

Teor e caracterização do amido de genótipos de mandioca em diferentes idades de colheita



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Ministério da Agricultura e Pecuária**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
148**

**Teor e Caracterização do Amido de Genótipos
de Mandioca em Diferentes Idades de Colheita**

*Luciana Alves de Oliveira
Vanderlei da Silva Santos
Carlos Wanderlei Piler de Carvalho
Fabiana Fumi Cerqueira Sasaki
Ronielli Cardoso Reis
Jaciene Lopes de Jesus Assis
Maurício Antonio Coelho Filho*

**Embrapa Mandioca e Fruticultura
Cruz das Almas, BA
2023**

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Rua Embrapa, s/nº, Caixa Postal 07
44380-000, Cruz das Almas, Bahia
Fone: 75 3312-8048
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac.

Comitê Local de Publicações

Presidente

Eduardo Chumbinho de Andrade

Secretário-Executivo

Maria da Conceição Pereira da Silva

Membros

*Ana Lúcia Borges, Áurea Apolinário de
Albuquerque Gerum, Cinara Fernanda Garcia
Morales, Harllen Sandro Alves Silva, Herminio
Souza Rocha, Jailson Lopes Cruz, Paulo
Ernesto Meissner Filho, Tatiana Góes Junghans*

Supervisão editorial

Eduardo Chumbinho de Andrade

Revisão de texto

Michelle Espíndola Batista

Normalização bibliográfica

Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro Perrone

Tratamento das ilustrações

Anapaula Rosário Lopes

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Anapaula Rosário Lopes

Foto da capa

*Luciana Alves de Oliveira***1ª edição**

Publicação digital (2023): PDF

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)

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Teor e caracterização do amido de genótipos de mandioca em diferentes idades
de colheita / Luciana Alves de Oliveira... [et. al.]. – Cruz das Almas, BA:
Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2023.

PDF (38 p.) : il. color. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa
Mandioca e Fruticultura, ISSN 1809-5003 ; 148).

1. Mandioca. 2. Melhoramento vegetal. 3. Amilose. 4. viscosidade. I. Oliveira,
Luciana Alves de. II. Santos, Vanderlei da Silva. III. Carvalho, Carlos Wanderlei
Piler de. IV. Sasaki, Fabiana Fumi Cerqueira. V. Reis, Ronielli Cardoso. VI. Assis,
Jaciene Lopes de Jesus. VII. Coelho Filho, Maurício Antonio. VIII. Título. IX. Série.

CDD 633.682

Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro Perrone (CRB5 – 11/61) ©Embrapa 2023

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	15
Conclusões.....	32
Agradecimentos.....	33
Referências	33

Teor e caracterização do amido de genótipos de mandioca em diferentes idades de colheita

Luciana Alves de Oliveira¹

Vanderlei da Silva Santos²

Carlos Wanderlei Piler de Carvalho³

Fabiana Fumi Cerqueira Sasaki⁴

Ronielli Cardoso Reis⁵

Jaciene Lopes de Jesus Assis⁶

Maurício Antonio Coelho Filho⁷

Resumo – O amido de mandioca é utilizado diretamente no consumo humano para ração animal e como matéria-prima para uma ampla gama de produtos industriais. O conhecimento básico das características do amido é necessário para identificar potenciais aplicações, melhorar sua qualidade e promover o aumento da produção de amido de mandioca. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi investigar o teor e as características do amido de variedades e híbridos de mandioca em diferentes idades de colheita. Oito genótipos de mandioca (BRS Aipim Brasil, BRS Dourada, Eucalipto, Saracura, 2009 02-13, 2009 02-16, 2009 05-09 e 2009 12-20) foram colhidos aos nove, 12 e 15 meses após o plantio. O amido foi extraído das raízes e determinado o teor de amilose/amilopectina, distribuição do tamanho dos grânulos e viscosidade

¹ Engenheira Química, doutora em Engenharia Química, pesquisadora da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

³ Engenheiro-agrônomo, Doutor em Ciência dos Alimentos, pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

⁴ Engenheira-agrônoma, doutora em Fisiologia e Bioquímica de Plantas, pesquisadora da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

⁵ Engenheira de Alimentos, doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

⁶ Engenheira de Alimentos, mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, analista da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

⁷ Agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

de pasta, bem como o teor do amido total nas raízes frescas. A interação genótipo x idade de colheita foi significativa para teor de amido, de amilose, para o tamanho do grânulo e propriedade de pasta. O teor de amido variou de 18,4% a 39,0%, com maior teor observado no 15º mês para a Saracura. A distribuição do tamanho dos grânulos foi semelhante à distribuição normal, com o valor médio entre 10,31 μm e 21,67 μm . No 2009 09-05 e na Eucalipto foi observado o maior teor de amilose. O amido da Eucalipto apresentou formação de pasta à temperatura mais alta, já o amido da variedade Saracura mostrou o maior poder de intumescimento, sendo mais indicado para uso como agente espessante e de ligação tanto para aplicações alimentícias ou não. O 2009 02-16 se mostrou com menor tendência a retrogradação, desejável como agente gelificante em produtos alimentícios refrigerados e congelados in natura ou semiprocessados. O presente trabalho mostra que assim como o genótipo, a maturidade também afeta o teor de amido, de amilose e as propriedades de pasta dos genótipos de mandioca. Esses resultados são úteis para a aplicação do amido na indústria e para programas de melhoramento, de forma a elevar a qualidade do amido de mandioca, bem como promover o aumento de produção e de valor comercial.

Termos para indexação: *Manihot esculenta* Cranz, teor de amilose, tamanho do grânulo, propriedades de pasta, analisador rápido de viscosidade (RVA).

Starch content and characterization of cassava genotypes at different harvest ages

Abstract – Cassava starch is used directly for human consumption, for animal feed and as raw material for a wide range of industrial products. The basic knowledge of starch characteristics is necessary to identify potential applications, improve its quality and thereby promote increased production of cassava starch. In this regard, the objective of this work was to investigate the content and the characteristics of starch from cassava varieties and hybrids at different ages. Eight cassava genotypes (BRS Aipim Brasil, BRS Dourada, Eucalyptus, Saracura, 2009 02-13, 2009 02-16, 2009 05-09 and 2009 12-20) were harvested at nine, 12 and 15 months after planting. Starch was extracted from the roots and the amylose/amylopectin content, granule size distribution and paste viscosity, as well as the total starch content in the fresh roots were determined. The genotype x harvest age interaction was significant for starch and amylose content, granule size, peak viscosity, final viscosity, peak time, pasting temperature, setback, trough and breakdown. Starch content ranged from 18.4-39.0% with the highest yield recorded in the 15th month for the Saracura. The granule size distribution was described by normal distribution, with the mean value between 10.31 μm to 21.67 μm . The hybrid 2009 09-05 and Eucalipto presented the highest amylose content. The starch from Eucalipto presented paste formation at the highest temperature, while the starch from Saracura variety presented the highest swelling power, being more suitable for use as a thickening and binding agent for both food and non-food applications. The 2009 02-16 showed less tendency to setback, desirable as a gelling agent in refrigerated and frozen food products in natura or semi-processed. The present work shows that as well as genotype, maturity also affects the starch and amylose contents, and pasting properties of the cassava genotypes. These results are useful for application of starch in the industry and for breeding programs to improve the cassava starch quality, as well as promote an increase in production and commercial value.

Index terms: *Manihot esculenta* Cranz, amylose content, granule size, pasting properties, rapid visco analyzer (RVA).

Introdução

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um arbusto da família Euphorbiaceae, com raízes tuberosas (Zhu, 2015). Essa cultura é tolerante à seca e a condições climáticas adversas, produtiva em solos com baixos teores de nutrientes e condições de chuvas irregulares (Oliveira et al., 2015). A mandioca é amplamente cultivada nas regiões tropicais e subtropicais da África, da América Latina e da Ásia, sendo a quarta fonte de calorias mais importante, depois do arroz, do milho e do trigo, fornecendo energia para mais de 800 milhões de pessoas (Zhu, 2015; Gourilekshmi et al., 2021; Tappiban et al., 2019).

O maior produtor de mandioca em 2021 foi a Nigéria, seguida pela República Democrática do Congo, Tailândia, Gana, Indonésia e Brasil (FAO, 2021). Em 2021, o Brasil produziu 18.098.115 toneladas de raiz e o estado do Pará liderou a produção com 4.053.932 toneladas, seguido pelos estados do Paraná (3.404.917 t), São Paulo (1.456.284 t) e Mato Grosso do Sul (997.672 t) (IBGE, 2021).

A raiz de mandioca apresenta alto valor energético por possuir elevado teor de carboidratos, principalmente amido (He et al., 2020; Gourilekshmi et al., 2021). De acordo com a Tabela (2011), a raiz de mandioca apresenta 61,8% de umidade, 1,1% de proteínas, 0,3% de lipídeos, 36,2% de carboidrato, 1,9% de fibra alimentar, 0,6% de cinza por 100 g de raiz crua.

O amido desempenha um papel importante no desenvolvimento de produtos alimentícios como agente espessante, estabilizante e de textura e é amplamente utilizado na indústria de alimentos para melhorar a qualidade dos produtos, reduzir custos e facilitar o processamento (Pourmohammadi et al., 2018). Ele também é utilizado nas indústrias têxtil, de madeira compensada, papel e papelão, produtos farmacêuticos, petróleo, cerveja, adesivos, produção de bioetanol e indústrias químicas (Fernandes et al., 2019; Williams et al., 2019; Gourilekshmi et al., 2021). Para a fabricação de xarope de glicose, por exemplo, o amido deve ser o mais puro possível, sendo o amido de mandioca adequado para esse fim, uma vez que apresenta baixo teor de proteínas, de lipídeos e de fósforo nas raízes (Williams et al., 2019; Toae et al., 2019).

O amido é um biopolímero composto de unidades de glicose com diferentes estruturas repetidas: a amilose e a amilopectina. A amilose é

predominantemente composta por longas cadeias lineares de ligações glicosídicas α -1,4, algumas com baixa ramificação α -1,6. A amilopectina é extensivamente ramificada e tem comparativamente cadeias curtas, que consiste em ligações glicosídicas α -1,4 e α -1,6, com 4-5% de pontos de ramificação α -1,6. Como principal componente, a amilopectina é responsável pela estrutura cristalina do grânulo de amido (Bertof, 2017; Tappiban et al., 2019).

As propriedades físico-químicas dos amidos determinam sua adequação para determinados usos finais, com uma relação entre a estrutura molecular do amido e suas propriedades funcionais (Fernandes et al., 2019).

As propriedades de pasta são características da suspensão de amido quando avaliada durante o ciclo de aquecimento e resfriamento com força de cisalhamento constante. Tais propriedades podem ser medidas usando um analisador rápido de viscosidade (RVA) ou um visco-amilógrafo Brabender (Tappiban et al., 2020a), e dependem dos teores de amilose e de lipídios, do comprimento das ramificações da amilopectina, da variedade de mandioca e do ambiente de cultivo (Shafie et al., 2016). O empastamento ou formação de pasta é definido como o fenômeno de gelatinização, que envolve inchamento dos grânulos de amido, lixiviação dos componentes moleculares, particularmente amilose e, eventualmente, o rompimento total dos grânulos de amido (Shafie et al., 2016).

Apesar da diversidade oferecida pelos amidos nativos de diferentes culturas, eles não satisfazem todas as demandas das diversas indústrias, sendo necessárias modificações químicas, físicas ou enzimáticas. No entanto, essas modificações são muitas vezes prejudiciais ao meio ambiente e incorrem em custos adicionais, e há uma preferência crescente dos consumidores por produtos naturais não modificados (Sánchez et al., 2010; Santos et al.; 2022). O mercado de amido está em constante evolução e competição crescentes, portanto, o fator de diferenciação para a indústria do amido envolve a criação de novos produtos e/ou a produção de produtos com características aprimoradas. Dessa forma, é cada vez maior o interesse na busca por amidos nativos com propriedades que atendam às diferentes demandas do consumidor (Fernandes et al., 2019).

O amido de mandioca possui características como pasta de baixa viscosidade e clareza e menor tendência à retrogradação do que os amidos

de cereais, além de sabor e aromas suaves, características aplicáveis como espessantes e estabilizadores em molhos, por exemplo (Sánchez et al., 2010; HE et al., 2020; Jobling, 2004).

As formas dos grânulos do amido de mandioca são geralmente redondas ou ovais, com superfícies planas em um lado (extremidade truncada) e com tamanhos que variam de 2 μm a 32 μm , sendo a maioria entre 7 μm e 20 μm (Zhu, 2015). O conteúdo de amilose varia de 15,2% a 26,5% dependendo da variedade, da idade de colheita e das condições edafoclimáticas (Sánchez et al., 2009; Tappiban et al., 2019; Toae et al., 2019).

Este trabalho teve como objetivo caracterizar amidos extraídos de genótipos de mandioca e de híbridos, colhidos em diferentes idades, quanto aos teores de amilose, à distribuição do tamanho do grânulo e à obtenção dos perfis de viscosidade, visando a identificar amidos com propriedades diferenciadas.

Material e Métodos

Genótipos avaliados e condições de cultivo

As variedades e os híbridos de mandioca foram cultivados no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas, Bahia, que apresenta altitude de 199 m, 12°67' de latitude sul e 39°15' de longitude oeste, de junho de 2016 a agosto de 2017. O clima da região é designado como tropical quente e úmido, Aw a Am, de acordo com a classificação de Köppen. No período do estudo, a temperatura média foi de 23,7 °C, a umidade relativa média foi de 82,1% e a precipitação foi de 1.305,2 mm (Agritempo, 2020). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso Argissólico (Santos et al., 2018).

As precipitações e as temperaturas foram registradas durante a condução do experimento e estão representadas na Figura 1.

A aplicação do fósforo foi realizada no sulco, no momento do plantio, aplicando-se 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sob a forma de superfosfato simples. O nitrogênio (30 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio) e o potássio (40 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio) foram aplicados aos 43 dias

após o plantio, de acordo com a análise de solo e seguindo as recomendações de Gomes e Silva (2006).

Foram avaliadas quatro variedades de mandioca de mesa (BRS Aipim Brasil, BRS Dourada, Eucalpto e Saracura) e quatro híbridos desenvolvidos pela Embrapa Mandioca Fruticultura (2009 02-13, 2009 02-16, 2009 09-05 e 2009 12-20) colhidos aos nove, 12 e 15 meses de idade. Os genótipos avaliados foram selecionados em estudo anterior para avaliar o cozimento (Silva et al., 2022).

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados com três blocos e 25 plantas por parcela, no esquema fatorial 8 (genótipos) x 3 (idades das raízes).

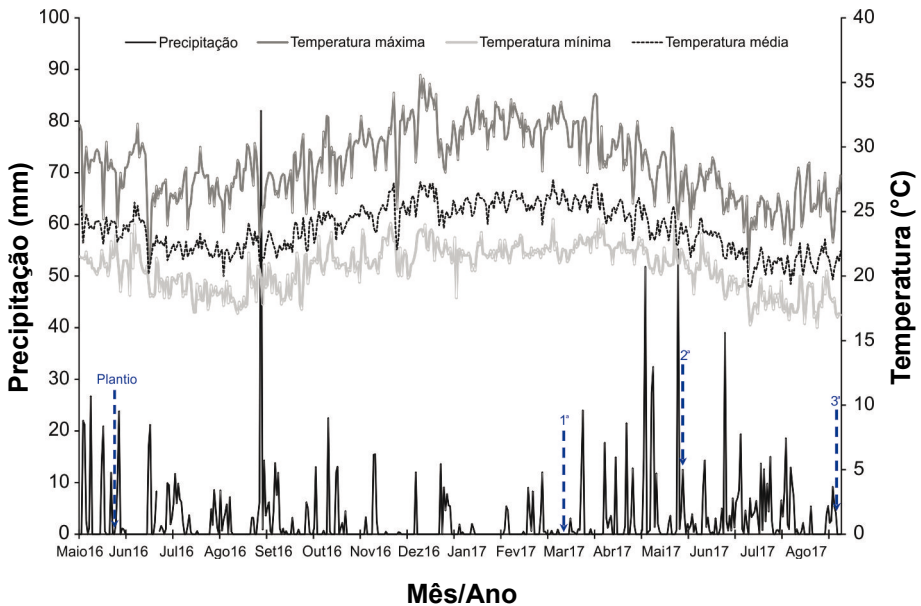


Figura 1. Precipitação e temperatura máxima, mínima e média em Cruz das Almas, Bahia, durante a condução do experimento. O plantio e as três colheitas realizadas estão marcados com setas azuis.

Teor de amido

A amostragem foi realizada conforme a metodologia padronizada e descrita por Rodriguez-Amaya e Kimura (2004). As raízes in natura foram cortadas em cilindros, quarteadas, os lados opostos triturados em processador de alimentos e homogeneizados.

A análise do teor de amido total foi realizada segundo a metodologia descrita por Holm e Bjorck (1986) na amostra seca, sendo o amido hidrolisado pela ação das enzimas α -amilase e amiloglicosidase e o conteúdo de glicose formado quantificado por espectrofotometria, segundo a metodologia de Somogyi (1945) e Nelson (1944).

Extração do amido

A extração do amido foi realizada conforme descrito por Campanha (2010), com algumas modificações. Os lados opostos das raízes quarteadas de cada clone in natura, não utilizados na etapa anterior, foram cortados e triturados com água em liquidificador com hélice não cortante na proporção de 1:1 (500 g de mandioca picada para 500 mL de água gelada) durante 1 min. Em seguida, a massa obtida foi filtrada com auxílio do tecido *voil* e peneira de 106 μ m. O liquidificador e a massa triturada de mandioca retida no *voil* foram lavadas com 3,5 litros de água gelada para extração do amido residual da massa triturada. A suspensão do amido foi recolhida em recipiente plástico e mantida em câmara fria a 4 °C durante 12 h, para decantação do amido. Após esse tempo, o sobrenadante foi descartado e o amido depositado em recipiente plástico e lavado com aproximadamente 20 mL de álcool etílico PA. Em seguida, as amostras foram levadas para serem secas em estufa com ventilação de ar forçado a 40 °C. O amido seco foi suavemente macerado com auxílio de grau e pistilo e armazenados em potes plásticos para posterior realização das análises.

Relação amilose/amilopectina

Para determinar a relação amilose/amilopectina utilizou-se o método colorimétrico do iodo (International, 1987). Os grânulos de amido foram dispersos com 1 mL de etanol 95% e gelatinizados em 9 mL de solução de

hidróxido de sódio 1 N. Uma alíquota foi acidificada e, após a reação com o iodo, o complexo de coloração azul formado pela reação entre a amilose e o iodo foi quantificado por espectrofotometria a 620 nm. A curva-padrão foi elaborada com soluções diluídas e seriadas de amilose padrão (CAS: 9005-62-7, Sigma-Aldrich, St Louis, EUA) e de amilopectina (amido ceroso extraído da raiz de mandioca com 0% de amilose doado pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, Cali, Colômbia). A concentração de amilose mais amilopectina é igual a 100%. Os resultados foram expressos em porcentagem.

Distribuição do tamanho do grânulo do amido

A análise da distribuição granulométrica das partículas foi realizada em triplicata em uma unidade de dispersão de líquidos do leitor de partículas a laser, utilizando o princípio da difração a laser em um analisador de tamanho de partícula S3500 (Microtrac, Montgomeryville, EUA), produzindo três feixes de laser no comprimento de onda de 780 nm. As frações granulométricas foram adicionadas lentamente sobre água destilada, em constante agitação, até alcançarem cerca de 7% de obscuridade do feixe de laser, para início da leitura.

Viscosidade de pasta

O perfil de viscosidade do amido foi avaliado em um analisador rápido de viscosidade (RVA), série S4A (RVA 4500), da Newport Scientific, utilizando a programação Padrão 1 do software Thermocline for Windows, versão 3.0 (Newport Scientific, Warriewood, Austrália), de acordo com o método 76-27.01 da AACC (1999). Uma amostra de aproximadamente 2,5 g foi suspensa em água destilada ajustando-se o material para 9% p/p de umidade, misturada em recipiente de alumínio e submetida ao teste.

A amostra foi aquecida a 50 °C e agitada a 960 rpm por 10 s para dispersão completa e mantida a 160 rpm até o final. O teste foi iniciado a 50 °C, permanecendo nessa temperatura por 1 min, com elevação para 95 °C durante 3,7 min. A temperatura foi mantida a 95 °C por 2,5 min e, então, ocorreu o resfriamento por um período de 3,7 min até 50 °C, mantendo-se essa temperatura por 2 min.

Avaliou-se o perfil de cozimento das pastas pela observação da temperatura inicial de empastamento, viscosidade máxima (pico), tempo para atingir a viscosidade máxima, viscosidade mínima, viscosidade de quebra (diferença entre viscosidade máxima e viscosidade mínima), viscosidade final e *setback* ou tendência à retrogradação (diferença entre viscosidade final a 50 °C e viscosidade mínima), conforme ilustrado na Figura 2.

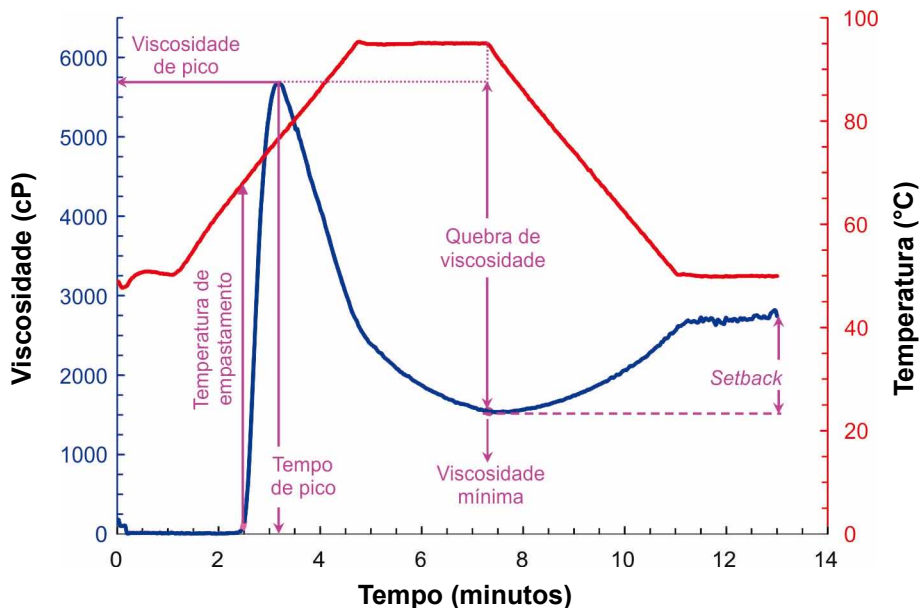


Figura 2. Perfil de viscosidade característico da pasta do amido de mandioca.

Análise Estatística

Os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância, as médias dos genótipos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e as médias das épocas de colheita comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2010).

Resultados e Discussão

Neste estudo, o teor de amido variou de 18,45% a 38,97% e a idade de colheita afetou o teor de amido, observando-se um decréscimo para as variedades Eucalipto, Saracura, BRS Dourada e os híbridos 2009 02-16, 2009 12-20, quando as raízes foram colhidas aos 12 meses (Tabela 1). As raízes da variedade Saracura apresentaram os maiores teores de amido quando colhidas aos 15 meses, seguida das variedades Eucalipto e BRS Aipim Brasil e dos híbridos 2009 12-20 e 2009 02-13, respectivamente. Oliveira et al. (2005) observaram grande variação do teor de amido ao avaliar 26 variedades de mandioca, ocorrendo raízes com teores de 10% até 33,09%, sendo alguns genótipos com teores menores do que os do presente estudo.

Tabela 1. Teor de amido nas raízes frescas de oito genótipos de mandioca aos nove, 12 e 15 meses após o plantio.

Genótipo	Amido (%)		
	9 meses	12 meses	15 meses
2009 02-13	26,06 ^{bB}	23,68 ^{bB}	30,09 ^{cA}
2009 02-16	23,51 ^{bA}	18,45 ^{dB}	26,24 ^{dA}
2009 09-05	26,23 ^{bA}	24,70 ^{bA}	26,36 ^{dA}
2009 12-20	26,38 ^{bB}	21,94 ^{cC}	31,41 ^{cA}
BRS Aipim Brasil	23,47 ^{bB}	22,96 ^{cB}	33,15 ^{bA}
BRS Dourada	24,84 ^{bA}	20,72 ^{cB}	27,63 ^{dA}
Eucalipto	33,17 ^{aA}	27,54 ^{aB}	35,03 ^{bA}
Saracura	31,21 ^{aB}	26,95 ^{aC}	38,97 ^{aA}
Média		27,11	
CV (%)		7,00	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas pertencem estatisticamente ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV- coeficiente de variação experimental.

O mesmo comportamento foi observado por Teixeira et al. (2017), que avaliaram o teor de amido de 19 variedades de mandioca de mesa colhidas aos 12 meses, em Vitória da Conquista, Bahia, incluindo a BRS Dourada (15,64%), Eucalipto (20,63%) e Saracura (24,50%). Schmitz et al. (2017), ao estudarem dez genótipos aos 12 meses em Pindorama-SP, também observaram grande variação dos teores de amido (17,28% a 35,37%).

Segundo Siroth et al. (1999), a quantidade de chuva ocorrida nas quatro semanas anteriores à colheita influencia no teor de amido das raízes. Os autores avaliaram quatro cultivares dos seis aos 16 meses de idade e observaram que o teor de amido foi menor no décimo mês para as quatro variedades avaliadas, devido a fortes chuvas nas quatro semanas anteriores. No presente estudo, as colheitas realizadas aos nove (41,0 mm) e 15 meses (69,2 mm) apresentaram quantidade de chuvas nos 30 dias que antecederam a colheita menor do que aos 12 meses (221,3 mm) (Figura 1), o que pode explicar a redução do teor de amido observada para as raízes de cinco genótipos dos nove para os 12 meses. A produção de amido é conhecida por ser afetada significativamente pela idade da planta de mandioca (Williams et al., 2019). Fernandes et al. (2019) estudaram a variedade IAC 14 colhida dos três aos 11 meses de idade, com o teor de amido variando de 20,94% (três meses) a 36,85% (nove meses) e, também, observaram a diminuição do teor de amido de nove (36,85%) para 11 meses (35,5%).

O melhoramento da mandioca baseia-se principalmente no aumento do teor de amido e do seu rendimento (facilidade de extração), a fim de garantir o aproveitamento máximo da cultura. Por essa razão, variedades com maior teor e rendimento de amido são selecionadas (Williams et al., 2019).

O teor de amilose variou de 19,74% a 29,89% (Tabela 2) e de amilopectina de 80,26% a 70,11%, respectivamente. O 2009 09-05 e a Eucalipto apresentaram elevados teores de amilose nas três idades de colheita. Os menores teores de amilose foram dos amidos extraídos do híbrido 2009 12-20 e da BRS Dourada, colhidos aos nove meses, e do híbrido 2009 02-16 colhido aos 15 meses.

Ao comparar as três idades de colheita, não houve diferença no teor de amilose do amido extraído do híbrido 2009 12-20, enquanto para 2009 02-16, 2009 09-05, BRS Aipim Brasil e Saracura foram observados maiores teores aos nove meses (Tabela 2). Williams et al. (2019) estudaram sete variedades de mandioca de Gana com teores variando de 14,53% a 25,14% e observaram efeito significativo na concentração de amilose em amidos extraídos de raízes com diferentes idades de colheita (sete aos 10 meses), com valores próximos aos do presente estudo. Enquanto para Siroth et al. (1999), que avaliaram quatro variedades em quatro idades de colheita (seis aos 16 meses), a proporção de amilose variou em menor faixa (19,5%

a 24,1%) durante o período do ensaio. Os valores de amilose relatados nesse estudo são superiores aos observados por Nunes et al. (2021) para 40 variedades de mandioca do Brasil (10,62% a 21,65%) e por Atwijukire et al. (2019) para 37 mandiocas de Uganda (16,4% a 22,1%). A variação no conteúdo de amilose em função da diversidade genética é relatada como, por exemplo, em 4.046 acessos de mandioca de uma coleção mundial com teor de 15,2% a 26,5% (Sánchez et al., 2009).

Tabela 2. Teor de amilose e tamanho médio do grânulo do amido extraído de oito clones de mandioca aos nove, 12 e 15 meses após o plantio.

Genótipo/ Colheita*	Amilose (%)			Tamanho médio do grânulo (μm)		
	9	12	15	9	12	15
2009 02-13	25,88 ^{bA}	22,02 ^{bB}	23,73 ^{bAB}	21,67 ^{aA}	13,81 ^{aC}	16,64 ^{aB}
2009 02-16	29,07 ^{aA}	22,72 ^{bB}	19,74 ^{dC}	15,75 ^{bA}	11,82 ^{bB}	13,98 ^{bA}
2009 09-05	28,90 ^{aA}	24,11 ^{aB}	25,93 ^{aB}	17,94 ^{bA}	13,09 ^{aB}	13,14 ^{bB}
2009 12-20	23,05 ^{cA}	23,95 ^{aA}	21,43 ^{cA}	16,04 ^{bA}	13,24 ^{aB}	14,34 ^{bAB}
BRS Aipim Brasil	29,89 ^{aA}	23,15 ^{bB}	22,82 ^{cB}	15,66 ^{bA}	11,65 ^{bC}	13,80 ^{bB}
BRS Dourada	22,90 ^{cB}	25,72 ^{aA}	25,81 ^{aA}	15,88 ^{bA}	11,64 ^{bB}	12,67 ^{bB}
Eucalipto	28,04 ^{aA}	24,76 ^{aB}	27,30 ^{aA}	16,70 ^{bA}	12,37 ^{aB}	13,27 ^{bB}
Saracura	28,35 ^{aA}	22,88 ^{bB}	24,14 ^{bB}	16,28 ^{bA}	10,31 ^{bB}	11,77 ^{bB}
Média		24,85			14,31	
CV (%)		5,06			6,44	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas pertencem estatisticamente ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV- coeficiente de variação experimental. * meses.

Segundo Tappiban et al. (2020b), os amidos podem ser classificados de acordo com o teor de amilose como: ceroso (0-5%), baixo (5%-20%), intermediário (20%-25%) e alto (>25%). De acordo com essa classificação, os amidos avaliados neste estudo (Tabela 2) são classificados entre intermediário e alto teor de amilose. Em geral, amidos com menor teor de amilose são mais suscetíveis a modificações químicas e/ou físicas que os amidos com maior teor (Biduski et al., 2018). Por isso, menor teor de amilose nos amidos é uma característica muitas vezes desejada pelas indústrias (Fernandes et al., 2019).

A demanda de amido é atendida principalmente pelas culturas de milho, de batata, de trigo e de mandioca, com esta última sendo particularmente importante nas regiões tropicais e subtropicais (Sánchez et al., 2010). O amido nativo de batata apresenta de 18,9% a 27,7% de amilose, o milho de 19,9% a 24,0%, o trigo de 27,8% e o arroz de 9,7% a 28,1% (Vandeputte et al., 2003; Zaidul et al., 2007; Gomand et al., 2010; Sánchez et al., 2010; Schirmer et al., 2013; Remya et al., 2018; Wang et al., 2018). O amido de mandioca do presente estudo apresenta teor de amilose médio semelhante ao de batata, de milho e de trigo e superior a algumas variedades de arroz.

O teor de amilose é um parâmetro importante nas propriedades do amido, sendo que baixos teores levam a um aumento na cristalinidade relativa do amido, devido à redução das regiões amorfas no grânulo (Tukomane et al., 2007). O material do grânulo de amido está organizado em regiões cristalinas e amorfas alternadas e a fusão desses cristais e o rompimento dessa estrutura organizada formam a base para a gelatinização (Denardin; Silva, 2009). O tipo cristalino depende da fonte botânica do amido, ou seja, do tipo A, encontrado em amidos de cereais (milho, arroz, trigo, aveia); tipo B em batata, arroz e milho com elevado teor de amilose, amido retrogradado; e tipo C em leguminosas, araruta e sagu (Singh et al., 2006a; Denardin; Silva, 2009). As estruturas A e B diferem no empacotamento cristalino das hélices e no teor de água e a estrutura C é intermediária entre os modelos A e B (Singh et al., 2006a; Denardin; Silva, 2009). O amido nativo de mandioca foi relatado por ser de cristalinidade do tipo A e do tipo C (Mtunguja et al., 2016; Tan et al., 2017; Wang et al., 2018; Fernandes et al., 2019; HE et al., 2020; Nunes et al., 2021; Santos et al., 2021a; Singh et al., 2006a).

O híbrido 2009 02-13 apresentou o maior tamanho médio dos grânulos aos nove e 15 meses (Tabela 2). Houve mudança significativa no tamanho médio dos grânulos e as quatro variedades e os híbridos 2009 02-13 e 2009 09-05 apresentaram amidos com grânulos maiores quando colhidos aos nove meses. Resultados diferentes foram obtidos por Tan et al. (2017), em que o diâmetro médio do grânulo de mandioca da variedade SC5 aumentou do nono para o 11º mês após o plantio, e obtidos também por Fernandes et al. (2019) para a IAC 14.

Teerawanichpan et al. (2008) observaram na Ásia que o plantio de mandioca no início da estação chuvosa resultou em grânulos maiores do que

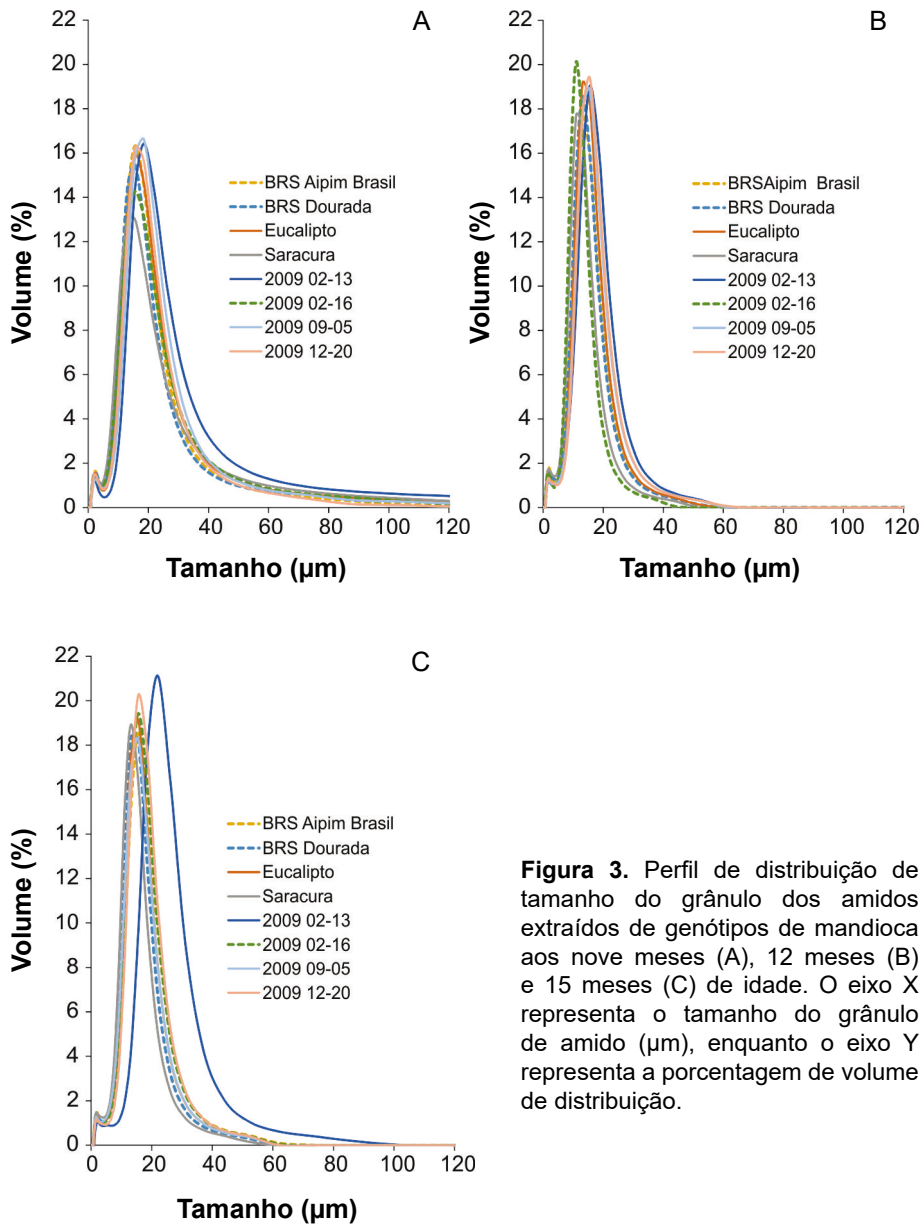
quando o plantio ocorreu na estação seca. Santisopasri et al. (2001) também relataram que os grânulos de raízes de mandioca são maiores quando plantadas sem estresse hídrico. Neste estudo o resultado foi diferente dos relatados na literatura, uma vez que na colheita aos nove meses ocorreu a menor quantidade de chuvas nos 30 dias que a antecederam, mas o tamanho médio dos grânulos foi maior.

As diferenças na distribuição do tamanho dos grânulos podem influenciar a funcionalidade do amido (Fernandes et al., 2019; Nunes et al., 2021). Por exemplo, os grânulos de amido de dimensões pequenas os tornam adequados como revestimento de papel e na incorporação em filmes plásticos e amidos maiores são usados em papel autocopiativo (Ellis et al., 1998; Fernandes et al., 2019). Singh et al. (2006b) classificam o tamanho médio dos grânulos do amido em pequeno (1-10 μm), médio (11-25 μm) e grande (>25 μm). Por essa classificação os grânulos dos amidos deste estudo apresentaram tamanho médio (Tabela 2).

A distribuição do tamanho dos grânulos foi semelhante à distribuição normal (Figura 3), conforme relatado em outros estudos (Sriroth et al., 1999; Gomand et al., 2010; Charoenkul et al., 2011; Falade et al., 2019; Fernandes et al., 2019; HE et al., 2020; Castanha et al., 2021). Sriroth et al. (1999) também observaram que os tamanhos dos grânulos de amido de mandioca eram semelhantes à distribuição normal em cultivares colhidas aos seis, dez, 12 e 14 meses, com o tamanho médio de aproximadamente 15 μm e com pequeno platô em 12 μm .

A distribuição do tamanho dos grânulos dos amidos de batata, de milho, de milho ceroso e de milho com alto teor de amilose também é unimodal, com os tamanhos médios dos grânulos de amido de milho ceroso (26,1 μm) e de batata (39,2 μm) maiores do que o de mandioca do presente estudo (10,31 a 21,67 μm), enquanto os de milho com alto teor de amilose (15,2 μm) e milho nativo (17,4 μm) foram semelhantes (Castanha et al., 2021).

As propriedades da pasta são afetadas pelos teores de amilose, de lipídios e de fósforo; tamanho, rigidez e inchamento dos grânulos; lixiviação das moléculas de amilose; cristalinidade; distribuição do tamanho das ramificações de amilopectina (Mesquita et al., 2016; Wang et al., 2018).



A interação genótipo x idade de colheita foi significativa ($p < 0,05$) para todas as propriedades de pasta avaliadas do amido extraído (Figura 4, Tabela 3). Agiriga e Iwe (2015), Sakdaronnarong et al. (2020) e Gourilekshmi et al. (2021) também observaram que variedade e época de colheita afetaram significativamente as propriedades de pasta do amido de mandioca.

Quando o amido é aquecido na presença de excesso de água ocorre a gelatinização, em uma faixa de temperatura típica para cada fonte de amido (Mesquita et al., 2016). Os parâmetros de empastamento fornecem uma evidência sobre o comportamento de cozimento dos amidos durante os ciclos de aquecimento e resfriamento (Wang et al., 2018). O processo de gelatinização é caracterizado pela hidratação e pelo inchamento (expansão) do amido aquecido na presença de excesso de água (Oliveira, 2011). As suspensões de amido quando submetidas a aquecimento progressivo apresentam aumento da viscosidade aparente. A viscosidade de pico indica a capacidade do amido de absorver água e de inchamento, causando aumento na viscosidade durante o aquecimento e cisalhamento (Bernardo et al., 2018). Os grânulos inchados se rompem e a solubilização das moléculas de amido proporciona uma redução na viscosidade (Alamu et al., 2017). A análise segue com um ciclo de resfriamento que provoca uma reorganização de alguns polímeros, particularmente de amilose, bem como de amilopectina, aumentando a viscosidade da pasta em um processo chamado de *setback*, que ocorre devido à forte tendência de formação de ligações de hidrogênio entre moléculas adjacentes (Colman et al., 2014).

Observa-se uma pequena variação para a temperatura de empastamento, a qual alterou com a idade da raiz, mas de forma distinta para cada variedade (Tabela 3). O amido extraído da variedade Eucalipto apresentou temperaturas de empastamento mais elevadas, próximas a 70 °C, em todas as idades de colheita. A Saracura apresentou a menor temperatura de empastamento quando colhida aos nove e 15 meses, enquanto para os híbridos as menores temperaturas foram observadas aos 15 meses, com exceção do híbrido 2009 12-20 que manteve a temperatura em todas as idades de colheita (Tabela 3, Figura 4). O contrário foi observado por Sakdaronnarong et al. (2020) ao avaliar seis variedades, em que as temperaturas de empastamento no nono mês foram menores do que no 12º e 15º meses.

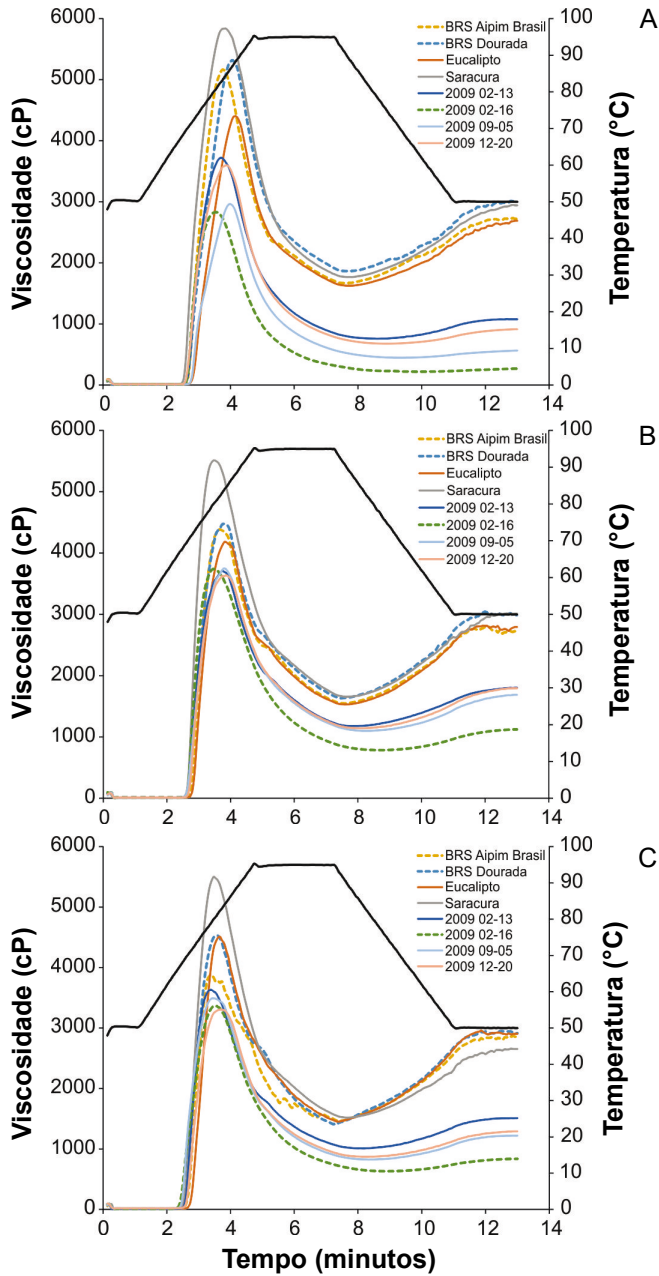


Figura 4. Perfis de viscosidade obtidos por analisador rápido de viscosidade (RVA) dos amidos extraídos de quatro híbridos e quatro genótipos de mandioca colhidos aos nove meses (A), 12 meses (B) e 15 meses (C) de idade.

Tabela 3. Propriedade de pasta dos amidos de quatro híbridos e quatro genótipos de mandioca colhidos aos nove, 12 e 15 meses.

Genótipo	Temperatura de empastamento (°C)			Tempo de pico (minutos)			Pico de viscosidade (cP)		
	9	12	15	9	12	15	9	12	15
2009 02-13	69,2 ^{ba}	68,8 ^{baB}	68,0 ^{bb}	3,7 ^{ba}	3,7 ^{ba}	3,4 ^{bb}	3809,0 ^{da}	3722,0 ^{ca}	3640,0 ^{ca}
2009 02-16	68,9 ^{ba}	69,0 ^{ba}	66,1 ^{cb}	3,5 ^{ca}	3,5 ^{ba}	3,5 ^{ba}	2894,5 ^{eb}	3763,7 ^{ca}	3382,8 ^{ca}
2009 09-05	70,4 ^{aa}	68,9 ^{bb}	66,9 ^{cc}	4,0 ^{aa}	3,8 ^{aa}	3,5 ^{bb}	2968,8 ^{eb}	3763,2 ^{ca}	3508,5 ^{ca}
2009 12-20	69,1 ^{ba}	69,6 ^{ba}	68,4 ^{ba}	3,8 ^{ba}	3,8 ^{ba}	3,7 ^{aa}	3828,0 ^{da}	3695,8 ^{ca}	3442,5 ^{ca}
BRS Aipim Brasil	69,3 ^{baB}	70,0 ^{aa}	68,5 ^{bb}	3,8 ^{ba}	3,7 ^{aa}	3,4 ^{bb}	5182,2 ^{ba}	4400,7 ^{bb}	3912,2 ^{cc}
BRS Dourada	69,2 ^{ba}	68,7 ^{ba}	67,1 ^{cb}	4,0 ^{aa}	3,8 ^{ab}	3,5 ^{bc}	5426,2 ^{ba}	4516,8 ^{bb}	4591,2 ^{bb}
Eucalipto	71,2 ^{aa}	70,9 ^{aaB}	69,9 ^{ab}	4,1 ^{aa}	3,9 ^{ab}	3,7 ^{ab}	4472,2 ^{ca}	4245,2 ^{ba}	4569,3 ^{ba}
Saracura	67,4 ^{cb}	68,8 ^{ba}	67,0 ^{cb}	3,8 ^{ba}	3,5 ^{bb}	3,5 ^{bb}	5860,0 ^{aa}	5544,7 ^{aa}	5514,5 ^{aa}
Média		68,8			3,7			4193,9	
CV (%)		0,83			3,31			5,69	
	Viscosidade mínima (cP)			Quebra de viscosidade (cP)			Viscosidade final (cP)		
2009 02-13	750,5 ^{bb}	1166,7 ^{ba}	1000,3 ^{baB}	3058,5 ^{ca}	2555,3 ^{bb}	2639,7 ^{cb}	1077,0 ^{bb}	1802,7 ^{ba}	1509,2 ^{baB}
2009 02-16	217,7 ^{db}	781,3 ^{ca}	630,2 ^{ca}	2676,8 ^{da}	2982,3 ^{ba}	2752,7 ^{ca}	268,0 ^{cb}	1123,5 ^{ca}	837,0 ^{ca}
2009 09-05	444,3 ^{cc}	1094,2 ^{ba}	822,2 ^{bb}	2524,5 ^{da}	2669,0 ^{ba}	2686,3 ^{ca}	563,5 ^{cc}	1688,3 ^{ba}	1219,8 ^{bb}
2009 12-20	675,0 ^{bb}	1139,8 ^{ba}	857,2 ^{bb}	3153,0 ^{ca}	2556,0 ^{bb}	2585,3 ^{cb}	914,2 ^{bb}	1794,0 ^{ba}	1291,2 ^{bb}
BRS Aipim Brasil	1666,0 ^{aa}	1543,5 ^{aa}	1423,7 ^{aa}	3516,2 ^{ba}	2857,2 ^{bb}	2488,5 ^{cb}	2722,3 ^{aa}	2725,0 ^{aa}	2856,5 ^{aa}
BRS Dourada	1861,0 ^{aa}	1628,0 ^{aaB}	1385,8 ^{ab}	3565,2 ^{ba}	2888,8 ^{bb}	3205,3 ^{baB}	3025,3 ^{aa}	2987,2 ^{aa}	2914,0 ^{aa}
Eucalipto	1624,3 ^{aa}	1529,8 ^{aa}	1441,5 ^{aa}	2847,8 ^{daB}	2715,3 ^{bb}	3127,8 ^{ba}	2690,0 ^{aa}	2794,0 ^{aa}	2905,0 ^{aa}
Saracura	1763,7 ^{aa}	1655,7 ^{aa}	1516,7 ^{aa}	4096,3 ^{aa}	3889,0 ^{aa}	3997,8 ^{aa}	2942,3 ^{aa}	3009,3 ^{aa}	2653,5 ^{aa}
Média		1192,5			3001,5			2013,0	
CV (%)		11,04			6,69			11,13	

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Tendência a retrogradação (cP)			
2009 02-13	326,5 ^{bB}	636,0 ^{bA}	508,8 ^{cAB}
2009 02-16	50,3 ^{cB}	342,2 ^{cA}	206,8 ^{dAB}
2009 09-05	119,2 ^{cB}	594,2 ^{bA}	397,7 ^{cA}
2009 12-20	239,2 ^{bB}	654,2 ^{bA}	434,0 ^{cAB}
BRS Aipim Brasil	1056,3 ^{aB}	1181,5 ^{aB}	1432,8 ^{aA}
BRS Dourada	1164,3 ^{aB}	1359,2 ^{aB}	1528,2 ^{aA}
Eucalipto	1065,7 ^{aB}	1264,2 ^{aB}	1463,5 ^{aA}
Saracura	1178,7 ^{aA}	1353,7 ^{aA}	1136,8 ^{bA}
Média	820,6		
CV (%)	14,6		

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem estatisticamente ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação experimental.

A temperatura de empastamento é a temperatura na qual é detectado o início do aumento na viscosidade, que ocorre devido ao inchaço dos grânulos de amido, e fornece uma indicação da quantidade de energia necessária para cozinhar um determinado material amiláceo (Alamu et al., 2017; Tappiban et al., 2020a; Kayode et al., 2021). Desse modo, quanto menor a temperatura de empastamento, mais interessante é o amido do ponto de vista energético, pois mais rapidamente a suspensão de amido se transforma em pasta. Observa-se que o amido extraído da Saracura colhida aos nove e 15 meses produz uma pasta viscosa à temperatura próxima de 67 °C, bem como a BRS Dourada, 2009 02-16 e 2009 09-05 aos 15 meses, enquanto os demais começam a formar pasta à temperatura acima de 68 °C.

O amido de mandioca apresentou temperaturas de empastamento, em média, de 68,8 °C, o que indica a formação de pasta mais rapidamente em comparação com outros amidos, tais como os de arroz (69,5 °C) e de batata (72 °C), de milho (74 °C) e de trigo (89 °C) (Schirmer et al., 2013;

Waterschoot et al., 2015; Williams et al., 2019). Isso ocorre devido à estrutura molecular que se perde mais facilmente com o aquecimento dos grânulos. Temperatura de empastamento mais alta indica resistência ao inchaço e ruptura do grânulo de amido (Shafie et al., 2016; Williams et al., 2019; Tappiban et al., 2020a).

O menor tempo de pico foi observado para o amido extraído do híbrido 2009 02-16 aos nove meses (Tabela 3, Figura 4). Amidos com baixo tempo de viscosidade máxima (pico) e baixa temperatura de empastamento indicam baixa resistência ao inchamento e fácil formação de pasta, o que o torna mais adequado para processos industriais alimentícios e não alimentícios devido à diminuição nos custos de energia durante a produção (Williams et al., 2019), sendo sugeridos o amido do 2009 02-16 e a Saracura com essas características.

A Saracura teve o pico de viscosidade mais alto entre os clones de mandioca nas três idades (Tabela 3, Figura 4). O pico de viscosidade é a viscosidade mais elevada, alcançada durante o aquecimento do amido e que geralmente está associada ao poder de expansão (inchaço) e à taxa de ruptura dos grânulos de amido (Shafie et al., 2016; Wang et al., 2018; Palavecino et al., 2020; Tappiban et al., 2020b; Kayode et al., 2021). Amidos com elevadas viscosidades são desejáveis para produtos em que há necessidade de espessamento e, portanto, o amido da Saracura é uma boa opção para a indústria de alimentos (Afoakwa et al., 2012).

Ao comparar as três idades de colheita, observa-se que o pico de viscosidade dos amidos extraídos dos híbridos 2009 02-13 e 2009 12-20 e das variedades Eucalipto e Saracura não alteraram, enquanto os híbridos 2009 02-16 e 2009 09-05 apresentaram as maiores viscosidades aos 12 e 15 meses e a BRS Aipim Brasil e a BRS Dourada aos nove meses.

Os picos de viscosidade dos amidos de arroz, de trigo e de milho são menores em relação aos amidos de mandioca (Waterschoot et al., 2015). Já o amido de batata caracteriza-se por um maior pico de viscosidade quando comparado ao amido de mandioca. Essas diferenças de comportamento do amido são influenciadas por características como tamanho e morfologia dos grânulos, relação amilose/amilopectina e seus respectivos comprimentos das

cadeias ramificadas de amilopectina (Castanha et al., 2021). Segundo Zaidul et al. (2007), amidos com maiores teores de amilose apresentam menores picos de viscosidade, fato que ocorre devido ao inchaço controlado dos grânulos de amido, relação que não foi observada para todos os genótipos avaliados no presente estudo (Tabelas 2 e 3).

Após atingir a viscosidade máxima, a manutenção da temperatura elevada e tensão de cisalhamento constante continuam a romper os grânulos de amido e as moléculas de amilose são lixiviadas para a suspensão, ocorrendo uma diminuição gradual da viscosidade da pasta até atingir a viscosidade mínima (Alamu et al., 2017). Os quatro híbridos apresentaram estatisticamente os menores valores de viscosidade mínima, nas três épocas de colheita, destacando-se o híbrido 2009 02-16 com o menor valor (Tabela 3). Os amidos das variedades BRS Dourada, BRS Aipim Brasil, Eucalipto e Saracura não diferiram entre si quanto à viscosidade mínima e mantiveram os valores em todas as idades de colheita.

A quebra de viscosidade é um parâmetro que avalia a resistência estrutural dos grânulos do amido cozido sob agitação mecânica. Amidos com menores quebras de viscosidade apresentam maior tendência de formar gel estável sob aquecimento e cisalhamento (Williams et al., 2019; Palavecino et al., 2020; Gourilekshmi et al., 2021). O amido da Saracura apresentou a maior quebra de viscosidade nas três idades avaliadas (Tabela 3), enquanto os menores valores foram observados para o amido dos híbridos 2009 02-16, 2009 09-05 e BRS Dourada aos nove meses e para os quatro híbridos e a BRS Aipim Brasil aos 15 meses, mostrando a maior resistência desses amidos a processos mecânicos e aquecimento. Para os híbridos 2009 02-16 e 2009 09-05 e para a variedade Saracura não houve diferença para a quebra de viscosidade entre as idades de colheita. Fernandes et al. (2019) avaliaram a variedade IAC 14 e observaram que o amido extraído de mandioca colhida aos nove meses foi mais estável que os amidos obtidos de plantas colhidas aos 11 meses, resultado contrário ao observado para os híbridos 2009 02-13 e 2009 12-20 e variedades BRS Aipim Brasil e BRS Dourada, colhidos aos nove e 12 meses (Tabela 3).

O amido de batata apresenta maior pico de viscosidade e quebra e menor tendência à retrogradação que os de batata doce, de inhame e de mandioca (Zaidul et al., 2007). Os amidos com alto poder de inchamento são mais sensíveis à quebra dos grânulos em altas temperaturas que aqueles com baixo poder de inchamento (Waterschoot et al., 2015). A quebra depende da natureza do material, da temperatura e cisalhamento aplicados. A capacidade de o amido suportar esse aquecimento e tensão de cisalhamento é um fator importante para muitos processos (Alamu et al., 2017).

A viscosidade final é importante, pois determina a qualidade dos produtos à base de amido, medindo a capacidade do amido de formar gel ou uma pasta viscosa após o cozimento e resfriamento, bem como a resistência da pasta à força de cisalhamento durante a agitação (Agiriga; Iwe, 2015; Shafie et al., 2016; Alamu et al., 2017; Fernandes et al. 2019). Amido com elevada viscosidade final é desejável para alimentos, pois há necessidade de aumentar o volume do produto (Falade et al., 2019). Os amidos da BRS Aipim Brasil, BRS Dourada, Eucalipto e Saracura apresentaram as maiores viscosidades finais (Tabela 3), com valores médios de 2845,0 cP aos nove, 2878,9 cP aos 12 e 2832,3 cP aos 15 meses de idade. Esse resultado indica que o amido dessas variedades pode ser mais adequado para ser utilizado como agente espessante em alimentos (Shafie et al., 2016). Não houve diferença entre as idades de colheita para BRS Aipim Brasil, BRS Dourada, Eucalipto e Saracura e, portanto, o amido dessas variedades apresenta a mesma viscosidade final em qualquer uma das idades avaliadas.

Durante o resfriamento de uma suspensão de amido, as moléculas de amido realinham e retrogradam, resultando no aumento da viscosidade (Falade et al., 2019). A viscosidade final, também denominada de viscosidade de pasta fria, depende das ligações intermoleculares da cadeia de amilose e fatores como a extensão da lixiviação da amilose e o comprimento da cadeia influenciam muito esse parâmetro (Palavecino et al., 2020). As viscosidades de pasta fria de amidos de trigo, de milho e de arroz são tão altas quanto as suas viscosidades de pico, enquanto as viscosidades de pasta fria de amidos de batata e de mandioca são muito menores em relação

as suas viscosidades de pico, devido à quebra significativa dos grânulos (Waterschoot et al., 2015).

A diferença entre a viscosidade final e a quebra de viscosidade representa a tendência à retrogradação (*setback*) e resulta da reassociação das moléculas de amilose lixiviadas (Tappiban et al., 2020b). Para esse parâmetro os maiores valores foram dos amidos extraídos das variedades comerciais, enquanto a menor tendência foi para o híbrido 2009 02-16 colhido nas três idades (Tabela 3). O amido da Saracura apresentou a mesma tendência à retrogradação entre todas as idades.

Santos et al. (2021b) observaram um valor médio de 517,8 cP para a tendência à retrogradação de amidos de mandioca cerosos e genótipos com a propriedade de pasta semelhantes ao amido ceroso, valor próximo ao do híbrido 2009 02-13 colhido aos 15 meses, e superior aos dos quatro híbridos colhidos aos nove meses e do híbrido 2009 02-16 colhido nas três idades. Assim, o híbrido 2009 02-16 apresenta um amido que forma gel com maior resistência ao congelamento e descongelamento em relação aos amidos de mandioca cerosa e de outros cereais (Sánchez et al., 2010; Santos et al., 2021b). Amidos com menor tendência à retrogradação apresentam potencial para aplicação em sopas, molhos (Tappiban et al., 2020a), panificação e em diferentes alimentos que requerem estabilidade durante o congelamento (Kayode et al., 2021; Santos et al., 2021b).

Fernandes et al. (2019) observaram que o amido de mandioca IAC 14 colhida aos nove meses apresentou menor retrogradação, ou seja, foi mais estável à sinérese do que o amido obtido de plantas colhidas aos 11 meses, corroborando o que foi observado para os quatro híbridos avaliados neste estudo (Tabela 3). Assim, pode-se afirmar que a idade de colheita das raízes de mandioca interfere na produção de amidos com maior ou menor tendência à retrogradação, característica importante para a estabilidade de alimentos congelados durante o armazenamento ou com o ciclo de congelamento e descongelamento.

A retrogradação é um fenômeno complexo e varia de acordo com diversos fatores, tais como temperatura, tempo de armazenamento, pH, fonte de amido, condições de processamento, presença de lipídios, eletrólitos e

açúcares, relação amilose/amilopectina, entre outros (Denardin; Silva, 2009). A retrogradação e a formação de cristais podem ser aceleradas drasticamente levando à expulsão de água do gel (sinérese), o que é observado em alimentos sob ciclos de congelamento–descongelamento (Denardin; Silva, 2009; Fernandes et al., 2019). As moléculas de amilose são responsáveis pela maior tendência à retrogradação durante o processo de resfriamento da pasta de amido cozida, enquanto as moléculas de amilopectina são conhecidas por recristalizarem após um longo período de tempo (Schirmer et al., 2013), por isso o amido ceroso ($\leq 5\%$ de amilose, $\geq 95\%$ de amilopectina) apresenta baixa tendência à retrogradação.

A influência do processo de retrogradação é observada na textura de vários produtos como, por exemplo, na sinérese de algumas sobremesas que utilizam o amido como espessante (Denardin; Silva, 2009; Alamu et al., 2017). Portanto, a retrogradação do amido é frequentemente considerada tendo efeitos indesejáveis devido a sua contribuição para o envelhecimento do pão e outros alimentos ricos em amido, o que pode causar redução da vida de prateleira e da aceitação do consumidor e levar a um desperdício significativo, sendo um desafio para os processadores de alimentos (Wang et al., 2015). No entanto, a retrogradação do amido é desejável em algumas aplicações, como na produção de cereais matinais, arroz parboilizado, purê de batata desidratado e amido resistente, devido à digestão enzimática mais lenta do amido retrogradado e liberação moderada de glicose na corrente sanguínea (Wang et al., 2015).

Independentemente da época de colheita (Tabela 3, Figura 4), os resultados das propriedades de pasta dos amidos estão de acordo com as faixas relatadas na literatura, como pode ser observado na Tabela 4. No entanto, é importante ressaltar que diferenças nas concentrações de amido (3,6% a 14,3%) e no perfil da temperatura influenciam nas leituras de propriedades de pasta e na resistência do gel (Castanha et al., 2021). Conforme observado nas Tabelas 4 e 5, a avaliação de propriedade de pasta do amido de mandioca tem sido realizada em diferentes concentrações das suspensões de amido e da variação da temperatura.

Tabela 4. Propriedades de pasta de amidos nativos de mandioca em comparação com amidos cerosos de mandioca e amidos nativos de batata e milho.

No	Con	STD	TE (°C)	TP (min)	PV (cP)	VM (cP)	QV (cP)	VF (cP)	Setback (cP)	Referência
Amidos nativos de mandioca										
4	5	8	63,7 – 64,9	ni	876 – 1105	421 – 549	455 – 556	576 – 961	155 – 412	Morante et al. (2016)
4	5	1	71 – 74	ni	828 – 1128	528 – 768	300 – 384	816 – 1212	288 – 444	Toae et al. (2019) [#]
1	6	1	72,7	4,3	1619	911	708	1470	559	Zaidul et al. (2007) [#]
6	8	4	66,4 – 69,6	ni	540 – 770	ni	300 – 570	ni	110 – 390	Mtunga et al. (2016)
3	9	2	75,0 – 78,8	3,8 – 4,5	5946 – 7326	2200 – 3463	2877 – 4688	3067 – 4154	522 – 1462	Agiriga e Iwe (2015)
883	9	1	68,5 – 71,0	ni	4170 – 5354	1158 – 2060	2624 – 3632	1669 – 3345	518 – 1390	Santos et al. (2021b)
876	9	1	63,8 – 75,5	ni	3102 – 6702	351 – 2693	1314 – 4768	533 – 3996	191 – 2309	Santos et al. (2022)
7	9,4	1	68,1 – 74,3	3,4 – 3,8	5092 – 6056	1710 – 2108	3185 – 3948	2534 – 3138	695 – 1144	Tappiban et al. (2020a) [#]
5	9,4	1	69,5 – 75,3	3,4 – 3,9	4578 – 5789	1507 – 1988	2830 – 4020	2572 – 3030	773 – 1118	Tappiban et al. (2020b) [#]
1	10	7	63,5	5,6	3284	992	2292	1934	948	Colman et al. (2014)
5	10	6	69,6 – 73,4	3,4 – 4,9	1313 – 2597	ni	493 – 1360	894 – 1877	268 – 650	Gourlekshmi et al. (2021)
1	10	3	69,5	ni	7184	2121	5063	3580	1459	Palavecino et al. (2020)
1	10	6	74,4	ni	1646	ni	720	1481	580	Remya et al. (2018)
3	10	5	66,2 – 67,3	ni	2952 – 4152	240 – 912	2712 – 3240	384 – 1224	144 – 312	Santos et al. (2021a) [#]
1	12	7	68,1	ni	7323	2422	4901	3629	1207	Wang et al. (2018)

Continua...

Tabela 4. Continuação.

No	Con	STD	TE (°C)	TP (min)	PV (cP)	VM (cP)	QV (cP)	VF (cP)	Setback (cP)	Referência
Amidos nativos de mandioca										
3	ni	1	74,3 – 75,1	4,2	6509 – 6564	2519 – 2824	3739 – 4004	3347 – 3909	827 – 1084	Falade et al. (2019)
1	ni	1	72,2	3,8	5813	1960	3853	3197	1237	Kayode et al. (2021) [#]
1	ni	1	74	4	5930	3190	3030	3450	603	Oyeyinka et al. (2020)
4	ni	1	69,5 – 74,3	ni	3648 – 6372	1596 – 2184	1800 – 4428	2124 – 3408	276 – 1500	Sriroth et al. (1999) [#]
6	ni	2	62,7 – 78,3	3,6 – 4,4	3853 – 4859	903 – 2432	1705 – 2663	2370 – 3472	423 – 1228	Williams et al. (2019)
Amidos cerosos de mandioca										
13	5	8	65,6 – 71,7	ni	1079 – 1285	488 – 721	489 – 714	544 – 746	6 – 96	Morante et al. (2016)
9	5	1	70 – 72	ni	1392 – 1572	648 – 732	720 – 840	744 – 804	72 – 120	Toae et al. (2019) [#]
Amidos nativos de batata										
1	6	1	69,1	3,0	6527	1985	4542	2458	473	Zaidul et al. (2007) [#]
1	10	6	74,7	ni	4660	ni	2199	3195	356	Remya et al. (2018)
1	12	7	67,9	ni	10048	1687	8360	3479	1791	Wang et al. (2018)
Amido nativo de milho										
1	12	7	75,6	ni	4368	2606	1762	4173	1567	Wang et al. (2018)

No- número de amostras ou variedades, Con- concentração amido (%), STD- padrão de variação da temperatura de análise no RVA (Tabela 5), TE- temperatura de empastamento, TP- tempo de pico, PV- pico de viscosidade, VM- viscosidade mínima, QV- quebra de viscosidade, VF- viscosidade final, Setback - tendência à retrogradação, ni- não informado, [#] 1 RVU (Rapid Viscosity Units) ≈ 12 cP.

Tabela 5. Variação da temperatura da análise no RVA referente à Tabela 4.

STD	Ti (°C)	TTi (min)	Txa (°C min ⁻¹)	Tm (°C)	TTm (min)	Txr (°C min ⁻¹)	Tf (°C)	TTf (min)
1	50	1	12	95	2,5	12	50	2
2	50	ni	11,25	95	2	11,25	50	2
3	50	1	11,25	95	2,5	15	50	2
4	50	1	10	95	3	10	50	1
5	50	1	6	95	5	6	50	2
6	50	1	6	95	5	6	50	5
7	50	2	6	95	5	6	50	2
8	50	1	6	90	5	6	50	ni

STD- padrão de variação da temperatura, Ti - Temperatura inicial, TTi- Tempo na temperatura inicial, Txa- Taxa aquecimento, Tm - Temperatura de manutenção da pasta a quente, TTm- Tempo na temperatura de manutenção da pasta a quente, Txr- Taxa resfriamento Tf - Temperatura final, TTf- Tempo na temperatura final, ni - não informado no trabalho.

Conclusões

O clone de mandioca e a idade das raízes afetaram significativamente o teor de amido, o teor de amilose/amilopectina, o tamanho médio do grânulo e a propriedade de pasta do amido.

O amido da Saracura é o mais adequado para os processos industriais, quando um alto poder de espessamento em altas temperaturas é necessário.

O amido dos híbridos 2009 02-16 e 2009 09-05 é o mais estável e produz géis com maior estabilidade sob condições de aquecimento.

O amido das variedades BRS Aipim Brasil, BRS Dourada, Eucalipto e Saracura é o mais adequado para ser utilizado como agente espessante em aplicações alimentícias.

O híbrido 2009 02-16 apresentou baixa tendência à retrogradação, sendo desejável como agente gelificante em produtos alimentícios refrigerados e congelados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESB pela bolsa de iniciação científica e ao Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) pela doação do amido de mandioca com 0% de amilose.

Referências

- AACC International. **Métodos de Análise Aprovados**. 11. ed. Método 76-21.01. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser. Aprovado november 3, 1999. AACC International, St. Paul, MN, U.S.A.
- AFOAKWA, E. O.; BUDU, A. S.; ASIEDU, C.; CHIWONA-KARLTUN, L.; NYIRENDA, D. B. Viscoelastic properties and physico-functional characterization of six high yielding cassava mosaic disease-resistant cassava (*Manihot esculenta* Crantz) genotypes. **Journal of Nutrition and Food Science**, v. 2, n. 2, p. 129, 2012.
- AGIRIGA, A. N.; IWE, M. O. Influence of time of harvest and variety on the pasting properties of starch from three cassava varieties-A Response Surface Analysis, **British Journal of Applied Science & Technology**, v. 13, n. 5, p. 1-14, 2015.
- AGRITEMPO: sistema de monitoramento agrometeorológico do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Pesquisa de dados meteorológicos para o estado de BA**, 2020. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=BA>. Acesso em: 31 ago. 2022.
- ALAMU, E. O.; MAZIYA-DIXON, B.; DIXON, A. G. Evaluation of proximate composition and pasting properties of high quality cassava flour (HQCF) from cassava genotypes (*Manihot esculenta* Crantz) of β -carotene-enriched roots. **LWT - Food Science and Technology**, v. 86, p. 501-506, 2017.
- ATWIJUKIRE, E.; HAWUMBA, J. F.; BAGUMA, Y.; WEMBABAZI, E.; ESUMA, W.; KAWUKI, R. S.; NUWAMANYA, E. Starch quality traits of improved provitamin A cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Heliyon**, v. 5, n. 2, p. e01215, 2019.
- BERNARDO, C. O.; ASCHERI, J. L. R.; CHÁVEZ, D. W. H.; CARVALHO, C. W. P. Ultrasound assisted extraction of yam (*Dioscorea bulbifera*) starch: effect on morphology and functional properties. **Starch/Stärke**, n. 70, n. 5-6, p. 1700185, 2018.
- BERTOFT, E. Understanding starch structure: recent progress. **Agronomy**, v. 7, p. 1-22, 2017.
- BIDUSKI, B.; SILVA, W. M. F. da; COLUSSI, R.; EI HALAL, S. L. de M.; LIM, L.-T.; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R. Starch hydrogels: the influence of the amylose content and gelatinization method. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 113, p. 443-449, 2018.
- CAMPANHA, R. B. **Características físico-químicas e estruturais de amidos nativos e suas dextrinas Naegeli**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São Paulo. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/88413>. Acesso em: 31 ago. 2022.

- CASTANHA, N.; ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D. An insight into the pasting properties and gel strength of starches from different sources: effect of starch concentration. **Scientia Agropecuária**, v. 12, n. 2, p. 203-212, 2021.
- CHAROENKUL, N.; UTTAPAP, D.; PATHIPANAWAT, W.; TAKEDA, Y. Physicochemical characteristics of starches and flours from cassava varieties having different cooked root textures. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 8, p. 1774-1781, 2011.
- COLMAN, T. A. D.; DEMIATE, I. M.; SCHNITZLER, E. The effect of microwave radiation on some thermal, rheological and structural properties of cassava starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, n. 3, p. 2245-2252, 2014.
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.
- ELLIS, R. P.; COCHRANE, M. P.; DALE, M. F. B.; DUFFUS, C. M.; LYNN, A.; MORRISON, I. M.; PRENTICE, R. D. M.; SWANSTON, J. S.; TILLER, S. A. Starch production and industrial use. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 77, n. 3, p. 289-311, 1998.
- FALADE, K. O.; IBANGA-BAMIJOKO, B.; AYETIGBO, O. E. Comparing properties of starch and flour of yellow-flesh cassava cultivars and effects of modifications on properties of their starch. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 4, p. 2581-2593, 2019.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crops and livestock products**, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 3 fev. 2023.
- FERNANDES, D. de S.; SANTOS, T. P. R. dos; FERNANDES, A. M.; LEONEL, M. Harvest time optimization leads to the production of native cassava starches with different properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 710-721, 2019.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR 5.3 - Sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA. 2010.
- GOMAND, S. V.; LAMBERTS, L.; DERDE, L. J.; GOESAERT, H.; VANDEPUTTE, G. E.; GODERIS, B.; DELCOUR, J. A. Structural properties and gelatinisation characteristics of potato and cassava starches and mutants thereof. **Food hydrocolloids**, v. 24, n. 4, p. 307-317, 2010.
- GOMES, J. C.; SILVA, J. Correção da acidez e adubação. In: SOUZA, L. S.; FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. (Ed.). **Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p. 215-247.
- GOURILEKSHMI, S. S.; JYOTHI, A. N.; SREEKUMAR, J. Effect of cultivar difference and root growth stage on the thermal, rheological, and in vitro digestibility properties of cassava starch. **Starch/Stärke**, v. 73, n. 3-4, p. 2000157, 2021.
- HE, R.; FU, N.-F.; CHEN, H.-M.; YE, J.-Q.; CHEN, L.-Z.; PU, Y.-F.; ZHANG, W.-M. Comparison of the structural characteristics and physicochemical properties of starches from sixteen cassava germplasms cultivated in China. **International Journal of Food Properties**, v. 23, n. 1, p. 693-707, 2020.
- HOLM, J. H.; BJORCK, N. G. A rapid method for the analysis of starch. **Starch/Stärke**, v. 38, n. 7, p. 224-226, 1986.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Banco de Dados Agregados. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias, 2021. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acesso: 3 fev. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 6647**: Rice-determination of amylose content. 1987. 5 p.

JOBLING, S. Improving starch for food and industrial applications. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 2, p. 210-218, 2004.

KAYODE, B. I.; KAYODE, R. M. O.; SALAMI, K. O.; OBILANA, A. O.; GEORGE, T. T.; DUDU, O. E.; ADEBO, O. A.; NJOBEH, P. B.; DIARRA, S. S.; OYEYINKA, S. A. Morphology and physicochemical properties of starch isolated from frozen cassava root. **LWT - Food Science and Technology**, v. 147, p. 111546, 2021.

MESQUITA, C. de B.; LEONEL, M.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, S.; GARCIA, E. L.; SANTOS, T. P. R. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 89, p. 632-639, 2016.

MORANTE, N.; CEBALLOS, H.; SÁNCHEZ, T.; ROLLAND-SABATÉ, A.; CALLE, F.; HERSHEY, C.; GIBERT, O.; DUFOUR, D. Discovery of new spontaneous sources of amylose-free cassava starch and analysis of their structure and techno-functional properties. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 383-395, 2016.

MTUNGUJA, M. K.; THITISAKSAKUL, M.; MUZANILA, Y. C.; WANSUKSRI, R., PIYACHOMKWAN, K.; LASWAI, H. S.; CHEN, G.; SHOEMAKER, C. F.; SINHA, N.; BECKLES, D. M. Assessing variation in physicochemical, structural, and functional properties of root starches from novel Tanzanian cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) landraces. **Starch/Stärke**, v. 68, n. 5-6, p. 514-527, 2016.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 153, n. 1, p. 375-380, 1944.

NUNES, E. DA C.; UARROTA, V. G.; MORESCO, R.; MARASCHIN, M. Physico-chemical profiling of edible or sweet cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starches from Brazilian germplasm. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101305, 2021.

OLIVEIRA, D. C. **Caracterização e potencial tecnológico de amidos de diferentes cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2011. 141 f.

OLIVEIRA, M. A. de; LEONEL, M.; CABELLO, C.; CEREDA, M. P.; JANES, D. A. Metodologia para avaliação do tempo de cozimento e características tecnológicas associadas em diferentes cultivares de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n.1, p. 126-133, 2005.

OLIVEIRA, E. J. de; SANTANA, F. A.; OLIVEIRA, L. A. de; SANTOS, V. da S. Genotypic variation of traits related to quality of cassava roots using affinity propagation algorithm. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 1, p. 53-61, 2015.

OYEYINKA, S. A.; ADELOYE, A. A.; OLAOMO, O. O.; KAYITESI, E. Effect of fermentation time on physicochemical properties of starch extracted from cassava root. **Food Bioscience**, v. 33, p. 100485, 2020.

PALAVECINO, P. M.; PENCI, M. C.; RIBOTTA, P. D. Effect of sustainable chemical modifications on pasting and gel properties of sorghum and cassava starch. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 1, p. 112-120, 2020.

POURMOHAMMADI, K.; ABEDI, E.; HASHEMI, S. M. B.; TORRI, L. Effects of sucrose, isomalt and maltodextrin on microstructural, thermal, pasting and textural properties of wheat and cassava starch gel. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 1935-1943, 2018.

- REMYA, R.; JYOTHI, A. N.; SREEKUMAR, J. Effect of chemical modification with citric acid on the physicochemical properties and resistant starch formation in different starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 202, p. 29-38, 2018.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Cali: IFPRI: CIAT, 2004. 58 p.
- SAKDARONNARONG, C.; SRAPHET, S.; SRISAWAD, N.; CHANTASOD, R.; JONGLERTJUNYA, W.; TRIWITAYAKORN, K. Rheological characteristics and genotype correlation of cassava root for very high gravity ethanol production: the influence of cassava varieties and harvest times. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 67, n. 1, p. 105-116, 2020.
- SÁNCHEZ, T.; DUFOUR, D.; MORENO, I. X.; CEBALLOS, H. Comparison of pasting and gel stabilities of waxy and normal starches from potato, maize, and rice with those of a novel waxy cassava starch under thermal, chemical, and mechanical stress. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 8, p. 5093-5099, 2010.
- SÁNCHEZ, T.; MAFLA, G.; MORANTE, N.; CEBALLOS, H.; DUFOUR, D.; CALLE, F.; MORENO, X.; PÉREZ, J. C.; DEBOUCK, D. Screening of starch quality traits in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Starch/Stärke**, v. 61, n. 1, p. 12-19, 2009.
- SANTISOPASRI, V.; KUROTJANAWONG, K.; CHOTINEERANAT, S.; PIYACHOMKWAN, K.; SRIROTH, K.; OATES, C. G. Impact of water stress on yield and quality of cassava starch. **Industrial Crops and Products**, v. 13, n. 2, p. 115-129, 2001.
- SANTOS, C. S. dos; SOUSA, M. B.; BRITO, A. C.; OLIVEIRA, L. A. de; CARVALHO, C. W. P.; OLIVEIRA, E. J. de. Genome-wide association study of cassava starch paste properties. **PLoS One**, v. 17, n. 1, p. e0262888, 2022.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SANTOS, T. P. R. dos; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; CABELLO, C. Study and application of photo-modified cassava starch with lactic acid and UV-C irradiation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 139, n. 110504, p. 1-7, 2021a.
- SANTOS, T. B. dos; CARVALHO, C. W. P. de; OLIVEIRA, L. A. de; OLIVEIRA, E. J. de; VILLAS-BOAS, F.; FRANCO, C. M. L.; CHÁVEZ, D. W. H. Functionality of cassava genotypes for waxy starch. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e02414, p. 1-10, 2021b.
- SCHIRMER, M.; HÖCHSTÖTTER, A.; JEKLE, M.; ARENDT, E.; BECKER, T. Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. **Food Hydrocolloids**, v. 32, n. 1, p. 52-63, 2013.
- SCHMITZ, G. J. H.; PERONI-OKITA, F. H. G.; NASCIMENTO, J. R. O. do; CAMPANHA, R. B.; VALLE, T. L.; FRANCO, C. M. L.; CORDENUNSI-LYSENKO, B. R. Selected physicochemical properties of starches isolated from ten cassava varieties reveal novel industrial uses. **Starch-Stärke**, v. 69, n. 7-8, p. 1600272, 2017.
- SHAFIE, B.; CHENG, S. C.; LEE, H. H.; YIU, P. H. Characterization and classification of whole-grain rice based on rapid visco analyzer (RVA) pasting profile. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 5, p. 2138-2143, 2016.
- SILVA, L. M. A.; ALVES FILHO, E. G.; MARTINS, R. M.; OLIVEIRA, W. J. D. J.; VIDAL, C. S.; OLIVEIRA, L. A.; BRITO, E. S. NMR-Based metabolomic approach for evaluation of the

harvesting time and cooking characteristics of different cassava genotypes. **Foods**, v. 11, n. 1651, p. 1-12, 2022.

SINGH, J.; MCCARTHY, O. J.; SINGH, H. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. **Carbohydrate polymers**, v. 64, n. 4, p. 569-581, 2006a.

SINGH, V.; ALI, S. Z.; SOMASHEKAR, R.; MUKHERJEE, P. S. Nature of crystallinity in native and acid modified starches. **International Journal of Food Properties**, v. 9, n. 4, p. 845-854, 2006b.

SOMOGYI, M. A new reagent for the determination of sugar. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 160, n. 1, p. 61-68, 1945.

SRIROTH, K.; SANTISOPASRI, V.; PETCHALANUWAT, C.; KUROTJANAWONG, K.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C. G. Cassava starch granule structure-function properties: influence of time and conditions at harvest on four cultivars of cassava starch. **Carbohydrate polymers**, v. 38, n. 2, p. 161-170, 1999.

TABELA Brasileira de Composição de Alimentos (TACO). 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA - UNICAMP, 2011. 161 p.

TAN, X.; GU, B.; LI, X.; XIE, C.; CHEN, L.; ZHANG, B. Effect of growth period on the multi-scale structure and physicochemical properties of cassava starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 101, p. 9-15, 2017.

TAPPIBAN, P.; SMITH, D. R.; TRIWITAYAKORN, K.; BAO, J. S. Recent understanding of starch biosynthesis in cassava for quality improvement: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 83, p. 167-180, 2019.

TAPPIBAN, P.; YING, Y.; PANG, Y.; SRAPHET, S.; SRISAWAD, N.; SMITH, D. R.; WU, P.; TRIWITAYAKORN, K.; BAO, J. Gelatinization, pasting and retrogradation properties and molecular fine structure of starches from seven cassava cultivars. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 150, p. 831-838, 2020a.

TAPPIBAN, P.; SRAPHET, S.; SRISAWAD, N.; WU, P.; HAN, H.; SMITH, D. R.; BAO, J.; TRIWITAYAKORN, K. Effects of cassava variety and growth location on starch fine structure and physicochemical properties. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 106074, 2020b.

TEERAWANICHPAN, P.; LERTPANYASAMPATHA, M.; NETRPHAN, S.; VARAVINIT, S.; BOONSENG, O.; NARANGAJAVANA, J. Influence of cassava storage root development and environmental conditions on starch granule size distribution. **Starch - Stärke**, v. 60, n. 12, p. 696-705, 2008.

TEIXEIRA, P. R. G.; VIANA, A. E. S.; CARDOSO, A. D.; MOREIRA, G. L. P.; MATSUMOTO, S. N.; RAMOS, P. A. S. Physical-chemical characteristics of sweet cassava varieties. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 158-165, 2017.

TOAE, R.; SRIROTH, K.; ROJANARIDPICHED, C.; VICHUKIT, V.; CHOTINEERANAT, S.; WANSUKSRI, R.; CHATAKANONDA, P.; PIYACHOMKWAN, K. Outstanding characteristics of Thai non-GM bred waxy cassava starches compared with normal cassava starch, waxy cereal starches and stabilized cassava starches. **Plants**, v. 8, n. 447, p. 1-14, 2019.

TUKOMANE, T.; LEERAPONGNUN, P.; SHOBSNGOB, S.; VARAVINIT, S. Preparation and characterization of annealed-enzymatically hydrolyzed tapioca starch and the utilization in tableting. **Starch-Stärke**, v. 59, n. 1, p. 33-45, 2007.

VANDEPUTTE, G. E.; VERMEYLEN, R.; GEEROMS, J.; DELCOUR, J. A. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 1, p. 43-52, 2003.

WANG, S.; LI, C.; COPELAND, L.; NIU, Q.; WANG, S. Starch retrogradation: a comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 5, p. 568-585, 2015.

WANG, X.; REDDY, C. K.; XU, B. A systematic comparative study on morphological, crystallinity, pasting, thermal and functional characteristics of starches resources utilized in China. **Food Chemistry**, v. 259, p. 81-88, 2018.

WATERSCHOOT, J.; GOMAND, S. V.; FIERENS, E.; DELCOUR, J. A. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch/Stärke**, v. 67, n. 1-2, p. 14-29, 2015.

WILLIAMS, G.; ANSAH, K. O.; AGBENORHEVI, J. K.; ODURO, I. N.; BOBOBEE, E. Characterization of starch from new cassava accessions at different maturity. **Journal of Food Security**, v. 7, n. 5, p. 170-174, 2019.

ZAIDUL, I. S. M.; NORULAINI, N. A. N.; OMAR, A. K. M.; YAMAUCHI, H.; NODA, T. RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches. **Carbohydrate polymers**, v. 69, n. 4, p. 784-791, 2007.

ZHU, F. Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 122, p. 456-480, 2015.



Mandioca e Fruticultura

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA



CGPE 018295