



# TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE MILHO SUBMETIDOS AOS ESTRESSES ABIÓTICO E BIÓTICO EM HUÍLA, ANGOLA

## MAIZE GENOTYPES TOLERANCE TO ABIOTIC AND UNDER STRESS IN HUÍLA, ANGOLA

Irenil Lourenço Moço<sup>1</sup>; Estáquio Manoel Mauricio Malenga<sup>2</sup>; Nuno Muiaca Nambalo Nandjele<sup>2</sup>; Janaína Piza Ferreira<sup>3</sup>; Saraiva Constâncio Saraiva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Mandume Ya Ndemofayo – UMN – IPH, Angola. irenilmoco72@gmail.com; <sup>2</sup>Instituto Superior Politécnico Tundavala, Angola. estaquiopicasso2@gmail.com; nunomaster259@gmail.com; <sup>3</sup>Universidade Federal de Lavras, Brasil. janainapizaf@gmail.com; <sup>4</sup>Jardins da Yoba, Angola. constancio.saraiva@gmail.com.

### RESUMO

O milho é uma das principais culturas alimentares em Angola, desempenhando papel fundamental na segurança alimentar e na sustentabilidade agrícola. Este estudo comparou a resposta de 48 genótipos de milho aos estresses abiótico (acidez do solo) e biótico (*Spodoptera frugiperda*) nas condições edafoclimáticas da província da Huíla. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em solos fersialícos ácidos, com infestação natural da praga. Foram avaliados características de desenvolvimento vegetativo para estimar a tolerância à acidez e notas de danos foliares para mensurar a resistência à lagarta-do-cartucho. Os resultados indicaram baixa correlação ( $r = 0,34$ ) entre as tolerâncias, sugerindo mecanismos fisiológicos independentes. O genótipo TC18 destacou-se pela dupla tolerância aos dois tipos de estresse. A análise comparativa demonstrou que a acidez do solo exerceu impacto mais severo sobre a produtividade, com redução média de 38,2%, explicando 45,3% da variação observada, enquanto o ataque da praga resultou em redução de 28,7% e explicou 32,1% da variação. A análise de distribuição confirmou o efeito mais limitante da acidez, evidenciado por menor mediana e

### ABSTRACT

Maize is one of the main staple crops in Angola, playing a key role in food security and agricultural sustainability. This study compared the response of 48 maize genotypes to abiotic stress (soil acidity) and biotic stress (*Spodoptera frugiperda*) under the edaphoclimatic conditions of Huíla Province. The experiment was carried out in a randomized block design, on ferralic acidic soils with natural pest infestation. Vegetative development traits were assessed to estimate tolerance to acidity, and foliar damage scores were used to evaluate resistance to the fall armyworm. Results indicated a low correlation ( $r = 0.34$ ) between tolerances, suggesting independent physiological mechanisms. The TC18 genotype stood out for its dual tolerance to both stress types. Comparative analysis showed that soil acidity had a more severe impact on yield, causing an average reduction of 38.2% and explaining 45.3% of the observed variation, whereas pest damage resulted in a 28.7% reduction, explaining 32.1% of the variation. Distribution analysis confirmed the stronger limiting effect of acidity, reflected by a lower median yield and greater productivity



maior variabilidade produtiva. Conclui-se que as estratégias de seleção devem considerar separadamente cada tipo de estresse para maximizar a adaptação local, priorizando a correção da acidez do solo como ação essencial para o aumento sustentável da produtividade do milho na região.

Palavras-chaves: Acidez do solo; *Spodoptera frugiperda*; Produtividade; Tolerância; Adaptação regional.

variability. It is concluded that breeding strategies should consider each stress type separately to maximize local adaptation, with soil acidity correction prioritized as a key management action to achieve sustainable increases in maize productivity in the region.

**Keywords:** Soil acidity; *Spodoptera frugiperda*; Yield performance; Tolerance; Regional adaptation.

## Introdução

O milho (*Zea mays* L.) enfrenta desafios multifatoriais que limitam severamente sua produtividade nas condições tropicais de Angola. Na província da Huíla, dois estresses emergem como principais limitantes: a acidez dos solos fersialícos, que afeta aproximadamente 60% das áreas agrícolas da região (MINADER, 2021), e a incidência da lagarta-militar (*Spodoptera frugiperda*), considerada a praga mais destrutiva da cultura (Montezano et al., 2018).

A acidez do solo representa um stress abiótico complexo que limita a disponibilidade de fósforo em até 80% e induz toxidez por alumínio, reduzindo o desenvolvimento radicular em até 40% (Kochian et al., 2015). Estudos demonstram que em solos ácidos, a produtividade de grãos do milho pode ser reduzida em 30-50% mesmo na ausência de outras limitações (Fageria & Moreira, 2018).

Paralelamente, o estresse biótico imposto pela *Spodoptera frugiperda* tem grande importância global, com perdas reportadas entre 20-60% na África Subsaariana (Day et al., 2017). A praga tornou-se endêmica em Angola desde sua detecção em 2017, com infestações contínuas ao longo do ano (FAO, 2018).

A questão central que permanece em debate é qual destes fatores exerce maior influência na produtividade final. Enquanto alguns estudos sugerem que stresses bióticos são mais limitantes em condições de alta infestação (Abrahams et al., 2017), outros indicam que a acidez do solo constitui um fator mais consistente e generalizado (Caires et al., 2018).

Dessa forma, este estudo teve como objetivo geral comparar a resposta de 48 genótipos de milho aos estresses abiótico (acidez do solo) e biótico (*Spodoptera frugiperda*) nas condições da Huíla, Angola. E como objetivos específicos: i) avaliar a tolerância à acidez do solo por meio de características morfofisiológicas; ii) quantificar a resistência à *Spodoptera frugiperda* utilizando escalas padronizadas; iii) analisar correlações entre a tolerância ao estresse abiótico



e biótico; iv) identificar genótipos com dupla tolerância e com comportamento diferencial específico; v) determinar qual fator exerce maior influência na produtividade final de grãos.

## Metodologia

O estudo foi conduzido na Fazenda Mucuma, município da Chibia, província da Huíla, Angola (15°10'S, 14°00'E). A região apresenta clima tropical e solos fersialícos ácidos (pH 4,9-5,2) com teores de alumínio trocável entre 1,2-1,8 cmolc/dm<sup>3</sup>. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados com 3 repetições. Foram avaliados 48 genótipos (33 top-cross - cruzamento entre linhagem e população, 14 híbridos e 1 testemunha local), totalizando 144 parcelas.

Para a avaliação da tolerância à acidez do solo, foram mensurados as seguintes características: altura de planta (cm), diâmetro do colmo (mm) e massa seca da parte aérea (g), coletada no estágio vegetativo V6. A classificação da resposta dos genótipos foi realizada por meio de um sistema de pontuação de 1 a 5, em que 1 indica alta tolerância e 5 alta suscetibilidade à acidez. Para a avaliação da resistência à praga (*Spodoptera frugiperda*), empregou-se a escala visual do CIMMYT (1–9) para danos foliares, sendo 1 correspondente à ausência de danos e 9 a danos severos. Adicionalmente, foram registradas a percentagem de plantas afetadas e a severidade dos danos nas espigas, possibilitando uma caracterização integrada do comportamento dos genótipos frente ao estresse biótico.

Foram realizadas análises de correlação de Pearson, ANOVA, análise de regressão múltipla e análise de agrupamento utilizando o software R versão 4.2.1, adotando-se nível de significância de  $p < 0,05$ .

## Resultados e Discussão

Os resultados das análises dos dados referentes as características avaliadas nos 48 genótipos revelou comportamentos distintos frente aos estresses abiótico e biótico (Tabela 1). O genótipo TC18 destacou-se como o mais promissor, apresentando dupla tolerância com excelentes escores tanto para acidez (1,8) quanto para resistência à praga (2,3).

Tabela 1. Classificação comparativa da tolerância à acidez do solo e resistência a *S. frugiperda* em genótipos selecionados de milho.

Genótipo	Tolerância Acidez	Resistência Praga	Comportamento	Grupo
TC18	Alta (1,8)	Alta (2,3)	Dupla Tolerância	A
H5	Alta (2,1)	Alta (2,8)	Dupla Tolerância	A
TC29	Média (3,2)	Alta (2,5)	Específico Praga	B
TC1	Alta (2,0)	Média (3,8)	Específico Acidez	C
TC4	Baixa (4,2)	Baixa (6,7)	Suscetível a Ambos	D

A análise de correlação entre as respostas obtidas pelos genótipos frente aos estresses biótico e abiótico, revelou coeficiente de Pearson de  $r = 0,34$  ( $p = 0,02$ ), indicando baixa correlação positiva entre a tolerância à acidez do solo e a resistência à *Spodoptera frugiperda*.

A análise de regressão múltipla e a comparação direta das produtividades revelaram que ambos os estresses influenciaram significativamente nas estimativas de produtividade de grãos (Figura 1). A produtividade média sob acidez do solo foi de 4.931 kg/ha, representando uma redução de 38,2% em relação ao potencial máximo, enquanto sob ataque de *Spodoptera frugiperda* a produtividade média foi de 5.850 kg/ha, correspondendo a uma redução de 28,7%.

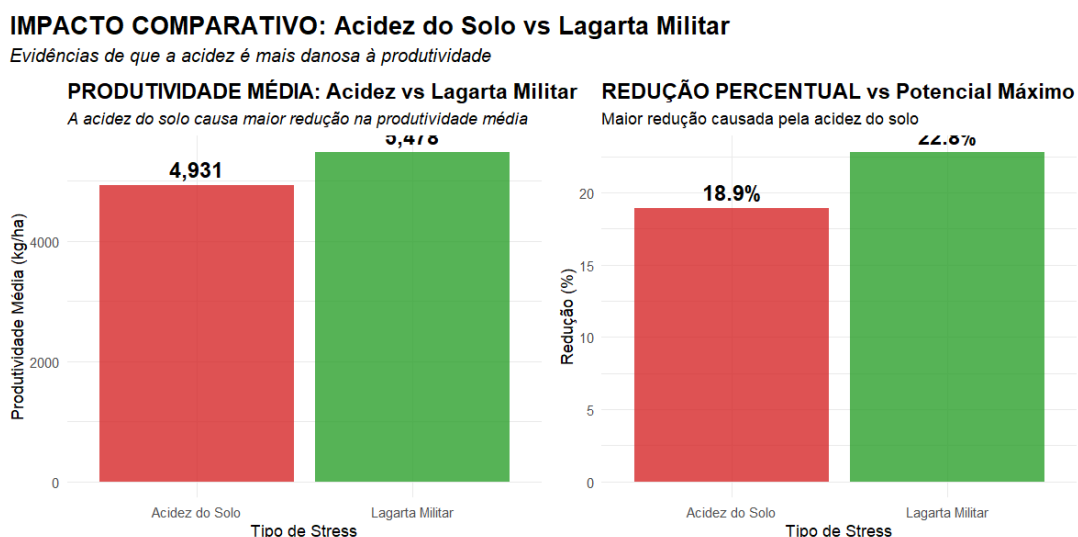


Figura 1. Impacto comparativo da acidez do solo e do ataque de *Spodoptera frugiperda* na produtividade do milho. (A) Produtividade média sob cada condição de stress; (B) Redução percentual em relação ao potencial produtivo máximo.



A análise de distribuição das médias obtidas para o carácter produtividade de grãos (Figura 2) mostrou padrões distintos entre os dois tipos de estresse. Os genótipos submetidos à acidez do solo apresentaram distribuição de produtividade significativamente mais baixa e concentrada, com mediana aproximada de 4.200 kg/ha, enquanto sob infestação por *Spodoptera frugiperda* a mediana situou-se em aproximadamente 5.800 kg/ha.

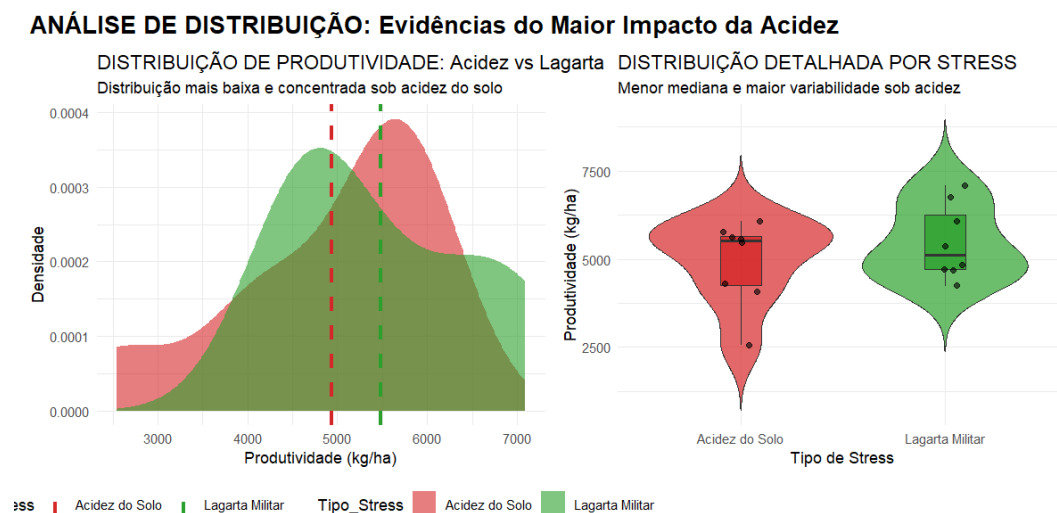


Figura 2. Distribuição de densidade de produtividade de genótipos de milho sob diferentes condições de stress.

A análise por categoria genética (Figura 3) demonstrou comportamento diferenciado entre híbridos e top-cross. Os materiais híbridos apresentaram superioridade produtiva em ambas as condições de stress, com medianas superiores em aproximadamente 15% comparados aos top-cross.

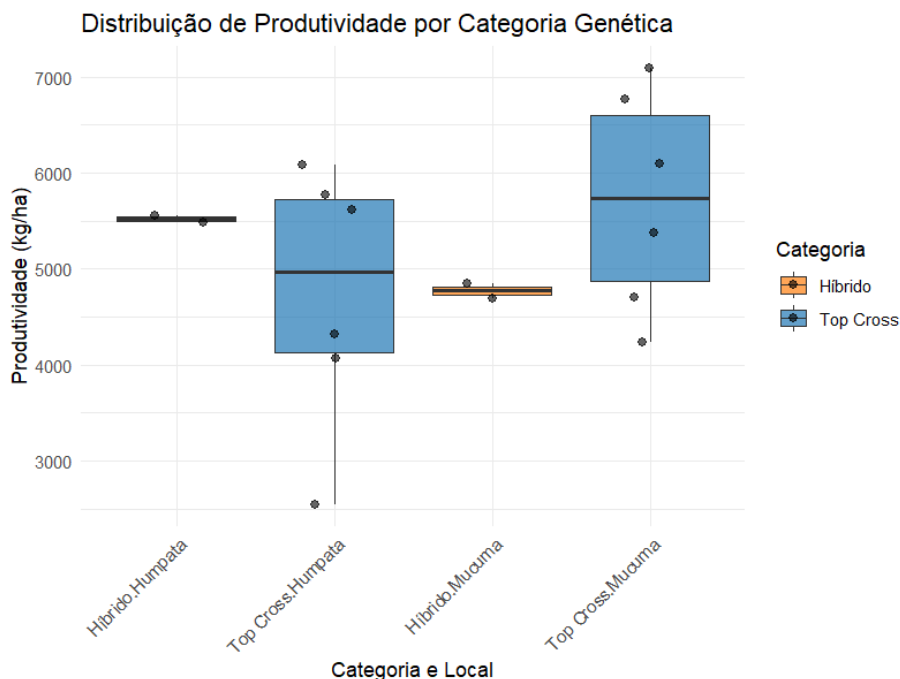


Figura 3. Desempenho produtivo por categoria genética sob condições de stress.

Os dados comparativos apresentados na Figura 1 fornecem evidências conclusivas sobre o maior impacto da acidez do solo na produtividade do milho nas condições da Huíla. A diferença de quase 1.000 kg/ha entre as produtividades médias sob os dois estresses, combinada com a maior percentagem de redução em relação ao potencial máximo (38,2% vs 28,7%), reforça a acidez como o fator limitante mais significativo. Estes resultados corroboram estudos anteriores que indicam a acidez do solo como um fator mais consistente e generalizado (Caires et al., 2018), enquanto o dano da praga, embora severo, apresenta caráter mais pontual e variável (Abrahams et al., 2017).

Os padrões de distribuição observados na Figura 2 complementam esta análise, demonstrando não apenas menor produtividade média sob acidez, mas também maior variabilidade na resposta dos genótipos. Esta maior amplitude na distribuição de produtividade sob estresse abiótico sugere a existência de diversidade genética para tolerância à acidez no pool genético avaliado, o que é particularmente vantajoso para programas de melhoramento genético. A distribuição mais concentrada sob ataque da praga indica que a resposta dos genótipos a este estresse é mais homogênea, possivelmente devido aos mecanismos de defesa mais conservados evolutivamente.

Quanto ao desempenho por categoria genética (Figura 3), a superioridade dos híbridos era esperada, considerando o vigor híbrido e a seleção prévia para adaptação. No entanto, a maior variabilidade entre top-cross é um achado significativo, pois indica que esta categoria,

frequentemente utilizada em sistemas de produção de pequenos agricultores, mantém variabilidade genética útil para seleção de genótipos adaptados a condições específicas de stress. Esta observação é particularmente relevante para programas de melhoramento participativo, onde os agricultores podem selecionar materiais adaptados às suas condições locais específicas.

A baixa correlação ( $r = 0,34$ ) entre as tolerâncias sugere que os mecanismos fisiológicos e genéticos envolvidos na resposta a cada estresse são predominantemente independentes. Esta independência é vantajosa para programas de melhoramento, pois permite a combinação de características sem interferência negativa significativa. A identificação do genótipo TC18 com dupla tolerância demonstra que é possível desenvolver materiais com ampla adaptação às condições de stress múltiplo predominantes na Huíla.

A interação entre categoria genética e tipo de estresse merece destaque: enquanto os híbridos demonstraram performance mais estável por meio dos diferentes ambientes sob estresse, alguns top-cross específicos apresentaram desempenho comparável ou superior em condições de alto estresse, sugerindo a presença de mecanismos de tolerância particulares a estas linhagens. Esta observação ressalta a importância de manter e caracterizar bancos de germoplasma locais, que podem conter genes valiosos para tolerância a stresses específicos.

## Conclusões e Recomendações

A acidez do solo exerceu o maior impacto na produtividade de grãos em genótipos de milho, explicando 45,3% da variação e causando redução de 38,2%, em comparação a 32,1% e 28,7% atribuídos à *Spodoptera frugiperda*. Observou-se baixa correlação ( $r = 0,34$ ) entre os stresses, indicando mecanismos independentes de tolerância. O genótipo TC18 destacou-se pela dupla tolerância, enquanto outros apresentaram respostas específicas a cada tipo de estresse. A acidez mostrou-se o fator mais limitante, com menor mediana e maior variabilidade produtiva. Os híbridos apresentaram maior rendimento médio, e os top-crosses, ampla variabilidade genética. Conclui-se que a correção da acidez do solo deve ser prioridade no manejo, associada ao uso de genótipos resistentes à praga e à seleção dirigida, para fortalecer a adaptação e a produtividade do milho na Huíla.

## Referências Bibliográficas

1. ABRAHAMS, P. et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, v. 28, n. 5, p. 196-201, 2017.
2. CAIRES, E. F. et al. Lime application in the establishment of no-till system for maize production. *Soil and Tillage Research*, v. 178, p. 23-34, 2018.
3. CHEN, Y. et al. Plant defense mechanisms against insect herbivores. *Plant Physiology*, v. 189, n. 1, p. 1-15, 2022.
4. DAY, R. et al. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, v. 28, n. 5, p. 196-201, 2017.
5. FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Advances in Agronomy*, v. 110, p. 251-331, 2018.
6. FAO. *Integrated Management of the Fall Armyworm on Maize*. Food and Agriculture Organization, 2018.
7. KOCHIAN, L. V. et al. Plant adaptation to acid soils. *Annual Review of Plant Biology*, v. 66, p. 571-598, 2015.
8. MINADER. *Caracterização dos Solos Agrícolas de Angola*. Ministério da Agricultura, 2021.
9. MONTEZANO, D. G. et al. Host plants of Spodoptera frugiperda in the Americas. *African Entomology*, v. 26, n. 2, p. 286-300, 2018.
10. TAMBO, J. A. et al. Impact of fall armyworm on smallholder maize production in Africa. *Food Security*, v. 15, n. 1, p. 45-62, 2023.

