

<https://doi.org/10.5016/1984-5529.2025.v53.1524>

Avaliação de genótipos de mandioca em diferentes sistemas de cultivo

Evaluation of cassava genotypes in different cropping systems

Alexsander Luís MORETO¹

¹ “Autor para correspondência” – Doutorado, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão rural de Santa Catarina; Rodovia SC 108, nº 1563, Km 353 – Bairro Estação, CEP: 88.840-000, Caixa Postal 49, e-mail: alexsandermoreto@epagri.sc.gov.br

Recebido em: 14-05-2025; Aceito em: 04-06-2025

Resumo

O objetivo do trabalho foi estudar o comportamento de genótipos de mandioca cultivados sob sistema de plantio direto e convencional. Os experimentos foram conduzidos durante quatro safras consecutivas (2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17) na área experimental da Epagri/Estação Experimental de Urussanga, localizada no município de Urussanga, região Sul de Santa Catarina. Foram avaliados anualmente 24 clones de mandioca brava juntamente com as testemunhas Mandim Branca e SCS254 Sambaqui em dois sistemas de plantio: a) sem revolvimento do solo sob cobertura de aveia preta e b) com revolvimento do solo. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados com três repetições. As análises foram realizadas via modelos mistos REML/BLUP. Os genótipos testados apresentaram comportamentos semelhantes para os caracteres produção de raízes (t/ha), teor de amido (%) e produção de amido (t/ha) nos dois sistemas de cultivo, atestando o plantio direto sob aveia preta como opção viável para a cultura. O clone SC09-2246 se destaca na produção de raízes tuberosas com ganhos de 13% em relação à média dos ambientes. Os clones SC08-1054 e SC09-2154 apresentaram o melhor desempenho entre os genótipos para as estatísticas MHVG (média harmônica dos valores genéticos através das safras), PRVG (performance relativa dos valores genéticos em relação à média de cada safra) e MHPRVG (média harmônica da performance relativa dos valores genéticos), refletindo em ganhos significativos com a seleção dos mesmos.

Palavras-chave adicionais: plantio convencional, plantio direto; REML/BLUP; seleção genotípica.

Abstract

The objective of this work was to investigate the performance of cassava genotypes cultivated under no-tillage and conventional tillage systems. The experiments were conducted over four consecutive crop seasons (2013/14, 2014/15, 2015/16, and 2016/17). The study was carried out at the Epagri/Experimental Station of Urussanga, located in the municipality of Urussanga, Southern region of Santa Catarina state, Brazil. Twenty-four cassava clones were evaluated annually alongside the control genotypes 'Mandim Branca' and 'SCS254 Sambaqui' in two planting systems: a) no-tillage under oat cover crop and b) conventional tillage. The experimental design employed was randomized complete blocks with three replications. The analyses were performed using REML/BLUP mixed models. The tested genotypes exhibited similar responses for the characters root yield (t/ha), starch content (%), and starch yield (t/ha) across both cultivation systems. The results support the viability of no-tillage under black oat as a suitable option for this crop. The clone SC09-2246 shows promising results in tuberous root yield, registering a 13% gain above the overall environmental average. The clones SC08-1054 and SC09-2154 demonstrated the best performance among the genotypes for the Stability of genotypic values (MHVG), adaptability of genotypic values (PRVG), end stability and adaptability of genotypic values (*MHPRVG*) statistics, indicating significant potential for selection gains.

Additional keywords: conventional tillage, no-tillage; REML/BLUP; genotypic selection.

Introdução

A erosão do solo é apontada como a causa principal do comprometimento da sustentabilidade da agricultura em todo o mundo. O processo erosivo é determinado pelas condições climáticas, pelos atributos do solo e, sobretudo, pelo uso de práticas agrícolas inadequadas. No interior das lavouras, o nível de movimentação do solo nas operações de preparo e plantio e o grau de cobertura e proteção do mesmo são fatores determinantes da erosão (Cannell & Hawes, 1994). A intensa mobilização e o revolvimento tendem a comprometer seu potencial produtivo. Isso ocorre porque o processo, além de facilitar o trabalho erosivo, provoca a redução da quantidade de resíduos culturais na superfície e acelera sua decomposição, resultando na diminuição da atividade biológica, compactação do solo e destruição da sua estrutura superficial. (Bertolini & Lombardi Neto, 1993, Figueiredo et al., 2017).

As práticas comumente adotadas por agricultores em relação ao cultivo da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) envolvem sistemas de preparo de solo caracterizados por essa excessiva mobilização e desestruturação da camada superficial. O uso intensivo e indiscriminado de aração e gradagem e o excessivo tráfego de máquinas sobre o terreno ajudam a destruir a estrutura da camada superficial e contribuem para a formação de uma camada compacta sub-superficial, favorecendo a erosão.

Assim, a utilização de sistemas de manejo conservacionista no cultivo de mandioca é particularmente importante. É fundamental a utilização de uma camada de cobertura constante sobre o solo para manutenção e/ou melhoria das suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Nesse contexto, o sistema de plantio direto (SPD), comprovadamente testado para diversas culturas vem aos poucos se tornando uma realidade também na cultura da mandioca.

As condições para o desenvolvimento das plantas de mandioca no SPD na palha são distintas quando comparadas com o plantio convencional. O não revolvimento do solo permite maior espaço de tempo útil para o plantio, que deve ser realizado quando o solo apresenta teor de água suficiente para a brotação das manivas (Gabriel Filho, et al., 2003). Já a manutenção da cobertura morta, principalmente de *Avena strigosa*, exerce efeitos alelopáticos sobre várias espécies de plantas daninhas, reduzindo sua competição com a cultura (Almeida, 1991, Cavalli, et al., 2016). Essas são práticas cruciais, pois, a umidade do solo é o fator primário para o sucesso da implantação da lavoura e a intensa competição com plantas invasoras invariavelmente leva a uma redução significativa na produtividade final da lavoura.

Contudo, apesar dos diversos trabalhos envolvendo o sistema de plantio direto (Oliveira et al., 2001, Gabriel Filho et al., 2003, Pequeno et al., 2007 e Otsubo et al., 2008, Devidé et al., 2017), a grande maioria destes está voltada a estudos de aperfeiçoamento e adequação do sistema para a cultura da mandioca.

Apesar da grande importância e da contribuição destas pesquisas voltadas aos sistemas de plantio direto e mínimo em mandioca, pouco se tem feito no sentido de selecionar genótipos adaptados para tais.

Moreira et al. (2019) avaliaram o desempenho de cinco cultivares de mandioca nos sistemas de plantio direto (SPD) e plantio convencional (PC). Em seus estudos, constataram a viabilidade do cultivo sob o SPD, evidenciada pelo incremento na produtividade da cultura.

Em estudo com a cultura do feijão-comum, Santos et al. (2004) avaliaram o desempenho de cultivares em sistema convencional e plantio direto com diferentes tipos de cobertura vegetal (palhadas). Os autores concluíram que, na maioria das situações, as cultivares de feijoeiro apresentaram produtividades superiores ou equivalentes às obtidas no sistema convencional quando cultivadas em SPD. Por sua vez, o trabalho conduzido por Reis et al. (2007) na cultura do arroz demonstrou diferença no comportamento

agronômico entre cultivares e linhagens nos dois sistemas. Este resultado indicou a ocorrência de interação significativa entre genótipos de arroz e os ambientes testados (local e sistema de manejo do solo).

A relevância da Interação Genótipos \times Ambientes ($G \times A$) em sistemas de plantio contrastantes também é corroborada pelo trabalho de Devkota et al. (2021) com cevada, grão-de-bico, lentilha e trigo que analisaram a interação sistema de plantio \times genótipo ($S \times G$) ao longo de três safras. Os resultados confirmaram que trigo e grão-de-bico produziram rendimentos de grãos significativamente maiores (62% e 43% respectivamente) sob a SPD em comparação com PC. Para estas culturas, a interação $S \times G$ foi mais frequente, indicando que o sistema de plantio (manejo do solo) é um componente ambiental relevante na expressão diferencial do potencial genético. Para lentilha e cevada o desempenho foi semelhante em ambos os sistemas.

Tais estudos, que ressaltam o sucesso do melhoramento de plantas na seleção de genótipos adaptados ao sistema de plantio direto em espécies cultivadas, reforçam a necessidade de pesquisas voltadas para seleção de genótipos de mandioca adaptados ao mesmo.

Segundo Hershey (1988), a cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) exibe ampla diversidade genética concentrada, sobretudo, na América Latina e no Caribe. Essa variabilidade é um reflexo da seleção natural que ocorreu durante a pré e pós-domesticação da espécie. Nos diferentes ambientes onde a mandioca se diversificou, a seleção resultou em uma vasta gama de clones adaptados a ecossistemas específicos, o que fundamenta as perspectivas de sucesso da presente pesquisa.

Assim, o objetivo do trabalho foi estudar o comportamento de genótipos de mandioca cultivados sob sistema de plantio direto e convencional utilizando metodologia REML/BLUP.

Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos durante quatro safras consecutivas (safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17) na área experimental da Epagri/Estação Experimental de Urussanga, localizada no município de Urussanga, região Sul de Santa Catarina, a 28°31'04" latitude Sul, 49°19'15" longitude Oeste e 48 metros de altitude, em um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico de origem granítica. O clima é do tipo Subtropical Úmido com Verão Quente (Cfa). A temperatura média anual é 19,4°C, variando de 14,6°C em junho e 24,1°C em fevereiro. A precipitação total anual média é 1.624mm, bem distribuída ao longo do ano. Apesar de não haver estação seca definida, o trimestre abril-maio-junho recebe apenas 17% da precipitação anual, enquanto o trimestre dezembro-janeiro-fevereiro recebe 35% da precipitação total anual (Pandolfo et al., 2002).

Os dados climatológicos registrados durante o período de condução dos experimentos, referentes à precipitação pluvial (mm), temperatura média do ar (°C) e a diferença entre a precipitação ocorrida e a evapotranspiração potencial (mm), são apresentados na (Figura 1).

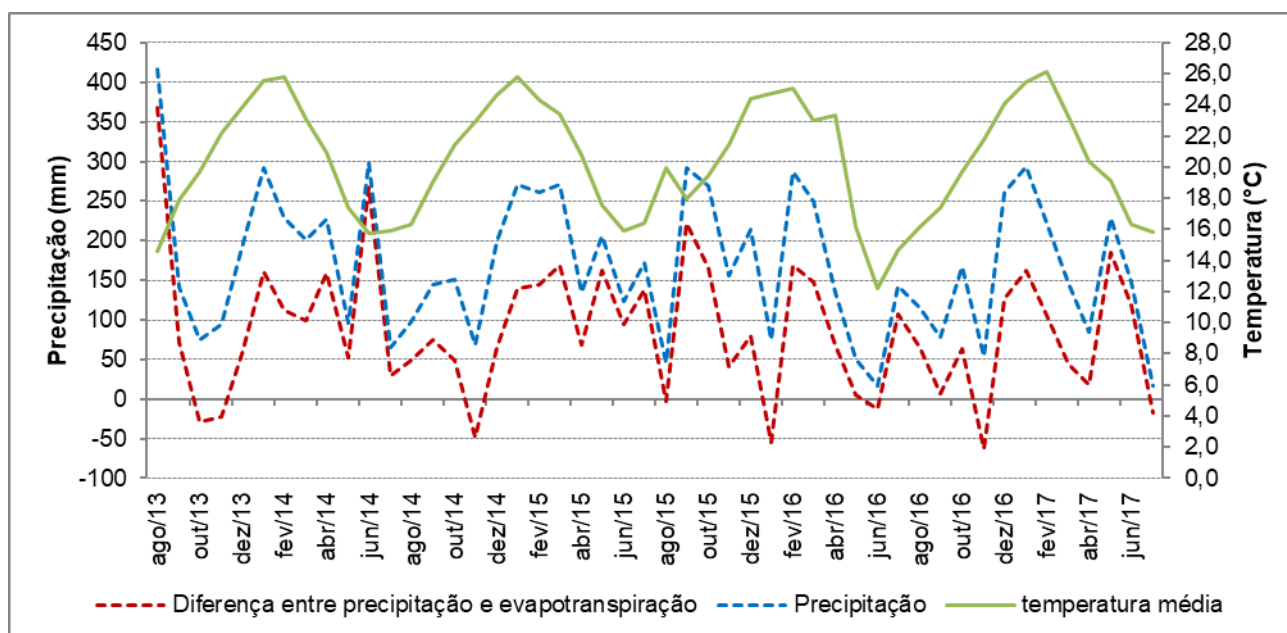


Figura 1. Valores médios mensais de precipitação, temperaturas e diferença entre precipitação ocorrida e evapotranspiração potencial observadas no período de agosto de 2013 a julho de 2017, em Urussanga, SC.
Monthly average values of precipitation, temperatures, and the difference between actual precipitation and potential evapotranspiration observed in Urussanga, SC, during the period from August 2013 to July 2017.

Vinte e quatro clones de mandioca foram anualmente avaliados em comparação com as testemunhas Mandim Branca e SCS254 Sambaqui, em dois sistemas de manejo do solo: plantio direto (sob palhada de aveia preta, sem revolvimento) e plantio convencional (com uma aração e duas gradagens, implicando em revolvimento). As cultivares testemunhas (Mandim Branca e SCS254 Sambaqui) são referência na região, reconhecidas pelo seu desempenho agrônomo superior quando cultivadas sob o sistema convencional e colhidas após um ciclo de 8 a 10 meses. A utilização da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) como planta de cobertura de solo se justifica por ser amplamente utilizada no Estado de Santa Catarina durante a entressafra da cultura da mandioca (outono/inverno), devido à sua capacidade de mitigação da erosão hídrica, fornecendo de palhada densa e duradoura e pelo efeito supressor sobre plantas invasoras.

Em cada safra e sistema de plantio avaliado, a unidade experimental foi instalada no delineamento blocos casualizados (DBC), contendo três repetições e parcelas úteis de 12 plantas. Adotou-se o espaçamento de 0,90 m entre plantas na fileira e 0,85 m entre as linhas de plantio, o que confere uma densidade populacional de aproximadamente 13.072 indivíduos por hectare. A semeadura ocorreu anualmente, no período compreendido entre agosto e setembro, seguindo as recomendações fitotécnicas de adubação e tratos culturais usuais para a cultura na região edafoclimática de estudo (Nunes & Peruch, 2018).

Foram avaliados os seguintes caracteres: produção de raízes (t/ha), teor de amido nas raízes (%), obtido pela relação $((15,75 + (0,0564 \times \text{Mat.seca}) - 4,65))$ (Grossmann & Freitas, 1950) e produção de amido (t/ha) através da relação direta entre a produtividade de raízes e o teor médio de amido de cada genótipo, sendo os valores expressos em toneladas por hectare (t/ha).

Os dados foram avaliados no contexto de modelos mistos (REML/BLUP). Para as análises foi utilizado o seguinte modelo matricial (modelo 114), que pressupõe a avaliação em vários ambientes e vários anos para culturas anuais.

$$y = Xf + Zg + Qa + Ti + Wt + e \quad (1)$$

Em que: y o vetor de observações; f o vetor dos efeitos das combinações repetição-local-ano (efeitos fixos do modelo) somados à média geral; g o vetor de efeitos genotípicos (assumido como aleatórios); a é o vetor dos efeitos da interação de genótipos com anos (aleatórios); i o vetor dos efeitos das interações de genótipos x locais (aleatório); t o vetor dos efeitos da interação tripla genótipos x locais x anos (assumidos como aleatórios); e o vetor de erros (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos (Resende, 2007b).

Como foram avaliados 26 genótipos, os efeitos foram considerados como aleatórios, conforme Resende & Duarte (2007), que recomendam tratar efeitos genotípicos como aleatórios quando o número de tratamentos for igual ou superior a 10.

Foi realizada a análise de *deviance*, recomendada para análise de série de ensaios desbalanceados (Resende, 2007a) e a significância dos efeitos do modelo foi testada por meio da razão da verossimilhança (*Likelihood Ratio Test* ou *LRT*). As *deviances* foram obtidas por meio de análises com e sem os efeitos de genótipos (g), genótipos x anos (ga), genótipos x locais (gl) e genótipos x locais x anos (gla). Em seguida, subtraiu-se de cada *deviance* do modelo completo a *deviance* do modelo reduzido, e confrontando-o com o valor do qui-quadrado com um grau de liberdade, a 1% e 10% de probabilidade.

O modelo contempla além da produtividade em cada sistema e na média dos sistemas, a estabilidade (através da média harmônica dos valores genéticos através das safras – MHVG), a adaptabilidade (através da performance relativa dos valores genéticos em relação à média de cada safras – PRVG) e a estabilidade e a adaptabilidade simultaneamente (através da média harmônica da performance relativa dos valores genéticos MHPRVG), conforme Resende (2007). As análises via modelos mistos foram realizadas com o aplicativo SELEGEN REML/BLUP (versão dez. 2020) (Resende, 2007a).

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 é apresentado o resultado da análise de *deviance* para os efeitos de genótipos e os efeitos das interações genótipos x anos, genótipos x locais e genótipos x locais x anos. Além de seus respectivos componentes de variância, coeficientes de determinação e correlações na análise conjunta dos dois sistemas (locais) e quatro anos (safras) para os caracteres produção de raízes, teor de amido e produção de amido. Verificou-se pelo teste de qui-quadrado, aplicado sobre a razão entre as verossimilhanças (LRT) do modelo completo ou saturado em relação ao modelo reduzido, que os efeitos de genótipos e da interação dupla genótipos x anos, bem como seus componentes de variância (V_g e V_{ga}) e coeficientes de determinação (h^2_g e c^2_{ga}) dos respectivos efeitos foram estatisticamente significativos ($P \leq 0,01$) para todos os caracteres estudados.

Tabela 1 - Estimativas dos componentes de variância (REML individual), para os caracteres produção de raízes (t/ha), teor de amido nas raízes (%) e produção de amido (t/ha), em genótipos de mandioca avaliados por quatro safras (2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17) em dois sistemas de plantio (direto e convencional).
Estimates of the variance components (individual REML), for root yield (t/ha), root starch content (%) and starch yield (t/ha) in cassava genotypes evaluated in four harvests (2013/14, 2014/15, 2015/16 and 2016/17) in two systems of planting (tillage and conventional).

Componentes de variância (REML individual)					
Produção de raízes					
Efeito	Deviance	LRT (χ^2)	Variâncias (V)	Coefficientes	Correlações (r)
Genótipo (g)	2094,37	8,78**	$V_g = 8,5355$	$h^2_g = 0,1939 \pm 0,0569$	
Genótipos x anos (ga)	2119,04	33,45**	$V_{ga} = 12,3943$	$c^2_{ga} = 0,2816$	$r_{ga} = 0,4078$
Genótipos x locais (gl)	2085,62	0,03 ^{ns}	$V_{gl} = 0,0687^{ns}$	$c^2_{gl} = 0,0016^{ns}$	$r_{gl} = 0,9920$
Genótipos x locais x anos (gla)	2085,63	0,04 ^{ns}	$V_{gla} = 0,3339^{ns}$	$c^2_{gla} = 0,0076^{ns}$	$r_{gla} = 0,4001$
Resíduo			$V_e = 22,6867$		
			$V_f = 44,0193$		
Modelo Completo	2085,59				
Média geral	=	23,7190			
Teor de amido					
Efeito	Deviance	LRT (χ^2)	Variâncias (V)	Coefficientes	Correlações (r)
Genótipo (g)	521,91	55,6**	$V_g = 1,9967$	$h^2_g = 0,7002 \pm 0,1081$	
Genótipos x anos (ga)	480,32	14,01**	$V_{ga} = 0,2087$	$c^2_{ga} = 0,0732$	$r_{ga} = 0,9054$
Genótipos x locais (gl)	466,28	0,00 ^{ns}	$V_{gl} = 0,0082^{ns}$	$c^2_{gl} = 0,0029^{ns}$	$r_{gl} = 0,9959$
Genótipos x locais x anos (gla)	468,46	2,15 ^{ns}	$V_{gla} = 0,0599^{ns}$	$c^2_{gla} = 0,0210^{ns}$	$r_{gla} = 0,8782$
Resíduo			$V_e = 0,5778$		
			$V_f = 2,8514$		
Modelo Completo	466,31				
Média geral	=	30,0606			
Produção de amido					
Efeito	Deviance	LRT (χ^2)	Variâncias (V)	Coefficientes	Correlações (r)
Genótipo (g)	1014,61	10,18**	$V_g = 0,8700$	$h^2_g = 0,2093 \pm 0,0591$	
Genótipos x anos (ga)	1035,64	31,21**	$V_{ga} = 1,1414$	$c^2_{ga} = 0,2746$	$r_{ga} = 0,4325$
Genótipos x locais (gl)	1004,44	0,01 ^{ns}	$V_{gl} = 0,0055^{ns}$	$c^2_{gl} = 0,0012^{ns}$	$r_{gl} = 0,9937$
Genótipos x locais x anos (gla)	1004,55	0,12 ^{ns}	$V_{gla} = 0,0477^{ns}$	$c^2_{gla} = 0,0115^{ns}$	$r_{gla} = 0,4214$
Resíduo			$V_e = 2,0917$		
			$V_f = 4,1563$		
Modelo Completo	1004,43				
Média geral	=	7,1369			

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste de qui-quadrado.

ns : não significativo pelo teste de qui-quadrado.

Os efeitos das interações genótipos x locais e genótipos x locais x anos, assim como seus respectivos componentes de variância (V_{gl} e V_{gla}) e seus coeficientes de determinação (c^2_{gl} e c^2_{gla}) não foram significativos para explicar a variação total dos dados nos ensaios (Tabela 1). A análise de *deviance*

evidenciou assim, a presença de variabilidade genética entre os genótipos testados e interação entre genótipos e anos de avaliação.

A ausência de interação estatisticamente significativa entre genótipos e locais (sistemas de plantio) evidencia a similaridade dos genótipos avaliados em relação à produtividade de raízes, teor de amido e produção de amido, independentemente do sistema de plantio adotado. Esse fato indica que, escolhido o cultivar, a adoção do SPD, além de viabilizar a sustentabilidade do sistema pela manutenção da cobertura vegetal (palhada), minimizar perdas de solo pela erosão hídrica e eólica e incrementar o teor de matéria orgânica, essa decisão não comprometerá os rendimentos da lavoura.

O cultivo sustentável da mandioca necessariamente requer a adesão aos princípios da agricultura de conservação. Para atingir este objetivo, é essencial ter acesso a cultivares, resistentes e adaptados aos sistemas de plantio conservacionistas (SPD). Por isso a importância de se estudar o comportamento dos genótipos de mandioca e identificar os de alto rendimento, bem como os estáveis, para o SPD.

Em trabalhos com a cultura do grão de bico no noroeste do Irã, Khoshro & Maleki (2025) detectaram interação genótipos versus sistemas de plantio (plantio convencional, cultivo mínimo e plantio direto), além da interação sistema de plantio versus anos (safras) para todos os caracteres estudados, exceto para número de dias para o florescimento. Os autores também observaram altos índices de variância fenotípica, herdabilidade no sentido amplo e acurácia seletiva para a maioria dos caracteres.

Na Tabela 1 também se observa que, para o teor de amido, o componente de variância genotípica (V_g) superou as demais variâncias das interações V_{ga} , V_{gl} e V_{gla} . Isso indica uma elevada contribuição da variância genética para a variância fenotípica total do caráter, o que confere maior probabilidade de sucesso na seleção de genótipos superiores. Essa predominância da variância genética reflete em uma alta herdabilidade do carácter ($h^2_a = 0,70$). Em contrapartida, para a produção de raízes e produção de amido, a variância da interação genótipos \times anos (V_{ga}) foi o componente de maior magnitude. Essa predominância da V_{ga} ressalta a influência da sazonalidade (efeito de safra) no comportamento dos genótipos de mandioca avaliados.

A significância (Tabela1) do efeito da interação (genótipos \times anos) para todos os caracteres observados no presente estudo demonstram que, o desempenho agrônomo dos genótipos de mandioca foi influenciado distintamente pelas condições ambientais a que foram submetidos, neste caso, pelas diferenças ocorridas entre uma safra e outra. O ano 2015 foi de forte El Niño, com volumes de chuvas recordes registrado em Urussanga-SC. Temperaturas mais elevadas também são esperadas pelo efeito desse fenômeno. Em 2016 houve a virada para o La Niña, com inverno mais frio e geadas mais frequentes. A ocorrência do El Niño

e do La Niña durante o período de avaliação, provavelmente contribuíram com a significância da interação genótipos x anos. Cabe ressaltar que em todas as safras foram observados períodos em que o volume chuvas foram menores que a evapotranspiração potencial, podendo ser considerados meses de com deficiência hídrica (Gráfico 1). Fatos que enfatizam a importância de testes em várias safras (anos) para a recomendação de cultivares.

A significância da participação da interação genótipos x ambientes na fração total da variação fenotípica tem sido demonstrada por diversos autores, em diversas culturas utilizando a metodologias de modelos mistos. Candido et al. (2018), detectou significância da interação dupla genótipos x épocas para todos os caracteres estudados na cultura da alface crespa. Moreto et al. (2017) em trabalho com a cultura da mandioca, evidenciaram a presença de variabilidade genética dos genótipos e interação tripla entre genótipos, locais e anos. Borges et al. (2010), estudando o desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas identificaram interação significativa para genótipos x anos e genótipos x locais. Segundo os autores, a magnitude da interação V_{gl} foi ligeiramente superior a V_{ga} . Verardi et al. (2009), confirmaram em seus trabalhos de adaptabilidade e estabilidade da produção de borracha em progênies de seringueira que a magnitude da interação genótipos x ambientes foi alta indicando a presença de interação genótipos x ambientes do tipo complexa. A presença de interação na cultura da mandioca também foi relatada por autores como Moreto et al. (2016) e Cardoso et al. (2004).

Os valores estimados dos coeficientes de determinação dos efeitos de genótipos (h^2_g), considerado significativo ($P \leq 0,1$), apresentou contribuição relativa de 19,4%, 70,0% e 20,9% para a variação observada na produção de raízes, teor de amido e produção de amido, respectivamente (Tabela 1). Estes valores significativos e diferentes de zero indicam presença de variabilidade genética entre os genótipos avaliados. Isso possibilita êxito na seleção de genótipos promissores e, conseqüentemente, obtenção de ganhos genéticos com a seleção dos mesmos.

Os coeficientes de determinação (c^2_{ga} para a interação genótipos x anos; c^2_{gl} para interação genótipos x locais e c^2_{gla} para a interação genótipos x locais x anos) indicam o quanto cada componente contribui para a variância fenotípica total (Borges et al., 2010).

Sendo assim, a interação genótipos x anos contribuiu significativamente com 28,2%, 7,3% e 27,5% do total da variância para os caracteres produção de raízes, teor de amido e produção de amido,

respectivamente. As demais interações, genótipos x locais e genótipos x anos x locais contribuíram abaixo de 2,0% para todos os caracteres, consideradas não significativas para os níveis de teste considerados.

A alta magnitude das estimativas das correlações genotípica através dos locais (r_{gl}), 0,998 (Tabela 1), traduz que as variações dos sistemas de preparo de solo (direto e convencional) não refletiram numa mudança significativa de comportamento dos genótipos estudados. Valor plausível uma vez que, no presente estudo, não foram observados efeitos significativos para a interação desse tipo. Reis et al. (2007), comparando o desempenho de cultivares e linhagens de arroz de terras altas sob plantio direto e convencional, constataram que os genótipos avaliados tiveram comportamentos semelhantes nos dois sistemas, corroborando com o presente estudo.

Esse aspecto é considerado positivo, como dito anteriormente, pois permite inferir que na prática, os genótipos superiores podem ser recomendados, tanto para o sistema convencional quanto para o direto.

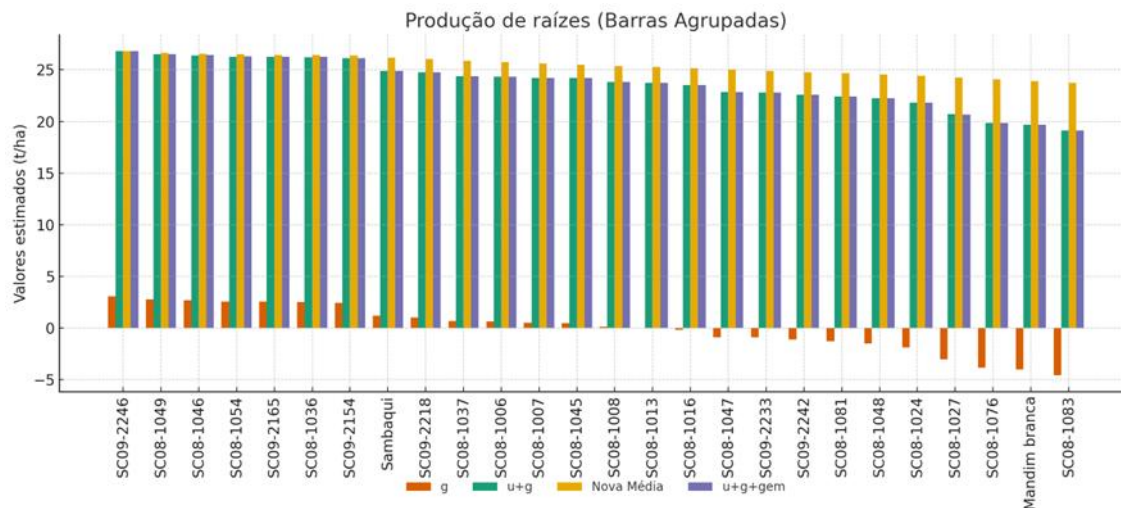
Convém ressaltar a importância de tal estudo e resultados, uma vez que a quase totalidade dos trabalhos envolvendo diferentes sistemas de cultivo para a cultura da mandioca visam a comparação dos sistemas, utilizando para tanto, um único genótipo nas avaliações. Pequeno et al. (2007), comparando três sistemas de preparo de solo (plantio direto, mínimo e convencional) constataram que o preparo convencional proporcionou maior altura de plantas e maior produção de parte aérea e raízes tuberosas em relação aos demais, e que apenas o teor de massa secas das raízes não foi influenciado nessa comparação. Otsubo et al. (2008), avaliando o uso de plantas de cobertura e sistemas de preparo de solo no desenvolvimento e na produtividade da mandioca, destacaram a possibilidade de substituição do sistema convencional pela prática do cultivo mínimo, que promoveu incrementos significativos na produtividade da cultura.

Na Figura 2 estão dispostos na ordem, os genótipos com melhores valores genotípicos preditos para a média de todos os ambientes (sistemas e safras). Destacaram-se entre os genótipos com maior produção de raízes os clones SC09-2246, SC08-1049, SC08-1046, SC08-1054, SC09-2165 com ganhos obtidos pela seleção dos mesmos de 13,0%, 12,4%, 12,0%, 11,7% e 11,5% respectivamente (Figura 3). Já os genótipos SC08-1024, SC09-2233, SC09-2154, SC08-1048 e SCS254 Sambaqui foram os que alcançaram os mais elevados teores de amido nas raízes, com ganhos entre 8,1% e 6,2% (Figura 3). Na relação entre esses dois caracteres (produção de raízes e teor de amido), expressa pela produção de amido, observou-se que dentre os cinco melhor classificados, quatro se figuram como os mais produtivos em raízes. Quando se considera os 10 melhor classificados para este caráter, nove se figuram entre os mais produtivos e três (SC09-2154, SC08-1054 e o cultivar SCS254 Sambaqui) entre os com teor de amido mais elevado.

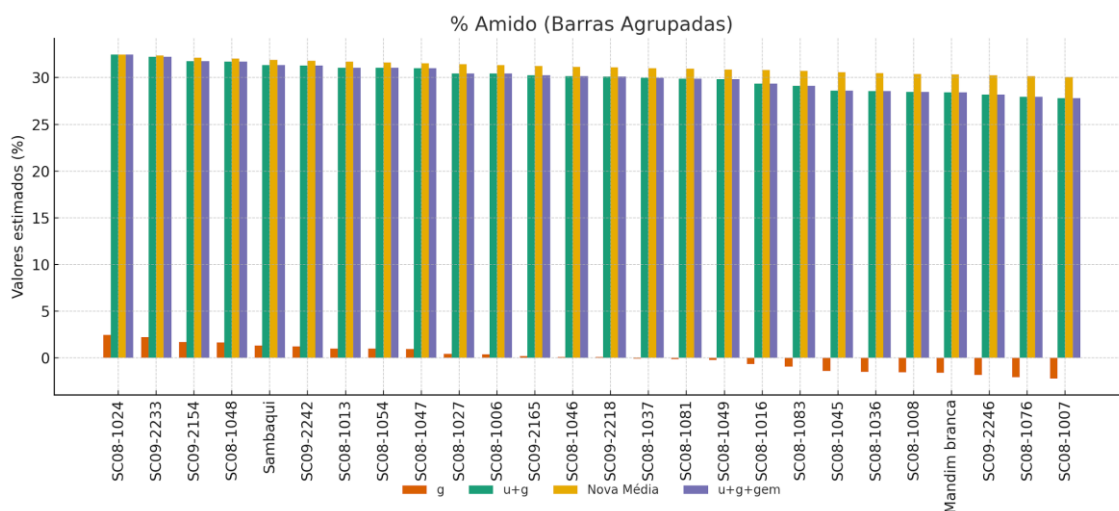
Destaque para esse caractere são os clones SC08-1054, SC09-2154, SC08-1046, SC08-1049 e SC09-2165 (Figura 2).

Tendo em vista que estes cinco clones estão em estágio avançado de avaliação, tais valores tornam-se significativos, pois evidencia o sucesso quanto à disponibilização de novos cultivares aos produtores interessados. Como se trata de um método de caráter conservador, que penaliza os valores genotípicos preditos, o mesmo comportamento das médias genotípicas ($u+g$) do caráter é esperado, quando os genótipos eleitos forem submetidos a ambientes diversos, ou seja, nos cultivos comerciais, os clones deverão produzir, em média, tais valores (Maia et al., 2009).

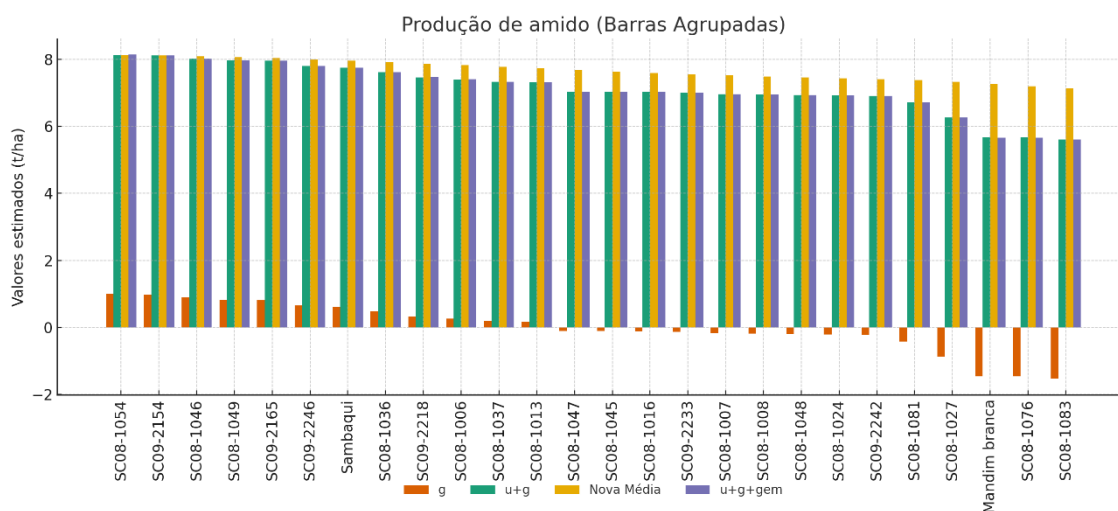
O valor genotípico médio nos vários ambientes ($u+g+gem$) capitaliza uma interação média com todos os ambientes, e nessa capitalização da interação está intrínseca a escolha de genótipos mais estáveis e mais adaptados à gama de ambientes (dois sistemas de plantio e quatro safras) aos quais foram testados os experimentos. Aqui se repete os genótipos escolhidos pela média genotípica livres da interação ($u+g$) (Figura 2) e sua recomendação pode ser extrapolada para o plantio em vários ambientes, respeitando-se o padrão da interação dos locais de experimentação (plantio direto e preparo convencional do solo) (Resende, 2007).



a) Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) - produção de raízes (t/ha)



b) Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) – teor de amido nas raízes (%)



c) Estimativas dos componentes de média (BLUP individual) - produção de amido (t/ha)

g: efeitos genotípicos preditos; u+g: médias genotípicas preditas; u+g+gem: valor genotípico médio nos vários ambientes e capitaliza uma interação média com todos os ambientes avaliados.

Figura 2. Estimativas dos componentes de média (BLUP individual), para os caracteres produção de raízes (t/ha), teor de amido nas raízes (%) e produção de amido (t/ha), em genótipos de mandioca avaliados por quatro safras (2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017) em dois sistemas de plantio (direto e convencional).

Estimates of the mean components (individual REML), for root yield (t / ha), root starch content (%) and starch yield (t / ha) in cassava genotypes evaluated in four harvests (2013 / 14, 2014/15, 2015/16 and 2016/17) in two systems of planting (direct and conventional).

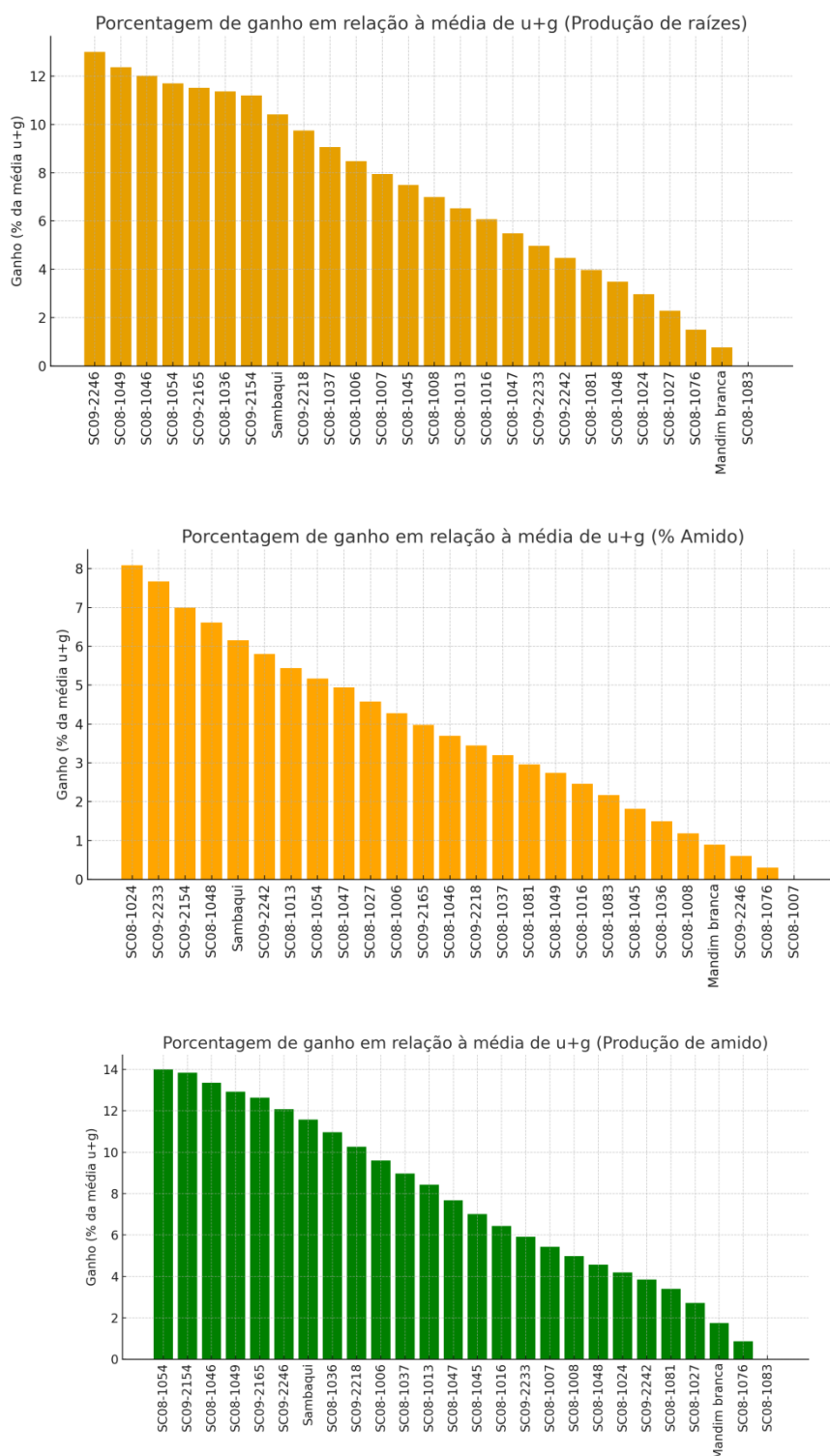
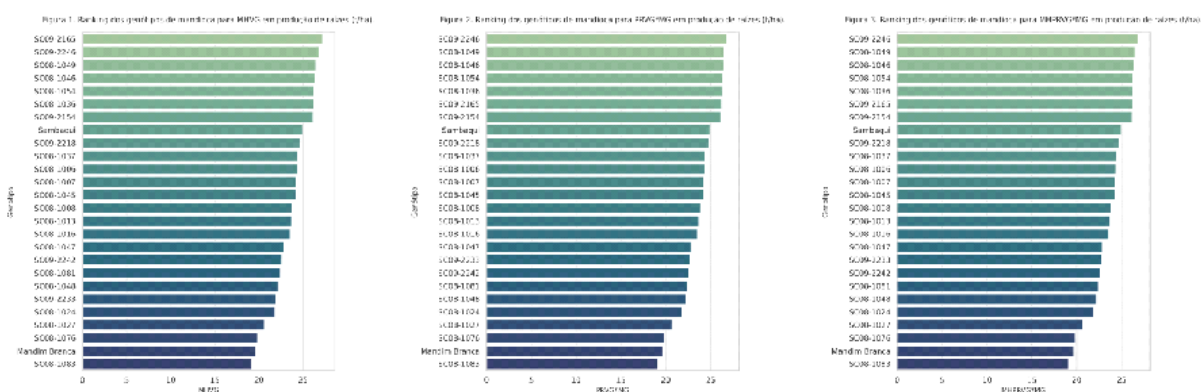


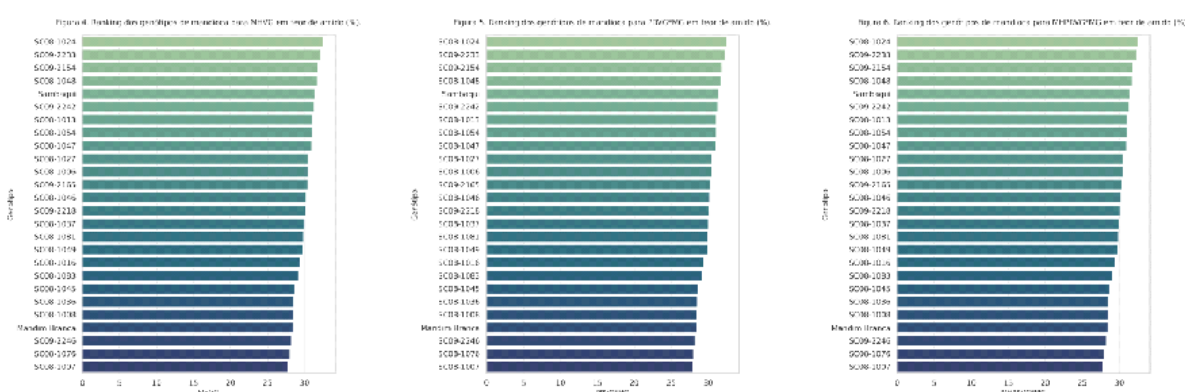
Figura 3. Ganhos em relação à média (u+g) para os caracteres produção de raízes (t/ha), teor de amido nas raízes (%) e produção de amido (t/ha), em genótipos de mandioca avaliados por quatro safras (2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017) em dois sistemas de plantio (direto e convencional).

Gains relative to the mean (u+g) for root yield (t / ha), root starch content (%) and starch yield (t / ha) in cassava genotypes evaluated in four harvests (2013 / 14, 2014/15, 2015/16 and 2016/17) in two systems of planting (direct and conventional)

Produção de raízes



% Amido



Produção de amido

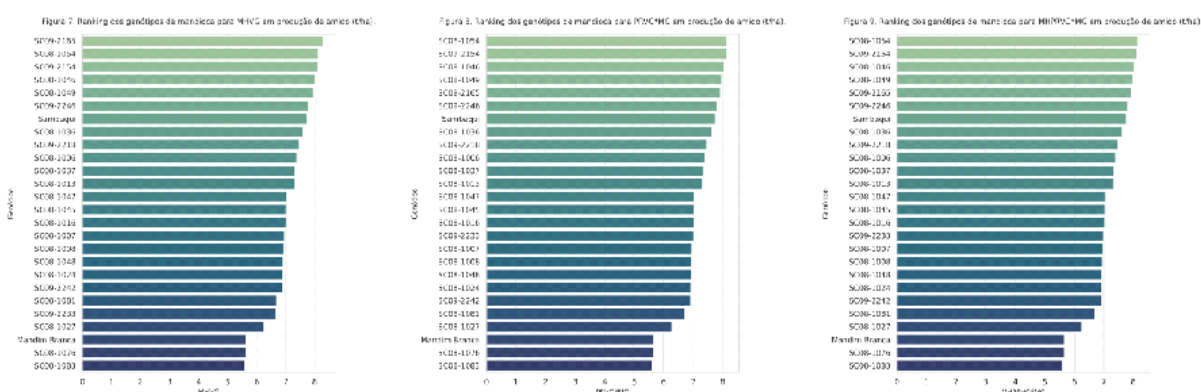


Figura 4. Estabilidade dos valores genotípicos (MHVG), adaptabilidade dos valores genotípicos (PRVG), valores genotípicos médios capitalizados pela interação (PRVG*MG), estabilidade e adaptabilidade de valores genotípicos (MHPRVG) e valores genotípicos médios nos sistemas (MHPRVG*MG) para produção de raízes (t/ha), teor de amido (%) e produção de amido (t/ha) de genótipos de mandioca avaliados por quatro safras (2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017) em dois sistemas de plantio (direto e convencional),

*Stability of genotypic values (MHVG), adaptability of genotypic values (PRVG), mean genotypic values capitalized by the interaction (PRVG*MG), stability and adaptability of genotypic values (MHPRVG), and mean genotypic values across systems (MHPRVG*MG) for root yield (t/ha), starch content (%), and starch yield (t/ha) of cassava genotypes evaluated across four cropping seasons (2013/2014, 2014/2015, 2015/2016, and 2016/2017) under two planting systems (no-tillage and conventional tillage).*

A interação genótipos x ambientes é decorrente da variação do desempenho dos genótipos nos vários ambientes, isto é, reflete as diferentes sensibilidades dos genótipos às mudanças do ambiente e pode ser pautado na estimação da adaptabilidade e da estabilidade fenotípica. Na Figura 4, estão apresentadas as estimativas de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG), para os caracteres produção de raízes, teor de amido e produção de amido por hectare de raízes de mandioca colhida.

Os valores da MHVG – Média harmônica dos valores genotípicos, para os 26 genótipos avaliados e apresentados na Figura 4, são referentes à estabilidade genotípica dos caracteres estudados. Ou seja, são os valores da produção de raízes, teor de amido e produção de amido penalizados pela instabilidade quando os genótipos são avaliados nos diferentes ambientes de cultivo. Esta média indica a previsibilidade, isto é, a manutenção da produtividade, frente a ambientes diversos. Assim, a seleção com base neste critério contempla os dois atributos simultaneamente, genótipos que se destacam quanto ao caractere estudado e a estabilidade dos mesmos. Para os caracteres produção de raízes e produção de amido, os 10 genótipos que mais associaram produtividade com estabilidade foram SC09-2165, SC09-2246, SC08-1049, SC08-1046, SC08-1054 SC08-1036, SC09-2154, SCS254 Sambaqui, SC09-2218 e SC08-1037 (Figura 4). Já para o caractere teor de amido, os 10 genótipos destaque foram SC08-1024, SC09-2233, SC09-2154, SC08-1048, SCS254 Sambaqui, SC09-2242, SC08-1013, SC08-1054, SC08-1047 e SC08-1027. Para o produtor rural, é de fundamental importância que uma cultivar seja estável ao longo dos anos.

Considerando que a adaptabilidade é a capacidade de os genótipos responderem de forma positiva ao estímulo do ambiente, o valor da PRVG indica a adaptabilidade dos valores genéticos, que capitaliza a capacidade da resposta de cada genótipo à melhoria do ambiente (Regitano Neto et al., 2013),

A Figura 4 classifica os genótipos que melhor respondem as melhorias do ambiente de cultivo (PRVG*MG) para os três caracteres estudados. Também na mesma figura (Figura 4), pode-se observar a classificação com relação à MHPRVG. Esta estatística agrupa a estabilidade, a adaptabilidade e o caractere avaliado (produção de raízes, teor de amido e produção de amido), facilitando, de modo singular, a seleção

de genótipos superiores (Regitano Neto et al., 2013). O valor de MHPRVG*MG fornece o valor genotípico médio das linhagens nos ambientes avaliados, valor já penalizado pela instabilidade e capitalizado pela adaptabilidade.

Observou-se que, para ambos as estatísticas (PRVG*MG e MHPRVG*MG), houve coincidência na classificação dos genótipos dentro de cada caractere. Para o caráter teor de amido, os genótipos SC08-1024, SC09-2233, SC09-2154, SC08-1048, SCS254 Sambaqui, SC09-2242, SC08-1013, SC08-1054, SC08-1047 e SC08-1027 estão entre os dez de maiores teores. Já para os caracteres produção de raízes e produção de amido, apesar da mudança de posição de alguns genótipos, os nove melhores classificados (SC08-1054, SC09-2154, SC08-1046, SC08-1049, SC09-2165, SC09-2246, SCS254 Sambaqui, SC08-1036 e SC09-2218) coincidem para ambas as estatísticas (Figura 4).

De acordo com Zeni-Neto et al, (2008), os valores de PRVG e MHPRVG indicam exatamente a superioridade média do genótipo em relação à média do ambiente ao qual ele foi testado, então o genótipo SC08-1054, por exemplo, tem superioridade de 1,11 vezes a média dos ambientes em que foi cultivado para produção de raízes, 1,03 para teor de amido e 1,14 vezes para produção de amido. Já o genótipo SC09-2154, tem superioridade de 1,10, 1,06 e 1,14 vezes para os caracteres produção de raízes, teor de amido e para produção de amido, respectivamente.

Conclusões

Os genótipos testados apresentam comportamentos semelhantes para os caracteres produção de raízes, teor de amido e produção de amido nos dois sistemas de cultivo aos quais foram submetidos.

Os resultados credenciam o sistema de plantio direto sob palhada de aveia preta como alternativa viável para cultura da mandioca.

Os clones SC08-1054 e SC09-2154 apresentaram o melhor desempenho entre os genótipos para as estatísticas MHVG, PRVG e MHPRVG, refletindo em ganhos significativos com a seleção dos mesmos.

O clone SC09-2246 se destaca na produção de raízes tuberosas, proporcionando ganhos altamente expressivos com a sua seleção.

Agradecimentos

A Epagri/EEUR pelas excelentes condições de trabalho e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

- ALMEIDA FS de (1991) Controle de plantas daninhas em plantio direto. Londrina: IAPAR, 34p.
- BERTOLINI D, Lombardi Neto F (1993) Manual Técnico de Manejo e Conservação do Solo e Água, v.1, São Paulo: CATI. 15p. (manual n° 38).
- BORGES V, Soares AA, Reis MS, Resende MDV, Cornélio VMO, Leite NA, Vieira AR (2010) Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. *Bragantia* 69: 833-841. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400008>
- CANDIDO W dos S, Soares RS, Franco CA, Diniz GMM, Silva EHC, Marin MV, Braz LT (2018) Stability and adaptability of curled green-leaf lettuce lines using the REML/Blup mixed model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 53: 298-306. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000300004>
- CANNELL RQ, Hawes JD (1994) Trends in Tillage Practices in Relation to Sustainable Crop Production with Special Reference to Temperate Climates. *Soil & Tillage Research* 30: 245-282. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90007-8)
- CARDOSO ET, Silva PRD da, Argenta G, Gerhard LF, Forsthoffer L, Suhre E, Strider M, Teichmann LL (2004) Estabilidade e adaptabilidade de rendimento de raízes de genótipos de mandioca em duas regiões do Rio Grande do Sul. *Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages* 3: 25-30.
- CAVALLI M, Santos MS, Barros MKLV, Barros HMM, Barosi KXL (2016) Potencial alelopático do extrato aquoso de aveia preta e azevém na germinação e crescimento inicial do capim-sudão. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11(5):70-76. <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i5.4675>
- DEVIDE ACP, Castro CM, Valle TL, Feltran JC, Almeida JC (2017) A. Cultivo de mandioca de mesa em plantio direto e convencional sobre diferentes culturas de cobertura. *Revista Brasileira de Energias Renováveis, Curitiba* 6(2):274-285.
- DEVKOTA M, Patil SB, Kumar S, Kehel Z, Wery J (2021) Performance of elite genotypes of barley, chickpea, lentil, and wheat under conservation agriculture in Mediterranean rainfed conditions. *Experimental Agriculture*, 57, 126-143 <https://doi.org/10.1017/S0014479721000107>
- FIGUEIREDO PG, Bicudo SJ, Chen S, Fernandes AM, Tanamati FY, Djabou-Fondjo ASM (2017) Effects of tillage options on soil physical properties and cassava-dry-matter. *Field Crops Research* 204(3): 191-198. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.012>
- GABRIEL Filho A, Strohhaecker L, Fey E (2003) Profundidade e espaçamento da mandioca no plantio direto na palha. *Ciência Rural* 33: 461-467. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000300011>
- GROSSMANN J, Freitas AC (1950) Determinação do teor de matéria seca pelo peso específico em raízes de mandioca. *Revista Agrônômica* 14: 75-80.
- HERSHEY CH (1988) Cassava breeding- CIAT headgunters. In: HOWELER RH & KAWANO K. (Ed). *Cassava breeding and agronomy research in asia*. Bangkok. Proceeding... Cali: Centro Internacional de Agricultura tropical. p.16-20.

KHOSHRO HH, Maleki HH (2025) Clarifying interactions between genotype and environment and management in chickpea by focusing on plant and soil attributes. *Sci Rep* 15, 11401. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95807-z>

MAIA MCC, Resende MDV, Paiva JR de, Cavalcanti JJV, Barros L de M (2009) Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 39: 43-50. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/pat/article/view/5704>> (Acesso em: 10 fevereiro. 2025).

MOREIRA CA, Moreira GA, Cruz RMS, Alberton O (2019) Cultivares de mandioca sob dois sistemas de cultivo. *Scientia Agraria Paranaensis* 18(1): 65-70.

MORETO AL, Neubert E de O, Peruch LAM, Pola, AC, De Lorenzi, EFP, Nunes EC (2017) Desempenho de genótipos de mandioca via metodologia de modelos mistos em Santa Catarina, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias* 40: 160-169. <https://doi.org/10.19084/RCA17083>

MORETO AL, Miranda M, Neubert E de O (2016) Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de mandioca avaliados no Oeste de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense* 29: 60-65. <https://doi.org/10.52945/rac.v29i3.148>

NUNES EC, Peruch LAM (2018) Recomendações técnicas para a produção de mandioca de indústria e mesa em Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 80p. (Epagri. Sistema de Produção, 51).

OLIVEIRA JOAP, Vidigal Filho OS, Tormena CA, Pequeno MG, Scapim CA, Muniz AS, Sagrilo E (2001) Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25: 443-450. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000200020>

OTSUBO AA, Mercante FM, Silva RF, Borges CD (2008) Sistema de preparo de solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43: 327-332. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000300006>

PANDOLFO C, Braga HJ, Silva Júnior VP, Massignam AM, Perereia ES, Thomé VMR (2002) Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, CD-Rom.

PEQUENO MG, Vidigal Filho OS, Tormena C, Kvitschal MV, Manzotti M (2007) Efeito do sistema de preparo do solo sobre características agrônômicas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11: 476-481. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000500005>

REGITANO Neto A, Ramos Junior EU, Gallo PB, Freitas JG, Azzini E (2013) Comportamento de genótipos de arroz de terras altas no estado de São Paulo. *Revista Ciência Agrônômica* 44: 512-519. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000300013>

REIS MS, Soares AA, Cornélio VM de O, Soares PC, Guedes JM, Costa Junior GT (2007) Comportamento de genótipos de arroz de terras altas sob sistemas de plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 37: 227-232. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/pat/article/download/3081/3112>> (Acesso em 8 dez 2024).

RESENDE MDV (2007a) SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas. 359p.

RESENDE MDV (2007b) Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. Colombo: Embrapa Florestas. 561p.

RESENDE MDV, Duarte JB (2007) Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. Pesquisa Agropecuária Tropical 37: 182-194. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/viewFile/1867/1773>> > (Acesso em 8 dez 2024).

SANTOS RLL, Correia JBD, Andrade MJB, Morais AR de (2004) Comportamento de cultivares de feijoeiro-comum em sistema convencional e plantio direto com diferentes palhadas. Ciência e Agrotecnologia 28: 978-989. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000500003>

VERARDI CK Resende MDV, Costa RB, Gonçalves PS (2009) Adaptabilidade e estabilidade da produção de borracha e seleção em progênies de seringueira. Pesquisa Agropecuária Brasileira 44: 1277-1282. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000010>

ZENI Neto H, Oliveira RA, Daros E, Bessalho-Filho JC, Zambon JLC, Ido OT, Weber H (2008) Seleção para produtividade, estabilidade e adaptabilidade de clones de cana de açúcar em três ambientes no estado do Paraná via modelos mistos. Scientia Agraria 9: 425-430. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99515597002>> (Acesso em 8 dez 2024). <https://doi.org/10.5380/ras.v9i4.12475>