



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Botânica

**Quantificação de amido e proteínas totais em grãos de sorgo  
[*Sorghum bicolor* (L.) Moench - Família: Poaceae] visando à  
alimentação humana**

Natacha Silva

**Abril 2015**

**Brasília**

**Quantificação de amido e proteínas totais em grãos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.)  
Moench - Família: Poaceae] visando à alimentação humana**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Botânica.

Natacha Silva

**ORIENTADOR:** Lúcio Flávio de Alencar Figueiredo

**Abril 2015**

**Brasília**

Natacha Silva

**Quantificação de amido e proteínas totais em grãos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.)  
Moench - Família: Poaceae] visando a alimentação humana**

Aprovada em 28/04/2015.

Banca examinadora:

Lúcio Flávio de Alencar Figueiredo  
Departamento de Botânica, UnB  
(Orientador, Presidente da Banca Examinadora)

Dr. Lívia de Lacerda de Oliveira Pineli  
Departamento de Nutrição, UnB  
(Membro Titular da Banca Examinadora)

Dr. Valéria Aparecida Vieira Queiroz  
Embrapa Milho e Sorgo  
(Membro Titular da Banca Examinadora)

À minha família,  
por todo carinho dispensado nesses últimos anos, dedico.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a minha mãe Neila Fátima Telles Silva, ao meu pai Aginaldo Rodrigues Silva, ao meu irmão Felipe Silva, aos meus tios e primos, e aos meus amigos de infância, por estarem comigo, mesmo distante, em todas as árduas etapas desse processo, por estarem sempre prontos a me apoiar nos momentos difíceis e desesperadores, e por vibrarem com as minhas conquistas e comemorações.

Ao Professor Lúcio Flávio de Alencar Figueiredo, pelo zelo, confiança e ensinamentos essenciais durante os dois anos de orientação.

Aos meus amigos que fiz em Brasília, Lauro, Fernanda, Livia, Tamires e Andressa que nesses dois anos com muita alegria e entusiasmo, cada um no seu “jeitinho”, me deram motivação para seguir em frente nessa jornada. Em especial ao Vinícius, por me dar os melhores conselhos pessoais, calma e sabedoria para enfrentar as dificuldades do dia a dia.

Aos amigos de laboratório, Willian, Jéssica, Izabelly, Fábio, Rodolfo, Mendes, João, Marinho, Márcio e Glauber (Agronomia), Guilherme e Juliana (Nutrição), que me ajudaram sempre que precisei no laboratório, e também por partilharem momentos de desabafos e risadas.

As queridas amigas Aliny e Hérica, por serem duas pessoas fantásticas e guerreiras que estiveram ao meu lado em vários momentos tristes e felizes no Departamento, colaborando com meu trabalho, principalmente na parte escrita. Obrigada sobretudo pela amizade.

Aos professores, Livia de Lacerda de Oliveira Pineli, Ernandes Rodrigues de Alencar, Luiz Antônio Borgo e Thomas Williams, que contribuíram muito nesses dois anos, dispensando os seus saberes e ensinamentos cada um na sua respectiva área de conhecimento, me induzindo ao crescimento pessoal.

A Capes/CNPq pelo apoio financeiro na realização desse trabalho.

## Sumário

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Origem, domesticação, migração e a atual produção de sorgo .....	1
1.2 Taxonomia e germoplasma do sorgo .....	2
1.3 Morfologia e biologia da planta.....	5
1.4 Morfologia e estrutura do grão .....	7
1.5 Utilização humana .....	9
1.6 Conteúdo de amido (ST) .....	11
1.7 Conteúdo de proteínas (PR).....	13
1.8 Análise de cluster.....	15
<b>2. OBJETIVO GERAL</b> .....	17
<b>3. OBJETIVO ESPECÍFICO</b> .....	17
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
4.1 Material vegetal .....	18
4.1.1 Triagem e moagem dos grãos .....	19
4.1.2 Umidade da farinha .....	19
4.2 Quantificação e dosagem de amido .....	24
4.3 Quantificação de proteínas .....	25
4.4 Análises estatísticas .....	26
<b>5. RESULTADOS</b> .....	28
5.1 Conteúdo de amido .....	28
5.2 Conteúdo de proteínas .....	28
5.3 Análise de cluster.....	31
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	41
6.1 Conteúdo de amido .....	41
6.2 Conteúdo de proteínas .....	42
6.3. Análise de cluster.....	44
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	46
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47

## **Lista de abreviaturas**

°C – graus Celsius

CO<sub>2</sub> – dióxido de carbono

Monocots – monocotiledônea segundo o grupo de filogenia das angiospermas

µl – microlitro

Uml<sup>-1</sup> – unidade de massa da atividade enzimática

pH – potencial de hidrogênio

M – mol/litro

rpm – rotação por minuto

nm – nanômetro

µg/ml – micrograma por mililitro

p.a. – pureza analítica

mol/L – molaridade por litro

%N – nitrogênio em porcentagem

V<sub>HCl</sub> – volume da solução de ácido clorídrico

ST – conteúdo de amido (ST = starch content)

PR – conteúdo de proteínas (PR = protein contents)

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Distribuição geográfica das cinco principais raças de sorgo (retirado de Ollitrault (1987).....	2
<b>Figura 2.</b> Taxonomia do gênero Sorghum.....	3
<b>Figura 3.</b> Estruturas morfológicas do grão do sorgo (adaptado de EARP; MCDONOUGH; ROONEY, 2004b). Foto: Guilherme Bento. ....	9
<b>Figura 4.</b> Raças e combinações das raças dos cem genótipos de sorgo. ....	23
<b>Figura 5.</b> Países de origem dos cem genótipos de sorgo. ....	24
<b>Figura 6.</b> Histograma do conteúdo de amido (ST) a partir da matéria seca. ....	29
<b>Figura 7.</b> Histograma do conteúdo de proteínas (PR) a partir da matéria seca. ....	30
<b>Figura 8.</b> Box plot do conteúdo de amido (ST) a partir da matéria seca. ....	30
<b>Figura 9.</b> Box plot do conteúdo de proteínas (PR) a partir da matéria seca.....	29
<b>Figura 10.</b> Correlação entre ST e PR ( $p > 0,05$ ; $R^2 = 0,007$ ). ....	31
<b>Figura 11.</b> Presença e ausência de tanino nas oito classes. ....	33
<b>Figura 12.</b> Dendograma da análise de cluster com as quatro classes. ....	33

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1.</b> Dados de passaporte dos cem genótipos de sorgo a partir dos trabalhos de Casa et al. (2008); Grin ( <a href="http://www.ars-grin.gov/">http://www.ars-grin.gov/</a> ); Morris et al. (2013) e Sukumaran et al. (2012). .....	20
<b>Tabela 2.</b> Estatística descritiva do conteúdo de amido e proteínas (%) a partir da matéria seca dos cem genótipos de sorgo. ....	29
<b>Tabela 3.</b> Classe 1 com as variedades de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo. ....	34
<b>Tabela 4.</b> Classe 2 com as variedades de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo. ....	34
<b>Tabela 5.</b> Classe 3 com as variedades de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo. ....	35
<b>Tabela 6.</b> Classe 4 com as variedades de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo. ....	35
<b>Tabela 7.</b> Classe 5 com as variedades de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo. ....	36
<b>Tabela 8.</b> Classe 6 com as variedades de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo. ....	37
<b>Tabela 9.</b> Classe 7 com as variedades de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo. ....	38

<b>Tabela 10.</b> Classe 8 com as variedades de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo.....	39
<b>Tabela 11.</b> Média do conteúdo de amido e proteínas (%) a partir da matéria seca nas oito classes. ....	39
<b>Tabela 12.</b> Valores de médias do conteúdo de amido e do conteúdo de proteínas (%) nas oito classes com suas respectivas diferença significativas ( $p < 0,05$ ). ....	40
<b>Tabela 13.</b> Frequência (%) das raças nas oito classes. ....	40

## RESUMO

O Sorgo [*Sorghum bicolor* spp *bicolor* (L.) Moench] é o quinto cereal mais produzido no mundo, com ênfase na segurança alimentar nos continentes Asiático e Africano, onde o grão é usado em diferentes preparações. No Brasil, a produção do grão é destinada à alimentação animal. No entanto, a sua utilização para consumo humano deverá crescer devido a algumas características relevantes do grão como a ausência de glúten, alta fonte de energia, conteúdos moderados de proteína e fibra dietética. O objetivo deste estudo foi medir o conteúdo de amido (ST) e proteínas (PR) em grãos de 100 genótipos de sorgo com uso potencial na dieta humana, e aplicar uma análise aglomerativa de agrupamento hierárquico usando essas duas variáveis (ST e PR), e juntamente com tanino (presença da testa pigmentado) e raça. Os grãos foram selecionados pela Embrapa Milho e Sorgo. Eles foram triados e moídos para todas as análises bioquímicas. As análises foram baseadas em base seca. A quantificação de amido foi avaliada pelo método rápido, utilizando enzima  $\alpha$ -amilase termoestável/amiloglucosidase. O PR foi calculado pelo método de Kjeldahl. A ausência e na presença de taninos (presença de testa pigmentada) foi observado em microscópio, em corte longitudinal. O teor médio de umidade dos 100 genótipos foi de 15%, variando de 13 a 18%, com um coeficiente de variação (CV) de 1%. A média de ST foi de 71%, variando de 46,3 para 85,3%, com um cv de 14,4%. A média de PR foi de 12%, variando de 7,7 para 17,1%, com um cv de 14,7%. A correlação de ST e PR foi neutro ( $r = -0,08$ ,  $p > 0,05$ ). A análise de agrupamento baseado em ST e PR agrupou os genótipos em oito classes. As classes foram organizadas e agrupadas pela variável ST. A Classe 1 mostrou o menor ST (53%) e a classe 8 apresentou o maior ST (84,5%). Genótipos com tanino estavam presentes nas oito classes. Um ST inferior para alguns genótipos sugere a presença de amido resistente que pode apresentar um papel de fibra dietética. Classes com ST superior e PR são uma boa fonte de ingestão calórica e moderada fonte de proteína. Estes dados são de interesse para o consumo humano, principalmente para grupos com dietas alimentares específicas (diabéticos, obesos, celíacos). Estes dados de ST e PR de 100 genótipos, com outras análises bioquímicas em andamento por outras instituições envolvidas neste projeto, será de extrema importância na seleção de genótipos para ser exibido em diferentes dietas alimentares.

**Palavras chaves:** amido, proteínas, sorgo, dieta alimentar, amido resistente.

## ABSTRACT

Sorghum [*Sorghum bicolor* spp *bicolor* (L.) Moench] is the 5th most produced cereal in the world, with emphasis on food security in the African and Asian continents, where the grain is used in different preparations. In Brazil, the production is destined for animal feed. However, its use for human consumption should grow due to some relevant grain characteristics as the absence of gluten, high source of energy, moderated contents of protein and dietary fiber. The aim of this study was to measure the contents of starch (ST) and protein (PR) in grains of 100 sorghum genotypes with potential use in human diet, and apply a hierarchical cluster analysis using these two variables (ST and PR), and together add tannin (presence of the pigmented testa) and race. Grains were selected by Embrapa Maize and Sorghum. They were cleaned and ground for all biochemical analysis. The analysis were based on dry basis. Starch quantification was assessed by the rapid method using  $\alpha$ -amylase enzyme thermostable/amyloglucosidase. PR was calculated by Kjeldahl digestion method. The absence and presence of tannins (presence of pigmented testa) was observed in stereomicroscope, in longitudinal section. The average moisture content of 100 genotypes was 15%, ranging from 13 to 18%, with a coefficient of variation (cv) of 1%. The average of ST was 71%, ranging from 46.3 to 85.3%, with a cv of 14.4%. The average of PR was 12%, ranging from 7.7 to 17.1%, with a cv of 14.7%. The correlation of ST and PR was neutral ( $r = -0.08$ ,  $p > 0.05$ ). Cluster analysis based on ST and PR grouped the genotypes in eight classes. Classes were organized by ST. The classe 1 showed the lowest ST (53%) and the class 8 showed the highest ST (84.5%). Genotypes with tannin were present into all eight classes. A lower ST for some genotypes suggests the presence of resistant starch which may have a role of dietary fibre. Classes with a higher ST and PR are a good source of caloric intake and moderate protein source. These data are of interest for human consumption, mainly to groups with specific food diets (diabetic, obese, celiacs). These data of ST and PR from 100 genotypes, with other biochemical analyses underway by other institutions involved in this project, will be of extreme importance in the selection of genotypes to be displayed in different food diets.

**Key words:** starch, protein, sorghum, diet, resistant starch.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Origem, domesticação, migração e a atual produção de sorgo

O sorgo [*Sorghum bicolor* spp bicolor (L.) Moench] originou-se no nordeste da África a 5.000 anos a.C. A domesticação da raça bicolor (a mais primitiva) teve início na Etiópia e no Sudeste do Saara ( DE WET, 1978) de onde ele migrou para o Oeste e Sul da África. Nessas regiões, novas raças como a caudatum, durra, guinea e kafir surgiram pelos mecanismos de seleção, efeito fundador, introgressão e recombinação ( DE WET; HUCKABAY, 1967) (Figura 1).

A segunda fase da domesticação do sorgo ocorreu há 3.000 anos quando ele migrou para a Ásia e para diferentes países na África. Essas migrações foram por meio da circulação de pessoas e rotas de comércio para: Índia e Tailândia (cerca de 1.000 a 1.500 anos a.C.), Oriente Médio, Egito, Sudão (aproximadamente 700 a 900 anos a.C.) Extremo Oriente (Japão), China e Coreia (aproximadamente 400 anos d.C.) ( DE WET; HUCKABAY, 1967) (Figura 1).

Na Europa, o sorgo chegou à Itália por volta de 60 a 70 anos d.C., por rotas marítimas de comércio vindas da Índia (DILLON et al., 2007; RIBAS, 2003). Já na América, o sorgo foi introduzido primeiramente no Caribe, por navios negreiros trazidos da África, nos anos de 1.800 e início de 1.900.

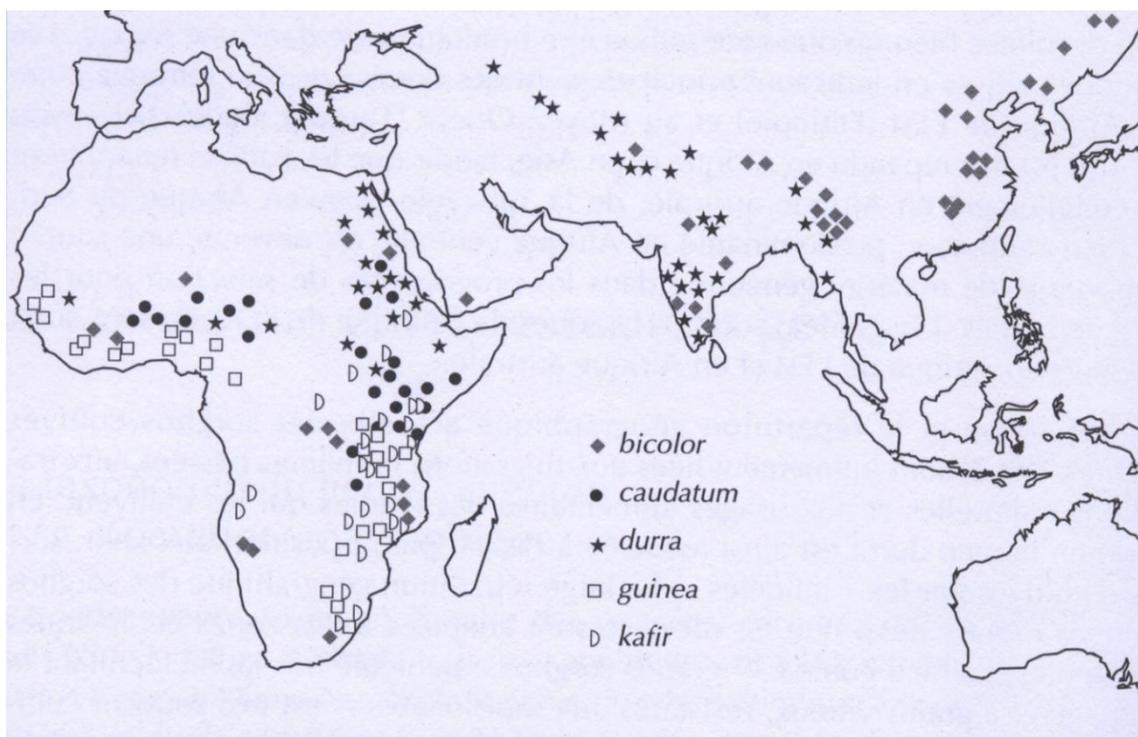
No Brasil, o sorgo chegou em meados do século XX, no Nordeste, conhecido popularmente como “milho da Guiné”. O grão e a planta eram utilizados como alimento animal na forma de forragem. A partir dos anos 60 a cultura de sorgo é estudada em Universidades e Instituições de pesquisa no Brasil, dando início ao melhoramento do grão e novos genótipos para a alimentação animal (DILLON et al., 2007; RIBAS, 2003).

Mundialmente mais de 35% de sorgo é cultivada diretamente para consumo humano. O restante é utilizado principalmente para a alimentação animal, bioetanol e produtos industriais. Os Estados Unidos é o maior produtor (~10 MT – FAOSTAT, 2015) e exportador de sorgo, sendo responsável por aproximadamente 20% da produção mundial e quase 80% das exportações mundiais de sorgo (AWIKA E ROONEY, 2004; FAOSTAT, 2014).

No Brasil, a cultura de utilização de sorgo é recente. A partir da década de 70, se tornou significativamente comercial, com área de plantio de oitenta mil hectares, localizada principalmente no Rio Grande do Sul e São Paulo. Vale salientar que a área de cultivo e produtividade média nacional têm se mantido baixas de 2.681,71 kg/ha,

comparada a 3.739,41 kg/ha como nos EUA (TABOSA; LIM; LIRA; TAVRES; BRITO; RITA, 1999; OLIVETTI E DE CAMARGO, 2005; FAOSTAT, 2015).

Dos anos 90 em diante a área cultivada de sorgo cresceu no Brasil, de 78.209 ha para 137.758 ha. A região de maior cultivo é a Centro-Oeste, com aproximadamente 50% da produção nacional (CONAB, 2015). O maior uso de grãos de sorgo no Brasil está na avicultura e suinocultura. O consumo de sorgo na alimentação humana vem crescendo aos poucos no país (RIBAS, 2003).

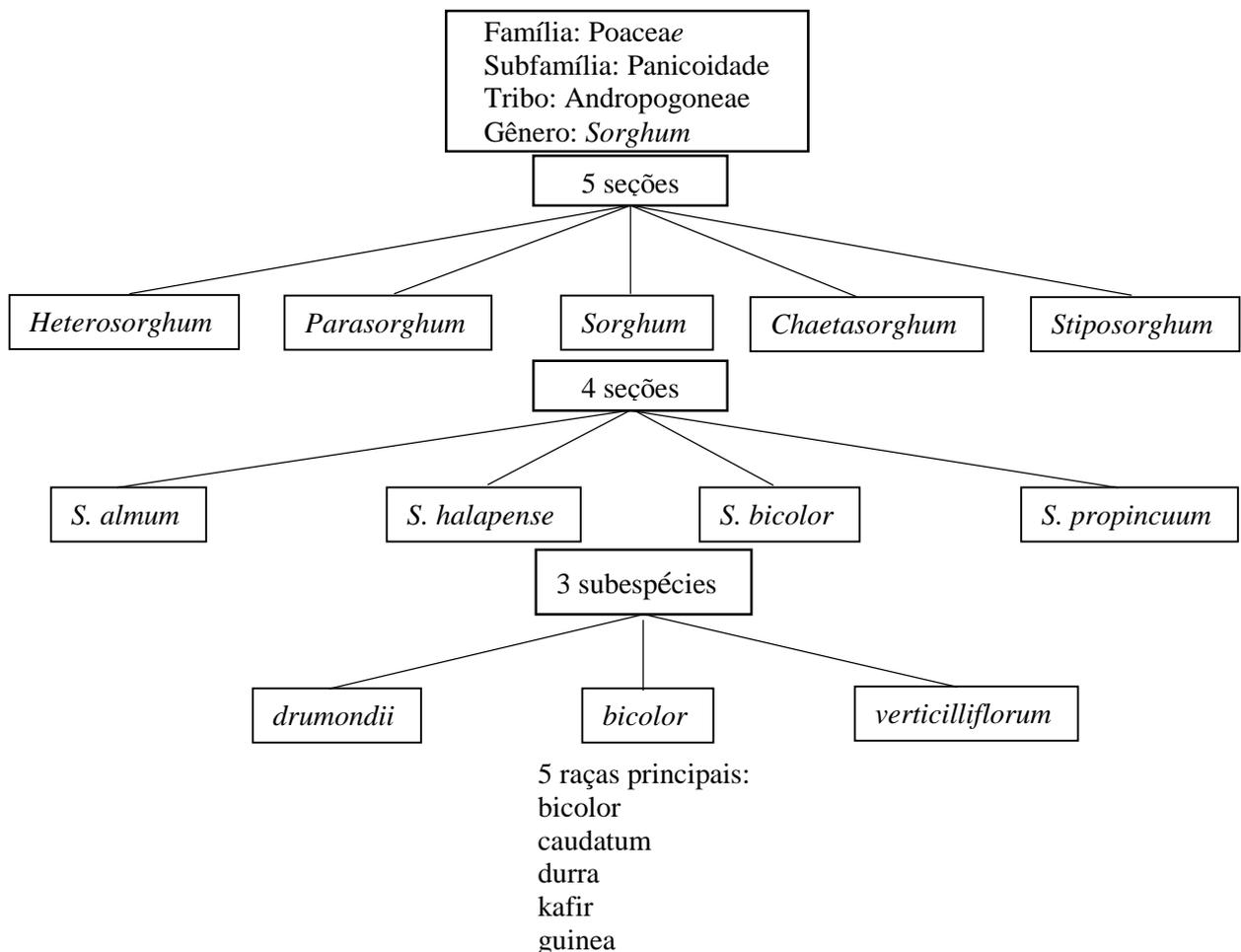


**Figura 1.** Distribuição geográfica das cinco principais raças de sorgo (retirado de Ollitrault (1987)).

## 1.2 Taxonomia e germoplasma do sorgo

O gênero *Sorghum* pertence à família Poaceae, conhecida anteriormente como gramíneas. Esta família está dividida em 11 subfamílias, com cerca de 1500 espécies, pertencente à ordem Poales que está inserida no clado das monocotiledôneas (APG III 2009; REFLORA, 2015) (Figura 2). O gênero *Sorghum* é membro da subfamília *Panicoideae* e da tribo *Andropogonea* (ACHEAMPONG; ANISHETTY; WIMAM, 1984). Este gênero possui cinco seções: *Heterosorghum*, *Parasorghum*, *Sorghum* (ou *Eusorghum*), *Chaetosorghum* e *Stiposorghum* (DE WET; HUCKABAY, 1967; KIMBER, 2000). A seção *Sorghum* é dividida em quatro espécies: *S. bicolor*, *S.*

*propinquum*, *S. halepense* e *S. alnum* (DE WET; HUCKABAY, 1967; HARLAN; DE WET, 1972; DE WET, 1978). A espécie *Sorghum bicolor* tem três subespécies: *bicolor*, *verticilliflorum* e *drummondii*. A subespécie *S. bicolor* sub *bicolor* é onde se encontra o sorgo cultivado, que possui cinco raças que se diferenciam a partir da forma da inflorescência e estrutura das espiguetas (HARLAN; DE WET, 1972). As raças são: *bicolor*, *caudatum*, *durra*, *guinea* e *kafir* (Figura 2). A combinação dessas raças dois a dois resulta em dez intermediários. Nas combinações das raças, por exemplo, *caudatum-bicolor*, a raça que vem primeiro, a *caudatum*, é aquela que mais influência o fenótipo resultado do cruzamento entre as duas raças, neste caso *caudatum* com *bicolor* (HARLAN; DE WET, 1972).



**Figura 2.** Taxonomia do gênero *Sorghum* (Adaptado de Deu e Hamon, 1994 e Pineli et al. 2015).

Atualmente, está catalogado na base de dados do National Plant Germplasm System (NPGS) um total de 45.879 acessos de sorgo distribuídos em vinte espécies (<<http://www.ars-grin.gov/npgs/index.html>>. Acessado em: 10 fevereiro 2015). A subespécie *bicolor* da espécie *bicolor* (*Sorghum bicolor* subespécie. *bicolor*) possui 98% desses acessos, ou seja, 45.192. As origens dos acessos do gênero *Sorghum* são provenientes de 119 países, sendo a maioria oriunda dos continentes africano (52%) seguida pelos continentes: americano (11%), asiático (8%), europeu (1%) e países árabes (10%) (Figura 5). Para 15% dos acessos não há dados disponíveis. Os acessos do NPGS estão guardados em quatro centros de pesquisa nos EUA. Outro grande repositório de acessos de sorgo (~40.000) é o International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (Icrisat) (Disponível em: <<http://www.icrisat.org>>. Acessado em: 10 fevereiro 2015) e Plant Genetic Resources Conservation Unit, Griffin, GA (Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/npgs/index.html>>. Acessado em: 10 fevereiro 2015).

Esses acessos possuem mais de um código dependendo da base de dados analisada. Por exemplo, acessos do Icrisat (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) começam com IS; no Cirad (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) (Disponível em: <<http://www.cirad.fr>>. Acessado em: 10 fevereiro 2015) os acessos começam com SSM. Atualmente os acessos são identificados pelo PI (Plant Introduction) visando facilitar a sua organização (Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/npgs/index.html>>. Acessado em: 10 fevereiro 2015) e outros tipos (Tabela 1). Os acessos também podem ser classificados pelo grupo de trabalho (working groups) que possuem até três dígitos, onde o primeiro dígito ou o par de dígitos estão ligados a raça ou combinação entre elas. Dos números 1 a 5 são respectivamente as raças *bicolor*, *caudatum*, *durra*, *guinea* e *kafir*. De 6 a 15 as combinações dessas raças (HARLAN; DE WET, 1972). O número 3 ou 30 é a raça *caudatum*, onde o zero significa a descrição restrita mais ligada a essa raça. Já o número 37 é o *caudatum-zerazera*, que significa que dentro da raça *caudatum* tem pelos sete grupos de trabalho. Com três dígitos o primeiro par de dígitos está ligado a uma combinação de raças e o terceiro dígito a variações dentro desta combinação. O número 140 é a combinação *caudatum-kafir* ou *kafir-caudatum*, existindo até a combinação 143 que é conhecido como *durra-feterita* ou *kauta* (HARLAN; DE WET, 1972). Na base de dados do NPGS muitos acessos de sorgo são também identificados pelo grupo de trabalho (working group) (Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/npgs/index.html>>. Acessado em: 10 fevereiro 2015).

A partir dos grandes bancos de germoplasmas, os melhoristas exercem os trabalhos de seleção de grãos de sorgo para desenvolvimento dos híbridos. Existem as limitações do número de linhagens, porém com uma grande variabilidade genética para caracteres de expressão econômica que pode ser usada nos programas de melhoramento (OLIVETTI E DE CAMARGO, 1997). Para se obter os híbridos existem quatro etapas, como: a escolha de populações, a obtenção de linhagens, a avaliação da capacidade de combinação das mesmas e testes extensivos das combinações híbridas (PATERNIANI, 2001). A obtenção de linhagens é a etapa mais importante, pois um erro nesta etapa compromete todo o processo. Uma alternativa é a utilização de híbridos simples comerciais, que têm a vantagem de já terem sido testados em vários ambientes e uma boa estratégia para aumentar a eficiência dos programas de melhoramento (OLIVETTI E DE CAMARGO, 1997).

Dentre as cultivares de sorgo disponíveis, tem predominado o uso de híbridos simples. Os híbridos simples apresentam adaptabilidade e estabilidade de produção, devendo observar tais características: tolerância a períodos de déficit hídrico principalmente em pós-florescimento; resistência ao acamamento e ao quebraamento; ausência de tanino nos grãos; porte entre 1,0 m e 1,5 m com boa produção de massa residual; ciclo precoce a médio; resistência às doenças predominantes na região de plantio (TARDIN E RODRIGUES, 2008).

### **1.3 Morfologia e biologia da planta**

O sorgo é uma planta herbácea anual, com altura média de 1,5 m podendo atingir 6 m (VAUGHAN; CUNDIFF; PARRISH, 1989; WET, 1978). Suas raízes são profundas e possui um caule sólido dividido em colmos é rico, em alguns casos, em sacarose. As suas folhas são longas podendo alcançar até 1 m, com 10 cm de largura, com margens planas ou onduladas. A flor se desenvolve como uma panícula ereta com altura entre 5 a 50 cm, poucas espécies apresentam panícula recurvada, nelas estão contidos os grãos ou cariopse, geralmente cobertos por glumas (DICKO et al., 2006)

O sorgo é uma planta monóica<sup>1</sup> e sua propagação se dá por sementes (DILLON et al., 2007; REA; KARPER, 1932). Espécies silvestres são sensíveis ao fotoperíodo, sendo uma planta de dias longos, ou seja, que floresce somente em dias longos (MAGALHÃES;

---

<sup>1</sup> Monóica: “plantas com flores unissexuais sobre o mesmo indivíduo” (VIDAL; VIDAL, 1986).

DURÃES; RODRIGUES, 2008). A espécie cultivadas não são sensíveis ao fotoperíodo, ou seja, florescem em dias curtos. O sorgo adapta bem ao clima quente, apresentando atributos xerófilos e estruturas hábeis de tolerância à seca. Alguns genótipos são adaptados a diferentes climas, inclusive às regiões temperadas, desde que nessas áreas aconteça a estação estival quente para que haja o desenvolvimento da cultura (THORNTON; CRAMER, 2012).

A planta do sorgo possui metabolismo fotossintético C4<sup>2</sup>, que é mais eficiente que o metabolismo fotossintético C3, que ocorre em quase 90% das plantas (MAGALHÃES; DURÃES; RODRIGUES, 2008). A maioria dos genótipos de sorgo toleram temperaturas altas e elevada incidência de luz, que não são suportadas por outras plantas cultivadas. O sorgo se destaca pela maior tolerância ao déficit de água e ao crescimento em solos deficientes, quando comparado a outras culturas (RODRIGUES et al., 2009).

O sorgo possui 10 cromossomos, é diplóide e possui uma diversidade genética abrangente em seus genótipos e coleções nucleares baseados na raça, fotoperíodo, e características agrônômicas demonstradas por marcadores de DNA, no qual o permite um aumento de trabalhos que desenvolvam o melhoramento genético de sorgo (DILLON et al., 2007). Apresenta também um genoma de estrutura pequena (740 Megabases) (PATERSON et al., 2009), comparado com o genoma de milho (2.500 Megabases) (DILLON et al., 2007). A partir do sequenciamento do genoma do sorgo, muitas informações têm impulsionado o conhecimento sobre a evolução das gramíneas e em específico a diversidade dentro da subespécie *S. bicolor*. Pela análise molecular do gênero *Sorghum* identificou-se a estrutura e composição do endosperma sendo empregada para se ampliar a genética de cultivares, atendendo à crescente demanda por maiores produtividades e a seleção dos melhores genótipos (PATERSON et al., 2009).

---

<sup>2</sup> C4: a fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico é feita pela enzima PEP carboxilase (cuja cadeia possui três carbonos) nas células do mesófilo em baixas concentrações de CO<sub>2</sub>, formando um composto de quatro carbonos (oxaloacetato, aspartato ou malato preferencialmente). Posteriormente, o CO<sub>2</sub> fixado na molécula de 4 carbonos é descarboxilada nas células da bainha e fixada em altas concentrações pela enzima ribulose-1,5-bisphosphate carboxilase (RuBisCO). Esse metabolismo fotossintético resultará numa série de modificações anatômicas e bioquímicas, aumentando a eficiência fotossintética em condições que promovem altas taxas de fotorrespiração (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 1996; SAGE, 2004).

#### 1.4 Morfologia e estrutura do grão

As sementes das monocotiledôneas e das dicotiledôneas são formadas por tegumento, embrião (cotilédones e eixo embrionário) e endosperma (SILVA; CORREA, 2008). Funcionalmente, as sementes são compostas de uma cobertura protetora (tegumento), um tecido meristemático (eixo embrionário) e um tecido de reserva (endospermático, cotiledonar ou perispermático), cada composição com sua específica função (SILVA; CORREA, 2008).

O grão do sorgo tem o formato redondo, esférico e elíptico com diâmetro que varia entre 4 a 8 mm que variam em também na cor em função do genótipo ( DE WET, 1978) (Figura 3). Tem um peso entre 3 e 80 mg (AWIKA; ROONEY; WANISKA, 2005). O grão é composto de três partes principais: tegumento (pericarpo, 4%), gérmen (embrião, 10%) e endosperma (tecido de armazenamento, 86%) (EARP et al., 2004a; WANISKA, ROONEY, 2000) (Figura 3). Essa proporção é variável de acordo com o genótipo do grão e das condições ambientais em que foi cultivado.

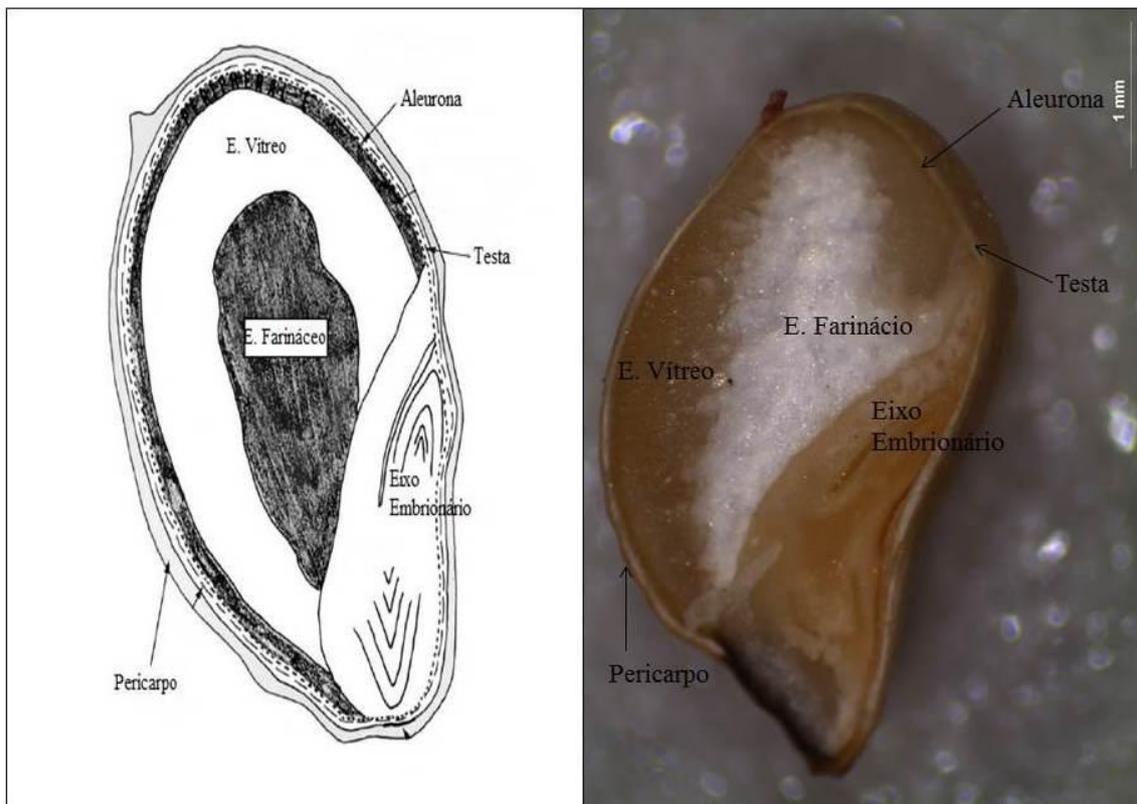
A testa é uma camada de células de paredes espessas e algumas vezes pigmentadas, tendo taninos condensados, características fundamentais para definição nutricional de qualidade, cor e sabor dos produtos alimentares feitos a partir do grão (EARP; MCDONOUGH; ROONEY, 2004b). A proporção de taninos condensados é relativa com o genótipo e das condições ambientais do cultivo do grão (EARP; MCDONOUGH; ROONEY, 2004b). Os taninos condensados apresentam uma quantidade de 2% do grão (BUTLER et al., 1984). Quanto a presença do tanino o sorgo se classifica em tipo I (*b1b1B2\_*, *B1\_b2b2*, *b1b1b2b2*), II (*B1\_B2\_ss*) e III (*B1\_B2\_S\_*) (DYKES; ROONEY, 2006). O tipo I não apresenta testa pigmentada, com baixa presença de tanino, com presença de genes recessivos quanto a pigmentação ou cor. Os tipos II e III ambos têm uma testa pigmentada e contêm taninos, apresentando os genes dominantes, o que dá característica de pigmentação ou cor (DYKES; ROONEY, 2006; EARP; MCDONOUGH; ROONEY, 2004b ). A presença do tanino está associado a tolerância e resistência dos grãos aos fungos, ataque de patógenos e de pássaros (AUDILAKSHMI et al., 1999). Ressalta-se que a cor do grão não é um indicativo da presença de tanino, podendo o grão ser branco ou com cor clara e apresentar tanino (EARP et al., 2004a).

O endosperma é um tecido triploide tendo na sua periferia a camada de aleurona, rica em proteínas de reserva. O restante do endosperma é composto predominantemente por amido (82%), contendo pequenas frações de proteínas e lipídeos, 10 e 0,6%, respectivamente (WANISKA; ROONEY, 2000). Em alguns grãos o endosperma é vítreo

ou translúcido contendo majoritariamente grânulos de amido, corpos de proteínas e uma matriz de proteínas. Por outro lado, o endosperma pode ser ou não farináceo, parcialmente ou totalmente (Figura 3).

O amido determina a textura do endosperma, sendo classificado em vítreo (característica de dureza dada pelos corpos protéicos que envolvem os grãos de amido, formando uma matriz protéica), farináceo (característica de farinha por apresentar poucas proteínas em volta do amido) ou a combinação dos dois (ROONEY, 1982) (Figura 2). A textura do endosperma é uma característica física avaliada visualmente ou na lupa tendo uma graduação de 1 a 5. Quanto mais próximo de 1 mais vítreo é o grão, contrariamente quanto mais próximo de 5 mais farináceo é o grão (MAXSON et al., 1971). Grãos vítreos são definidos como duros, resultando uma grande proporção de partículas no processo de moagem, quando comparado aos farináceos. Já os grãos farináceos produzem mais farinha na moagem do que partículas. A dureza do grão é o principal fator da qualidade do grão do sorgo nas principais preparações no continente africano (KAYODE et al., 2005).

Alguns genótipos não apresentam amilose nos grãos, possuem 100% amilopectina, caracterizando o grão como vítreo. Estes grãos são denominados “waxy” ou cerosos (característica vítrea) nos quais pode existir uma ausência, bloqueio ou inativação da síntese de amilose, apresentando menos de 15% desses compostos (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). O endosperma desses grãos é recessivo ( $wxwxwx$ ), diferente dos grãos não mutantes ( $WxWxwx$  ou  $Wxwxwx$ ) e dos grãos normais ( $WxWxWx$ ). Os grãos “waxy” ou cerosos geralmente apresentam um teor de amido mais baixo em relação aos grãos normais (SANG et al., 2008)



**Figura 3.** Estruturas morfológicas do grão do sorgo (adaptado de EARP; MCDONOUGH; ROONEY, 2004b). Foto: Guilherme Bento.

### 1.5 Utilização humana

O sorgo é o quinto cereal mais produzido do mundo com uma produção de 61 milhões de toneladas por ano, para o último registro da FAO (FAOSTAT, 2015). Ele apresenta vantagens de produção em condições climáticas adversas, quando comparado a outras culturas (ROONEY; AWIKA, 2005). É amplamente utilizado na África e em alguns países da Ásia na alimentação humana. Nas Américas, Europa e Oceania ele é pouco utilizado na alimentação humana, voltado para produção de forragem e ração animal (BELTON; TAYLOR, 2004). Assim o sorgo tem muitas possibilidades de ser explorado nos países do Ocidente, com potencial alimentar (ROONEY; AWIKA, 2005).

O sorgo é um cereal indicado como substituto ao trigo em alimentos destinados a pessoas com reações adversas ao glúten (BERENJI; DAHLBERG, 2004; PONTIERI et al., 2013), ou não. Além de ser rico em carboidratos, proteínas, fibras dietéticas, ácidos fenólicos, minerais, entre outros compostos necessários para benefícios fisiológicos humanos em geral (GLITSON; KNUDSEN, 1999; NILSSON et al., 1997). Trabalhos recentes vêm desenvolvendo massas de macarrão, testadas na alimentação, com farinhas de sorgo com baixo teor de tanino, arroz, milho e amido de batata destinado a dietas livres

de glúten, com testes em pessoas. Os resultados apresentaram uma boa aceitação das pessoas que provaram o macarrão, potencializando o uso comercial, e aumentando as alternativas das dietas livres de glúten (FERREIRA et al., 2015; MARENCO et al., 2015).

A farinha do grão do sorgo é utilizada em diferentes produtos, tais como: o bouillie (África e Ásia) um mingau preparado com leite e água; o cuscuz (África), uma massa de sorgo pilado, com tempero a gosto, cozido ao vapor de água; a injera (Etiópia), feita a partir da farinha, misturada com água, um preparo para massa de panqueca; o dolo (África), cerveja feita a partir do processo de maltagem do grão; a nasha (Sudão), papa da farinha do grão, voltada para bebês em desmame, pois é bastante energética (DICKO et al., 2006; YETNEBERK et al., 2004).

Além da utilização do sorgo na alimentação humana nos continentes Africanos e Asiáticos (MUTISYA et al., 2009), nos últimos anos tem crescido o interesse do seu uso na alimentação em países do ocidente. Na América central já existem as Tortilhas, um alimento frito preparado com a farinha do sorgo. Nos Estados Unidos a utilização do cereal na alimentação humana tem aumentado pelo seu crescente uso em “cookies” (AWIKA; ROONEY; WANISKA, 2005). Recentemente no Brasil novas pesquisas da Embrapa Milho e Sorgo estão propondo a avaliação nutricional e tecnológica de grãos de sorgo para desenvolvimento de produtos industriais à base da farinha integral, tais como: cereais matinais, barra de cereais, biscoito, bolos e pães (KIST et al., 2012). As indústrias buscam duas características importantes no grão que são a cor e a qualidade, por esse motivo tem-se a necessidade de se identificar genótipos que se adequem à alimentação e a essas características (RENE; ROONEY, 2009).

O sorgo, diferente de outros cereais como milho (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.) e aveia (*Avena sativa* L.); não contém glúten (PONTIERI et al., 2013). Sendo uma excelente alternativa para as pessoas celíacas que são intolerantes ao glúten (BERENJI; DAHLBERG, 2004; PONTIERI et al., 2013). O glúten é uma rede protéica que torna a massa viscoelástica (DICKO et al., 2006).

Nos Estados Unidos vários produtos à base de sorgo já estão disponíveis no comércio, entre eles: cereais matinais, barra de cereais, biscoitos, grão inteiro, farinha do grão, xarope, cerveja (Comunicação oral do Dr. Frederico Barros).

Já no Brasil, com uma produção de 2,1 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2015), praticamente nada é comercializado para a alimentação humana. A produção é praticamente oriunda da safrinha e vendida rapidamente para a elaboração de rações. As proteínas do sorgo são estudadas para desenvolver genótipos que poderão ser utilizados

para fabricação de pão com textura e sabor de qualidade, além de outras receitas para enriquecer a dieta dos celíacos (SDEPANIAN; BATISTA; FAGUNDES-NETO, 2001). O sorgo apresenta, além da ausência do glúten (PONTIERI et al., 2013), outros compostos nutricionais que são aplicados contra a obesidade, a prevenção das doenças cardiovasculares, o diabetes e aos celíacos (DICKO et al., 2006; MONTEIRO; NASCIMENTO, 2013).

Além da utilização em dietas alimentares, o sorgo vem sendo estudado com potencial uso de combustível. A presença de sacarose no seu caule, equivalente ao da cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.), é uma alternativa para a produção de bioetanol (RATNAVATHI et al., 2010).

### **1.6 Conteúdo de amido (ST)**

Os carboidratos são classificados em açúcares ou monossacarídeos, sendo representados pelos principais componentes: glicose, frutose e galactose; os oligossacarídeos, representados pela rafinose e estaquiose, e os polissacarídeos, representados por amido e celulose; diferenciando quanto a variação no comprimento de cada cadeia de carbono de suas moléculas (CUMMINGS; STEPHEN, 2007).

O amido, do grupo dos polissacarídeos, está presente nos órgãos subterrâneos de reserva de plantas, e é um material de armazenamento energético para crescimento e germinação delas. Ele também ocorre, na sua maioria, como grânulos nas folhas (*Hymenaea courbaril* L.) raízes (*Paspalum maritimum*), frutos (*Musa acuminata*) e sementes (*Araucaria angustifolia*) (FRENCH, 1973).

Os grânulos de amido podem apresentar uma variação de forma e tamanho em relação a sua composição química, podendo conter: lipídeos, proteínas e minerais (TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

O amido é formado por dois polímeros de glicose: amilose e amilopectina. A amilose é constituída por uma cadeia linear onde as unidades de glicose são unidas por ligações  $\alpha$ -1,4. No caso da amilopectina, a cadeia é ramificada e as unidades de glicose são unidas por ligações  $\alpha$ -1,4 mais  $\alpha$ -1,6 (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986).

A amilose é composta por 99% de ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, pouco ramificada, e podendo raramente apresentar ligação glicosídica  $\alpha$ -1,6, (MUA; JACKSON, 1997; TESTER; KARKALAS; QI, 2004). Já a amilopectina é composta por 95% de ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 e 5% de ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,6, porém muito ramificada.

O amido é a principal macromolécula orgânica encontrada nos grãos dos cereais (CUMMINGS; STEPHEN, 2007; MONTEIRO; NASCIMENTO, 2013). Contém entre 20 e 30% de amilose, e 70 e 80% de amilopectina, dependendo da espécie de suas variações genéticas (JENKINS; DONALD, 1995; ROONEY; PFLUGFELDER, 1986; YETNEBERK et al., 2004).

Alguns genótipos não apresentam amilose, sendo compostos 100% de amilopectina. Estes grãos são denominados “waxy” ou cerosos nos quais pode existir uma ausência, bloqueio ou inativação da síntese de amilose, apresentando menos de 15% desses polímeros (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). O endosperma desses grãos é recessivo (*wxwxwx*), diferente dos grãos não mutantes (*WxWxwx* ou *Wxwxwx*) e dos grãos normais (*WxWxWx*). Os grãos “waxy” ou cerosos geralmente apresentam um teor de amido mais baixo em relação aos grãos normais (SANG et al., 2008).

Existe ainda o amido resistente, o qual apresenta baixa digestibilidade pelo sistema digestivo humano, por apresentarem ligações  $\alpha$ -glicosídicas (BIRT et al., 2013; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005). Alguns fatores como a relação entre amilose e amilopectina, inibidores enzimáticos, entre outros, resultam na incompleta hidrólise do amido e sua absorção (WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005; WOLF; BAUER; FAHEY, 1999).

A pequena digestibilidade do amido resistente tem um valor nutricional significativo, indicado por exemplo, para diabéticos, por não disponibilizar glicose para o metabolismo (YANG et al., 2006). Para outros autores o amido resistente adquire um papel de fibra alimentar (SHA et al., 2012). A o amido resistente é aplicado à redução da obesidade, e a prevenção de doenças cardiovasculares (DICKO et al., 2006), essas doenças também estão relacionadas ao envelhecimento precoce, a dieta alimentar e ausência de exercícios físicos (MONTEIRO; NASCIMENTO, 2013).

Existem alguns tipos de amido resistente, como: amido resistente do tipo I (o que possivelmente está presente no sorgo): amido de difícil digestibilidade, geralmente presente em grãos. Amido resistente do tipo II: amido em forma de grânulos, de boa digestibilidade, geralmente armazenado em folhas. Amido resistente do tipo III: amido que já sofreu retrogradação da amilose é altamente resistente e de difícil digestibilidade (ENGLYST et al., 1992; TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

A distribuição de grânulos de amido varia com o tipo de grão e a cultivar (SINGH, 2010; TESTER; KARKALAS; QI, 2004). No grão de sorgo, por exemplo, o pericarpo e o embrião em conjunto, tem uma pequena porcentagem de amido. Em geral, o amido está

presente no endosperma. O sorgo apresenta uma média de 72,2% de amido, com uma variação entre 55,2 a 85% no grão inteiro (ABOUBACAR; HAMAKER, 1999; BETA; ROONEY; WANISKA, 1995; BUFFO; WELLER; PARKHURST, 1998; DICKO et al., 2006; HILL; SLADE LEE; HENRY, 2012; SCHOBER et al., 2005; WONG et al., 2010). O sorgo além de ser rico em amido (AWIKA; ROONEY; WANISKA, 2005), apresenta também proteínas que estão presentes em concentrações significativas (KIL et al., 2009). A estrutura, a composição e a interação de amido e proteínas no sorgo têm papel fundamental na digestibilidade do amido (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986).

Outro fator que interfere também na digestibilidade do amido está associado aos genótipos de sorgo do tipo II e tipo III, que possuem tanino (DYKES; ROONEY, 2006; EARP et al., 2004b). Os taninos condensados desses sorgos estão interligados com as proteínas e essa interação diminui o conteúdo de amido (BUTLER et al., 1984; RODRIGUES et al., 2009; TAYLOR et al., 2007). O sorgo com alta taxa de tanino condensado interfere na digestibilidade de algumas proteínas tanto em experimentos *in vitro*, como *in vivo* (DUODU et al., 2002). O que provoca também essa diminuição é um arranjo denso de corpos protéicos de prolaminas envolvendo os grânulos de amido (EARP et al., 2004a; WONG et al., 2010). Além disso os taninos condensados de sorgo são mais eficazes na interação com amilose, possivelmente, através de pontes de hidrogênio, e essa interação pode aumentar significativamente o teor de amido resistente (BARROS; AWIKA; ROONEY, 2012)

O amido é utilizado como a principal fonte de energia na dieta humana e animal (JOBLING, 2004) e está presente em produtos industriais com vasta importância, como: reguladores e estabilizadores de textura, espessante e gelatinizantes (GUILLON; CHAMP, 2000).

Para a quantificação do conteúdo de amido, na maioria dos trabalhos, utiliza-se o método amiloglicosidase/  $\alpha$ -amilase, beta-amilase, e hidrólise com ácido perclórico com ou sem adaptações (AVIGAD; DEY, 1997; BOOTH, 1971; HILL; SLADE LEE; HENRY, 2012; MCCREADY et al., 1950; WONG et al., 2010).

### **1.7 Conteúdo de proteínas (PR)**

As proteínas dos grãos de cereais são classificadas em duas classes: as globulinas e as albuminas (proteínas de armazenamento), localizadas na camada de aleurona e no embrião; e as prolaminas e as glutelinas (proteínas dominantes) localizadas no endosperma. As globulinas e as albuminas são os principais componentes protéicos das

sementes de aveia e do arroz, enquanto que as prolaminas e as glutelinas são as formas predominantes no sorgo, milho, trigo, cevada e centeio (SHEWRY et al., 2002).

As proteínas do grão de sorgo representam uma importante fonte nutritiva com uma variação entre 7% a 15% (massa seca) no grão inteiro e uma variação entre 9% a 13% no endosperma (WANISKA; ROONEY, 2000). As globulinas estão presentes em cerca de 10% e as albuminas com cerca de 8% na camada de aleurona do sorgo. As prolaminas, principais proteínas do sorgo, compõem 70% do total de proteínas de reserva presentes no endosperma do sorgo. Elas são sintetizadas durante o desenvolvimento do endosperma e seu acúmulo ocorre nos corpos protéicos (ADAMS; NOVELLIE; LIEBENBERG, 1976; NUNES et al., 2005; ORIA; HAMAKER; SHULL, 1995; SECKINGER; WOLF, 1973; TAYLOR; SCHÜSSLER, 1986). Já as glutelinas compõem cerca de 30% do endosperma do sorgo (WANISKA; ROONEY, 2000).

Existe também a classificação para as proteínas quanto a sua solubilidade. Baseado nessa classificação sabe-se qual o nível de digestibilidade de cada uma das proteínas no organismo humano (WATTERSON; SHULL; KIRLEIS, 1993). O grupo das globulinas são solúveis em meio salino, as albuminas em água; as prolaminas em meio alcoólico e as glutelinas em meio alcalino (SHULL; WATTERSON; KIRLEIS, 1991).

Há ainda outra classificação mais recente e mais simplificada para proteínas de sorgo, a qual foi proposta uma divisão em dois grupos: as não kafirinas e as kafirinas (HAMAKER; BUGUSU, 2003). As kafirinas são baseadas em uma natureza homogênea de armazenamento, originária das prolaminas, e as não kafirinas são relativas à natureza heterogênea das proteínas, sendo elas: albuminas, globulinas e glutelinas (HAMAKER; BUGUSU, 2003).

A nomenclatura proposta para as kafirinas em sorgo é baseada nos padrões protéicos de polipeptídeos com peso molecular semelhante ao grupo das zeínas em milho. Os testes de eletroforese confirmam que os pesos moleculares das zeínas são de  $\gamma$ -zeína 27,  $\alpha$ -zeína 22 e  $\beta$ -zeína 19 kDa e os das kafirinas são:  $\gamma$ -kafirina 28,  $\alpha$ -kafirina 23, e  $\beta$ -kafirina 20 kDa (BUTLER et al., 1984; NUNES et al., 2005; PAIVA et al., 1992; RODRIGUES et al., 2009; SHULL; WATTERSON; KIRLEIS, 1991) sendo a  $\alpha$ -kafirina a mais abundante (BELTON; TAYLOR, 2004; TAYLOR; SCHÜSSLER, 1986)

A principal proteína de armazenamento,  $\alpha$ -kafirina, compõe cerca de 80% do total kafirinas, tem uma localização central no corpo da proteína e é envolvida por  $\beta$  e  $\gamma$ -kafirina, encontrado ao redor da proteína. Esse arranjo estrutural da kafirina afeta a sua digestibilidade (WONG et al., 2010). As kafirinas podem formar polímeros que se ligam

a pontes de dissulfeto, componentes estruturais de proteínas, fortalecendo e diminuindo a digestibilidade das proteínas (DUODU et al., 2002).

A presença do tanino está associada, também, à digestibilidade das proteínas sendo um fator de relevância na dieta alimentar humana (AWIKA; ROONEY; WANISKA, 2005). As proteínas do sorgo são influenciadas pela interação com taninos condensados e essa interação diminui a digestibilidade tanto das proteínas quanto do amido (BUTLER et al., 1984; RODRIGUES et al., 2009; TAYLOR et al., 2007). Os genótipos de sorgo que apresentam tanino em sua composição tem uma menor quantidade de proteínas disponível para o organismo (RODRIGUES et al., 2009). Duodu et al. (2002) informam que os genótipos de sorgo com alto teor de taninos condensados interferem na digestibilidade de algumas proteínas tanto em experimentos *in vitro*, como *in vivo*. O que provoca também essa diminuição é um arranjo denso de corpos protéicos de prolaminas, atraindo os taninos condensados, e formando um complexo envolvendo os grânulos de amido (WONG et al., 2010).

Além do tanino, existem muitos outros fatores que podem estar relacionados a digestibilidade das proteínas, como: a estrutura do grão, quanto a sua forma e tamanho, o endosperma, os arranjos de corpos protéicos, polissacarídeos não amiláceos, polifenóis e amido (DUODU et al., 2002).

Para a quantificação de proteínas o métodos mais usados é o método de Kjeldahl (1883) (HELDRICH et al., 1990) utilizado em vários trabalhos com sorgo (BETA; ROONEY; WANISKA, 1995; BUFFO; WELLER; PARKHURST, 1998; RAI; KAUR; SINGH, 2014; SCHOBBER et al., 2005). O método de combustão de nitrogênio de Dumas (Dumas, 1826 citado por Buckee (1994), apresentado também em Kaufman et al. (2013).

## **1.8 Análise de cluster**

A análise de cluster é um método estatístico que envolve a mensuração e distância ou a semelhança entre objetos a serem agrupados, fornecendo uma análise preliminar dos dados e sugerindo possíveis significativas organizações dos grupos, tentando aproximar ao máximo a verdadeira forma e estrutura dos grupos (BAILEY; COWLES, 1984; CROSSA, FRANCO, 2004; JAMALI et al., 2008). A maioria dos trabalhos relacionados a padrões de dietas alimentares utilizam análises de cluster pelo método de Ward ou K-means (médias de classe), para o agrupamento em classes, com um número de dois a oito classes, pois esse método hierárquico otimiza a variância mínima entre os agrupamentos ou classes (NEWBY; TUCKER, 2004; CAMPAIN; MORGAN; EVANS, 2003).

O uso da análise de cluster permite descobrir o comportamento dos grupos encontrados, de acordo com a homogeneidade dos objetos de um grande número de amostras, separando em grupos com similaridade dos objetos homogêneos intragrupo, porém diferentes entre os grupos formados (ANDERBERG et al., 1973).

O uso de análises de cluster é comum em várias áreas como educação, medicina, nutrição, genética (NEWBY; TUCKER, 2004); a partir de populações ou amostragens conhecidas. Na genética humana, por exemplo, a formação de grupos explora a estrutura genética do ser humano, fornecendo dados referentes à história evolutiva e migratória durante milhões de anos, esses dados podem ser relacionados com várias epidemias (ROSENBERG et al., 2002). Na genética de plantas a formação de classes visa identificar a estrutura genética de plantas cultivadas ou não, gerando uma informação de importância na organização das espécies (APG III, 2009; EDWARDS, 2011; LPWG, 2013), como para os programas de melhoramento (DEU; RATTUNDE; CHANTEREAU, 2006; MORRIS et al., 2013). Na nutrição, uma das aplicações da análise de cluster seria a identificação de genótipos ou amostragens que poderiam ser utilizados em dietas específicas, fornecendo ao agricultor, consumidor e empresário um número maior de genótipos a serem utilizados para um determinado produto (NEWBY; TUCKER, 2004; PEDREIRA; REIS; BERCHIELLI, 2003).

Vários trabalhos tem agrupado genótipos de sorgo cultivados baseando-se no uso de marcadores moleculares (CASA et al., 2008; DEU; RATTUNDE; CHANTEREAU, 2006; MORRIS et al., 2013; SUKUMARAN et al., 2012). Por outro lado, mesmo sendo muitos os trabalhos que descrevem a composição do grão do sorgo, são poucos os trabalhos que utilizam essas características do grão visando agrupar os genótipos a partir dessas variáveis. Híbridos de sorgo foram analisados a partir do conteúdo de proteínas, matéria seca, matéria mineral, carboidratos solúveis, nutrientes digestíveis totais, fibra, celulose e hemicelulose num total de 8 variáveis, e o objetivo foi avaliar características agronômicas de oito híbridos de sorgo, no sentido de contribuir para os programas de seleção de germoplasmas resistentes aos efeitos das estiagens prolongadas e ao mesmo tempo, apropriados ao processo de ensilagem de alta qualidade (NEWBY; TUCKER, 2004; PEDREIRA; REIS; BERCHIELLI, 2003).

## **2. OBJETIVO GERAL**

O projeto teve como objetivo quantificar o conteúdo de amido e de proteínas de cem genótipos de sorgo cultivados, para auxiliar futuros trabalhos que visão o desenvolvimento de produtos sem glúten para consumo humano.

## **3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Quantificar o conteúdo de amido dos grãos em cem genótipos de sorgo pelo novo método enzimático.

Quantificar o conteúdo de proteínas do grão dos cem genótipos de sorgo pelo método de digestão.

Aplicar uma análise hierárquica aglomerativa de cluster utilizando os conteúdos de amido e de proteínas desse trabalho, e após aplicar a análise, adicionar junto as classes as variáveis tanino (presença da testa ou não), estudos realizados anteriormente por alunos de PIBIC (SALES et al., 2012) e raça para os cem genótipos.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material vegetal

Foram utilizadas sementes de cem genótipos de sorgo granífero, provenientes de um painel de linhagens com grande variabilidade genética, pertencentes à coleção do Programa de Melhoramento Genético de Sorgo, localizado em Nova Porteirinha, MG, em junho de 2010. As parcelas experimentais foram compostas por duas fileiras de três metros, com espaçamento de 0,50 metros de linhas. A adubação de plantio consistiu na aplicação de 300kg ha<sup>-1</sup> do formulado 08-28-16 (NPK). Aos 25 dias após o plantio, foi realizado a adubação de cobertura com 50kg ha<sup>-1</sup> de N. A colheita dos experimentos ocorreu em outubro de 2010.

Os acessos são provenientes de treze países, sendo que a metade é oriunda do continente africano (52%), seguida pelos continentes americano (11%), árabe (10%), asiático (8%) e europeu (1%) (Figura 5). Esse painel possui 70% de três raças puras; no caso caudatum (32%), durra (16%) e kafir (22%) (Figura 4). Os outros 30% do painel possuem seis combinações das cinco raças do sorgo cultivado (Figura 4), sendo elas: bicolor-durra (1%), milo-feterita (6%), kafir-guinea (2%), kafir-caudatum (3%), guinea-durra (1%), guinea-caudatum (12%), guinea-bicolor (4%) e não disponíveis (na = not available) (1% - Tabela 1). A integralização dos dados de passaporte dos cem genótipos se basearam em três trabalhos (CASA et al., 2008; MORRIS et al., 2013; SUKUMARAN et al., 2012), juntamente com os dados disponíveis no banco de dados do National Plant Germplasm System (Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/npgs/index.html>>. Acessado em: 3 junho 2014) e em comunicações pessoais com o Dr. Robert Eugene Schaffert (Embrapa Milho e Sorgo) e Jianming Yu (Kansas State University). Sendo que a maioria dos acessos (94%) foram estudados no trabalho de Sukumaran et al. (2012). Somente para um acesso, o 96, originário da China, não foi determinada a raça (Tabela 1).

Além da associação dos conteúdos de amido e de proteínas desse trabalho com as raças, as variáveis presença de tanino e ausência de tanino, já estudadas anteriormente para os cem genótipos, também estão associadas.

#### **4.1.1 Triagem e moagem dos grãos**

Os grãos dos cem genótipos foram triados, fazendo-se a retirada dos grãos quebrados, eliminação da gluma presente em alguns genótipos, eliminação de grãos verdes, retirada de grãos não desenvolvidos e finalizando com a limpeza dos grãos com ar comprimido. Cerca de 50g dos grãos triados de cada genótipo foram moídos em moinho de café, gerando a farinha a ser utilizado para análises químicas e físicas. As farinhas então foram armazenadas em frascos estéreis em freezer -15 °C (SALES et al., 2012).

#### **4.1.2 Teor de água da farinha dos grãos de sorgo**

Foi medido o teor de água das farinhas dos cem genótipos em estufa a 120 °C por 2 horas. Para cada genótipo foi verificado a umidade em cadinhos de porcelana contendo 50 mg de farinha. As medidas de umidade foram feitas em duplicata.

#### **4.1.3 Presença e ausência de tanino no grão**

Foram realizados cortes transversais em dez grãos de cada um dos cem genótipos. Foi observado a presença ou ausência de pigmentação escura da testa, para caracterizar presença ou ausência de tanino (SALES et al., 2012).

**Tabela 1.** Dados de passaporte dos cem genótipos de sorgo a partir dos trabalhos de Casa et al. (2008); Grin (<http://www.ars-grin.gov/>); Morris et al. (2013) e Sukumaran et al. (2012).

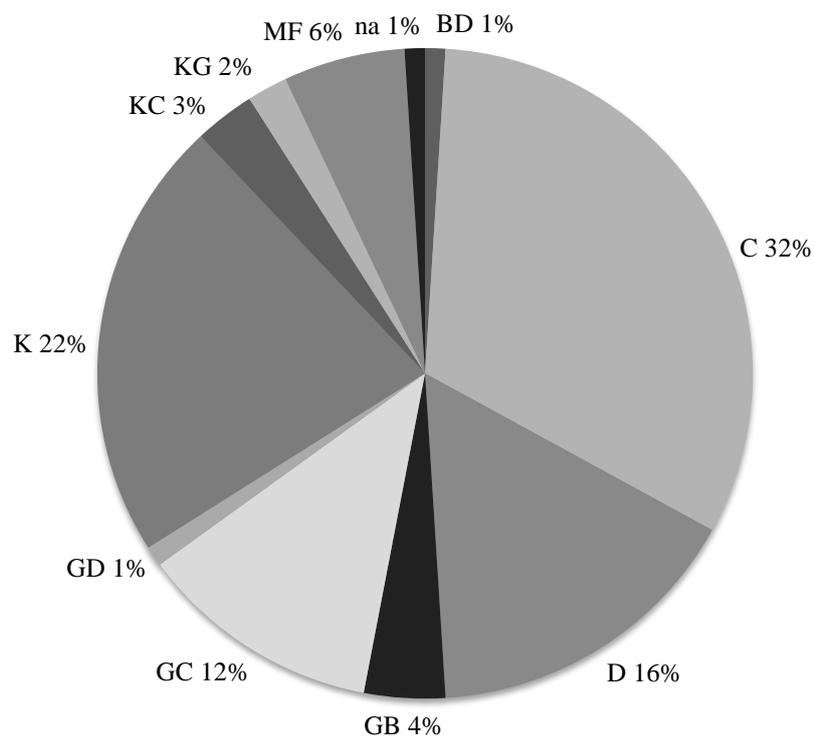
Amostra	PI	Genótipo	Outras IDs	Raça definitiva	Origem
1	PI656042	NSA440	na	K	na
2	PI533759	SC118	IS2801C	C	SD
3	PI656055	P-721	na	C	US
4	PI534112	SC328	IS8263C	C	UG
5	PI576425	SC1155	IS11815C	D	ET
6	PI533911	SC58	IS12570C	C	SD
7	PI656095	SC373	NSL54218	GC	NG
8	PI656091	SC22	na	D	ET
9	PI576337	SC598	IS2748C	MF	UG
10	na	B.DLO357	na	C	US
11	PI576352	SC757	IS3402C	K	BW
12	PI576381	SC1038	IS12170C	D	ET
13	PI655993	B.Tx399	na	K	US
14	na	N268B	na	K	US
15	PI533943	SC467	IS1387C	D	IN
16	PI533792	SC108	IS12608C	C	ET
17	PI656045	LG70	na	C	US
18	PI656004	R.Tx435	na	GC	US
19	PI655997	R.Tx431	na	MF	US
20	PI533788	SC53	IS12567C	MF	SD
21	PI534104	SC641	IS8166C	KC	UG
22	PI533750	SC214	IS1598C	D	IN
23	PI533833	SC319	IS2757C	C	UG
24	PI533919	SC124	IS12615C	GB	ET
25	PI534054	SC671	IS7148C	K	KE
26	PI597957	SC1158	IS11930C	D	ET
27	PI533972	SC964	IS2765C	C	UG
28	PI656057	P898012	na	C	US
29	PI576364	SC782	IS6057C	K	IN
30	PI576376	SC1017	IS11549C	D	ET
31	PI534137	SC51	IS12566C	C	SD
32	PI533965	SC115	IS2683C	GC	U
33	PI656001	R.Tx2783	na	C	US
34	PI597971	SC1328	NSL365758	C	SD
35	PI533996	SC502	IS3598C	C	SD
36	PI656005	01MN1589-B	na	K	US
37	PI533955	SC648	IS2419C	K	ZA
38	na	ATF13B	na	KG	na

Amostra	PI	Genótipo	Outros IDs	Raça definitiva	Origem
39	na	ATF14B	na	KG	na
40	PI533976	SC655	IS2862C	C	SD
41	PI656019	B.Tx3042	na	K	US
42	PI533863	SC320	IS6882C	C	TD
43	PI595743	SC1201	NSL355020	K	na
44	PI533752	SC103	IS2403C	C	ZA
45	PI656015	Ajabsido	na	MF	SD
46	PI533831	SC414_12	IS2508C	KC	SD
47	na	B.Tx645	na	K	US
48	PI656034	Dorado	na	C	na
49	PI576339	SC673	IS2840C	KC	ZW
50	PI597945	SC855	IS2871C	GB	EG
51	na	BR007B	na	K	na
52	PI534101	SC725	IS8112C	C	JP
53	PI655986	(SN149)*	na	MF	US
54	PI534114	SC574	IS8337C	C	PK
55	PI533814	SC206	IS1140C	D	ET
56	PI533997	SC465	IS3646C	GC	SA
57	PI656007	R9188	na	MF	na
58	PI656029	B.Tx642	na	D	US
59	PI576393	SC42	IS2463C	GC	ZA
60	PI656018	B.Tx2752	na	K	US
61	PI656102	SC59	IS2567C	GC	SD
62	PI534009	SC441	IS5142C	D	IN
63	PI576426	SC1033	IS11894C	D	ET
64	PI533800	SC175	IS19465	C	ET
65	PI576390	SC192	IS1105C	D	IN
66	PI656075	SC1251	na	C	IN
67	PI656076	SC1271	na	C	ET
68	PI533962	SC60	IS2569C	C	SD
69	PI533957	SC325	IS2462C	GC	US
70	PI533902	SC6	S12526C	BD	ET
71	PI534133	SC35	MN693	D	ET
72	PI597964	SC1319	L365749	C	ET
73	PI655987	SA5330	NSL4012	K	na
74	PI534148	SC135	IS12626C	D	ET
75	PI597969	SC1322	NSL365752	GD	SD
76	PI656107	SC702	na	C	SD
77	PI552856	B.Tx626	na	C	US
78	PI533871	SC566	IS7254C	GC	NG
79	PI533927	SC224	IS12685C	GB	ET
80	PI597982	SC1356	NSL365781	C	SD

Amostra	PI	Genótipo	Outros IDs	Raça definitiva	Origem
81	PI595702	SC672	IS2837C	K	ZW
82	PI656096	SC391	NSL54120	GC	ET
83	PI533936	SC603	IS1168C	K	TZ
84	PI655976	(SSN76)	na	K	US
85	PI607931	Tx2911	na	K	US
86	na	EBA-3	na	D	AR
87	PI655989	(SN142)	na	K	US
88	PI576399	SC323	IS3515C	GC	SD
89	PI656098	SC49	IS2484C	C	SD
90	PI533987	SC562	IS3509C	C	SD
91	PI656043	KAT83369	na	C	na
92	PI656003	B.AZ9504	na	K	US
93	PI655981	CSM-63	na	GC	ML
94	PI533912	SC63	IS12573C	GC	SD
95	PI534127	SC21	IS12541C	GB	ET
96	PI656025	Shan Qui Red	na	na	CN
97	PI561073	B.Tx635	na	K	US
98	PI533937	SC630	IS1269C	K	ZM
99	PI659696	SC720	na	C	KE
100	PI656046	Lian Tang Ai	na	D	CN

na: informação não disponível (not available). (SN149)\*: nome completo é (SN149) SA7000 CAPROCK (ASA N°88) Tx7000. BD: bicolor-durra; C: caudatum; D: durra; GD: guinea-durra; GC: guinea-caudatum; GB: guinea-bicolor; KG: kafir-guinea; KC: kafir-caudatum; K: kafir e MF: milo-feterita. ZA: África do Sul; SA: Arábia Saudita; AR: Argentina; BW: Botsuana; TD: Chade; CN: China; EG: Egito; US: Estados Unidos; ET: Etiópia; IN: Índia; JP: Japão; ML: Mali; NG: Nigéria; PK: Paquistão; KE: Quênia; SD: Sudão; TZ: Tanzânia; UG: Uganda; ZM: Zâmbia e ZW: Zimbábue.

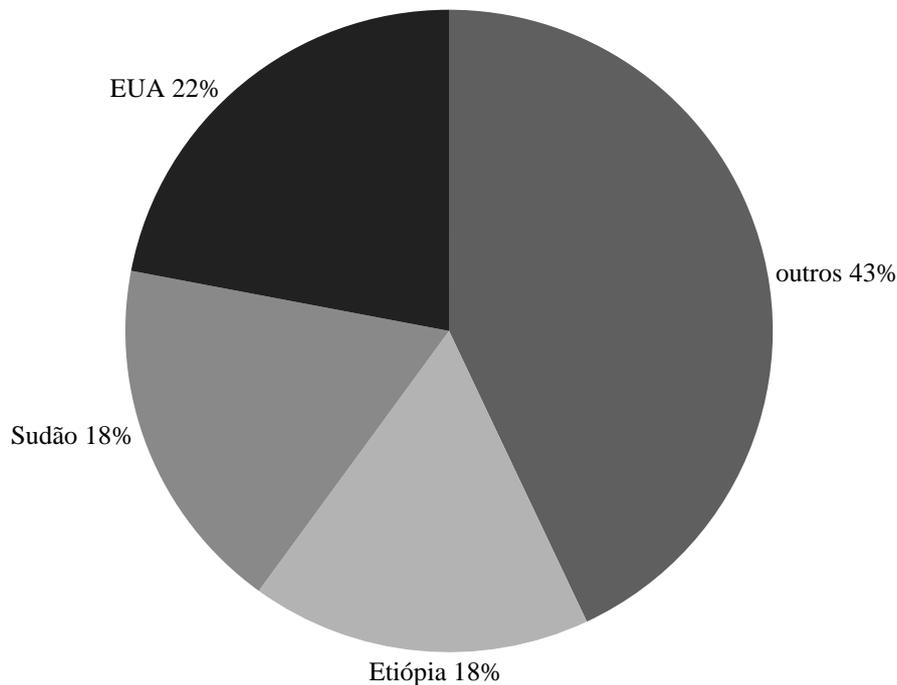
#### Raças e combinações das raças dos cem genótipos de sorgo



**Figura 4.** Raças e combinações das raças dos cem genótipos de sorgo.

BD: bicolor durra; C: caudatum; D: durra; GB: guinea-bicolor; GC: guinea-caudatum; GD: guinea-durra; K: kafir; KC: kafir-caudatum; KG: kafir-guinea; MF: milo-fetérita e na: informação não disponível (not available = não disponível).

## Países de origem dos cem genótipos de sorgo



**Figura 5.** Países de origem dos cem genótipos de sorgo.

Outros: África do Sul (3%); Arábia (1%); Argentina (1%); Botswana (1%); Chade (1%); China (2%); Egito (1%); Índia (6%); Japão (1%); Mali (1%); Nigéria (2%); Paquistão (1%); Quênia (2%); Tanzânia (1%); Uganda (6%); Zâmbia (1%); Zimbábwe (2%) e na (9%): informação não disponível (not available = não disponível).

### 4.2 Quantificação e dosagem de amido

Para a quantificação e dosagem de amido, foi adaptado o protocolo de Amaral et al. (2007), utilizando 10 mg das farinhas dos grãos para cada um dos cem genótipos de sorgo em triplicata. Primeiramente, foram extraídos os açúcares, pigmentos e fenóis por quatro extrações. Em cada extração pipetou-se 500  $\mu\text{L}$  de etanol 80% nas amostras, agitou-se no *vortex*, colocou-se no banho-maria à 80 °C por 20 minutos, totalizando 2 ml de resíduo etanólico. Ao ser removido todo resíduo etanólico, o “pellet” foi colocado na capela, para sua secagem em temperatura ambiente por 2 horas. A seguir foram adicionados 480  $\mu\text{L}$  da enzima  $\alpha$ -amilase termoestável do *Bacillus licheniformis* (Megazyne) 120  $\text{Uml}^{-1}$ , nos pellets das amostras; diluída em tampão fosfato (pH 7,4); agitadas no *vortex* e incubadas a 75 °C por 30 minutos. Esse processo de adição da enzima  $\alpha$ -amilase até a incubação por 30 minutos foi realizado novamente. Ao serem retiradas as amostras do banho-maria a 75 °C, foram adicionadas 480  $\mu\text{L}$  de enzima amiloglucosidase

do fungo *Aspergillus niger* (Megazyne) 30 Uml<sup>-1</sup>, diluída em tampão acetato (pH 4,5), nas amostras já contendo a enzima  $\alpha$ -amilase. Posteriormente, foram agitadas em *vortex* e colocadas em banho-maria a 50 °C por 30 minutos. Esse processo foi realizado mais uma vez. Em seguida foram adicionados às amostras 100 $\mu$ L de ácido perclórico 0,8 mol/L e centrifugados a 13.000 rpm por 10 minutos, para a pausa da reação e precipitação das proteínas. Para a dosagem de amido foram retirados 10  $\mu$ L do sobrenadante das amostras, as quais foram adicionados 40  $\mu$ L de água destilada e 750  $\mu$ L de God Pod (Glicose PAP liquiform/Anterlab-Reagente de cor). O processo de quantificação se deu pela intensidade da cor rosada, por liberação de glucose pela hidrólise, reações catalisadoras e oxidativas. O teor de glucose foi determinado por leitura em espectrofotômetro a 510 nm de comprimento de onda. Para os cálculos do conteúdo de amido, foi realizada uma curva padrão de solução de glucose (SIGMA), nas concentrações de 0,0; 6,25; 12,5; 25,0; 50,0  $\mu$ g/ml<sup>-1</sup>.

O resultado das análises do conteúdo de amido foi expresso em porcentagem.

### **4.3 Quantificação de proteínas**

Para a quantificação de proteínas, foi realizado o método de determinação de nitrogênio total, adaptado de Kjeldahl (1883). Foram utilizados 300 mg das farinhas dos grãos em triplicata, 100 mg de mistura catalisadora (sulfato de sódio anidro, sulfato de cobre pentaidratado e selênio catalisador) e 3,5 ml de ácido sulfúrico concentrado, os quais foram colocados em tubos de ensaio com borda reforçada (25x250mm). Em seguida, os tubos foram colocados no bloco digestor a 150 °C e a temperatura foi sendo ajustada, passando por 250, 350 até alcançar 450 °C. Esse procedimento foi realizado na capela devido à exaustão de gases que são formados pela oxidação do carbono contido na matéria orgânica e pelo dióxido de carbono que se desprende. A digestão foi realizada em três horas, quando o nitrogênio foi transformado em amônia, após reação com ácido sulfúrico, formando uma solução cristalizada.

A destilação procedeu à digestão. Foi retirado o tubo de ensaio com a solução cristalizada do tubo digestor e adicionou-se 10 ml de água destilada. Em seguida acoplou-se o tubo de ensaio ao destilador de nitrogênio/proteína TE-0364, aquecido a uma temperatura de 70 °C. Foi adicionado hidróxido de sódio e por arraste de vapor foi tratado em excesso o sulfato de amônia havendo a liberação de amônia. Previamente foi adaptado ao destilador um Becker contendo 7,5 ml de ácido bórico a 2% e gotas de solução indicadora (solução alcoólica de vermelho de metila a 0,1% e solução alcoólica de verde

de bromocresol) para a captação da amônia que saiu da reação. O processo finalizou quando a cor rosa presente no Becker passou para cor verde e atingiu 60 ml de borato de amônia.

O processo final foi à titulação. Foi colocada em uma bureta automática a solução de ácido clorídrico 0,01 mol/L. Em seguida o Becker com borato de amônia foi adaptado embaixo da bureta, em cima do agitador magnético e iniciou-se a titulação. O processo acabou quando a solução de borato de amônia de coloração verde se tornou rosa. O cálculo para a determinação do nitrogênio total se deu da seguinte forma:

$$N\% = \frac{V_{HCl} \cdot 0,1 \cdot f \cdot 14 \cdot 100}{P}$$

Onde:

N% – nitrogênio total na amostra, em percentagem;

VHCl – volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra, em mililitros;

f – fator de correção para o ácido clorídrico 0,01mol/L;

P – massa da amostra, em gramas. Após os cálculo de nitrogênio total foi determinada a proteína bruta, multiplicando-se o valor do nitrogênio total pelo fator 6,25;(o conversor de nitrogênio, por Kjeldahl (1883)).

#### **4.4 Análises estatísticas**

Os resultados obtidos nas análises de amido e proteínas foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Foram realizadas estatísticas descritivas e uma análise de correlação de Pearson entre os conteúdos de amido e proteínas dos cem genótipos.

Uma análise hierárquica aglomerativa de cluster foi realizada afim de analisar a similaridade entre os dados a serem agrupados. Foram escolhidas oito classes, pois os agrupamentos de um número menor de classes, não apresentam diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os grupos quanto a variável proteínas. Os agrupamentos foram realizados pelo método de aglomeração de Ward e a distância Euclidiana (AVANZA et al., 2013; CROSSA; FRANCO, 2004; PEDREIRA; REIS; BERCHIELLI, 2003). Optou-se pelo método hierárquico a fim de descobrir o comportamento dos grupos em uma amostra com um grande número de dados, e verificou, de acordo com as variáveis de amido e proteína, se as médias dos grupos eram iguais ou diferentes utilizando o teste de Tukey (ANOVA). Logo após a realização da análise hierárquica aglomerativa, foi feita a associação com a

presença (P) e ausência (A) de tanino e as quatro raças, kafir (n= 22), durra (n= 16), caudatum (n= 32) e guinea (n= 17), com maior representação, visando caracterizar as quatro classes. Todas as análises foram feitas utilizando o *software* XLSTAT-PRO (2012).

## 5. RESULTADOS

Os resultados do conteúdo de amido (ST) e do conteúdo de proteínas (PR) se basearam na matéria seca dos cem genótipos. A média do conteúdo de água na farinha dos grãos dos cem genótipos foi de 85%, variando de 82 a 87%, e um coeficiente de variação de 1%. As estatísticas descritivas se basearam nas médias das triplicatas. A média dessas triplicatas também foi utilizada para a distribuição normal e box-plot.

### 5.1 Conteúdo de amido

A análise das triplicatas para o ST teve uma variação muito baixa, mostrando uma boa repetição para cada genótipo. A média do coeficiente de variação dos cem genótipos foi de 6,5%, variando de 0,4% a 13,5%. Das trezentas amostras para o ST foram utilizadas somente 288 valores<sup>3</sup>, devido a discrepância de um dos valores para os outros dois.

A quantificação do ST foi realizada baseada nas curvas padrão medidas pelo teor de glicose. As curvas padrão obtiveram um  $R^2$  variando entre 0,91<sup>4</sup> a 0,99 (Anexo1).

A partir do teste de Kolmogorov-Smirnov o ST não apresentou uma distribuição normal ( $p < 0,05$ ) (Figura 6).

A média do ST nos cem genótipos foi de 71,0% variando de 46,3 a 85,3%, com um cv de 14,4% (Tabela 2).

O box plot do ST apresentou uma média de 71,0%; a mínima de 46,3%; a máxima de 85,3%; o primeiro quartil (25%) com 65,6% e o terceiro quartil (75%) com 79,5%, não apresentando outliers para ST (Figura 8).

### 5.2 Conteúdo de proteínas (PR)

A análise das triplicatas para o PR teve uma variação muito baixa, mostrando uma boa repetibilidade para cada genótipo. A média do coeficiente de variação dos cem genótipos foi de 3%, variando de 1% a 10%. Todas as triplicatas dos cem genótipos foram utilizadas no cálculo da média de cada genótipo.

A partir do teste de Kolmogorov-Smirnov, o PR apresentou uma distribuição normal dos dados ( $p > 0,05$ ) (Figura 7).

---

<sup>3</sup> Para a publicação do texto serão acrescentados novos resultados das análises de repetições de 7 amostras, devido a um cv alto entre as triplicatas dessas amostras analisadas anteriormente.

<sup>4</sup>  $R^2$  que também será refeito devido ao seu baixo valor.

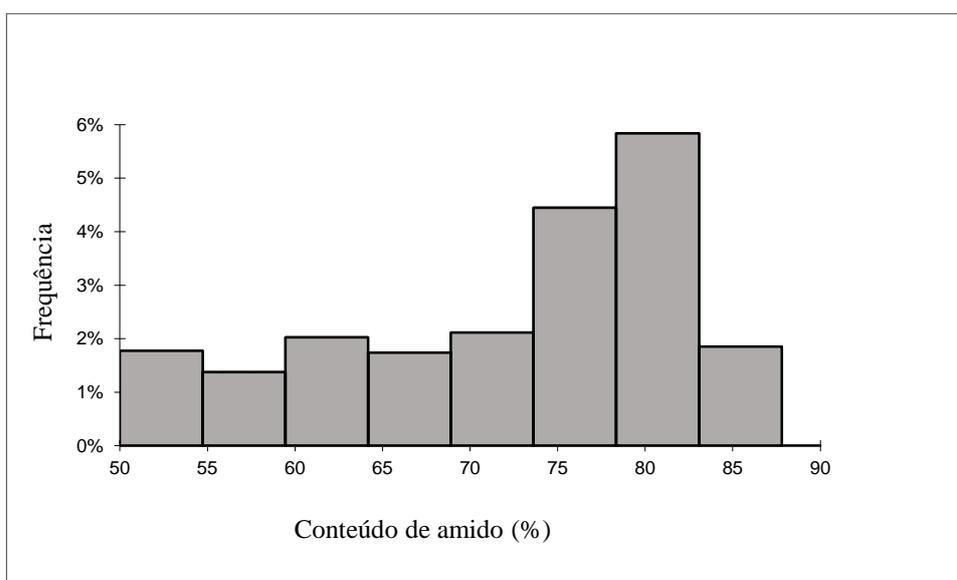
O PR médio nos cem genótipos foi de 12,2%, variando de 7,7 a 17,1%; com um  $cv = 14,7\%$  (Tabela 2).

O box plot do PR apresentou a média de 12,2%; a mínima de 7,7%; a máxima de 17,2%; o primeiro quartil (25%) com 10,8% e o terceiro quartil (75%) com 13,5%, não apresentando outliers para o PR (Figura 9).

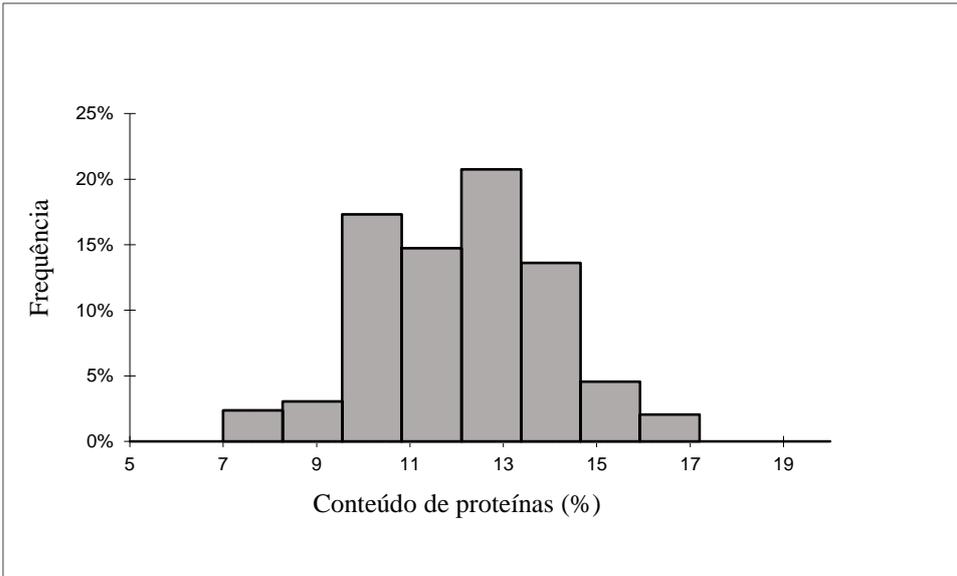
**Tabela 2.** Estatística descritiva do conteúdo de amido e proteínas (%) a partir da matéria seca dos cem genótipos de sorgo.

	Amido	Proteínas
Média	71,0	12,2
Mínima	46,3	7,7
Máxima	85,3	17,1
DP	10,2	1,8
CV (%)	14,4	14,7

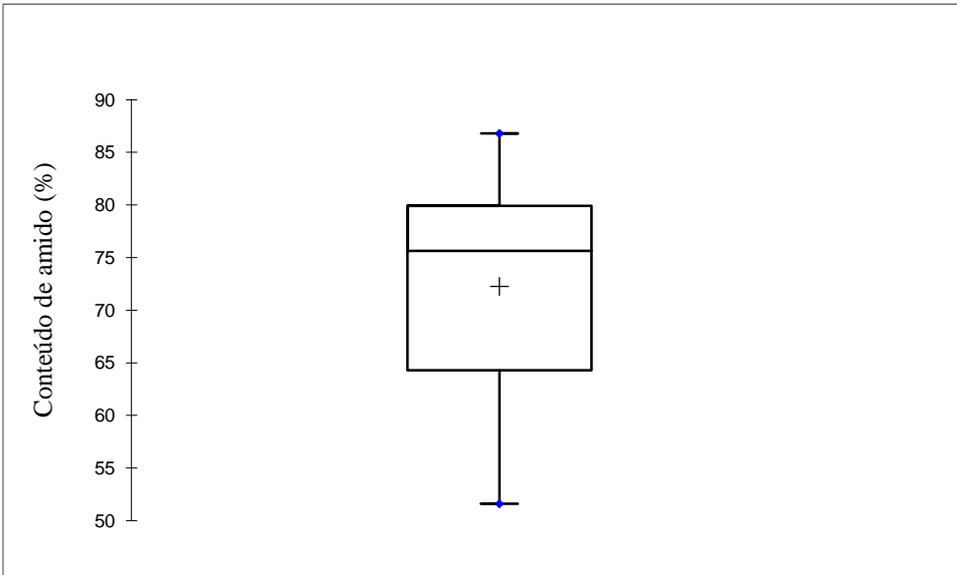
DP - desvio padrão, CV – coeficiente de variação.



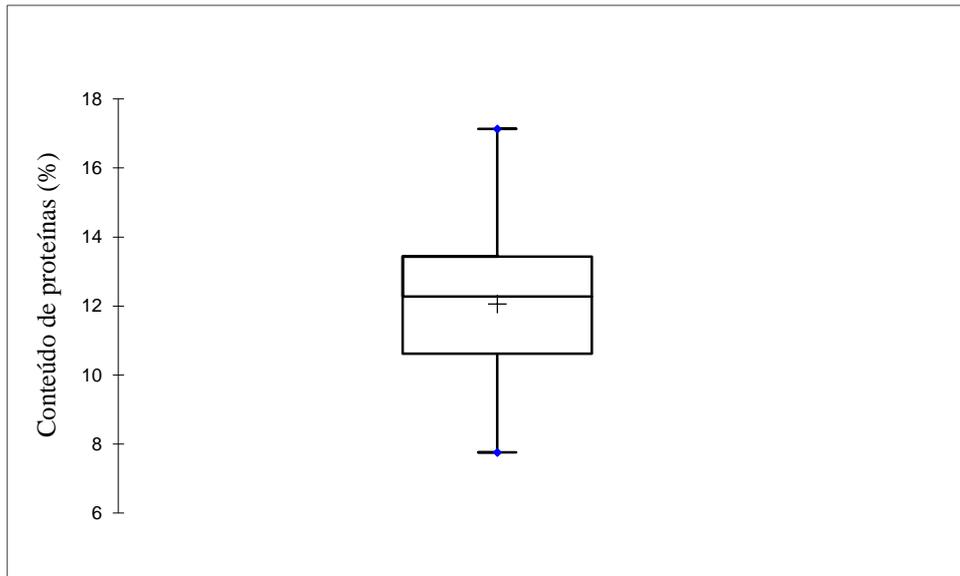
**Figura 6.** Histograma do conteúdo de amido (ST) a partir da matéria seca.



**Figura 7.** Histograma do conteúdo de proteínas (PR) a partir da matéria seca.

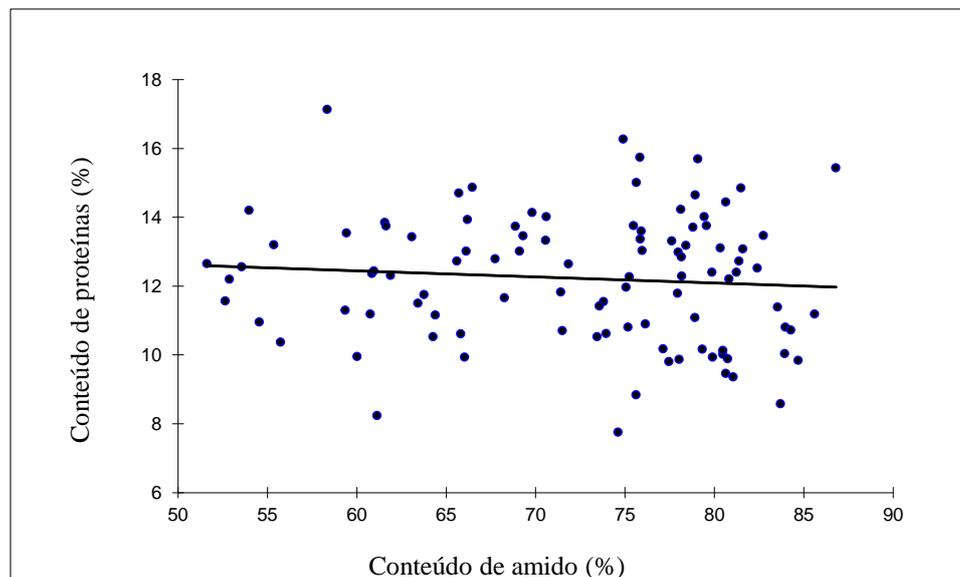


**Figura 8.** Box plot do conteúdo de amido (ST) a partir da matéria seca.



**Figura 9.** Box plot do conteúdo de proteínas (PR) a partir da matéria seca.

Na análise de correlação linear de Pearson para os cem genótipos para o PR e ST foi neutra ( $r = -0,08$ ;  $p > 0,05$  -, Figura 10).



**Figura 10.** Correlação entre ST e PR ( $p > 0,05$ ;  $R^2 = 0,007$ ).

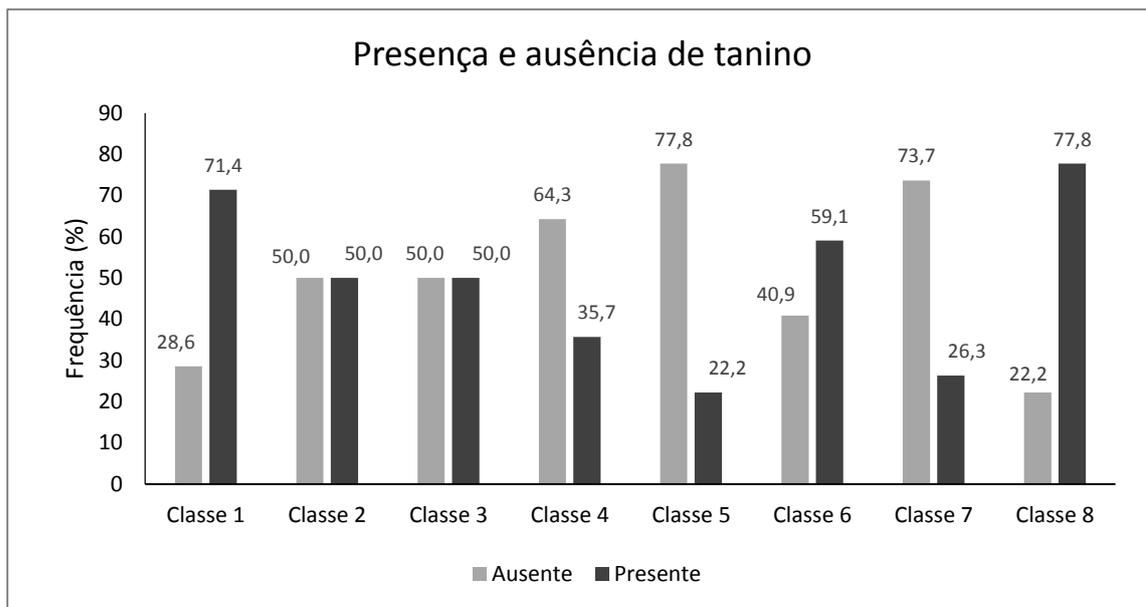
### 5.3 Análise de cluster

Uma análise hierárquica aglomerativa de cluster foi realizada afim de analisar a similaridade entre os dados a serem agrupados. Foram escolhidas usando o método de aglomeração de Ward e a distância Euclidiana. As oito classes foram escolhidas, pois os

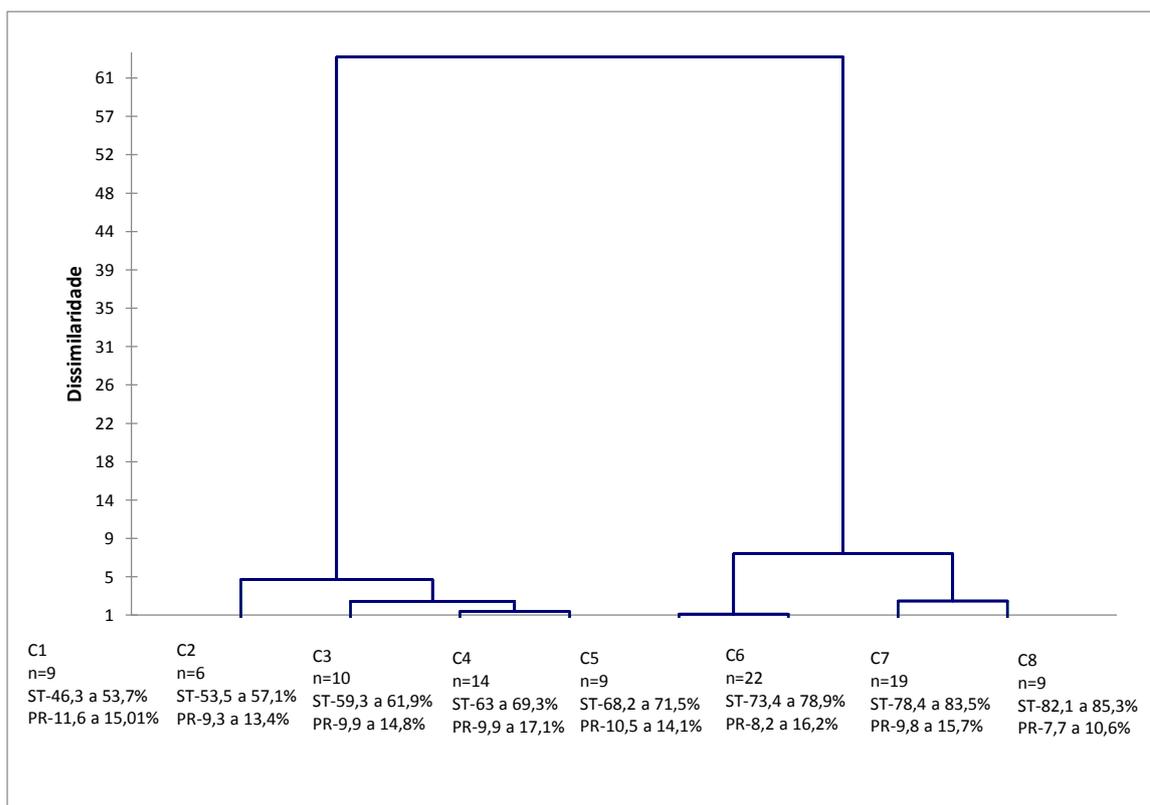
agrupamentos de quatro ou seis classes, não apresentam diferenças significativas ( $p>0,05$ ) entre os grupos quanto a variável proteínas.

As oito classes são compostas por 7, 6, 10, 14, 9, 22, 19 e 9 genótipos; respectivamente (Figura 12). A variável que prevaleceu na definição das classes foi o ST, devido ao seu maior desvio padrão entre as amostras (ANDERBERG, 1973; CROSSA; FRANCO, 2004). Na classe um a média de ST foi de 51% e variou de 46,3 a 53,7%, sendo a menor classe da análise (Tabela 3 e 11). Na classe dois (C2) a média de ST foi 54,8%, variando de 53,5 a 57,1% (Tabela 4 e 11). A classe três teve a média de ST de 60,7%, maior que a classe um, variando de 59,3 a 62,9% (Tabela 5 e 11). A classe quatro teve a média 65,9%, variando de 63 a 69,3% (Tabela 6 e 11). A classe cinco teve média de 70,3%, variando de 68,2 a 71,5% (Tabela 7 e 11). A classe seis teve média de 76,3%, variando de 73,4 a 78,9% (Tabela 8 e 11). A classe sete teve média de 80,6%, variando de 78,4 a 83,5% (Tabela 9 e 11). E a classe oito teve média de 84%, variando de 82,1 a 85,3% (Tabela 10 e 11). Para o PR foi apresentado a média de 13%, variando de 11,6 a 15%, para classe um (Tabela 3 e 11). A média de 11,5%, variando de 9,3 a 13,4% na classe dois (Tabela 4 e 11). Na classe três a média foi de 12,7%, variando de 9,9 a 14,8% (Tabela 5 e 11). A classe quatro teve média de 12,9%, variando de 9,9 a 17,1% (Tabela 6 e 11). Na classe cinco a média foi de 11,8%, variando de 10,5 a 14,1% (Tabela 7 e 11). Na classe seis a média foi de 12,8%, variando de 8,2 a 16,2% (Tabela 8 e 11). Na classe sete a média foi de 11,9%, variando de 9,8 a 15,7% (Tabela 9 e 11). E na classe oito a média foi de 9,4%, variando de 7,7 a 10,6% (Tabela 10 e 11).

A ausência de tanino, conforme a presença ou não da testa, teve uma predominância em três das classes, como nas classes quatro ( $n=14$ ), cinco ( $n=9$ ) e sete ( $n=19$ ) que 64,3; 77,8 e 73,7% dos genótipos não apresentaram tanino (Figura 11). A presença de tanino foi de 71,4% na classe um ( $n=7$ ). As classes dois e três apresentaram presença iguais, com 50%. A classe seis ( $n=22$ ) apresentou 59,1% de presença de tanino. E na classe oito ( $n=9$ ) a presença de tanino foi de 77,8% (Figura 11).



**Figura 11.** Presença e ausência de tanino nas oito classes.



**Figura 12.** Dendrograma da análise de cluster com as quatro classes.

**Tabela 3.** Classe 1 com os genótipos de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo.

N	Amido	Proteínas	Tanino	Raça
2	49,9	12,3	P	C
18	50,0	13,0	A	GC
70	53,7	13,5	P	BC
72	52,6	12,6	P	C
75	46,3	13,4	P	GD
78	51,6	11,6	A	GC
79	52,8	15,0	P	GB

C – classes estabelecidas pelo teste estatístico de cluster.

A: ausência de tanino; P: presença de tanino; BD: bicolor-durra; C: caudatum; D: durra; GB: guinea-bicolor; GC: guinea-caudatum; GD: guinea-durra; K: kafir; KC: kafir-caudatum; KG: kafir-guinea; MF: milo-fetérta e na: informação não disponível (not available).

**Tabela 4.** Classe 2 com os genótipos de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo.

N	Amido (%)	Proteínas (%)	Tanino	Raça
20	57,1	13,4	P	MF
58	55,7	13,3	A	D
71	53,5	11,1	A	D
74	53,9	11,7	P	D
83	54,5	9,36	P	K
86	53,8	9,94	A	D

C – classes estabelecidas pelo teste estatístico de cluster.

A: ausência de tanino; P: presença de tanino; BD: bicolor-durra; C: caudatum; D: durra; GB: guinea-bicolor; GC: guinea caudatum; GD: guinea-durra; K: kafir; KC: kafir-caudatum; KG: kafir-guinea; MF: milo-fetérta e na: informação não disponível (not available).

**Tabela 5.** Classe 3 com os genótipos de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo.

N	Amido (%)	Proteínas (%)	Tanino <sup>5</sup>	Raça
3	61,9	13,9	A	C
6	61,5	14,8	P	C
16	61,6	14,0	A	C
61	60,8	9,9	P	GC
65	59,3	13,2	A	D
66	60,0	12,5	A	C
68	60,7	12,4	P	C
69	61,1	14,2	P	GC
73	60,9	12,2	A	K
76	59,4	10,0	P	C

C – classes estabelecidas pelo teste estatístico de cluster.

A: ausência de tanino; P: presença de tanino; BD: bicolor-durra; C: caudatum; D: durra; GB: guinea-bicolor; GC: guinea-caudatum; GD: guinea-durra; K: kafir; KC: kafir-caudatum; KG: kafir-guinea; MF: milo-fetérta e na: informação não disponível (not available).

**Tabela 6.** Classe 4 com os genótipos de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo.

N	Amido (%)	Proteínas (%)	Tanino	Raça
4	66,1	12,7	P	C
5	65,6	13,8	P	D
7	66,4	11,8	A	GC
22	69,1	14,8	A	D
23	67,7	14,4	P	C
24	69,3	15,4	P	GB
36	64,2	13,0	A	K
38	65,8	10,6	A	KG
41	66,1	14,0	A	K
62	65,7	9,9	A	D
67	66,0	11,5	A	C
77	64,4	10,9	A	C
80	63,7	17,1	A	C
81	63,0	11,4	P	K

C – classes estabelecidas pelo teste estatístico de cluster.

A: ausência de tanino; P: presença de tanino; BD: bicolor-durra; C: caudatum; D: durra; GB: guinea-bicolor; GC: guinea-caudatum; GD: guinea-durra; K: kafir; KC: kafir-caudatum; KG: kafir-guinea; MF: milo-fetérta e na: informação não disponível (not available).

**Tabela 7.** Classe 5 com os genótipos de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%)a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo.

N	Amido (%)	Proteínas (%)	Tanino	Raça
1	71,2	11,5	A	K
8	71,4	11,5	A	D
17	68,8	10,8	A	C
19	70,6	12,8	A	MF
63	70,5	11,1	A	D
84	68,2	10,5	A	K
87	69,1	10,9	A	K
95	71,4	13,6	P	GB
96	71,5	14,1	P	na

C – classes estabelecidas pelo teste estatístico de cluster. A: ausência de tanino; P: presença de tanino; BD: bicolor-durra; C: caudatum; D: durra; GB: guinea-bicolor; GC: guinea-caudatum; GD: guinea-durra; K: kafir; KC: kafir-caudatum; KG: kafir-guinea; MF: milo-fetérta e na: informação não disponível (not available).

**Tabela 8.** Classe 6 com os genótipos de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo.

N	Amido (%)	Proteínas (%)	Tanino	Raça
15	74,4	13,7	A	D
21	75,1	13,0	P	KC
25	75,9	12,5	A	K
30	77,1	15,7	A	D
32	78,0	12,8	P	GC
34	75,8	14,6	P	C
35	77,5	12,6	P	C
37	78,1	12,2	P	K
40	77,0	13,1	P	C
43	73,9	13,7	P	K
48	75,4	10,1	A	C
50	77,8	13,4	A	GB
51	77,9	9,8	A	K
52	78,9	16,2	P	C
54	78,1	13,3	P	C
57	74,9	14,7	A	MF
59	75,8	13,3	P	GC
64	77,6	8,2	P	C
85	75,6	12,7	A	K
90	73,4	10,7	A	C
93	76,1	13,0	P	GC
94	74,6	12,4	P	GC

C – classes estabelecidas pelo teste estatístico de cluster.

A: ausência de tanino; P: presença de tanino; BD: bicolor-durra; C: caudatum; D: durra; GB: guinea-bicolor; GC: guinea-caudatum; GD: guinea-durra; K: kafir; KC: kafir-caudatum; KG: kafir-guinea; MF: milo-fetérica e na: informação não disponível (not available).

**Tabela 9.** Classe 7 com os genótipos de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo.

N	Amido (%)	Proteínas (%)	Tanino	Raça
9	82,1	12,2	A	MF
27	80,6	10,8	P	C
29	82,4	10,7	A	K
39	78,9	11,4	A	KG
42	80,8	15,7	A	C
44	83,5	11,9	P	C
45	80,3	14,2	P	MF
46	79,1	11,8	A	KC
47	79,7	11,0	A	K
53	79,3	10,3	A	MF
55	81,6	13,1	A	D
56	79,8	12,3	A	GC
60	78,4	11,3	A	K
82	80,4	10,0	A	GC
89	81,0	9,8	P	C
91	81,3	10,1	A	C
97	80,4	13,7	A	K
99	81,6	12,4	P	C
100	81,2	13,7	A	D

C – classes estabelecidas pelo teste estatístico de cluster. A: ausência de tanino; P: presença de tanino; BD: bicolor-durra; C: caudatum; D: durra; GB: guinea-bicolor; GC: guinea-caudatum; GD: guinea-durra; K: kafir; KC: kafir-caudatum; KG: kafir-guinea; MF: milo-fetérta e na: informação não disponível (not available).

**Tabela 10.** Classe 8 com os genótipos de sorgo e seus conteúdos de amido e de proteínas (%) a partir da matéria seca; presença ou ausência de tanino (presença da testa) e raça de cada genótipo.

N	Amido (%)	Proteínas (%)	Tanino	Raça
10	83,6	8,8	A	C
11	84,0	9,4	A	K
13	83,8	9,8	A	K
26	84,3	10,1	A	D
28	85,3	9,8	P	C
31	85,3	9,8	A	C
33	84,2	10,6	A	C
88	83,9	7,7	A	GC
92	82,1	8,5	P	K

C – classes estabelecidas pelo teste estatístico de cluster. A: ausência de tanino; P: presença de tanino; BD: bicolor-durra; C: caudatum; D: durra; GB: guinea-bicolor; GC: guinea-caudatum; GD: guinea-durra; K: kafir; KC: kafir-caudatum; KG: kafir-guinea; MF: milo-fetérta e na: informação não disponível (not available).

**Tabela 11.** Média do conteúdo de amido e proteínas (%) a partir da matéria seca nas oito classes.

Classe	Amido (%)	Proteínas (%)
1	51,0	13,0
2	54,8	11,5
3	60,7	12,7
4	65,9	12,9
5	70,3	11,8
6	76,3	12,8
7	80,6	11,9
8	84,0	9,4

As oito classes se diferem significativamente entre si quanto as médias do conteúdo de amido, porém não houve diferença significativa quanto as médias do conteúdo de proteínas (Tabela 12).

Os cem genótipos estão representados por dez raças e seis combinações de raças. Dentre as classes as raças apresentaram homogênea, sem o predomínio de uma raça em específico (Figura 4, Tabela 1). Somente as classes um (n=7), dois (n=6) e três as raças guinea, durra e caudatum representam um pouco mais da metade dos genótipos, com 60 a 66,6% de representação nas classes, respectivamente (Tabela 13).

**Tabela 12.** Valores de médias do conteúdo de amido e do conteúdo de proteínas (%) nas oito classes com suas respectivas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8
Amido	51,0±	54,8±	60,7±	65,9±	70,3±	76,3±	80,6±	84,0±
	10,2 <sup>a</sup>	10,2 <sup>b</sup>	10,2 <sup>c</sup>	10,2 <sup>d</sup>	10,2 <sup>e</sup>	10,2 <sup>f</sup>	10,2 <sup>g</sup>	10,2 <sup>h</sup>
Proteínas	13,0±	11,5±	12,7±	12,9±	11,8±	12,8±	11,9±	9,4±
	1,9 <sup>A</sup>	1,9 <sup>AB</sup>	1,9 <sup>A</sup>	1,9 <sup>B</sup>				

As médias com as letras minúsculas se diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) entre o conteúdo de amido.

As médias com as letras maiúsculas se diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) entre o conteúdo de proteínas.

**Tabela 13.** Frequência (%) das raças nas oito classes.

Raça (%)	C1 (n=7)	C2 (n=6)	C3 (n=10)	C4 (n=14)	C5 (n=9)	C6 (n=22)	C7 (n=19)	C8 (n=9)
Caudatum	33,3		60,0	35,7	12,5	36,3	31,5	44,4
Durra		66,6	10,0	21,4	25,0	9,0	10,5	11,1
Guinea*	66,6		20,0	14,2	12,5	22,7	10,5	11,1
Kafir**		16,6	10,0	28,5	37,5	27,2	31,5	33,3
Milo fetérita		16,6			12,5	4,5	15,7	

C – classe.

\* A raça guinea e as suas combinações.

\*\*A raça kafir e suas combinações.

## 6. DISCUSSÃO

Amido e proteínas, são os principais componentes do grão do sorgo (Tabelas 3 a 11). A abundância dessas duas macromoléculas, associadas a algumas características intrínsecas do grão do sorgo (sem glúten, presença ou não de tanino, presença ou não de amido resistente) o tornam um alimento de relevância em várias dietas alimentares.

### 6.1 Conteúdo de amido (ST)

O conteúdo médio de amido apresentados na literatura é de 70%, variando entre 47,9 a 89%, em amostragens de 1 a 55 genótipos (ABOUBACAR; HAMAKER, 1999; ADAMS; NOVELLIE; LIEBENBERG, 1976; BETA; ROONEY; WANISKA, 1995; BUFFO; WELLER; PARKHURST, 1998; DICKO et al., 2006; HILL; SLADE LEE; HENRY, 2012; KAUFMAN et al., 2013; RAI; KAUR; SINGH, 2014; SCHOBER et al., 2005; WONG et al., 2010) (Anexo 2), sendo próximos aos resultados encontrados nesse trabalho (~71%), calculados a partir da matéria seca. Os valores mínimos e máximos do ST dos cem genótipos variaram de 46,3 a 85,3% com um coeficiente de variação de 14,3%. Esses valores mínimos e máximos foram próximos aos trabalhos citados acima, porém eles trabalharam com uma menor amostragem (Anexo 2). Mesmo trabalhando com uma amostragem selecionada, e não a partir da diversidade existente, a variação do ST desse trabalho (cv = 14,3%) é comum comparado aos estudos de quantificação de amido em sorgo (cv = 2,1% a cv = 14,5%).

O ST nos cem genótipos utilizou o método enzimático  $\alpha$ -amilase/amiloglucosidase adaptado (AMARAL et al., 2007). Os resultados obtidos foram similares aos de outros trabalhos, no qual utilizaram os métodos de amiloglucosidase/ $\alpha$ -amilase, digestibilidade da glicose hexoquinase e  $\alpha$ -amilase (ABOUBACAR; HAMAKER, 1999; BETA; ROONEY; WANISKA, 1995; BUFFO; WELLER; PARKHURST, 1998; DICKO et al., 2006; HILL; SLADE LEE; HENRY, 2012; KAUFMAN et al., 2013; RAI; KAUR; SINGH, 2014; SCHOBER et al., 2005; WONG et al., 2010). Entre os diferentes métodos citados foram muito próximos quanto aos valores mínimos e máximos, as médias e os coeficientes de variação. Somente o genótipo P898012 foi analisado quanto ao conteúdo de ST também por Wong et al. (2010), porém o resultado (78%) foi diferente do presente trabalho (85,3% de ST). Com base apenas nas análises amido, essas pequenas diferenças entre os resultados dos dois estudos, bem como as diferenças na análise de proteínas, parecem estar relacionadas com variações na sua digestibilidade de cada análise. Estas observações, no entanto, ficam aquém de

estabelecer uma relação de causa e efeito, porque os efeitos de diversidade genética entre genótipos também devem ser considerados. Seria necessária uma investigação adicional sobre os genótipos de sorgo para confirmar estas observações (WONG et al., 2010).

Tradicionalmente o amido é para ser totalmente digerido; porém, atualmente, se reconhece que uma parte é resistente à digestão por enzimas humanas do intestino delgado e passa para o intestino grosso, onde pode ou não ser fermentada por bactérias intestinais. Na verdade, o amido contém uma grande parte digerível e uma pequena porção não digerível chamada de amido resistente (RS), sendo o RS "a soma de amido e produtos de degradação de amido não absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis" (YANG; SHU; ZHANG; WANG; ZHAO; MA; WU, 2006; EURESTA, 1992). Essa má digestibilidade do amido resistente é afetada pela composição, pela forma física do amido (alto teor de cadeias de amilose) e também pelas interações entre amido e proteínas (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986; WONG et al., 2010). Esta resistência é desejada em aplicações para redução da obesidade humana e para alimentar as pessoas diabéticas, por apresentar funções semelhantes a alimentos ricos em fibras (AWIKA; ROONEY, 2004; SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006; SHA et al., 2012).

Na formação de produtos alimentícios o amido resistente não altera a qualidade sensorial do produto, pelo contrário, por exercer um papel de fibra, muitos trabalhos têm sido conduzidos para aumentar a quantidade de amido resistente nos produtos de panificação, biscoitos e barras de cereais com a adição de fibras de cereais, frutas, vegetais e celulose em pó (THEBAUDIN et al., 1997). Além disso, pães, biscoitos, massas e salgadinhos parecem ser excelentes fontes de fibra alimentar; são produtos de boa aceitação, consumidos por todas as faixas etárias, e atingem principalmente idosos e crianças (THEBAUDIN et al., 1997; CHO et al., 2001).

## **6.2 Conteúdo de proteínas (PR)**

O conteúdo médio de proteínas nos grãos de sorgo analisados na literatura (n= 1 a 332), variou de 8,1 a 14,3% e teve uma média de 11,3% (ABOUBACAR; HAMAKER, 1999; ADAMS; NOVELLIE; LIEBENBERG, 1976; BETA; ROONEY; WANISKA, 1995; BUFFO; WELLER; PARKHURST, 1998; HILL; SLADE LEE; HENRY, 2012; KAUFMAN et al., 2013; RAI; KAUR; SINGH, 2014; SCHOBBER et al., 2005; WONG et al., 2010) (Anexo 2). Esses valores são próximos aos resultados encontrados nesse trabalho (~12,2%), calculados a partir da matéria seca. Os valores mínimos e máximos do PR dos cem genótipos variaram de 7,7 a 17,1% com um coeficiente de variação

aproximado de 15,4%. Esses valores mínimos e máximos, assim como o CV foram próximos aos trabalhos citados acima (Anexo 2).

O PR nos cem genótipos utilizou o método de Kjeldahl (1883). Esse método foi o mesmo na maioria das análises realizadas nos trabalhos comparativos desse estudo. O outro método citado nas literaturas revisadas, foi o método de combustão de Dumas (ABOUBACAR; HAMAKER, 1999; BETA; ROONEY; WANISKA, 1995; BUFFO; WELLER; PARKHURST, 1998; HILL; SLADE LEE; HENRY, 2012; KAUFMAN et al., 2013; LLOPART et al., 2013; RAI; KAUR; SINGH, 2014; SCHOBER et al., 2005; WONG et al., 2010). O método de combustão de Dumas poderia ter sido usado para a quantificação de proteínas, pois é um procedimento que não utiliza materiais perigosos, bem como catalisadores minerais, sendo considerada uma técnica segura para o meio ambiente, além de rápida, por utilizar o analisador LECO-FP 528 LC podendo substituir com vantagem o procedimento de Kjeldahl (SADER et al., 2004). Porém no laboratório havia disponibilidade de utilização apenas do método de Kjeldahl. Os resultados dos métodos foram muito próximos observando-se os valores mínimos e máximos, assim como o CV (Anexo 2). Somente o genótipo P898012 foi analisado quanto ao conteúdo de PR também por Wong et al. (2010). Os resultados (12,3%) foram parecido com o presente trabalho (12,2% de PR). Esse resultado é normal. Somente um genótipo desses trabalhos foi analisado o PR para os dados da literatura disponíveis (P898012, Wong et al. (2010). Os valores foram diferentes, sendo a média 9,8% de PR no atual estudo, e 12,3% a média de PR de Wong et al. (2010).

Portanto os genótipos com baixo PR não são digeridos facilmente pelas enzimas dos métodos utilizados. Em alguns grãos existem arranjos mais densos de corpos de proteínas em torno de grânulos de amido na camada de aleurona que tem sido citado como uma barreira à atividade da amilase que provoca uma redução na digestibilidade do amido e de proteínas (BETA; ROONEY; WANISKA, 1995; DUODU et al., 2002).

Devido à correlação neutra ( $r = -0,08$ ) entre o conteúdo de amido e proteínas nos grãos dos cem genótipos analisados no presente estudo, pode-se inferir que essas duas macromoléculas mais abundantes nos grãos de sorgo não estão relacionadas entre si. Nos estudos que apresentaram análise de correlação em amostragens entre 16 a 300 genótipos, foi encontrado uma correlação negativa significativa entre ST e PR, em Beta et al. (1995) com  $n=16$  a correlação foi de  $r = -0,58$ ; em Sukumaran et al. (2012) com  $n = 300$  a correlação foi de  $r = -0,68$ ; diferente dos resultados deste trabalho. Já correlação que se

apresentou semelhante ao presente estudo foi a de Wong et al. (2010) com o  $r = -0,07$  com uma amostragem de  $n = 18$ .

### 6.3. Análise de Cluster

Para isso, foram escolhidas oito classes, usando o método de aglomeração de Ward e a distância Euclidiana, optando por utilizar as oito classes, pois os agrupamentos de quatro ou seis classes, não apresentam diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os grupos quanto a variável proteínas, como mostra o dendograma da Figura 12 (PEDREIRA; REIS; BERCHIELLI, 2003). O uso de oito classes teve a finalidade de verificar uma possível agregação para as raças mais representativas. No entanto, a definição das classes se deu devido ao ST, por ser o conteúdo de maior presença no grão de sorgo (71%), e de alto desvio padrão entre as amostras (ANDERBERG, 1973; CROSSA; FRANCO, 2004).

As oito classes apresentaram diferença significativa entre as médias de ST de cada classe (Tabela 12). A classe um com média de ST de 51% foi a classe que apresentou genótipos (7%) com menos conteúdo de amido, em relação as outras classes (Tabela 3 e 11). As classes de dois a sete apresentaram a média de ST entre 54,8 a 80,6% (Tabela 4, 5, 6, 7, 8 e 9). A classe oito teve a maior média de ST (84%) (Tabela 10, 11 e 12).

Para PR entre as oito classes não houve muita diferença entre os valores das médias, com exceção das classe oito (9,4%) (Tabela 12).

Constata-se que a presença de tanino não foi predominante dentre as oito classes, podendo ser observado nas classes quatro ( $n=14$ ), cinco ( $n=9$ ), e sete ( $n=19$ ) com 64,3; 77,8; e 73,7% dos genótipos não apresentaram tanino (Figura 11).

Os cem genótipos desse estudo estão representados por dez raças e seis combinações de raças (Figura 4 e tabela 1). Foram analisados 377 genótipos por Casa et al. (2008) e 300 por Sukumaran et al. (2012), baseados em marcadores moleculares. Nesses trabalhos os autores obtiveram um agrupamento (clusterização) final onde as classes são compostas por genótipos da mesma raça. Já nesse trabalho, o agrupamento utilizando marcadores bioquímicos (ST e o PR), não agrupou precisamente os indivíduos por raças (Tabela 11). O agrupamento final baseou-se principalmente no ST. Essa diferença de agrupamento se deve a maior precisão e densidade dos marcadores moleculares. Nos dois trabalhos anteriores foram utilizados 47 e 1290 marcadores, respectivamente. Já no atual trabalho eram somente duas variáveis (ST e PR). Talvez um acréscimo de variáveis bioquímicas e físicas possam aproximar ao agrupamento das

raças, como observado a partir dos marcadores moleculares. Neste trabalho 32% dos genótipos são da raça caudatum (Figura 4).

## 7. CONCLUSÃO

O ST (média de 71%) confirma o alto poder energético do grão de sorgo para a alimentação humana. Destaca-se nos cem genótipos a classe um com os menores valores de ST (média de 51%). Esses genótipos são de grande interesse nas dietas alimentares.

O PR (média de 12%) corrobora a importância do grão do sorgo na alimentação humana não somente como fonte energética, mas como fonte protéica, principalmente quando comparado a outros alimentos de segurança alimentar, como arroz (média de 12%) e trigo (média de 10%), que não toleram as adversidades ambientais para o seu desenvolvimento, como o sorgo.

Devido ao ST ser o componente predominante no grão do sorgo ele foi determinante na formação das oito classes. No entanto, a presença e a ausência de tanino ocorreram nas oito classes que se distinguem pelo ST, isso abre outras possibilidades para o cultivo e elaboração de dietas alimentares a partir dessas duas importantes variáveis.

Além disso, a presença de todas as raças nas oito classes aumenta as possibilidades ao consumidor, ao agricultor e ao nutricionista, que terão um grande número de opções de genótipos a serem utilizados como potencial na alimentação humana em função da dieta alimentar desejada.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC. Approved Methods of the American Association. **Cereal Chemists**, 2000.
- ABOUBACAR, A.; HAMAKER, B. R. Physicochemical properties of flours that relate to sorghum couscous quality. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 308–313, 1999.
- ACHEAMPONG, E.; ANISHETTY, N. M.; WIMAM, J. T. A world survey of sorghum and millets germplasm. **International Board for Plant Genetic Resources**, 1984.
- ADAMS, C. A.; NOVELLIE, L.; LIEBENBERG, N. Biochemical properties and ultratructure of protein bodies isolated from selected cereals. **Cereal Chemistry**, v. 53, p. 1–12, 1976.
- AMARAL, L. I. V., GASPAR, M.; COSTA, P. M. F.; AIDAR, M. P. M.; BUCKERIDGE, M. S. Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. **Hoehnea**, v. 34, p. 425–431, 2007.
- ANDERBERG, M. R. **Cluster analysis for applications**, v. II, p. 70, 1973.
- ANDERSON, O. D. The spectrum of major seed storage genes and proteins in oats (*Avena sativa*). **PLoS ONE**, v. 9, p. 1–12, 2014.
- APG III. An update of the Angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants : APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, p. 105–121, 2009.
- AUDILAKSHMI, S.; ARUNA, C. Grain mould resistance and associated characters of sorghum genotypes. **Euphytica**, v. 107, p. 91–103, 1999.
- AVANZA, M.; ACEVEDO, B.; CHAVES, M.; ANON, M. Nutritional and anti-nutritional components of four cowpea varieties under thermal treatments: principal component analysis. **Food Science and Technology**, v. 51, p. 148–157, 2013.
- AVIGAD, G.; DEY, P. M. Carbohydrate metabolism: storage carbohydrates. **Plant Biochemistry**, p. 143–204, 1997.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, p. 1199–1221, 2004.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 90, p. 293–301, 2005.
- BAILEY, T.; COWLES, J. Cluster definition by the optimization of simple measures. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence**, v. 6, p. 645–652, 1984.
- BARROS, F.; AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 46, p. 11609-11617, 2012.

BEAN, S. R.; LOOKHART, G. L.; BIETZ, J. A. Acetonitrile as a buffer additive for free zone capillary electrophoresis separation and characterization of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) storage proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 318–327, 2000.

BELTON, P. S.; TAYLOR, J. R. N. Sorghum and millets : protein sources for Africa. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, p. 94–98, 2004.

BERENJI, J.; DAHLBERG, J. Perspectives of sorghum in Europe. **Journal Agronomy & Crop Science**, v. 190, p. 332–338, 2004.

BETA, T.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Malting characteristics of sorghum cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 72, p. 533–538, 1995.

BIRT, D. F., BOYLSTON, T.; HENDRICH, S.; JANE, J. L.; HOLLIS, J.; LI, L.; MCCLELLAND, J.; MOORE, S.; PHILLIPS, G. J.; ROWLING, M.; SCHALINSKE, K.; SCOTT, M., P.; WHITLEY, E. M. Resistant starch: promise for improving human health. **Advances in Nutrition**, v. 4, p. 587–601, 2013.

BOOTH, V. H. Problems in the determination of FDNB-available lysine. **Science of Food and Agriculture**, v. 22, p. 658–666, 1971.

BUCKEE, G. K. Determination of total nitrogen in barley malt and beer by Kjeldahl procedures and the Dumas combustion method. **Journal of The Institute of Brewing**, v. 100, p. 57–64, 1994.

BUFFO, R. A.; WELLER, C. L.; PARKHURST, A. M. Relationships among grain sorghum quality factors. **Cereal Chemistry**, v. 75, p. 100–104, 1998.

BUTLER, L. G.; RIEDL, D. J.; LEBRYK, D. G.; BLYTT, H. J. Interaction of proteins with sorghum tannin: mechanism, specificity and significance. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 61, p. 916–920, 1984.

CAMPAIN, A.C.; MORGAN, M.V.; EVANS R.W. Sugar- starch combinations in food and the relationship to dental caries in low-risk adolescents. **Eur J Oral Sci**, v. 111, p. 316–325, 2003.

CASA, A. M.; PRESSOIR, G.; BROWN, P. J.; MITCHELL, S. E.; ROONEY, W. L.; TUINSTRA, M. R.; FRANKS, C. D.; KRESOVICH, S. Community resources and strategies for association mapping in sorghum. **Crop Science**, v. 48, p. 30, 2008.

CHO, S. S. **Handbook of dietary fiber**. CRC Press, v. 113, 859p, 2001.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. Grãos, Safra 2014/15. Décimo primeiro levantamento, v.2, p. 1-101, 2015

CORTIZA, M. M. P.; GONZÁLEZ, M. D; CASTILLO, O. S.; GARCÉS, M. M. G. El Sorgo em la alimentación de niños celíacos: una alternativa. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, p. 1–5, 2009.

- CROSSA, J., FRANCO, J. Statistical methods for classifying genotypes. **Euphytica**, v. 137, p. 19-37, 2004.
- CUMMINGS, J. H.; STEPHEN, A. M. Carbohydrate terminology and classification. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 61, p. 5–18, 2007.
- DE ALENCAR FIGUEIREDO, L. F. Analyse fonctionnelle de la diversité agronomique chez le sorgho (*Sorghum bicolor* ssp. *bicolor*): diversité des séquences et variabilité de gènes clés pour la qualité du grain. **Tese de doutorado**, Université de Montpellier II Sciences et Techniques Du Languedoc, 2007.
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. DA. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciencia Rural**, v. 9, p. 945–954, 2009.
- DEU, M. & HARMON, P. Diversité des sorghos: application à la gestion des ressources génétiques et à la sélection. **Agriculture et développement**, v. 3, p. 25-31, 1994.
- DEU, M.; RATTUNDE, F.; CHANTEREAU, J. A global view of genetic diversity in cultivated sorghums using a core collection. **Genome**, v. 49, p. 168–180, 2006.
- DE WET, J. M. J.; HUCKABAY, J. P. The origin of *Sorghum bicolor*. II Distribution and domestication. **Society for the Study of Evolution Stable**, v. 21, p. 787–802, 1967.
- DE WET, J. M. J. DE. Systematics and evolution of *Sorghum* sect. *Sorghum* (*Gramineae*). **Botanical Society of America Stable**, v. 65, p. 477–484, 1978.
- DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S. V. B.; WILLEM, J. H.; VORAGEN, A. G. J. Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 2581–2588, 2005.
- DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S. V. B.; WILLEM, J. H.; VORAGEN, A. G. J. Sorghum grain as human food in África : relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, p. 384–395, 2006.
- DILLON, S. L.; SHAPTER, F. M.; HENRY, R. J.; CORDEIRO, G.; IZQUIERDO, L.; LEE, L. S. Domestication to crop improvement: genetic resources for *Sorghum* and *Saccharum* (*Andropogoneae*). **Annals of Botany**, v. 100, p. 975–89, 2007.
- DUODU, K. G.; NUNES, A.; DELGADILLO, I.; PARKER, M. L.; MILLS, E. N. C.; BELTON, P. S.; TAYLOR, J. R. N. Effect of grain structure and cooking on sorghum and maize in vitro protein digestibility. **Journal of Cereal Science**, v. 35, p. 161–174, 2002.
- DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, v. 44, p. 236–251, 2006.
- EARP, C. F.; MCDONOUGH, C. M.; AWIKA, J.; ROONEY, L. W. Testa development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 303–311, 2004a.

EARP, C. F.; MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 21–27, 2004b.

EDWARDS, E. J. Rapid report new grass phylogeny resolves deep evolutionary relationships and discovers C4 origins. **New Phytologist**, p. 304–312, 2011.

EMMAMBUX, N. M.; TAYLOR, J. R. N. Sorghum kafirin interaction with various phenolic compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, p. 402–407, 2003.

ENGLYST, Hans N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical nutrition**, v. 46, p. S33-50, 1992.

EURESTA. **European Flair Action Concerted on Resistant Starch**. Newsletter III. Department of Human Nutrition, Wageningen Agricultural University, 1992.

FAOSTAT. **Food agriculture organization of the United Nations. Statistics Division**, 2015.

FERREIRA, S. M. R.; DE MELLO, A. P.; DOS ANJOS, M. D. C. R.; KRÜGER, C. C. H.; AZOUBEL, P. M.; DE OLIVEIRA ALVES, M. A. Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. **Food Chemistry**, 2015 (article in press).

FRENCH, D. Chemical and physical properties of starch. **Journal of Animal Science**, v. 37, p. 1048–1061, 1973.

GLITSØ, L. V.; KNUDSEN, K. B. Milling of whole grain rye to obtain fractions with different dietary fibre characteristics. **Journal of Cereal Science**, v. 29, p. 89-97, 1999.

GRIN. **Germplasm Resources Information Network**, 2015.

GUILLOIN, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres , and consequences of processing on human physiology. **Food Research International**, v. 33, p. 233–245, 2000.

GOMEZ, M. H.; WANISKA, R. D.; ROONEY, L. W. Starch characterization of nixtamalized corn flour. **Cereal Chemistry**, v. 68, p. 578-582, 1991.

HAMAKER, B. R.; BUGUSU, B. A. Overview: sorghum proteins and food quality. **Workshop on the proteins of sorghum and millets: enhancing nutritional and functional properties for Africa**, 2003.

HARLAN, J. R.; DE WET, J. M. J. A simplified classification of cultivated sorghum. **Crop Science**, v. 12, p. 172–176, 1972.

HELDRICH, K. C. **Official methods of Analysis of the AOAC. Volume 2**. Association of Official Analytical Chemists Inc., 1990.

HILL, H.; SLADE LEE, L.; HENRY, R. J. Variation in sorghum starch synthesis genes associated with differences in starch phenotype. **Food Chemistry**, v. 131, p. 175–183, 2012.

JAMALI, M. K.; KAZI, T. G.; ARAIN, M. B.; AFRIDI, H. I. ; JALBANI, N.; SARFRAZ, R. A.; BAIG, J. A. A multivariate study: variation in uptake of trace and toxic elements by various varieties of *Sorghum bicolor* L. **Journal of Hazardous Materials**, v. 158, p. 644–651, 2008.

JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; MCPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M. K. T. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 629–637, 1999.

JENKINS, P. J.; DONALD, A M. The influence of amylose on starch granule structure. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 17, p. 315–21, 1995.

JOBLING, S. Improving starch for food and industrial applications. **Current Opinion In Plant Biology**, v. 7, p. 210–218, 2004.

KAUFMAN, R. C.; WILSON, J. D.; BEAN, S. R.; PRESLEY, D. R.; BLANCO-CANQUI, H. M. M. Effect of nitrogen fertilization and cover cropping systems on sorghum grain characteristics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 5715–5719, 2013.

KAYODE, P.; ADEGBIDI, A.; HOUNHOUIGAN, J. D.; LINNEMANN, A. R.; ROBERT, N. M. J. Quality of farmers varieties of sorghum and derived foods as perceived by consumers in Benin. **Ecology of Food and Nutrition**, v. 44, p. 271–294, 2005.

KIL, H. Y.; SEONG, E. S.; GHIMIRE, B. K.; CHUNGB, I. M.; KWONA, S. S.; GOHA, E. J.; HEOC, K.; KIMA, M. J.; LIMD, J. D.; LEE D.; YU, C. Y. Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract. **Food Chemistry**, v. 115, p. 1234–1239, 2009.

KIMBER, C. T. Origins of domesticated sorghum and its early diffusion to India and China. **Sorghum: Origin, history, technology, and production**, p. 3-98, 2000.

KIST, B. B.; CARVALHO, C.; REETZ, E. R.; POLL, H. **Anuário Brasileiro do Milho**, 2012.

KJELDAHL, J. A new method for the estimation of nitrogen in organic compounds. **Journal of Analytical Chemistry**, v. 22, p. 36, 1883.

REFLORA. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 17 Ago. 2015

LLOPART, E. E.; DRAGO, S. R.; DE GREEF, D. M.; TORRES, R. L.; GONZÁLEZ, R. J. Effects of extrusion conditions on physical and nutritional properties of extruded whole

grain red sorghum (sorghum spp). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 7486, p. 1–8, 2013.

LPWG (The Legume Phylogeny Working Group): **Legume phylogeny and classification in the 21st century : progress , prospects and lessons for other species-rich clades Legume phylogeny and classification in the 21st century : Progress, prospects and lessons for other species-rich clades**. *Taxon*, v. 62, p. 217–248, 2013.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivo de sorgo: Ecofisiologia. **Embrapa Milho e Sorgo**, 2008. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_4\\_ed/ecofisiologia.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/ecofisiologia.htm)>.

MARENGO, M.; BONOMI, F.; MARTI, A.; PAGANI, M. A.; ELKHALIFA, A. E. O.; IAMETTI, S. Molecular features of fermented and sprouted sorghum flours relate to their suitability as components of enriched gluten-free pasta. **LWT-Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 511-518, 2015.

MAXSON, E. D.; FRYAR, W. B.; ROONEY, L. W.; KRISHNAPRASAD, M. N. Milling properties of sorghum grain with different proportions of corneous to floury endosperm. **Cereal Chemistry**, v. 48, p. 478–490, 1971.

MCCREADY, R.; GUGGOLZ, J.; SILVIERA, V.; OWENS, H. Determination of starch and amylose in vegetables. **Analytical Chemistry**, v. 22, p. 1156–1158, 1950.

MONTEIRO, F. V.; NASCIMENTO, K. DE O. DO. Associação do consumo do amido resistente na prevenção e tratamento do diabetes mellitus tipo 2. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, p. 12–19, 2013.

MORRIS, G. P.; RAMU, P.; DESHPANDE, S. P.; HASH, T.; SHAH, T.; UPADHYAYA, H. D.; LIZARAZU, O. R.; BROWN, P. J.; ACHARYA; C. B.; MITCHELL, S. E.; HARRIMAN, J.; GLAUBITZ, J. C.; BUCKLER, E. S.; KRESOVICH, S. Population genomic and genome-wide association studies of agroclimatic traits in sorghum. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, p. 453–8, 2013.

MUA, J. P.; JACKSON, D. S. Fines structure of corn amylose and amylopectin fractions with various molecular weights. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 3840–3847, 1997.

MUTISYA, J.; SUN, C.; ROSENQUIST, S.; BAGUMA, Y.; JANSSON, C. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, p. 428–434, 2009.

NEWBY, P. K.; TUCKER, K. L. Empirically derived eating patterns using factor or cluster analysis: a review. **Nutrition Reviews**, v. 62, p. 177–203, 2004.

NILSSON, M.; AMAN, P.; HÄRKÖNEN, H.; HALLMANS, G.; KNUDSEN, K.E.B.; MAZUR, W.; ADLERCREUTZ, H. Content of nutrients and lignans in roller milled

fractions of rye. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 73, p.143– 148, 1997.

NUNES, A.; CORREIA, I.; BARROS, A.; DELGADILLO, I. Characterization of kafirin and zein oligomers by preparative sodium dodecyl sulfate – Polyacrylamide gel electrophoresis. **Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 639–643, 2005.

OLIVETTI, MP de A.; DE CAMARGO, A. M. M. P. Aspectos econômicos e desenvolvimento da cultura do sorgo. **Informações Econômicas-Governo do Estado de São Paulo Instituto de Economia Agrícola**, v. 27, p. 35-48, 1997.

OLLITRAULT, P. Evaluation genetique des sorghos cultives (*Sorghum bicolor* L. Moench) par l’analyse conjointe des diversites enzymatique et morphophysologique: relations avec les sorghos sauvages. **Tese de doutorado**, 1987.

ORIA, M. P.; HAMAKER, B. R.; SHULL, J. M. Resistance of sorghum  $\alpha$ -,  $\beta$ -, and  $\gamma$ -Kafirins to pepsin digestion. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, p. 2148–2153, 1995.

PAIVA, E.; VASCONCELOS, M. J. V.; PARENTONE, S. N.; GAMA, E. E. G.; MAGNAVACA, R. Seleção de progênies de milho doce de alto valor nutritivo com auxílio de técnicas eletroforéticas. **Revista Brasileira, Pesquisa Agropecuária**, v. 27, p. 1213–1218, 1992.

PATERNIANI, MEAGZ. Use of heterosis in maize breeding: History, methods and perspectives. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 1, n. 2, p. 159-178, 2001.

PATERSON, A. H.; BOWERS, J. E.; BUROW, M. D.; DRAYE, X.; ELSIK, C. G.; JIANG, C. X.; KATSAR, C. S.; LAN, T. H.; LIN, Y. R.; MING, R.; WRIGHT, R. J. Comparative genomics of plant chromosomes. **The Plant Cell**, v. 12, p. 1523–1540, 2000.

PATERSON, A. H.; BOWERS, J. E.; BRUGGMANN, R.; DUBCHAK, I.; GRIMWOOD, J.; GUNDLACH, H.; HABERER, G.; HELLSTEN, U.; MITROS, T.; POLIAKOV, A.; SCHMUTZ, J.; SPANNAG, M.; TANG, H.; WANG, X.; WICKER, T.; BHARTI, A. K.; CHAPMAN, J.; FELTUS, F. A.; GOWIK, U.; GRIGORIEV, I. V.; LYONS, E.; MAHER, C. A.; MARTIS, M.; NARECHANIA, A.; OTILLAR, R. P.; PENNING, B. W.; SALAMOV, A. A.; WANG, Y.; ZHANG, L.; CARPITA, N. C.; FREELING, M.; GINGLE, A. R.; HASH, C. T.; KELLER, B.; KLEIN, P.; KRESOVICH, S.; MCCANN, M. C.; MING, R.; PETERSON, D. G.; RAHMAN, M.; WARE, D.; WESTHOFF, P.; MAYER, K. F. X.; MESSING, J.; ROKHSAR, D. S. The *Sorghum bicolor* genome and the diversification of grasses. **Nature**, v. 457, p. 551–6, 2009.

PEDREIRA, S.; REIS, R. A.; BERCHIELLI, T. T. Características agrônômicas e composição química de oito híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 1083–1092, 2003.

PINELI, L. L. O.; ZANDONADI, R. P.; BOTELHO, R. B. A.; DE OLIVEIRA, V. R.; DE ALENCAR FIGUEIREDO, L. F. The use of sorghum to produce gluten-free breads: A systematic review. **Journal of Advanced Nutrition and Human Metabolism**, 2015.

PONTIERI, P.; MAMONE, G.; DE CARO, S.; TUINSTRAN, M. R.; ROEMER, E.; OKOT, J.; DE VITA, P.; FICCO, D. B. M.; ALIFANO, P.; PIGNONE, D.; MASSARDO, D. R.; DEL GIUDICE, L. Sorghum, a healthy and gluten-free food for celiac patients as demonstrated by genome, biochemical, and immunochemical analyses. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 2565–2571, 2013.

PRICE, H. J.; DILLON, S. L.; HODNETT, G.; ROONEY, W. L.; ROSS, L.; JOHNSTON, J. S. Genome evolution in the genus *Sorghum* (*Poaceae*). **Annals of Botany**, v. 95, p. 219–227, 2005.

QUEIROZ, V. A. V.; CARNEIRO, H. L.; VASCONCELLOS, J. H.; RODRIGUES, J. A. S. Análise sensorial de um protótipo de barra de cereais elaborada com pipoca de sorgo. Comunicado técnico 164. **Embrapa Milho e Sorgo**, v. 164, p. 1–8, 2008.

RAI, S.; KAUR, A.; SINGH, B. Quality characteristics of gluten free cookies prepared from different flour combinations. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 785–789, 2014.

RATNAVATHI, C. V.; SURESH, K.; KUMAR, B. S. V.; PALLAVI, M.; KOMALA, V. V.; SEETHARAMA, N. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, p. 947–952, 2010.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 5ed, 1996.

REA, H. E.; KARPER, E. R. Propagating sorghum by cuttings. **Botanical Society of America**, v. 19, p. 464–476, 1932.

RENE, C. V.; ROONEY, W. L. Genetic control of sorghum grain color he first memorandum of agreement between. **Centro Nacional de Tecnologia Agropecuária y Forestal**, p. 1–10, 2009.

RIBAS, P. M. Documento. Sorgo: introdução e importância econômica. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, p. 1–14, 2003.

RODRIGUES, W. A.; MAGALHÃES, P. C.; PAIVA, E.; DOS SANTOS, F. G. Padrões eletroforéticos das proteínas de reserva em grãos de sorgo com presença e ausência de tanino. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1972–1977, 2009.

ROONEY, L.W., AWIKA, J.M. Overview of products and health benefits of specialty sorghums. **Cereal Foods World**, v. 50, p. 109–115, 2005.

ROONEY, L. W.; MILLER, F. R. Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. **International Symposium on Sorghum Grain Quality**, 1982.

- ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, L. R. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, v. 63, p. 1607–1623, 1986.
- ROSENBERG, N. A.; PRITCHARD, J. K.; WEBER, J. L.; CANN, H. M.; KIDD, K. K.; ZHIVOTOVSKY, L. A.; FELDMAN, M. W. Genetic structure of human populations. **Science**, v. 298, p. 2381–2385, 2002.
- SADER, A. P. O.; OLIVEIRA, S. G.; BERCHIELLI, T. T. Application of Kjeldahl and Dumas combustion methods for nitrogen analysis. **Archives of Veterinary Science**, v. 9, p. 73–79, 2004.
- SAGE, R. F. The evolution of C4 photosynthesis. **New Phytologist**, v. 161, p. 341–370, 2004.
- SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. Resistant starch - A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 5, p. 1–17, 2006.
- SALES, J. M. C.; LIMA, A. C. A. O.; SILVA, C. O.; GRATTAPAGLIADE, D.; BORGETHI, F.; DE ALENCAR, L. F. Determinação dos perfis de açúcares solúveis totais de grão de sorgo de diferentes genótipos. **Poster apresentado no 9º Congresso de Iniciação Científica do DF/18º Congresso de Iniciação Científica da UnB**, 2012.
- SANG, Y.; BEAN, S.; SEIB, P. A.; PEDERSEN, J.; SHI, Y. C. Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 6680–6685, 2008.
- SCHOBER, T. J.; MESSERSCHMIDT, M.; BEAN, S. R.; PARK, S. H.; ARENDT, E. K. Gluten-free bread from sorghum: quality differences among hybrids. **Cereal Chemistry**, v. 82, p. 394–404, 2005.
- SDEPANIAN, V. L.; BATISTA, M.; FAGUNDES-NETO, U. Doença Celíaca: avaliação da obediência à dieta isenta de glúten e do conhecimento da doença pelos pacientes cadastrados na associação dos celíacos do Brasil (ACELBRA). **Arquivos de Gastroenterologia**, v. 38, p. 232–239, 2001.
- SECKINGER, H. L.; WOLF, M. J. Sorghum protein ultrastructure as it relates to composition. **Cereal Chemistry**, v. 50, p. 455–464, 1973.
- SHA, X. S.; XIANG, Z. J.; BIN, L.; JING, L.; BIN, Z.; JIAO, Y. J.; KUN, S. R. Preparation and physical characteristics of resistant starch (type 4) in acetylated indica rice. **Food Chemistry**, v. 134, p. 149–154, 2012.
- SHEWRY, P. R.; HALFORD, N. G. Cereal seed storage proteins : structures , properties and role in grain utilization. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 947–958, 2002.
- SHULL, J. M.; WATTERSON, J. J.; KIRLEIS, A. W. Proposed nomenclature for the Alcohol-Soluble Proteins ( Kafirins ) of *Sorghum bicolor* ( L . Moench ) based on molecular weight , solubility , and structure. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, p. 83–87, 1991.

SILVA, J. S.; CORREA, P. C. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. **Secagem e Armazenamento de Grãos no Brasil**, v. 2, p. 21–36, 2008.

SINGH, H.; SODHI, N. S.; SINGH, N. Characterisation of starches separated from sorghum cultivars grown in India. **Food Chemistry**, v. 119, p. 95–100, 2010.

SPENCER, C. M.; CAI, Y. A.; GAFFNEY, S. H.; GOULDING, P. N.; HASLAM, E. Review article number 35: Polyphenol complexation-some thoughts and observations. **Phytochemistry**, v. 27, p. 2397–2409, 1988.

SUKUMARAN, S.; XIANG, W.; BEAN, S. R.; PEDERSEN, J. F.; KRESOVICH, S.; TUINSTRA, M. R.; TESSO, T. T.; HAMBLIN, M. T.; YU, J. Association mapping for grain quality in a diverse sorghum collection. **The Plant Genome Journal**, v. 5, p. 126–135, 2012.

TABOSA, J. N.; LIMA, G.; LIRA, M.; TAVARES FILHO, J. J.; BRITO, A. E RITA, M. Programa de melhoramento de sorgo e milho em Pernambuco. **Queiróz, M. A.; Goedert, C.O.; Ramos, SRR Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro. Petrolina-PE: Embrapa Semi-Árido**, p. 1-29, 1999.

TARDIN, F. D.; RODRIGUES, J. A. S. Documento. Sorgo : cultivo do sorgo. **Embrapa Milho e Sorgo**, p. 1–14, 2008.

TAYLOR, J.; BEAN, S. R.; IOERGER, B. P.; TAYLOR, J. R. N. Preferential binding of sorghum tannins with  $\gamma$ -kafirin and the influence of tannin binding on kafirin digestibility and biodegradation. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 22–31, 2007.

TAYLOR, J. R. N.; SCHÜSSLER, L. The protein compositions of the different anatomical parts of sorghum grain. **Journal of Cereal Science**, v. 4, p. 361–369, 1986.

TECHNICON. Starch. **Auto analyzer II industrial method SF4-0046FA8**, 1978.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 151–165, 2004.

THEBAUDIN, J. Y.; LEFEBVRE, A. C.; HARRINGTON, M.; BOURGEOIS, C. M. Dietary fibres: nutritional and technological interest. **Trends in Food Science e Technology**, v. 8, p. 41-48, 1997.

THORNTON, P.; CRAMER, L. Impacts of climate change on the agricultural and aquatic systems and natural resources within the CGIAR's mandate. **CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)**, v. 23, p. 1–201, 2012.

VAUGHAN, D. H.; CUNDIFF, J. S.; PARRISH, D. J. Herbaceous crops on marginal sites-erosion and economics. **Biomass and Bioenergy**, v. 20, p. 199–208, 1989.

VIDAL, W. N.; VIDAL, M. R. R. **Botânica: organografia: quadros sinóticos ilustrativos de fanerogamos, 3 ed.**, 114p, 1986.

XLSTAT-PRO, **User's Guide, version 5.01**. Addinsoft Inst Inc., 2012.

WALTER, M.; SILVA, L. P. DA; EMANUELLI, T. Amido resistente : características físico-químicas , propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciencia Rural**, v. 35, p. 974–980, 2005.

WANISKA, R. D.; ROONEY, L. W. Chapter 4.1 Structure and chemistry of the sorghum caryopsis. **Sorghum: Origin, History, Technology, and Production**, p.649–688 2000.

WATTERSON, J. J.; SHULL, J. M.; KIRLEIS, A. W. Quantification of  $\alpha$ -,  $\beta$ - e  $\gamma$ -Kafirina in vitreous and opaque endosperm of sorghum bicolor. **Cereal Chemistry**, v. 70, p. 452–457, 1993.

WOLF, B. W.; BAUER, L. L.; FAHEY, G. C. Effects of chemical modification on in vitro rate and extent of food starch digestion: an attempt to discover a slowly digested starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 4178–83, 1999.

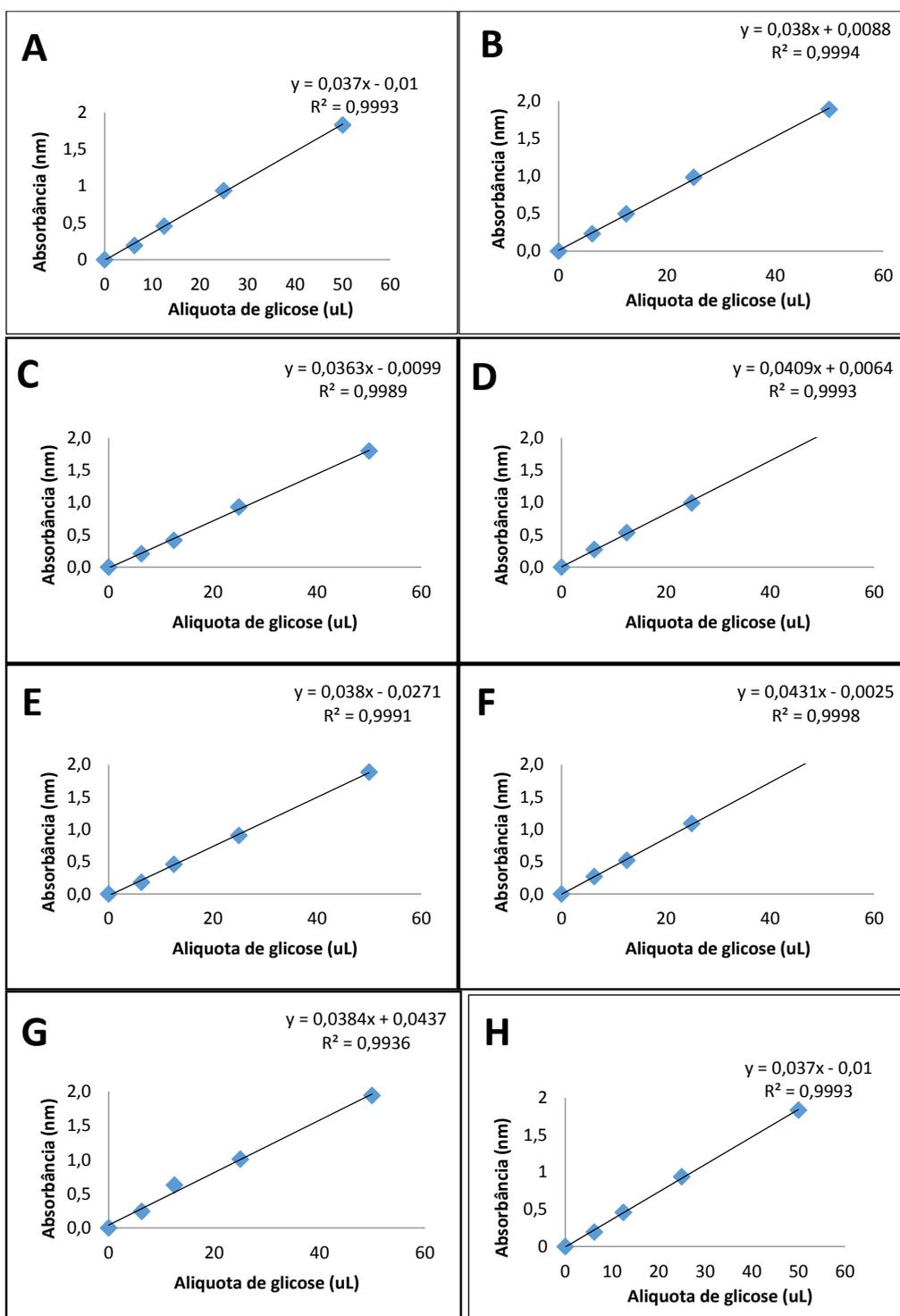
WONG, J. H.; LAU, T.; CAI, N.; SINGH, J.; PEDERSEN, J. F.; VENSEL, W. H.; HURKMANC, W. J.; WILSON, J. D.; LEMAUX, P. G.; BUCHANAN, B. B. Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. **Journal of Cereal Science**, v. 49, p. 73–82, 2009.

WONG, J. H.; MARX, D. B.; WILSON, J. D.; BUCHANAN, B. B.; LEMAUX, P. G.; PEDERSEN, J. F. Principal component analysis and biochemical characterization of protein and starch reveal primary targets for improving sorghum grain. **Plant Science**, v. 179, p. 598–611, 2010.

YANG, C. Z.; SHU, X. L.; ZHANG, L. L.; WANG, X. Y.; ZHAO, H. J.; MA, C. X.; WU, D. X. Starch properties of mutant rice high in resistant starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 523–528, 2006.

YETNEBERK, S.; KOCK, H. L.; ROONEY, L. W.; TAYLOR, J. R. N. Effects of sorghum cultivar on injera quality. **Cereal Chemistry**, v. 3, p. 314–321, 2004.

## 9. ANEXOS



**Anexo 1. A** – a curva padrão para as variedades de 1 a 15; **B** – a curva padrão para as variedades de 16 a 35. **C** – a curva padrão para as variedades 36 a 56. **D** – a curva padrão para as variedades 57 a 70. **E** – a curva padrão para as variedades 71 a 100. **F** – a curva padrão refeita para as variedades 3 a 8, 16, 17, 37 a 39, 41, 45, 51, 53, 57, 59, 60, 64 e 85. **G** – a curva padrão refeita para as variedades 2, 18, 20, 70 a 72, 74 a 76, 78, 79, 81 e 83. **H** – a curva padrão refeita para as variedades 13, 15 35, 50, 55, 56 e 98.

**Anexo 2.** Estatística descritiva do conteúdo de amido (ST) (%), proteínas (PR) (%) e número de genótipos de sorgo dos trabalhos citados.

Trabalho citado	Métodos	N	ST	PR
Deosthale et al. (1970)		332		
Média	PR – Kjeldhal (1883)			11,7
Mínimo				11,0
Máximo				13,0
SD				1,8
CV (%)				15,4
Buffo et al. (1998)	ST - $\alpha$ -amilase/amiloglucosidase	46		
Média	PR – Kjeldhal (1883)		73,1	10,5
Mínimo			69,1	9,0
Máximo			77,9	12,1
SD			2,7	0,7
CV (%)			3,7	6,8
Beta et al. (1995)	ST – Digestibilidade hexoquinase	16		
Média	PR – Kjeldhal (1883)		71,0	13,1
Mínimo			67,4	11,9
Máximo			73,5	14,6
SD			1,8	0,9
CV(%)			2,5	7,1
Aboubacar et al. (1999)	ST - $\alpha$ -amilase/amiloglucosidase	6		
Média	PR – Extração por $C_2H_6O/Na_2B_4O_7$		83,6	10,0
Mínimo			78,5	8,7
Máximo			89,0	11,6
SD			3,3	0,9
CV(%)			3,9	8,8

SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; N – número de genótipos; ST – conteúdo de amido e PR – conteúdo de proteínas.

Trabalho citado	Métodos	N	ST	PR
Schober et al. (2005)	ST - $\alpha$ -amilase/amiloglucosidase PR – Kjeldhal (1883)	9		
Média			79,9	10,9
Mínimo			77,3	7,8
Máximo			82,1	12,9
SD			1,6	1,5
CV(%)			2,1	14,1
Dicko (2006)	ST - $\alpha$ -amilase/amiloglucosidase	50		
Média			61,2	
Mínimo			55,2	
Máximo			63,8	
SD			6,1	
CV(%)			9,9	
Wong et al. (2010)	ST - $\alpha$ -amilase/amiloglucosidase PR – Combustão de Dumas	18		
Média			71,2	12,3
Mínimo			47,9	10,1
Máximo			85,0	15,0
SD			9,4	1,2
CV(%)			13,2	9,5
Hill et al. (2012)	ST - $\alpha$ -amilase/amiloglucosidase PR – Kjeldhal (1883)	55		
Média			65,7	14,3
Mínimo			59,0	10,4
Máximo			72,5	19,3
SD			9,5	6,3
CV(%)			14,5	44,0
Kaufman et al. (2013)	ST - $\alpha$ -amilase/amiloglucosidase PR – Combustão de Dumas	1	75,3	8,1
Llopart et al. (2013)	PR - Determinação de lisina	1		11,0
Rai et al. (2014)*	ST - $\alpha$ -amilase PR – Kjeldhal (1883)	1	72,2	11,7

SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; N – número de genótipos; ST – conteúdo de amido e PR – conteúdo de proteínas.