 cm<sup>-1</sup> são características de grupos funcionais de amina secundária e estas podem ser atribuídas ao aminoácido prolina, um aminoácido não essencial para o nosso organismo e comumente encontrado em feijões.

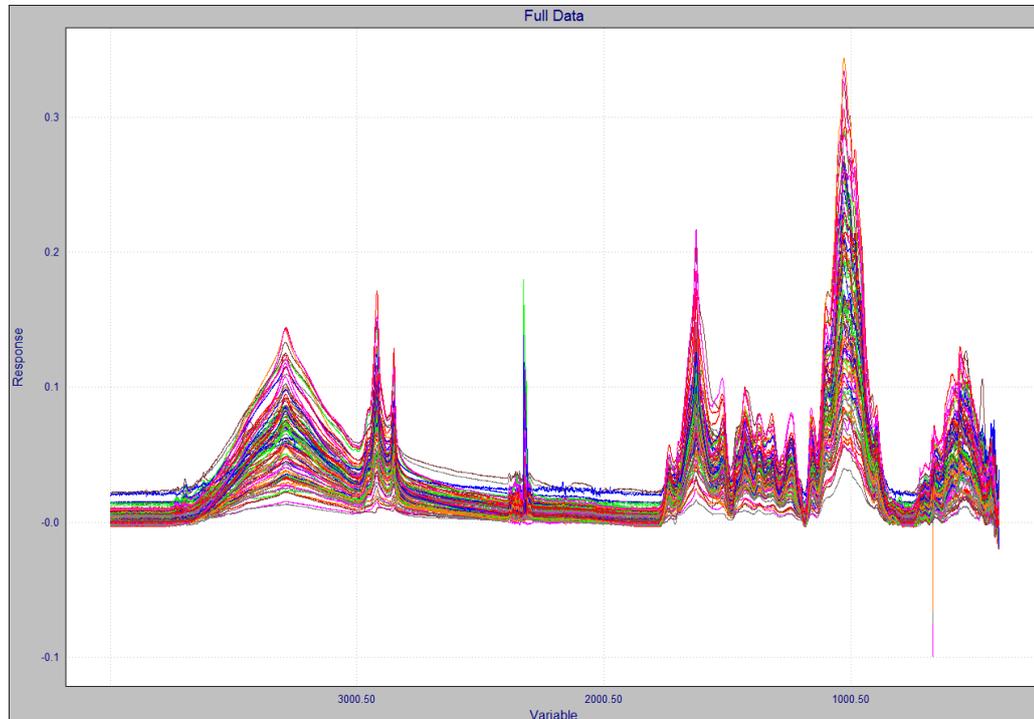
Na região de 3290 cm<sup>-1</sup>, além de estar dentro da banda característica amina secundária, pode ser atribuído a deformação axial da ligação O-H o que possivelmente é proveniente de aminoácidos ou até carboidratos presentes na composição do feijão.

Segundo (RIBEIRO et al., 2007), na composição química dos feijões é encontrado em grande quantidade o ácido glutâmico (alifático - cadeia aberta), portanto, é esperado que as bandas encontradas na região de 2920 – 2850 cm<sup>-1</sup> que segundo a literatura são características de deformação axial C-H alifáticos, sejam atribuídas a este ácido.

O feijão possui alto teor de carboidratos, o pico observado na região de 1030-1027 cm<sup>-1</sup> com alta intensidade, é característico de uma deformação axial de C-O, e está é possivelmente atribuída à presença de carboidratos em geral.

A fim de comprovar que a composição química dos 20 genótipos de feijão é muito semelhante, o que difere entre os genótipos é apenas o teor presente de alguns

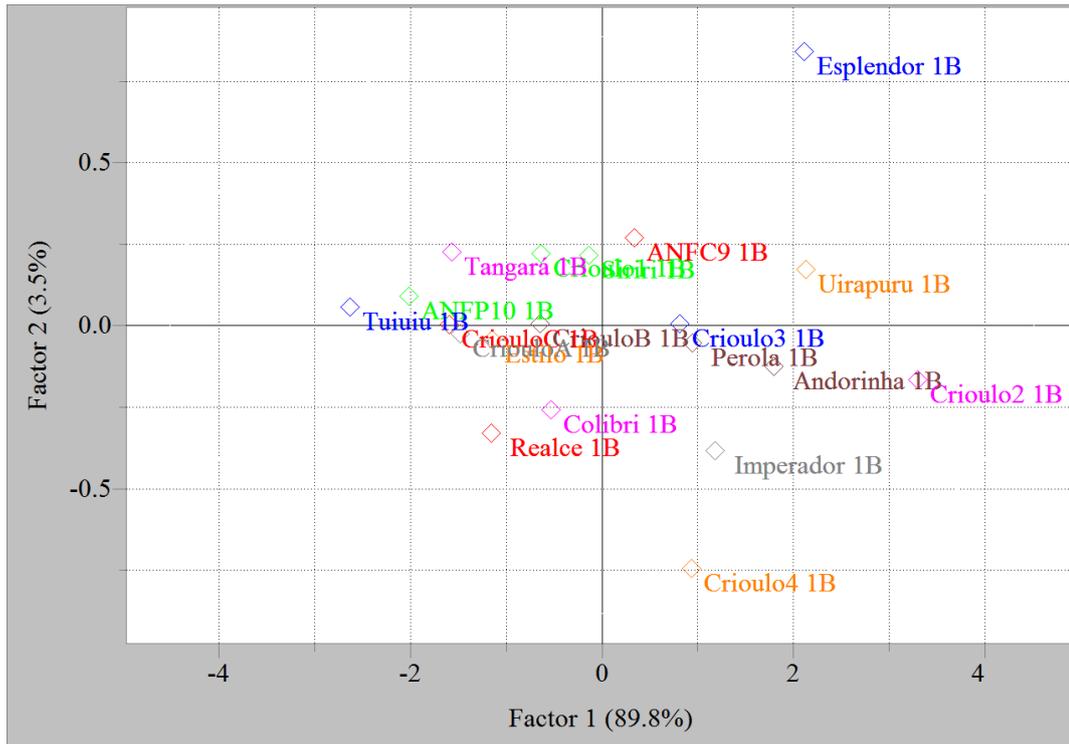
compostos, foi plotado um espectrograma (Figura 8) onde pode ser observada essa característica. Os picos característicos dos grupos funcionais dos 20 genótipos de feijão são os mesmos, variando assim apenas suas intensidades.



**Figura 8 – Espectrograma gerado por meio das absorvâncias dos 20 genótipos de feijão, contendo cinco espectros por genótipos.**

**Fonte:** Autoria própria.

As absorvâncias obtidas a partir de análises de infravermelho em cinco grãos de cada um dos 20 genótipos de feijão, foram submetidas ao tratamento estatístico ACP a fim de reorganizar os resultados em componentes que mostrem a direção de maior variabilidade. Estas componentes fornecem a direção da maior variabilidade dos dados, podendo assim classificar grupos de genótipos de feijões (Figura 9).



**Figura 9 – Resultado da ACP com os dados obtidos a partir da análise de infravermelho com um grão de cada um dos 20 genótipos de feijão por meio do tratamento matemático *Smooth*.  
Fonte: Autoria própria.**

Pelo resultado da ACP é possível observar com certa clareza a formação de três possíveis grupos de genótipos: Esplendor, ANFC 9 e Uirapuru (Grupo 1); Crioulo 4, Imperador, Crioulo 2 e Andorinha (Grupo 2) e Realce e Colibri (Grupo 3). Segundo (RIBEIRO et al., 2007) a ordem decrescente da presença dos aminoácidos essenciais no feijão é: leucina, lisina, fenilalanina, valina, isoleucina, treonina, histidina e metionina; e dos aminoácidos não essenciais é: ácido glutâmico, ácido aspártico, arginina, serina, alanina, glicina, tirosina, prolina e cisteína. Essa composição é igual para os 20 genótipos estudados, variando apenas a intensidade de cada aminoácido presente e isso pode explicar o afastamento de alguns genótipos, pois estes devem conter uma alta quantidade de algum aminoácido em relação aos demais estudados, permitindo uma possível explicação para a formação dos três grupos observados na análise.

A maior parte dos crioulos em função da análise de infravermelho estão concentrados no centro e estes podem ter a mesma intensidade de certos compostos presentes que alguns genótipos comerciais, pois os produtores muitas vezes confundem grãos comerciais com crioulos levando assim a utilização e nomeação errônea do grão.

De modo geral, nesta análise pode ser observado que de modo geral não há uma alta variabilidade entre os 20 genótipos estudados.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados realizados em 20 genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), sendo oito crioulos e 12 comerciais, de um modo geral evidenciaram uma boa caracterização por meio dos tratamentos estatísticos utilizados neste trabalho.

Não é simples realizar a caracterização de 20 genótipos de feijão, pois é possível que alguns genótipos tenham a mesma origem genética fazendo com que os grupos não sejam formados de maneira tão clara. Também é importante ressaltar que ocorre variação dos parâmetros biométricos dentro de uma vagem de feijão, já que os grãos foram separados aleatoriamente.

Por meio dos resultados das análises foi possível obter uma boa classificação com as análises de biometria e colorimetria para os 20 genótipos de feijão.

Com os resultados obtidos por meio da análise de infravermelho, foi possível observar parte da composição química dos genótipos de feijão, porém a informação obtida é comum a todos os genótipos, somente variando os teores dos compostos presentes em cada genótipo de feijão.

Para uma melhor caracterização destes genótipos, sugere-se a realização de análises específicas para determinação de quais aminoácidos estão presentes em cada genótipo.

## 9 REFERÊNCIAS

- AFONSO, Sílvia Marlene Esteves. **Caracterização Físico-Química e Actividade Antioxidante de Novas Variedades de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2010. 52 f. Dissertação (Qualidade e Segurança Alimentar) – Escola Superior Agrária de Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2010.
- ARAUJO, Ricardo S.; RAVA, Carlos A.; STONE, Luis F.; ZIMMERMANN, Maria J. O. **Cultura do Feijoeiro Comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996.
- BARROS, Emílio A. C.; SIMÕES, Priscila A.; ACHCAR, Jorge A.; MARTINEZ, Edson Z.; SHIMANO, Antônio C. Métodos de estimação em regressão linear múltipla: aplicação a dados clínicos. **Revista Colombiana de Estatística**, v. 31, n. 1, p. 111-129, 2008.
- BINOTTI, Flávio F. S.; ARF, Orivaldo; ROMANINI JUNIOR, Airton; FERNANDES, Fabiana A.; SÁ, Marco E.; BUZETTI, Salatier. Manejo do Solo e da Adubação Nitrogenada na Cultura de Feijão de Inverno e Irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n.1, p. 121-129, 2007.
- CIENFUEGOS, Freddy; VAITSMAN, Delmo. **Análise Instrumental**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2000.
- CRUZ, José Flávio Martins. **Caracterização de Gasolinas por Espectroscopia FT-RAMAN**. 2003. 215 f. Tese Doutorado (Ciências-Química) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- COSTA, Anna H. R. **Redes Neurais Artificiais**. 2015. Materiais de aula.
- DA COSTA, Joaquim G. C. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Semente**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_9\\_1311200215101.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_9_1311200215101.html)>. Acesso em: 12 nov. 2015.
- DIDONET, Agostinho D. **Produção Informal de Semente de Feijão Comum com Qualidade**. Brasília: Embrapa, 2013.igura
- Embrapa Arroz e Feijão. **Sementes de Feijão – Produção e Tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2015. **About the International Year of Pulses**. Disponível em: <<http://www.fao.org/pulses-2016/en/>>. Acesso em: 18 maio 2015.
- FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/E>>. Acesso em: 20 set. 2015.
- FÁVARO, Simone Palma; SÁ, Marcela Colognesi; IDA, Elza louko; NETO, José Antônio Braga. **Cor de feijão vagem fresco e processado após aplicação de**

**cálcio**. 2000. v. 57. 3 f. Trabalho apresentado no 25<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Poços de Caldas, 1996.

FLECK, Marcelo P.A., BOURDEL, M. C. Método de simulação e escolha de fatores na análise dos principais componentes. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, n. 3, p. 267-72, 1998.

GUIMARÃES, Paulo R. B. **Métodos Quantitativos Estatísticos**. Curitiba: IESDDE Brasil S.A., 2008.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Indicadores IBGE, 2013. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr\\_201309.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201309.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2015.

KISHI, Sandra Akemi Shimada. **Tutela Jurídica do Acesso à Biodiversidade no Brasil**. Série Grandes Eventos – Meio Ambiente. 2004. Disponível em <[http://escola.mpu.mp.br/linha-editorial/outras-publicacoes/serie-grandes-eventos-meio-ambiente/Sandra\\_A\\_S.pdf](http://escola.mpu.mp.br/linha-editorial/outras-publicacoes/serie-grandes-eventos-meio-ambiente/Sandra_A_S.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2015.

LINDEN, Ricardo. Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, n. 4, p. 18-36, 2009.

LOPES, Wilson A.; FASCIO, Miguel. Esquema para Interpretação de Espectros de Substâncias Orgânicas na Região do Infravermelho. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 670-673, 2004.

LUZ, Elaine Rocha. **Predição de Propriedades de Gasolinas usando espectroscopia FTIR e regressão por mínimos quadrados parciais**. 2003. 109 f. Dissertação (Química) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

MATOS, Paulo C. T. **Sementes Comestíveis**. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/>>. Acesso em: 14 set. 2015.

MUYLDER, Cristiana F.; SANTOS, Marco F.; FALCE, Jefferson L. L.; BRITTO, Eduardo. Principais Aplicações de Análise Discriminante na Área de Marketing: uma pesquisa bibliométrica. **Revista Gestão e Tecnologia**, v. 12, n. 2, p. 217-242, 2012.

NJOROGE, Daniel M.; KINYANJUI, Peter K.; CHRISTIAENS, Stefanie; SHPIGELMAN, Avi; MAKOKHA, Anselimo O.; SILA, Daniel N.; HENDRICKX, Marc E. Effect of storage conditions on pectic polysaccharides in common beans (*Phaseolus vulgaris*) in relation to the hard-to-cook defect. **Food Research International**, v. 76, p. 105-113, 2015.

OLIVEIRA, Danielle Ferreira. **Confiabilidade Metrológica e Validação de Procedimentos Espectroradiométricos para Medição de Fontes Luminosas**. 2006. 166 f. Dissertação (Metrologia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PAVIA, Donald L.; LAMPMAN, Gary M.; KRIZ, George S.; VYVYAN, James R. **Introdução à Espectroscopia**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

PUERTA ROMERO, J. **Variedades de judias cultivadas em Espanha**. Madrid: Ministério de Agricultura, 1961. 798 p. (Monografias, 11).

RIBEIRO, Nerinéia D.; LONDERO, Patrícia M. G.; FILHO, Alberto C.; JOST, Evandro; POERSCH, Nerison L.; MALLMANN, Carlos A. Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Pesq. Agropec. Bras**, v. 42, n. 10, p. 1393-1399, 2007.

SILVA, Osmira F.; WANDER, Alcido E. **O Feijão-Comum no Brasil Passado, Presente e Futuro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013.

SILVERSTEIN, Robert M.; WEBSTER, Francis X.; KIEMLE, David J. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

SIQUEIRA, Beatriz dos Santos. **Desenvolvimento dos fenômenos de escurecimento e endurecimento em feijão carioca: aspectos bioquímicos e tecnológicos**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Goiânia, 2013.

SOARES JR, Manoel S.; CALIARI, Márcio; BASSINELLO, Priscila Z.; FERNANDES, Paulo M.; BECKER, Salamoni. Características físicas, químicas e sensoriais de feijões crioulos orgânicos, cultivados na região de Goiânia – GO. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 109-118, 2012.

UFRGS. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Cultivares**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/patrimoniogenetico/conceitos-e-definicoes/cultivares>>. Acesso em: 06 out. 2015.

VICINI, Lorena; SOUZA, Adriano M. **Análise Multivariada da Teoria à Prática**. 2005. 215 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

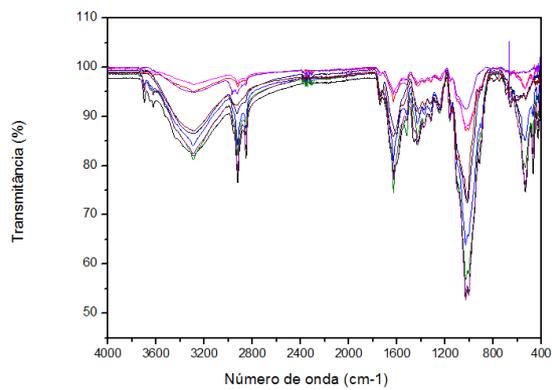
VILHORDO, Bella Weiss. **Caracterização botânica de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pertencentes aos 8 grupos comerciais**. 1978. 227 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1978.

ZIMMERMANN, Maria J. O. **CULTURA DO FEIJOEIRO Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988.

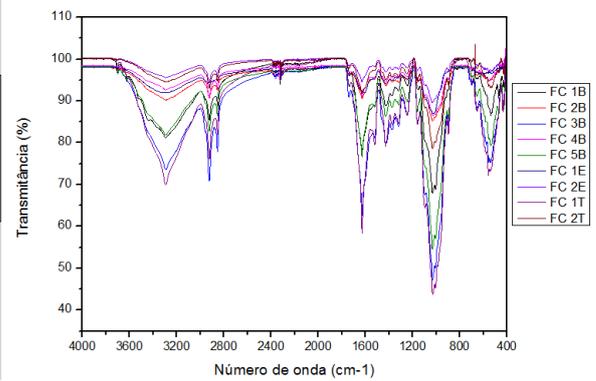
## APÊNDICE

Espectros de infravermelho dos 20 genótipos de feijão, onde 5 grãos foram analisados em estado bruto, sendo 2 desses 5 analisados tegumento e cotilédone (endosperma) separadamente, totalizando em 9 espectros por genótipo.

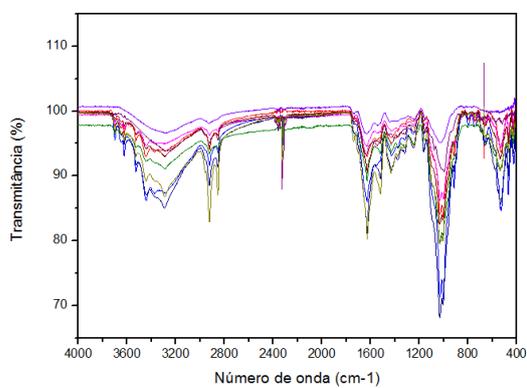
### Andorinha



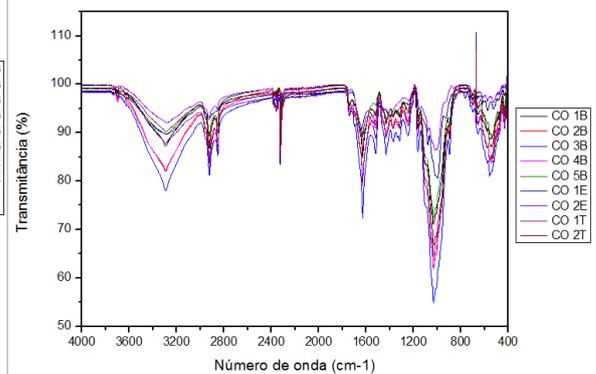
### ANFC 9



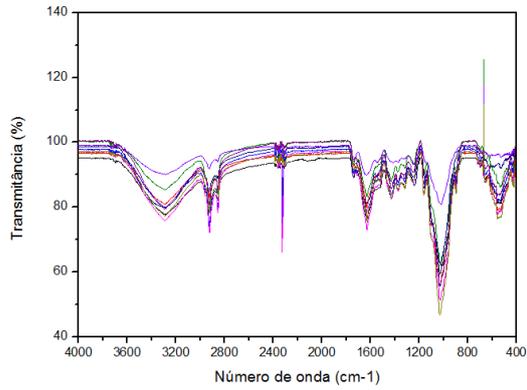
### ANFP 10



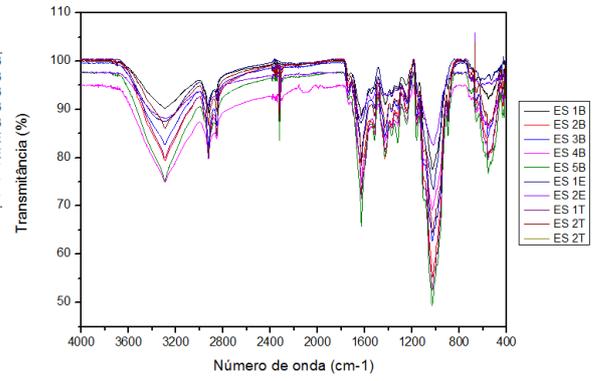
### Colibri



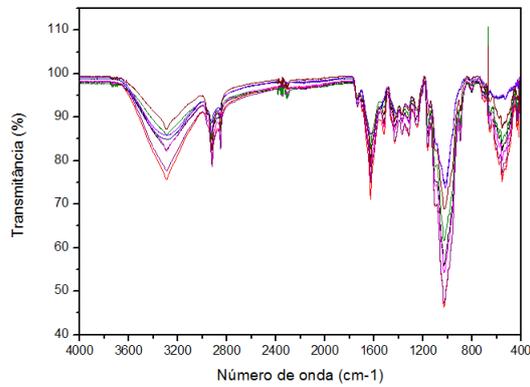
### Esplendor



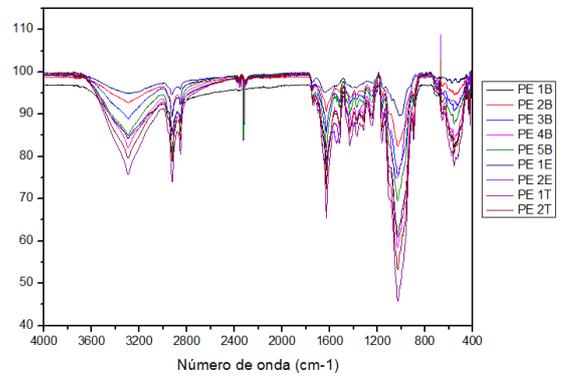
### Estilo



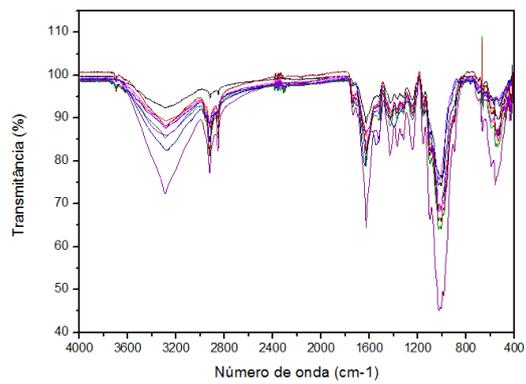
### Imperador



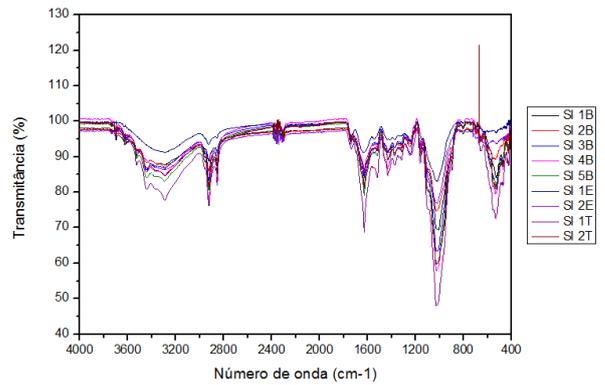
### Perola



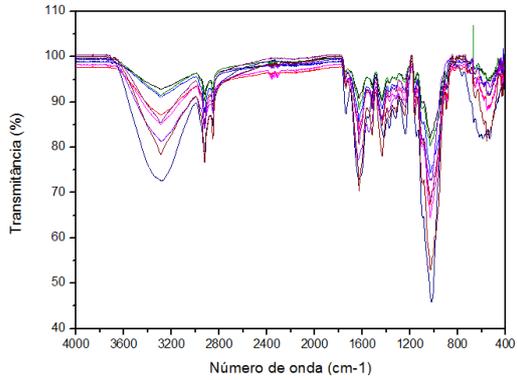
### Realce



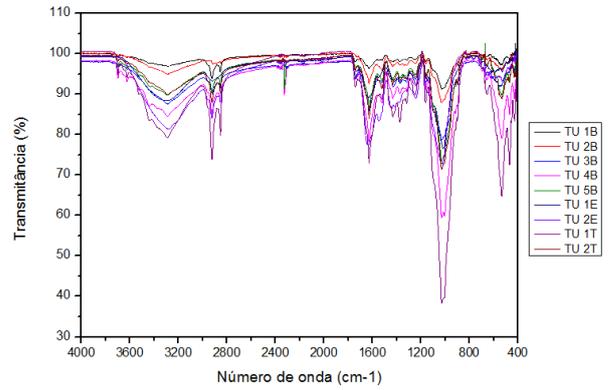
### Siriri



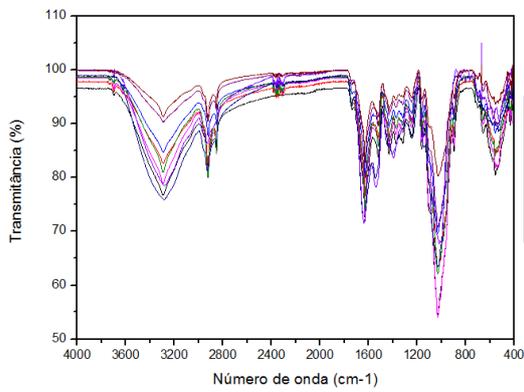
Tangará



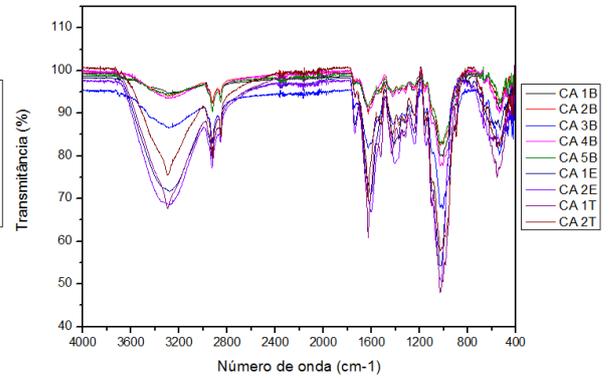
Tuiuiu



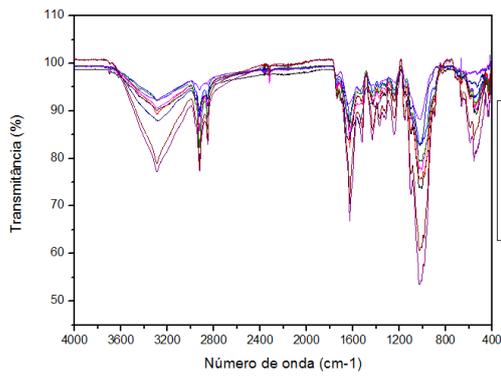
Uirapuru



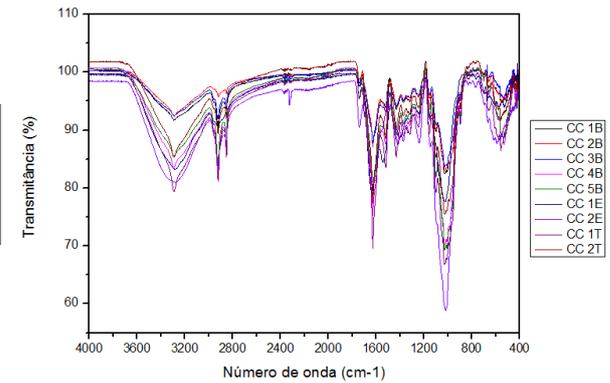
Crioulo A



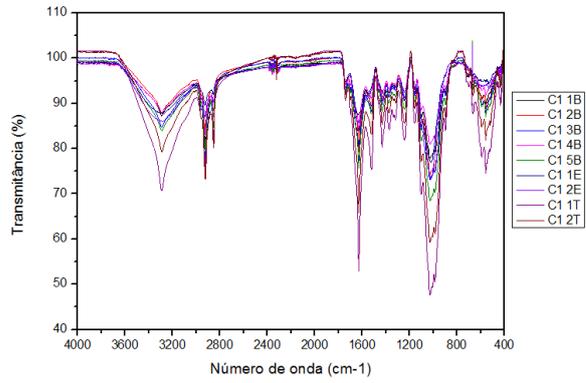
Crioulo B



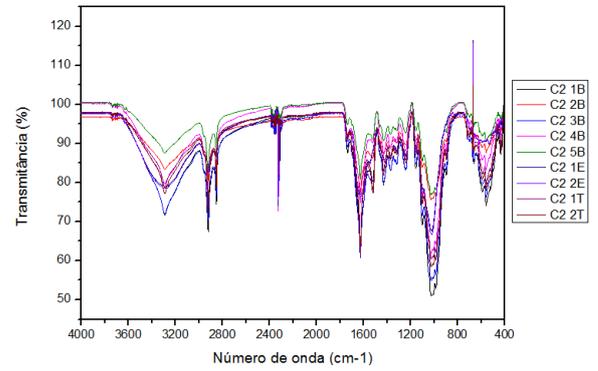
Crioulo C



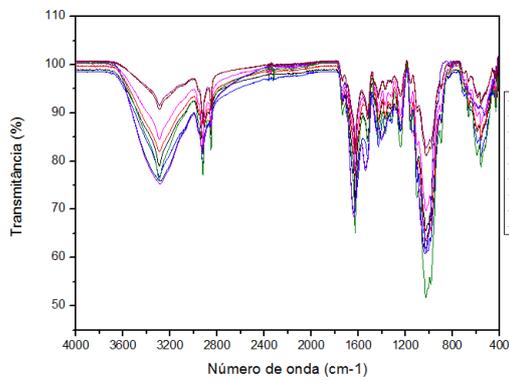
Crioulo 1



Crioulo 2



Crioulo 3



Crioulo 4

