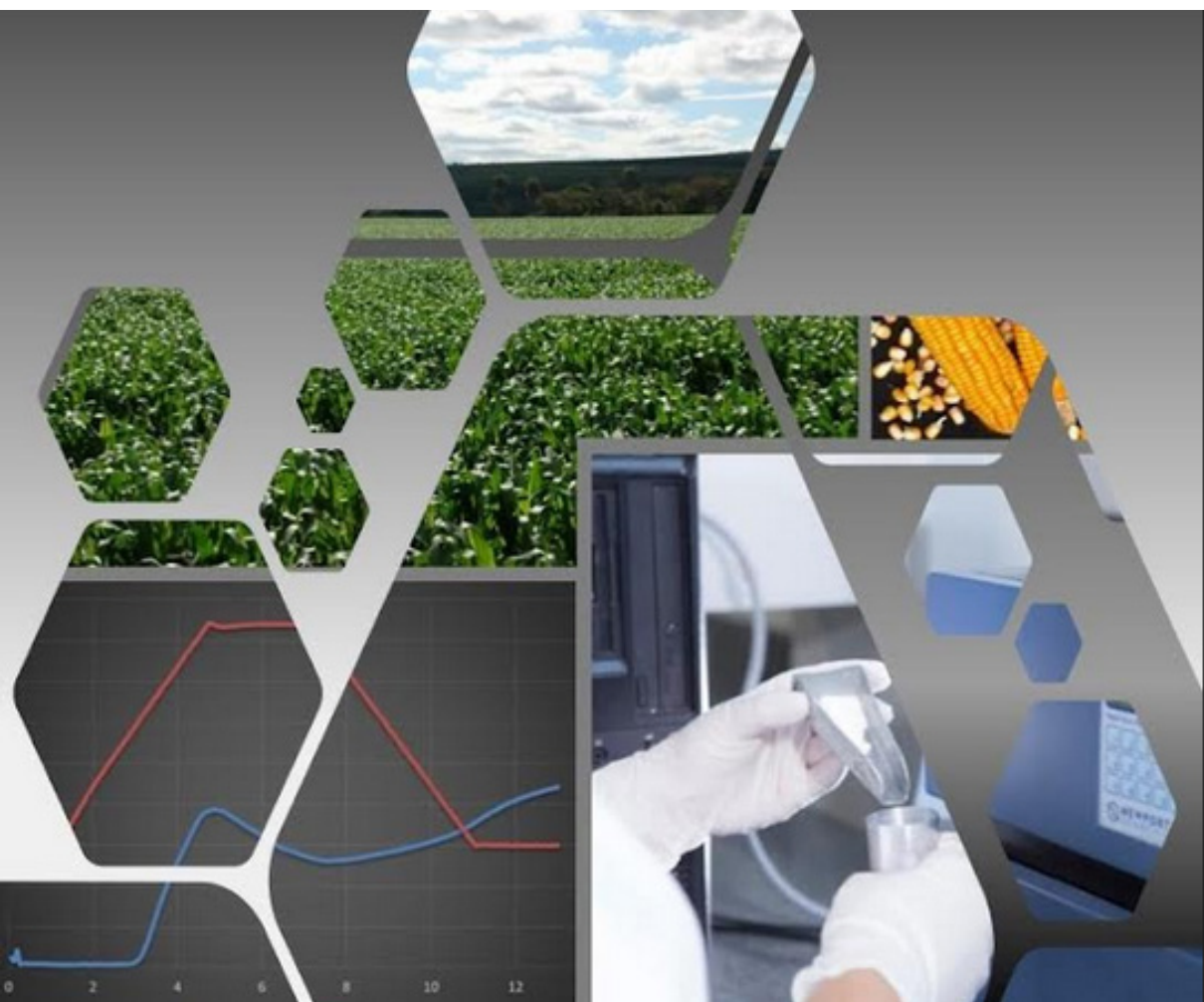


Perfil Viscoamilográfico de Amidos Isolados de Híbridos de Milho



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
231**

**Perfil Viscoamilográfico de Amidos
Isolados de Híbridos de Milho**

Maria Cristina Dias Paes
Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho
Antônio Carlos de Oliveira

*Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2021*

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Maria Marta Pastina

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria Cristina Dias Paes.

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Mônica Aparecida de Castro

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Mônica Aparecida de Castro

Fotos da capa
Maria Cristina Dias Paes, Marina Torres Pessoa e Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães

1ª edição
Publicação digital (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Nome da unidade catalogadora

Perfil viscoamilográfico de amidos isolados de híbridos de milho / Maria Cristina Dias Paes ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2021.
25 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo ISSN 1679-0154; 231).

1. Zea mays. 2. Propriedade físico-química. 3. Viscosidade. 4. Fenômeno físico. I. Paes, Maria Cristina Dias. II. Guimarães, Paulo Evaristo de Oliveira. III. Carvalho, Carlos Wanderlei Piler de. IV. Oliveira, Antônio Carlos de. V. Série.

CDD (21. ed.) 633.15

Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

© Embrapa, 2021

Sumário

Resumo	05
Abstract	07
Introdução.....	08
Material e Métodos	09
Resultados e Discussão	11
Conclusão.....	23
Referências	23

Perfil Viscoamilográfico de Amidos Isolados de Híbridos de Milho

Maria Cristina Dias Paes¹

Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães²

Carlos Wanderlei Piler de Carvalho³

Antônio Carlos de Oliveira⁴

Resumo – As propriedades térmicas e reológicas do amido são determinantes na qualidade tecnológica deste biopolímero, entretanto essas não são consideradas no desenvolvimento de cultivares de milho no Brasil, não permitindo a apropriação ao diversificado setor agroindustrial. Assim, o objetivo do presente estudo foi caracterizar híbridos de milho quanto ao perfil viscoamilográfico do amido isolado. Os amidos isolados de trinta e seis híbridos de milho, experimentais e comerciais, foram caracterizados em um analisador rápido de viscosidade (RVA), sendo avaliadas as variáveis temperatura de pasta, viscosidade máxima a frio, viscosidade máxima, viscosidade mínima no aquecimento, viscosidade de quebra, viscosidade máxima no resfriamento, retrogradação e viscosidade final. O delineamento experimental utilizado foi o látice simples 6x6, sendo os tratamentos constituídos por 36 híbridos de milho. As análises para verificar o grau de divergência entre os híbridos foram realizadas com base na distribuição de frequência dos híbridos em intervalos de classes para cada variável e ainda com base no algoritmo de Gower, para determinar a distância entre pares de híbridos, além do método UPGMA para definir os agrupamentos dos híbridos. Foram identificados padrões diferentes nos viscoamilogramas. A distribuição de frequência apresentou dissimilaridades para os intervalos de classes nos histogramas de algumas variáveis. Cinco grupos distintos de híbridos foram formados considerando o conjunto de variáveis do perfil viscoamilográfico dos

1 Maria Cristina Dias Paes, Nutricionista, Doutora em Ciência de Alimentos e Nutrição Humana, Analista da Embrapa Milho e Sorgo;

2 Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães, Engenheiro Agrônomo, Doutor em Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo;

3 Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência de Alimentos, Pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos;

4 Antônio Carlos de Oliveira, Engenheiro Agrônomo, Doutor em Estatística e Experimentação Agronômica, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo;

amidos isolados. Três grupos corresponderam a apenas um híbrido, sendo o primeiro e o segundo formados pelos híbridos experimentais 1M1819 e 1N1975, e o terceiro, pelo híbrido comercial BRS 1055. Vinte e quatro híbridos formaram o quarto grupo, e o quinto foi formado por nove diferentes híbridos. A caracterização evidenciou diversidade no perfil viscoamilográfico de amido para diferentes híbridos de milho.

Termos para indexação: gelatinização, *Zea maiz*, RVA, pasta, gel

Viscoamylographic Profile of Isolated Starches of Corn Hybrids

Abstract – The thermal and rheological properties of starch are determinant in the technological quality of this biopolymer. However, they are not considered in the development of corn cultivars in Brazil, not allowing the appropriation to the diversified agro-industrial sector. Thus, the objective of the present study was to characterize corn hybrids regarding the viscoamylographic profile of the isolated starch. Starches isolated of thirty-six experimental and commercial corn hybrids were characterized in a rapid viscosity analyzer (RVA). The studied variables were paste temperature, maximum cold viscosity, maximum viscosity, minimum viscosity on heating, breakdown viscosity, maximum viscosity on cooling, retrogradation and final viscosity. The experimental design was a simple 6x6 lattice with treatments consisting of 36 corn hybrids. Analysis to verify the degree of divergence between hybrids were performed based on the frequency distribution of hybrids in class intervals for each variable, and also based on the Gower algorithm to determine the distance between hybrid pairs, in addition to the UPGMA method to define the hybrid groupings. Different patterns were identified in the viscoamylograms. The frequency distribution showed dissimilarities for the class intervals in the histograms of some variables. Five distinct groups of hybrids were formed considering the set of variables of the viscoamylographic profile of the isolated starches. Three groups corresponded to only one hybrid, being the first and second ones formed by the experimental hybrids 1M1819 and 1N1975, and the third one formed by the commercial hybrid BRS 1055. Twenty-four hybrids formed the fourth cluster and the fifth one was formed by nine different hybrids. The characterization evidenced diversity in the viscoamylographic profile of starch for different corn hybrids.

Index terms: gelatinization, *Zea maiz*, RVA, paste, gel

Introdução

Amido é o principal componente químico nos grãos de milho, variando de 61% a 78% do total (Paes, 2006, 2008), sendo comumente composto por dois polímeros, amilose (25%) e amilopectina (75%) (Paes, 2006; Paes et al., 2011). Variações nas concentrações desses polímeros, suas estruturas espaciais e a interação com outros componentes do endosperma (Ragaee; Abdel-Aal, 2006), como proteínas e lipídeos, influenciam as propriedades térmicas e reológicas do amido, e, por conseguinte, determinam sua qualidade tecnológica e destinação final industrial específica, destacando o uso na panificação, em produtos extrudados, massas e empanados, molhos, recheios, sopas, bebidas, ingredientes de produtos lácteos, confeitaria, produtos cárneos e revestimentos comestíveis, além de atuar como aditivo (espessante, estabilizante, gelificante, emulsificante, retentor de umidade e retardador da retrogradação) e/ou como componente em produtos não alimentícios, como medicamentos, cosméticos, papéis, embalagens biodegradáveis, filmes comestíveis, adesivos, tintas, biocombustíveis entre outros (Zoebel; Stephen, 1995; Freitas et al., 2003). Diversas características de produtos alimentícios, como aparência, textura (por exemplo, lisa), consistência e estabilidade de vida de prateleira, podem ser modificadas ou controladas por adição de amido. Outras propriedades, como controle de umidade, liga, expansão, aspecto translúcido ou opaco, leveza e crocância, podem ser alteradas em um produto pelo amido presente ou acrescido como ingrediente.

As principais propriedades tecnológicas do amido nativo, tais como gelatinização, viscosidade e retrogradação da pasta, são importantes para definir sua aplicação, e estes parâmetros podem ser determinados em um analisador rápido de viscosidade (RVA) (Crosbie; 2007; Balet, et al., 2019). O perfil obtido da análise permite caracterizar genótipos de milho comerciais para agregação de valor (Guelpa et al., 2015; Vázquez-Carrillo; Santiago-Ramos, 2019) ou identificar fontes de amido com características desejáveis no desenvolvimento de novas cultivares com melhor qualidade tecnológica, já que por meio da avaliação dos resultados é possível descrever as propriedades reológicas do material, simular a performance do amido durante processamento em condições de bancada e prever a qualidade

final de um produto (Cozzolino, 2016). Portanto, a medida da viscosidade em ciclos de aquecimento-resfriamento pode fornecer muitos indicadores úteis para avaliação da qualidade de produtos e matérias-primas, especialmente considerando que a diversidade da indústria alimentícia e não alimentícia moderna e o desenvolvimento de novos produtos exige que o amido seja capaz de tolerar uma gama de técnicas de processamento, bem como várias condições de distribuição, armazenamento e preparação final. Dessa forma, o amido de milho normal produz pasta opaca e resulta em um gel firme, enquanto amidos com maior percentual de amilopectina (*waxy*) resultam em uma pasta clara e longa (viscoso/espesso) com menor tendência a formar gel (Jane; Chen, 1992).

Programas de melhoramento genético de milho geram anualmente um considerável número de genótipos, sendo os híbridos elite e experimentais avaliados principalmente para as características agronômicas. Considerando a importância comercial do amido de milho e como a sua composição e interação com outros componentes influenciam suas propriedades, o conhecimento do seu perfil reológico é estratégico para definir o posicionamento de cultivares em nichos específicos de mercado. Portanto, o objetivo do presente estudo foi caracterizar híbridos de milho quanto ao perfil viscoamilográfico do amido isolado.

Material e Métodos

Foram avaliados 36 híbridos de milho experimentais e comerciais do programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, safra 2015/2016, a partir de amostras de amido extraídas no Laboratório de Qualidade de Grãos dessa instituição. A extração foi realizada em duplicata, seguindo o protocolo descrito em Paes e Barbosa (2019). As análises viscoamilográficas dos amidos isolados foram conduzidas no Laboratório de Cereais da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro-RJ. As variáveis analisadas foram temperatura inicial de pasta, viscosidade máxima a frio, viscosidade máxima (pico de viscosidade), viscosidade mínima no ciclo de aquecimento, quebra de viscosidade (*breakdown*), viscosidade máxima no resfriamento, retrogradação (*setback*) e viscosidade final.

As amostras de amido foram mantidas em envase de vidro com tampa rosqueável recoberto com filme de vedação (parafilm) sob refrigeração até a realização das análises. Foi utilizado o Analisador Rápido de Viscosidade (RVA modelo 4, Newport Scientific, Warriewood, Austrália) com amostra de 2 g de cada material acrescido de 28 g de água deionizada, aplicando-se o perfil Standard 1 (tempo total de 13 min). A amostra para análise foi disposta em recipiente de alumínio e esse foi acoplado no equipamento. A temperatura inicial da análise foi de 50°C, mantida por 1 min e seguida de aumento a 95°C por 3 min e 42 s. Após este tempo foi aplicado o resfriamento até 50 °C em 3 min e 48 s, com manutenção nesta temperatura por 2 min. A temperatura correspondente ao aumento inicial da viscosidade foi designada como temperatura inicial de pasta. A rotação da pá foi mantida a 960 rpm nos primeiros 10 s e, a seguir, a 160 rpm pelo tempo restante da análise. Os parâmetros registrados foram viscosidade máxima a frio, viscosidade máxima, viscosidade mínima no ciclo de aquecimento, viscosidade de quebra, viscosidade máxima no resfriamento, viscosidade de retrogradação e viscosidade de final, expressas em centipoise (cP). Foi ainda registrada a temperatura inicial de pasta (°C).

O delineamento experimental utilizado foi látice simples, sendo os tratamentos constituídos por 36 híbridos de milho.

As análises para verificar o grau de divergência entre os híbridos foram realizadas considerando dois enfoques: um enfoque univariado, com base na distribuição de frequência dos híbridos em intervalos de classes para cada variável; e um enfoque multivariado, com base no algoritmo de Gower (1971), para determinar a distância entre pares de híbridos, e ainda o método UPGMA, para definir os agrupamentos dos híbridos. Foi utilizado o software PAST.

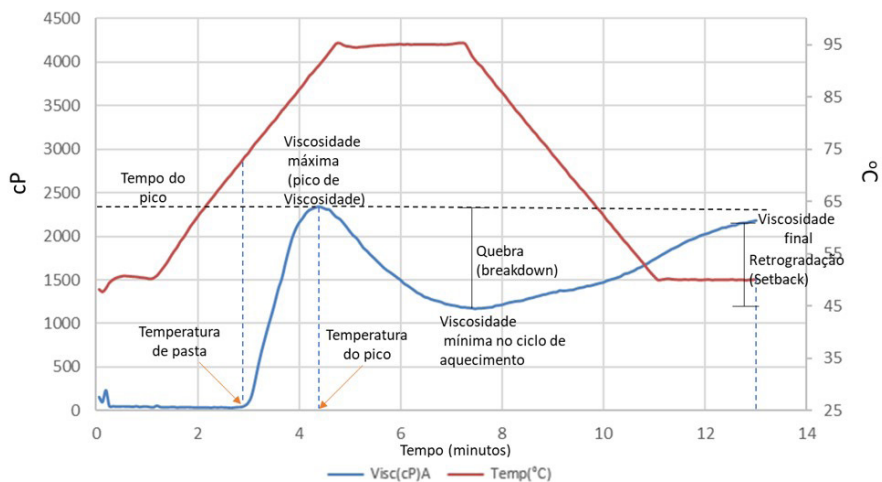


Figura 1. Gráfico gerado em análise de amido de milho conduzida em RVA.

Resultados e Discussão

O perfil viscoamigráfico obtido em RVA de uma suspensão de amido de milho-água é apresentado na Figura 1, contendo as indicações das variáveis analisadas no estudo.

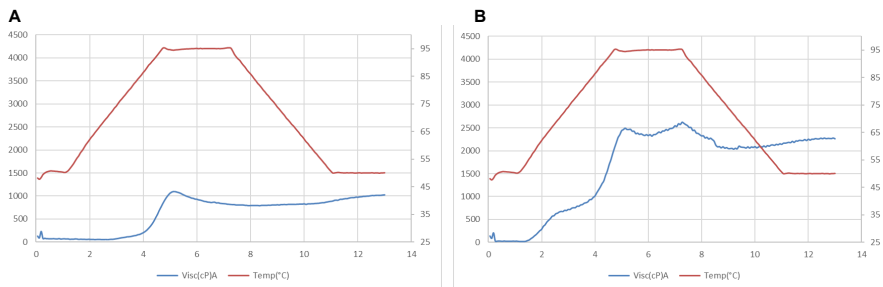


Figura 2. Gráficos gerados em análise conduzida em RVA de amidos dos híbridos de milho 1M1819 (A) e BRS1055 (B).

Gráfico padrão ao reportado na literatura foi observado em grande parte das amostras dos amidos de distintos híbridos de milho analisados, entretanto, diferentes padrões viscoamilográficos foram também registrados. Os apresentados na **Figura 2** ilustram as diferenças observadas nas medidas determinadas no RVA.

O padrão do híbrido 1M1819 (**Figura 2A**) permite identificar pequeno aumento de viscosidade durante o ciclo de aquecimento, seguido de viscosidade de quebra (*breakdown*). Por outro lado, o gráfico do BRS 1055 (**Figura 2B**) permite verificar o início da gelatinização do amido em menor tempo e temperatura, apresentando um pico de viscosidade adicional durante a rampa de aquecimento até atingir a viscosidade máxima, que se manteve relativamente constante mesmo com cisalhamento aplicado antes do início da redução da temperatura do ciclo de resfriamento. A viscosidade mínima no aquecimento não ocorre como observado na **Figura 1**.

Na **Tabela 1** são apresentadas as médias dos híbridos, para as variáveis estudadas.

Tabela 1. Médias para as variáveis resultantes do perfil viscoamilográfico de amido de híbridos de milho experimentais e comerciais, safra 2015/2016, Sete Lagoas-MG

Híbridos	Temperatura inicial de pasta (°C)	Viscosidade a frio (cP)	Viscosidade de máxima (cP)	Viscosidade mínima no ciclo aquecimento (cP)	Viscosidade de quebra (breakdown) (cP)	Viscosidade máxima no resfriamento (cP)	Viscosidade de retrogradação (cP)	Viscosidade final (cP)
1K1301	75,1	52,0	2043,0	1203,0	840,0	2211,0	1008,0	2234,0
1K1306	74,2	30,5	1976,0	1298,5	677,5	2188,0	889,5	2207,0
1L1411	80,7	35,5	1685,0	1062,0	623,0	1688,5	626,5	1705,5
1L1421	75,1	36,0	2846,0	1678,0	1168,0	2269,5	591,5	2284,0
1L1457	74,2	45,0	2275,5	1409,0	866,5	2307,0	898,0	2327,0
1M1718	74,6	38,0	2194,5	1366,0	828,5	2329,0	963,0	2349,0
1M1731	77,5	22,0	1669,0	989,5	679,5	1517,0	527,5	1526,5
1M1732	75,1	46,0	2103,0	1363,5	739,5	2242,5	879,0	2254,5
1M1752	73,4	50,0	2544,5	1420,5	1124,0	2254,5	826,0	2261,5
1M1757	73,5	55,0	2207,0	1170,0	1037,0	2177,0	1007,0	2195,0
1M1760	72,3	48,0	2399,0	1597,0	802,0	2341,5	744,5	2363,0
1M1764	75,1	24,5	1887,0	1156,0	731,0	1916,0	760,0	1929,5
1M1804	73,0	29,0	2484,5	1315,0	1169,5	2338,5	1023,5	2351,5
1M1807	74,3	22,5	2415,5	1588,0	827,5	2556,0	968,0	2570,5
1M1810	74,6	25,0	2382,5	1395,5	987,0	2354,5	959,0	2368,5
1M1819	85,4	79,0	1100,0	791,0	309,0	1019,0	228,0	1028,0
1M1824	79,1	33,0	1938,0	1289,0	649,0	1927,0	638,0	1936,0
1N1882	75,1	15,5	1959,5	1278,5	681,0	2227,5	949,0	2242,0
1N1884	75,1	16,0	2375,0	1442,5	932,5	2478,5	1036,0	2494,0
1N1886	75,1	49,0	2643,0	1637,0	1006,0	2337,0	700,0	2352,0
1N1900	76,4	36,0	2104,5	1399,0	705,5	2270,0	871,0	2296,5
1N1901	73,5	47,5	2139,0	1161,0	978,0	1758,5	597,5	1765,5
1N1915	75,8	22,5	2240,0	1446,0	794,0	2455,5	1009,5	2473,0
1N1925	78,6	29,5	1764,5	1040,0	724,5	1786,0	746,0	1799,0
1N1927	75,1	29,5	2235,5	1448,5	787,0	2337,0	888,5	2348,0
1N1932	74,2	27,0	2286,0	1315,5	970,5	2309,0	993,5	2326,5
1N1933	75,1	17,0	2163,5	1350,5	813,0	2306,0	955,5	2322,5
1N1958	79,9	33,5	1701,5	1042,0	659,5	1654,0	612,0	1663,5
1N1962	74,6	36,0	1935,5	1226,5	709,0	1929,0	702,5	1941,0
1N1966	72,2	33,0	2456,0	1366,5	1089,5	2254,0	887,5	2268,5
1N1975	72,6	40,5	2919,0	1166,5	1752,5	2183,0	1016,5	2195,5
2B587 PW	77,4	33,5	2328,5	1381,0	947,5	2400,0	1019,0	2419,0
2B707 PW	75,1	32,0	2031,5	1281,0	750,5	2199,5	918,5	2216,5
AG8088PRO	74,3	35,5	2015,0	1250,5	764,5	2057,0	806,5	2075,0
BRS 1055	65,6	32,5	2587,5	1838,0	749,5	2554,0	716,0	2390,0
DKB390PRO	73,0	41,0	2335,0	1266,0	1069,0	2359,5	1093,5	2373,0
Min.-Máx.	65,6 -85,4	15,5 -79,0	1100,0-2919	791,0 - 838,0-	309,0-1752,5	1019-2556,0	228,0-1093,5	1028,0-2570,5
CV	4,12	35,72	16,25	15,60	27,47	14,87	22,25	14,66

A temperatura inicial de pasta (T_{inicialP}) dos amidos isolados dos 36 híbridos, que indica o início do aumento de viscosidade da suspensão de amido, variou de 65,6 °C a 85,4 °C, com coeficiente de variação (CV) igual a 4,12%. A distribuição de frequência desses híbridos, em cinco classes de temperatura, mostrou que vinte e oito híbridos (77,7%) apresentaram comportamento semelhante, na classe central, com temperaturas variando de 72,5 °C a 77,5 °C. Dentre os demais híbridos, três se posicionaram nas classes com temperaturas abaixo de 72,5 °C e cinco, nas classes com temperaturas acima de 77,5 °C. Os dois híbridos que ocorreram na primeira e última classes apresentaram viscosidades iguais a 65,6 (cP) e 85,4(cP), sendo estes o BRS 1055 e o 1M1819, respectivamente na primeira classe da esquerda e na última da direita (**Figura 3**).

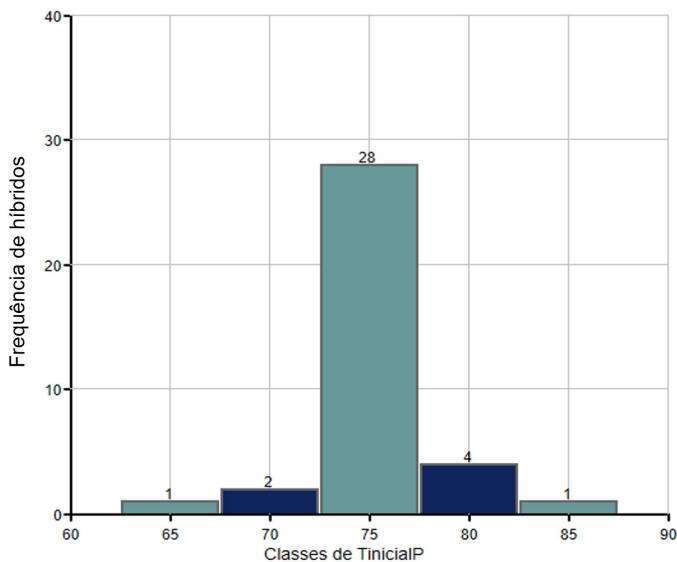


Figura 3. Histograma de frequências de híbridos experimentais e comerciais de milho, com base na média de temperatura inicial de pasta (°C). Sete Lagoas-MG, safra 2015/2016.

A viscosidade máxima a frio (VMaxFa) variou de 15,5 (cP) a 79,0(cP) com CV=35,72%. A distribuição de frequência dos 36 híbridos, em quatro classes de VMaxF, mostrou que na classe de maior frequência, 30 (cP) a 50 (cP), posicionaram-se 20 híbridos. A frequência na classe anterior, com intervalo de 10 (cP) a 30 (cP), foi de doze híbridos. Três híbridos apresentaram VMaxFa entre 50 (cP) e 70 (cP) e um híbrido 79 (cP), identificado como 1M1819 (**Figura 4**).

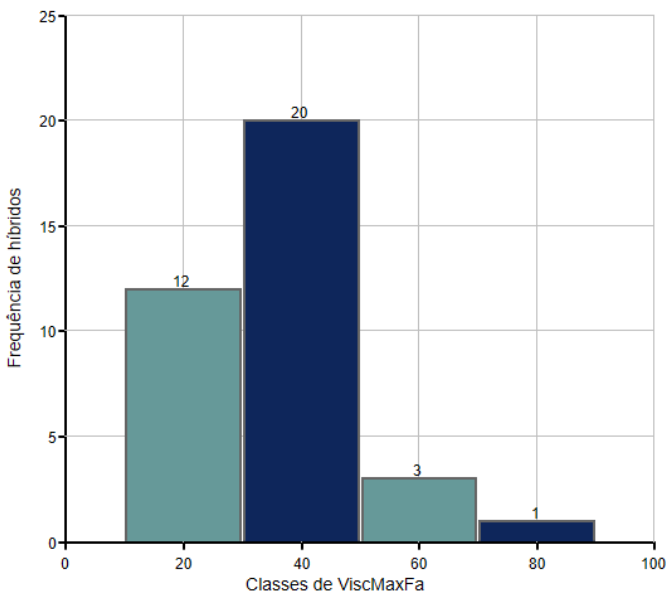


Figura 4. Histograma de frequências de híbridos experimentais e comerciais de milho, com base na média de viscosidade máxima a frio (cP). Sete Lagoas-MG, safra 2015/2016.

A viscosidade máxima (ViscMax) ou pico de viscosidade variou de 1100 (cP) a 2919 (cP), com $CV=16,25\%$. Os híbridos se distribuíram em cinco classes de VMax, sendo dezessete na classe 1750 (cP) a 2250 (cP) e treze na classe 2250 (cP) a 2750 (cP). Dentre os demais seis híbridos, quatro apresentaram VMax inferior a 1750 (cP) e dois VMax superior a 2750 (cP). O híbrido que ocorreu na primeira classe, identificado como IM1819, apresentou viscosidade igual a 1100 (cP). Na última classe ocorreram os híbridos IL1421 e IN1975 com viscosidades 2846 (cP) e 2919 (cP), respectivamente (**Figura 5**). A variável corresponde à perda da ordem cristalina com perda da birrefringência dos grânulos de amido por entumescimento e liberação de moléculas de amilose para o meio, alcançando a viscosidade máxima na temperatura de pico do ciclo de aquecimento. A suspensão viscosa consiste em dispersão de moléculas de amido dissolvidas e uma fase descontínua de grânulos não rompidos e fragmentos de grânulos rompidos (BeMiller, 2011).

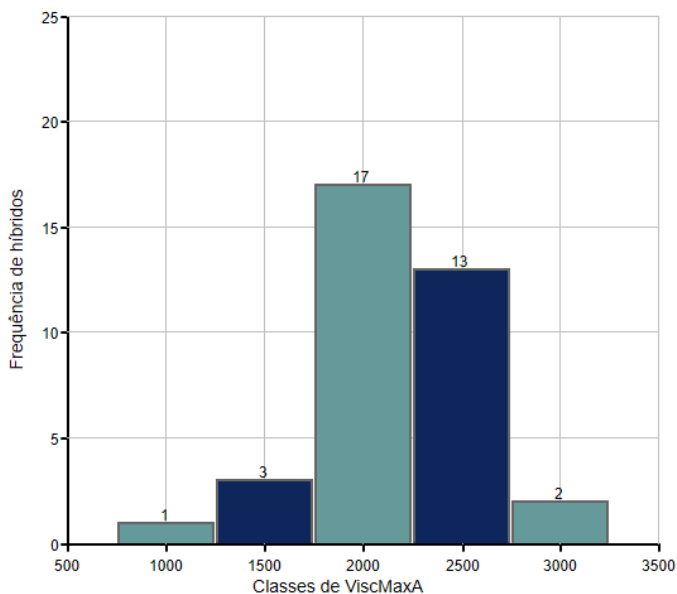


Figura 5. Histograma de classes por frequência com base na média de viscosidade máxima (cP) para híbridos experimentais e comerciais de milho avaliados em Sete Lagoas-MG, safra de 2015/2016.

A viscosidade mínima no ciclo de aquecimento (VMin), alcançada quando os grânulos de amido são rompidos e ocorre alinhamento das moléculas de amilose durante manutenção de temperatura e aplicação de constante agitação à pasta, variou de 791(cP) a 1289,0 (cP), com CV=15,60%. A distribuição dos híbridos em seis classes de VMin mostrou maior frequência de híbridos nas duas classes centrais, sendo 14 no intervalo de 1300 (cP) a 1500 (cP), e 12 no intervalo de 1100 (cP) a 1300 (cP). As frequências nas classes anterior e posterior às classes centrais foram de quatro híbridos. As classes extremas apresentaram frequências de apenas um híbrido. Na primeira e última classes ocorreram os híbridos IM1819 e BRS 1055, com viscosidades iguais a 791 (cP) e 1838 (cP), respectivamente (**Figura 6**).

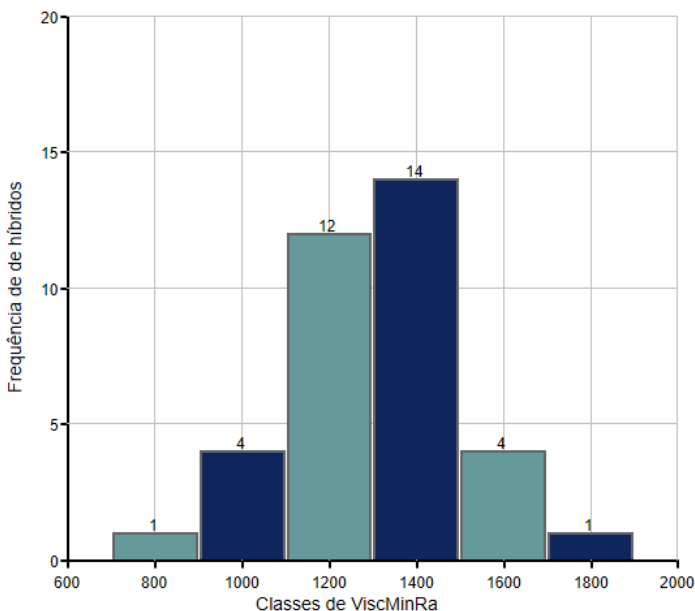


Figura 6. Histograma de frequência de híbridos experimentais e comerciais de milho, com base na média de viscosidade mínima no ciclo de aquecimento (cP). Sete Lagoas-MG, safra 2015/2016.

Os híbridos se posicionaram em três classes para a variável quebra (*breakdown* – BreakD) (diferença entre viscosidade máxima e a viscosidade mínima da pasta). As duas primeiras classes apresentaram-se com 35 híbridos, 13 na classe de intervalo 250 a 750, e 22 na classe de intervalo 750 a 1250. Um híbrido, identificado como IN1975, ocorreu na terceira classe, com viscosidade igual a 1752,5 (**Figura 7**). Viscosidade de quebra indica a estabilidade da pasta associada à capacidade de absorção de água dos grânulos e resistência à agitação aplicada da pasta de amido durante o aquecimento. Menor viscosidade de quebra está associada a menor hidratação e resistência ao cisalhamento (Corke et al., 1997).

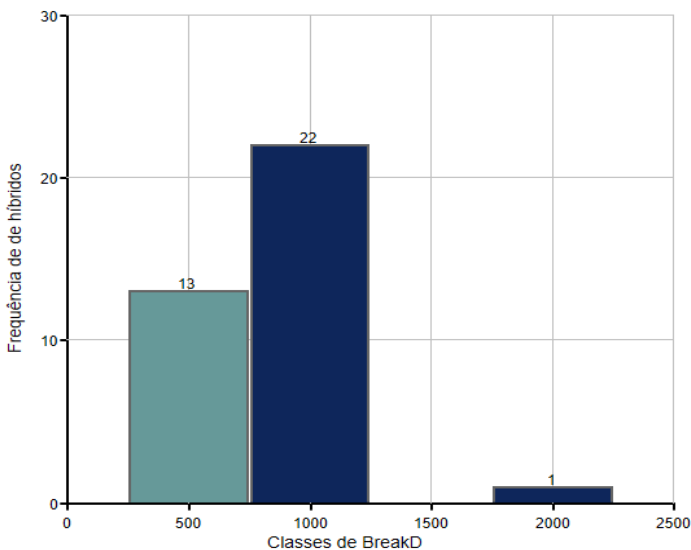


Figura 7. Histograma de frequência com base na média de viscosidade de quebra (*breakdown*) para híbridos experimentais e comerciais de milho avaliados em Sete Lagoas-MG, safra 2015/2016.

A grande maioria dos híbridos apresentou altos valores para a variável viscosidade máxima no resfriamento. Foram 32 híbridos com viscosidade acima de 1750 (cP). Ocorreu apenas um híbrido, identificado como IM1819, na primeira classe, com viscosidade igual a 1019 (cP) (**Figura 8**).

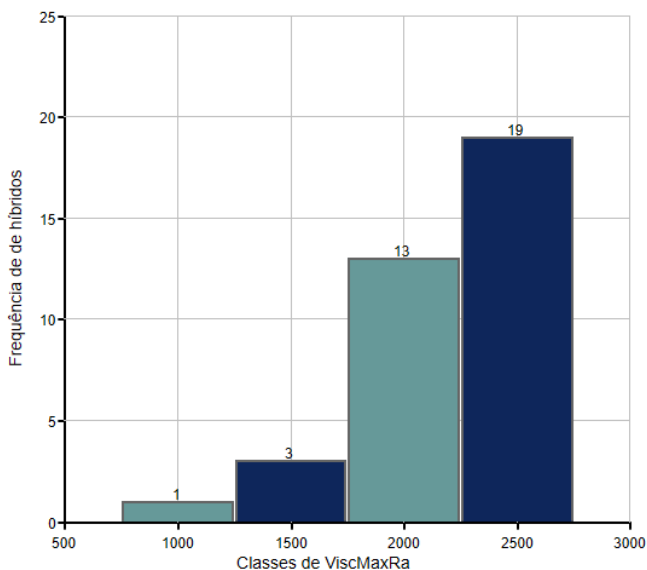


Figura 8. Histograma de frequência com base na viscosidade máxima no resfriamento (cP) de amidos extraídos de híbridos experimentais e comerciais de milho avaliados em Sete Lagoas-MG, safra 2015/2016.

Padrão semelhante foi observado para as variáveis retrogradação (*setback*) (**Figura 9**) e viscosidade final (**Figura 10**). Em ambos os casos houve uma concentração de grande número de híbridos nas duas últimas classes. No caso da viscosidade de retrogradação, vinte e nove híbridos apresentaram valores acima de 700 (cP), nas duas últimas classes, seis nas classes de intervalo 500 (cP) a 700 (cP) e um, identificado como IM1819, com valor igual 228 (cP). Para a viscosidade final de pasta, a frequência nas duas últimas classes foi de trinta e dois híbridos. Na segunda classe, intervalo de 1250 (cP) a 1750 (cP), posicionaram-se três híbridos, e na primeira classe um híbrido, identificado como IM1819, com viscosidade igual a 1028 (cP).

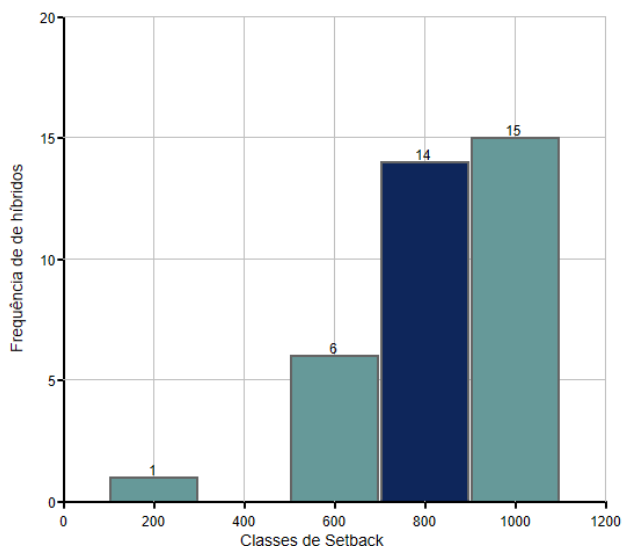


Figura 9. Histograma de classes com base na média de viscosidade de retrogradação para amido de híbridos experimentais e comerciais de milho avaliados em Sete Lagoas-MG, safra 2015/2016.

A viscosidade de retrogradação é de grande importância, uma vez que a reassociação molecular da amilose, conhecida também como fenômeno de retrogradação, durante o ciclo de resfriamento, causa mudança na viscosidade da pasta e pode ser usada como indicador da taxa de retrogradação, assim, quanto maior o valor de *setback*, maior a taxa de retrogradação. Dependendo da concentração da amilose e amilopectina no amido poderá haver formação de gel após resfriamento. Maior concentração de amilose no amido, como nos genótipos de milhos *amylose extender*, geralmente forma com a água, após cozimento, um gel firme com grande capacidade de retrogradar, assim com maior valor de *setback*. De forma contrária, amidos com maiores percentuais de amilopectina, como nos milhos cerosos, a pasta resfriada apresenta gelificação lenta ou inexistente, precipitação lenta, textura gomosa e coesiva com baixo valor de viscosidade de retrogradação (Bragante, 2009). Diferenças na viscosidade final da pasta do amido se relacionam à aplicação, especialmente à propriedade de firmeza do gel formado, destacando-se como importante propriedade em um produto final armazenado.

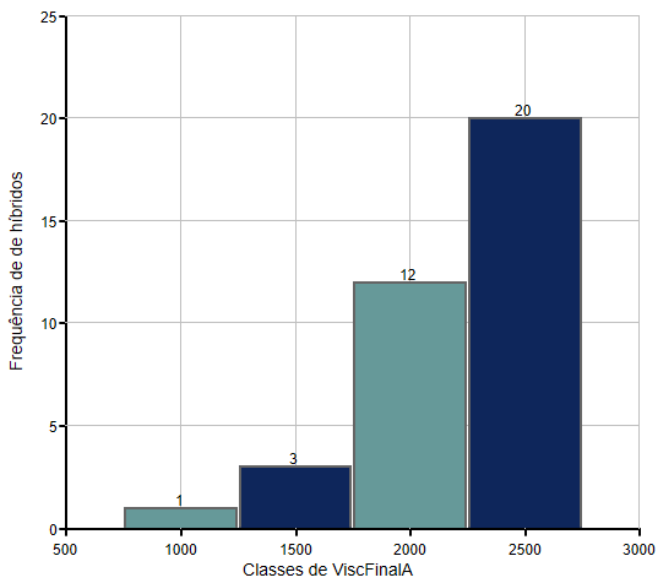


Figura 10. Histograma de classes com base na média de viscosidade final da pasta de híbridos experimentais e comerciais de milho avaliados em Sete Lagoas-MG, safra 2015/2016.

Vinte híbridos apresentaram amido com comportamento referenciado semelhante de ponto médio do intervalo para viscosidade final de 2500(cP) e doze de 2000(cP).

No dendrograma na **Figura 11** são apresentados os agrupamentos dos híbridos com base no algoritmo UPGMA (ligação média entre grupo). A correlação entre as matrizes de distância e a de agrupamento (correlação cofenética) foi igual a 0,87, mostrando assim a adequação do método de agrupamento utilizado. Houve formação de cinco grupos distintos, considerando o conjunto das variáveis do perfil viscoamilográfico dos amidos isolados dos híbridos de milho, sendo três grupos formados por apenas um híbrido. O primeiro do híbrido experimental 16 (1M1819), o segundo do híbrido 31 (1N1975), o terceiro do híbrido 35 (BRS 1055). O quarto grupo constituído de vinte e quatro híbridos, e o quinto com nove diferentes híbridos.

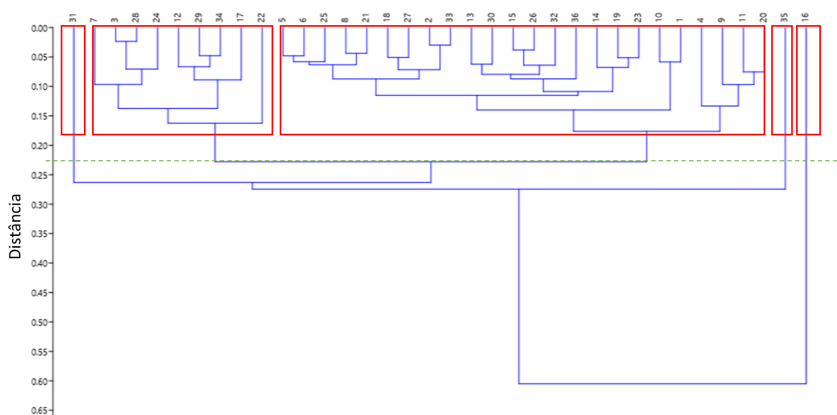


Figura 11. Dendrograma apresentando os grupos definidos com base na distância de Gower entre híbridos experimentais de milho.

Destaca-se o híbrido experimental IM1819, com média para temperatura inicial de pasta de 85,4 °C, viscosidade máxima a frio de 79 (cP), viscosidade máxima de 1100 (cP), esse correspondendo ao valor mínimo do intervalo para esta variável, assim como para viscosidade mínima de aquecimento, viscosidade de quebra, viscosidade máxima no resfriamento e viscosidade de retrogradação, sendo para estas variáveis as médias de 791 (cP), 309 (cP); 1019 (cP), 228 (cP) e 1028 (cP), respectivamente. Também o híbrido de milho BRS1055, cuja média para viscosidade do resfriamento do amido foi o valor máximo do intervalo registrado para a variável (1838,0 (cP)).

Verifica-se, portanto, um maior número de híbridos de milho (n=24) com similaridade quanto ao perfil viscoamilográfico do amido, porém há evidência de dissimilaridade para as características de importância tecnológica avaliadas para o grupo de híbridos.

Conclusão

Híbridos de milho apresentam diversidade para perfil viscoamilográfico de amido, demonstrando a relevância da caracterização de genótipos desenvolvidos ou em desenvolvimento quanto às propriedades reológicas deste biopolímero, especialmente com foco em uso industrial.

Referências

BALET, S.; GUELPA, A.; FOX, G.; MANLEY, M. Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physiochemical properties in cereals: a review. **Food Analytical Methods**, v. 12, p. 2344-2360, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>.

BEMILLER, J. N. Pasting, paste, and gel properties of starch hydrocolloid combinations. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 2, p. 386-423, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.05.064>.

BRAGANTE, A. G. **Processo de gelificação em alimentos**. 2009. Disponível em: <http://abgtecalim.yolasite.com/resources/Processo%20de%20Gelifica%C3%A7%C3%A3o%20em%20Alimentos.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2021.

CORKE, H.; WU, H.; YUE, S.; SUN, H. Developing specialty starches from new crops: a case study using grain amaranth. In: CAMPBELL, G. M.; WEBB, C.; MCKEE, S. L. (ed.). **Cereals: novel uses and processes**. New York: Plenum Press, 1997. p. 95-100.

COZZOLINO, D. The use of the rapid visco analyser (RVA) in breeding and selection of cereals. **Journal of Cereal Science**, v. 70, p. 282-290, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.07.003>.

CROSBIE, G. B.; ROSS, A. S. **The RVA handbook**. St. Paul: AACC International, 2007.

FREITAS, R. A.; GORIN, P. A. J.; NEVES, J.; SIERAKOWSKI, A. R. A rheological description of mixtures of a galactoxyloglucan with high amylose and waxy corn starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 51, n. 1, p. 25-32, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00095-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00095-4).

GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, v. 27, n. 4, p. 857-874, 1971. DOI: <https://doi.org/10.2307/2528823>.

GUELPA, A.; BEVILACQUA, M.; MARINI, F.; O'KENNEDY, K.; GELADI, P.; MANLEY, M. Application of Rapid Visco Analyser (RVA) viscograms and chemometrics for maize hardness characterization. **Food Chemistry**, v. 173, p. 1220-1227, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.149>.

JANE, J.; CHEN, J. F. Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 1, p. 60-65, 1992.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. cap. 2, p. 47-61.

PAES, M. C. D. Manipulação da composição química do milho na indústria e na saúde humana. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 2.; SIMPÓSIO SOBRE COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA, 1., 2006, Belo Horizonte. **Inovação para sistemas integrados de produção: trabalhos apresentados**. [Sete Lagoas]: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2006. 1 CD-ROM.

PAES, M. C. D.; SANT'ANA, R. de C. O.; VOLPI, B. D. Características físicas e químicas do grão de milho. In: BORÉM, A.; RIOS, S. de A. (org.). **Milho biofortificado**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. cap. 3, p. 45-86.

PAES, M. C. D.; BARBOSA, N. A. **Metodologia de determinação da extratibilidade e isolamento de amido de grãos de milho por via úmida em escala laboratorial**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 9 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 238).

RAGAE, S.; ABDEL-AAL, E. S. M. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v. 95, n. 1, p. 9-18, 2006.

VÁZQUEZ-CARRILLO, M. G.; SANTIAGO-RAMOS, D. The RVA as a rapid tool to screen maize genotypes for the tortilla-making process in a breeding program. **Journal of Cereal Science**, v. 86, p. 22-25, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2018.12.021>.

ZOEBEL, H. F.; STEPHEN, A. M. Starch: structure, analysis and application. In: STEPHEN, A. M. (ed.). **Food polysaccharides and their application**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 19-66.

Embrapa

Milho e Sorgo



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL