UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MOÇAMBIQUE
Faculdade de Ciências Agronómicas

Análise comparativa da eficácia do uso de cal e cinzas de madeira para correção do pH do solo e variabilidade de P assimilável

Helena Lino Jorge Teca

Cidade de Cuamba,
Outubro de 2024

Análise comparativa da eficácia do uso de cal e cinzas de madeira para correção do pH do solo e variabilidade de P assimilável

Helena Lino Jorge Teca

Trabalho de monografia apresentado à Universidade Católica de Moçambique – Faculdade de Ciências Agronómicas como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciatura em Agronomia.

Supervisor(es): Doutor José do Rosário Bofana (Ph.D), *Principal*
Lic. António Matusse, *Co-supervisor*

Faculdade de Ciências Agronómicas
Outubro de 2024

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICÁCIA DO USO DE CAL E CINZAS DE MADEIRA PARA CORRECÇÃO DO PH DO SOLO E VARIABILIDADE DE P ASSIMILÁVEL

HELENA LINO JORGE TECA

O presente trabalho é submetido a Universidade Católica de Moçambique. Faculdade de Ciências Agronómicas. como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Agronomia.

Aprovação do Júri:

O presente trabalho foi sujeito a avaliação do júri no dia 16 de Dezembro de 2024. tendo sido aprovado com a classificação final de 17 valores.

Júri Examinador:

Presidente: Sueco Albino Cipriano

Engº. Sueco Albino Cipriano. MSc (UCM-FCA)

Oponente: Miquitaio José Rego

Engº. Miquitaio Rego. MSc (UCM-FCA)

Supervisor: José do Rosário Bofana

Doutor José Bofana. Ph.D (UCM-FCA)

Cuamba. Janeiro de 2025

FINANCIAMENTO

Este trabalho foi realizado com o financiamento de:

- Universidade Católica de Moçambique – Faculdade de Ciências Agronómicas, Cuamba;

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Eu, Helena Lino Jorge Teca**,** estudante matriculada com o nº de estudante 704200049, no curso de Licenciatura em Agronomia, autor do trabalho de monografia, submetido à Faculdade de Ciências Agronómicas da Universidade Católica de Moçambique, intitulado ***Análise comparativa da eficácia do uso de cal e cinzas de madeira para a correção do pH do solo e variabilidade de P assimilável***, orientado pelo Doutor José do Rosário Bofana e Lic. António Fernando Matusse Júnior, declaro que este é original, nunca foi antes submetido a outra instituição para efeitos de obtenção de grau. Declaro ainda que toda a informação apresentada no trabalho é resultado da investigação de campo e da revisão da literatura, cujas fontes utilizadas encontram-se devidamente citadas no texto e listadas nas referências bibliográficas.

Cidade de Cuamba, Outubro de 2024

Helena Lino Jorge Teca

Helena Lino Jorge Teca

DEDICATÓRIA

Em memória de meu querido pai, ***Lino Jorge Teca****, cuja presença vive em cada passo que dou e em cada objetivo alcançado. Dedico também aos meus pais,* ***Julita Baptista Sarate*** *e* ***Daúdo Momade Abdala****, por serem minha base, minha fortaleza e por acreditarem em mim em todos os momentos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força, sabedoria e saúde ao longo de toda a minha jornada acadêmica. Sem a Sua graça e proteção, este momento não seria possível.

Aos meus pais, Daúdo Momade Abdala e Julita Baptista Sarate, meu eterno agradecimento. Obrigado pelo amor incondicional, pelos sacrifícios e por acreditarem em mim em todos os momentos. O apoio e os ensinamentos de vocês foram essenciais para minha formação, tanto pessoal quanto profissional.

Aos meus supervisores, Doutor José do Rosário Bofana e doutor António Fernando Matusse Júnior, expresso minha profunda gratidão pela orientação e paciência ao longo deste trabalho. Cada conselho e direcionamento contribuiu imensamente para o meu crescimento e para a realização deste trabalho.

À minha avó e tia, Jacinta Messula Muahave e Olga Leandra Raimundo sou imensamente grata por todo o carinho e sabedoria que sempre compartilharam comigo. A vossa força e amor inabaláveis foram fontes de inspiração durante todo o meu percurso.

Aos meus irmãos, Amir, Ahamada, Naima Naira, Júlia, Raquima agradeço pela cumplicidade e pelo apoio constante. Vocês tornaram esta jornada mais leve e cheia de momentos felizes.

Aos meus amigos, Lilian Félix, Adelina Mateus, Carmelita Luís, Graciete Eugénio, Hélder Elias, Lúcia Mucuapa, Erica Sinoia, Neima Monteiro, Osvaldo Joaquim, Zainaba Américo, Lúcia Pascoal agradeço pelo companheirismo e pelas palavras de incentivo nos momentos mais desafiadores. Vocês foram uma parte importante dessa caminhada, oferecendo apoio e motivação quando mais precisei.

A todos que directa ou indirectamente contribuíram de alguma forma durante o meu percurso, o meu muito obrigada.

A todos, meu sincero obrigado!

RESUMO

Este estudo avaliou a eficácia de corretivos no manejo da acidez do solo e da disponibilidade de fósforo assimilável, essenciais para a produtividade agrícola em solos ácidos, comuns nas regiões agrícolas de Moçambique. A acidez limita a absorção de nutrientes pelas plantas, impactando negativamente a produção. Embora o calcário dolomítico e a cinza de madeira sejam recomendados para neutralizar a acidez e melhorar a fertilidade, a eficácia comparativa desses materiais permanece pouco explorada. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do calcário dolomítico e da cinza de madeira na correção do pH e na disponibilização de fósforo em diferentes níveis de acidez do solo. O experimento, em delineamento de blocos completos casualizados com quatro tratamentos e três repetições, totalizou 12 unidades experimentais. As amostras de solo foram coletadas em áreas com variação de acidez, com análises periódicas de pH e fósforo ao longo de 90 dias para comparar os efeitos dos corretivos. Os resultados indicaram que a cinza de madeira foi mais eficaz na disponibilização de fósforo, especialmente em solos muito ácidos, enquanto o calcário dolomítico mostrou-se limitado à correção de acidez sem aumento significativo na disponibilidade de fósforo. Conclui-se que a cinza de madeira é uma alternativa promissora para o manejo sustentável de solos ácidos, recomendando-se seu uso em áreas com alta acidez e a exploração do potencial de outros resíduos orgânicos como corretivos. Além de eficiente, a cinza de madeira contribui para a agricultura circular, aproveitando resíduos locais e promovendo sustentabilidade agronômica.

Palavras-chave: Acidez do solo, corretivos de solo, cinza de madeira, calcário dolomítico, fósforo assimilável, agricultura sustentável;

ABSTRACT

This study evaluated the effectiveness of soil amendments in managing soil acidity and available phosphorus, both essential for agricultural productivity in acidic soils common in Mozambique's agricultural regions. Acidity limits nutrient uptake by plants, negatively impacting production. While dolomitic lime and wood ash are recommended to neutralize acidity and improve fertility, the comparative effectiveness of these materials remains underexplored. This study aimed to assess the performance of dolomitic lime and wood ash in pH correction and phosphorus availability across different acidity levels in soil. The experiment, arranged in a randomized complete block design with four treatments and three replications, included 12 experimental units. Soil samples were collected from areas with acidity variation, with periodic pH and phosphorus analyses over 90 days to compare the effects of the amendments. Results indicated that wood ash was more effective in increasing phosphorus availability, especially in highly acidic soils, whereas dolomitic lime was limited to acidity correction without significant improvement in phosphorus availability. It is concluded that wood ash is a promising alternative for sustainable management of acidic soils, recommended for use in areas with high acidity and for exploring the potential of other organic residues as amendments. Besides its efficiency, wood ash supports circular agriculture by utilizing local residues and promoting agronomic sustainability.

Keywords: Soil acidity, soil amendments, wood ash, dolomitic lime, available phosphorus, sustainable agriculture.

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura		Significado
AGRA	:	Alliance for a Green Revolution in Africa
Al	:	Alumínio
ANE	:	Administração Nacional de Estradas
ANOVA		Análise de Variância
Ca	:	Cálcio
$Ca(OH)_2$	:	Hidróxido de Cálcio
$CaCO_2$	:	Carbonato de Cálcio
CaO	:	Óxido de Cálcio
CIP	:	Centro de Integridade Pública
CV%	:	Coeficiente de Variação em Percentual
DMS	:	Diferença Mínima Significativa
EPI	:	Equipamento de Proteção Individual
FAO	:	Food and Agriculture Organization
Fc	:	F critico
Fe	:	Ferro
FV	:	Fonte de variação
g	:	Grama
gl	:	Grau de liberdade
H_2O	:	Água
K	:	Potássio
Kg	:	Kilograma
Lic	:	Licenciado
MADER	:	Ministerio da Agricultura e Desenvolvimento Rural
MAE	:	Ministério da Administração Estatal
Mg	:	Magnésio
Mg	:	Miligrama
MINAG	:	Ministério da Agricultura
Mn	:	Mangânes
N	:	Nitrogénio
Na	:	Sódio
NMS	:	Nível Mínimo Significativo

P	:	Fósforo
pH	:	Potencial de hidrogénio
QM	:	Quadrado medio
SQ	:	Soma de quadrado
T	:	Tratamento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala da variação do pH 23
Figura 2. Croquí do ensaio 29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidades em toneladas por hectare recomendadas para calagem.....32
Tabela 2. Quantidade de corretivos usados 32
Tabela 3. Resultado das análises de cinza 33
Tabela 4. Resultados da análise do pH do solo 30 dias após a aplicação de corretivos 39
Tabela 5. Resultados da análise do pH do solo 45 dias após a aplicação de corretivos 40
Tabela 6. Resultados da análise do pH do solo 60 dias após a aplicação de corretivos 42
Tabela 7. Resultados da análise do pH do solo 75 dias após a aplicação de corretivos 43
Tabela 8. Resultados da análise do pH do solo 90 dias após a aplicação de corretivos 45
Tabela 9. Resultados da análise do P assimilável 90 dias após a aplicação de corretivos.....46
Tabela 10. Resultados da análise da diferença de P assimilável antes e 90 dias após a aplicação de corretivos 48
Tabela A1.4. ANOVA de pH 75 dias após a aplicação de corretivos no solo.....67
Tabela A1.6. ANOVA da diferença de P assimilável 90 dias após a aplicação de corretivos no solo.....68
Tabela A1.7. ANOVA níveis da diferença de P assimilável antes e depois da aplicação de corretivos no solo.....68
Tabela A2.1. Resultados obtidos em laboratório 68

ÍNDICE

Conteúdos **Pág.**

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO 1
1.1. Contextualização 1
1.2. Problematização 3
1.3. Justificativa 5
1.4. Objectivos de estudo 6
1.4.1. Objectivo geral 6
1.4.2. Objectivos específicos 6
1.5. Hipóteses 7
1.6. Estrutura do trabalho 7
CAPÍTULO II: REVISÃO DE LITERATURA 9
2.1. Situação actual da produção agrícola 9
2.1.1. Principais culturas produzidas em Moçambique 10
2.1.1.1. Milho 10
2.1.1.2. Arroz 11
2.1.1.3. Mapira 12
2.1.1.4. Amendoim Pequeno 14
2.1.1.5. Feijão Nhemba 15
2.1.1.6. Feijão bóer 16
2.1.1.7. Mandioca 17
2.1.1.8. Algodão 18
2.1.1.9. Cana-de-açúcar 19
2.1.2. Desafios na agricultura 19
2.1.2.1. Pragas 20
2.1.2.2. Clima 20
2.1.2.3. Solos 20
2.2. Influência dos solos na produção 21
2.2.1. Textura 21
2.2.2. Composição nutricional 21
2.2.3. Níveis de pH 21
2.3. O pH do solo 22

2.3.1. Importância do pH no desenvolvimento das plantas 22
2.3.2. Variações de pH e seu impacto nas plantas 22
2.3.3. Processo de correção de pH do solo 23
2.3.3.1. Correção de solos ácidos (Calagem) 23
2.3.3.1.1. Calcário 23
2.3.3.1.2. Cal Virgem (Óxido de Cálcio) 23
2.3.3.1.3. Cinza de madeira 24
2.3.3.2. Correção de Solos Alcalinos 24
2.3.3.2.1. Enxofre elementar 24
2.3.3.2.2. Fósforo 24
2.3.3.2.3. Matéria orgânica 25
2.4. Fósforo (P) 25
2.4.1. Influencia do pH na disponibilidade do fósforo no solo 25
CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS 27
3.1. Local de estudo 27
3.2. Materiais 27
3.3. Métodos 28
3.3.1. Delineamento experimental 28
3.3.2. Condução do ensaio 29
3.3.2.1. Obtenção dos corretivos 29
3.3.2.1.1. Obtenção da Cinza 29
3.3.2.1.2. Obtenção do calcário dolomítico 30
3.3.2.2. Colecta das amostras de solo 30
3.3.2.3. Processamento das Amostras 30
3.3.2.4. Preparação da Solução Tampão de Woodruff 31
3.3.2.5. Calibração do Potenciómetro 31
3.3.2.6. Análise de pH do Solo 31
3.3.2.7. Necessidades de Calcário e Cinza Para a Calagem 31
3.3.2.8. Medição do pH 32
3.3.2.9. Análise de Cinza 33
3.3.2.10. Análise de fósforo 33
3.3.3. Variáveis de medição e observação 34
3.3.3.1. pH 34
3.3.3.2. Fósforo assimilável (P) 34

3.3.4. Análise e processamento dos dados 35
3.3.5. Relação entre as Variações de Fósforo Assimilável e o Estabelecimento de Diferentes Culturas 36
3.3.6. Limitações do estudo 36
3.3.7. Considerações éticas 37
CAPÍTULO IV: RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÃO 39
4.1. Resultados da análise do pH nas diferentes datas de análises 39
4.1.1. pH do solo 30 dias após a aplicação de corretivos 39
4.1.2. pH do solo 45 dias após a aplicação de corretivos 40
4.1.3. pH do solo 60 dias após a aplicação de corretivos 42
4.1.4. pH do solo 75 dias após a aplicação de corretivos 43
4.1.5. pH do solo 90 dias após a aplicação de corretivos 44
4.2. Resultados da análise de P assimilável 46
4.2.1. P assimilável no solo 90 dias após a aplicação de corretivos e diferenças com o início 46
4.2.2. Diferença de P assimilável no solo antes e 90 dias após a aplicação de corretivos 48
4.3. Relação entre as Variações de Fósforo Assimilável e o Estabelecimento de Diferentes Culturas 49
CAPÍTULO V: CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E INOVAÇÃO 53
5.1. Conclusões 53
5.2. Recomendações 54
5.3. Inovação e/ contributo para a sustentabilidade 55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57
APÊNDICES 67

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A agricultura desempenha um papel fundamental na economia de Moçambique, contribuindo significativamente para o PIB – Produto Interno Bruto do país (20%) (Aiuba, 2023) e sendo a principal fonte de subsistência para a maioria da população (Chihanhe et al., 2022; Maunze et al., 2019). Com uma grande diversidade de climas e solos, Moçambique possui condições favoráveis para a produção de uma variedade de culturas, incluindo cereais, leguminosas, frutas, hortaliças e produtos agrícolas não alimentares, como o algodão e o tabaco (Ministerio da Agricultura e Desenvolvimento Rural, 2020). No entanto, apesar do potencial agrícola do país, a agricultura em Moçambique enfrenta diversos desafios, incluindo a falta de acesso a insumos agrícolas modernos, tecnologias de produção e infraestrutura adequada (Marassiro et al., 2021; Guina et al., 2023). Além disso, as mudanças climáticas têm impactado negativamente a agricultura, com secas e inundações cada vez mais frequentes, afetando assim qualidade dos solos (Hema et al., 2023) e, consequentemente a produção agrícola e a segurança alimentar (Marassiro et al., 2021)

Os solos desempenham um papel fundamental na produção agrícola, influenciando diretamente o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (Silver et al., 2021). Assim, a qualidade do solo é determinada por uma série de factores, incluindo sua textura, estrutura, pH (Potencial Hidrogeniónico), teor de matéria orgânica e a disponibilidade de macronutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (Araújo et al., 2012; Santana, 1999). Esses fatores afetam a capacidade do solo de fornecer água, nutrientes e suporte físico às plantas, sendo essenciais para o seu crescimento saudável (Cardoso, 1984). Por exemplo, a textura e estrutura do solo afetam sua capacidade de reter água e nutrientes (Cardoso, 1984), em que solos com textura mais arenosa tendem a ter uma capacidade menor de retenção de água e nutrientes, enquanto solos argilosos têm uma capacidade maior (Wang et al., 2022; Centeno et al., 2017). A estrutura do solo também influencia a aeração e drenagem, afectando directamente o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes pelas plantas (Ribeiro & Menezes, 2007). Outro elemento importante que afecta as características dos solos é a matéria orgânica (MO). Esta fornece nutrientes essenciais para as plantas e melhora a estrutura do solo (Costa, 2020), aumentando sua capacidade de retenção de água e nutrientes (Mirzabaiki et al., 2020; Libohova et al., 2018). A decomposição da matéria orgânica também libera nutrientes gradualmente no

solo, fornecendo um suprimento constante de nutrientes para as plantas ao longo do tempo (Hendges, 2020).

Além da textura e estrutura do solo e da matéria orgânica, o pH do solo influencia a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Barrow & Hartemink, 2023), pois um dos problemas que afectam a produção agrícola é a acidificação do solo que é a redução gradual do pH do solo (Feng et al., 2022). Este fenómeno ocorre de forma natural, porém, muita das vezes é intensificado pela acção do homem, através de algumas práticas inadequadas, como é o caso do uso fertilizantes nitrogenados amoniacais (Machado, 2021).

Solos ácidos podem ter baixa disponibilidade de nutrientes essenciais, como fósforo, cálcio, magnésio, enquanto solos alcalinos podem ter excesso desses nutrientes, levando a problemas de toxicidade para as plantas (Wang et al., 2023). Esses problemas podem resultar em baixa produtividade e qualidade das culturas, afetando diretamente a segurança alimentar e econômica dos agricultores (Naeem et al., 2023; Brownrigg et al., 2022). Portanto, o equilíbrio do pH do solo é crucial para garantir uma disponibilidade adequada de nutrientes para as plantas (Barrow & Hartemink, 2023).

Assim, para ultrapassar os problemas relacionados a acidez dos solos e garantir uma produção adequada de culturas, uma das estratégias mais comuns é a correção do solo. E para corrigir os solos ácidos, a aplicação de corretivos como o calcário dolomítico e as cinzas de madeira é recomendada (Ribeiro et al., 2015; Veloso & Botelho, 2020; Francisco & Neves, 2001). O calcário dolomítico é uma fonte de cálcio e magnésio que é frequentemente aplicada para elevar o pH do solo e corrigir a acidez (Souza, 2012). Além disso, o cálcio e o magnésio fornecidos pelo calcário dolomítico também podem ajudar a melhorar a estrutura do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas. As cinzas de madeira por outro lado são ricas em potássio, cálcio e outros nutrientes (Severino, 2006), além de possuírem propriedades alcalinas que podem ajudar a elevar o pH do solo (Freitas & Salvalaio, 2023).A aplicação de cinzas de madeira no solo não só ajuda a corrigir a acidez, mas também fornece nutrientes essenciais para as plantas, promovendo assim um ambiente de crescimento saudável, como e o caso do fosforo assimilável, o pH do solo exerce grande influência na disponibilidade de fósforo assimilável (P), essencial para o desenvolvimento das plantas. A relação entre o pH e a disponibilidade de P é complexa, envolvendo diversos factores, como a composição do solo e as modificações que ocorrem ao longo do tempo. (Ahmed et al., 2022) Ambos os corretivos, calcário dolomítico e cinzas de madeira, têm sido amplamente utilizados na agricultura como uma estratégia eficaz para corrigir solos ácidos e melhorar a fertilidade dos mesmos (Hansted, 2020; Rolka et al.,

2023). No entanto, é importante ressaltar que a aplicação desses corretivos deve ser feita com base em uma análise de solo adequada e de acordo com as recomendações específicas para cada tipo de cultura e condição do solo (Luz et al., 2002).

Apesar da ampla utilização da cal e das cinzas de madeira na agricultura, a eficácia relativa desses corretivos de solo ainda não foi totalmente compreendida e comparada em condições de campo. Diversos métodos foram produzidos como guias de aplicação de correctivos do solo, como por exemplo o método de Woodruff (Woodruff, 1948) e método sapateiro (Shoemaker et al., 1961). Contudo, estudos anteriores relataram resultados variáveis sobre a eficácia desses corretivos, com algumas pesquisas indicando que as cinzas de madeira podem ser tão eficazes quanto a cal na correção do pH do solo e na melhoria da disponibilidade de P assimilável (Deighton & Watmough, 2020; Rolka et al., 2023), enquanto outros estudos sugerem que a cal pode ser mais eficaz em certas condições (Bide et al., 2021; Eyo & Abbey, 2022). Com isso, este estudo pretende dar uma resposta sobre qual destes elementos é mais eficaz na correção da acidez do solo bem como a variabilidade de fósforo em solos com níveis de pH diferenciados. Ao fazer-se isso, espera-se que o estudo forneça recomendações para os produtores e tomadores de decisão sobre as boas práticas de maneio de fertilizantes correctivos do solo para o aumento da produção.

1.2. Problematização

O aumento da população mundial tem gerado uma maior demanda por alimentos e, consequentemente, um aumento no uso dos solos agrícolas, levando ao seu esgotamento nutricional. Em África, o crescimento sustentável das plantas e as práticas agrícolas estão ameaçados pelo fraco estado nutricional dos solos (Dimkpa et al., 2023). A indústria agrícola depende amplamente do uso de fertilizantes para atender à demanda por alimentos e garantir cultivos saudáveis, o que acaba por degradar os solos, levando-os ao processo de acidificação (Reetz, 2016; Antônio, 2001).

A acidez do solo é um dos principais fatores que limitam o rendimento das culturas em vários países em desenvolvimento (Delfim, 2020). Recentemente, mais atenção tem sido dada aos impactos negativos da acidificação do solo no equilíbrio e disponibilidade de nutrientes essenciais para o bom desenvolvimento das (Filho et al., 2018), na riqueza de espécies de plantas, na produção agrícola devido à perda de cátions básicos (Ciotta et al., 2002). e na mobilização de Al e outros elementos potencialmente tóxicos no solo (Ronquim, 2020). A elevada acidez do solo ocasiona a baixa produção de grãos e outras culturas porque diminui a biodisponibilidade de nutrientes importantes para as plantas (Medeiros et al., 2008), ao mesmo

tempo em que aumenta a toxicidade do solo decorrente de um desequilíbrio de elementos essenciais do solo (Filho et al., 2018).

As atividades dos microrganismos benéficos também são afetadas negativamente pela acidez do solo, o que tem efeitos profundos na decomposição da matéria orgânica, na mineralização dos nutrientes e na imobilização, absorção e utilização pelas plantas e, consequentemente, no rendimento (Fageria & Stone, 1999). Quando o pH do solo é inferior ao ideal (5,5 e abaixo), reduz a solubilidade dos nutrientes necessários para o crescimento das plantas (Prezotti, 2013) e geralmente leva à toxicidade de Al e Mn (Filho et al., 2018). Os altos níveis de Al nos solos resultam na morte das células radiculares, dificultando o desenvolvimento das raízes . As raízes danificadas exploram um menor volume do solo, diminuindo a quantidade de água e nutrientes absorvidos pelas plantas (Maldaner, 2008). Como o Al trocável prejudica o desenvolvimento do sistema radicular, interfere na absorção e movimentação de P, Ca e Mg pela planta, além de causar deficiência de N, P, K, Mg, Ca e vários micronutrientes. Em Moçambique, e na região de estudo em particular, essa situação é preocupante, pois o crescimento sustentável das plantas e as práticas agrícolas estão ameaçados pela baixa fertilidade e pelo estado nutricional deficiente dos solos.

A indústria agrícola depende fortemente do uso de fertilizantes para atender à crescente demanda por alimentos e garantir cultivos saudáveis (Reetz, 2016). No entanto, o uso excessivo de fertilizantes pode levar à degradação do solo e à sua acidificação. A acidificação do solo é um problema significativo em várias regiões de Moçambique, pois limita a disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Fageria & Stone, 1999), reduz a biodiversidade do solo e afeta negativamente a produção agrícola (Lima et al., 2007). Assim, um dos principais impactos negativos da acidificação do solo é a redução na disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, como o nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) (Oliveira et al., 2005). A alta acidez do solo também pode levar à toxicidade de elementos como o alumínio, que é prejudicial para o crescimento das raízes das plantas (Carvalho, 2008). Além disso, a acidificação do solo afeta as atividades dos microrganismos benéficos, que são essenciais para a decomposição da matéria orgânica e a disponibilização de nutrientes para as plantas (Lima et al., 2007; Wang et al., 2022).

Para combater os efeitos da acidificação do solo, várias estratégias têm sido propostas, incluindo o uso de corretivos como o calcário e as cinzas de madeira. O calcário é frequentemente utilizado para corrigir o pH do solo, tornando-o menos ácido e mais favorável ao crescimento das plantas. As cinzas de madeira, por sua vez, são ricas em potássio e cálcio, o que pode ajudar a melhorar a fertilidade do solo e a disponibilidade de nutrientes para as

plantas. Contudo, uma das limitações no processo de correção dos solos tanto com as cinzas de madeira assim como o calcário, é a lacuna na disponibilidade de informação suficiente para a determinação da quantidade ideal destes elementos a serem aplicados no solo com diferentes níveis de pH bem como a fraca informação disponível sobre como estes elementos podem influenciar na variabilidade de fósforo assimilável. Com base neste pressuposto, este estudo visa responder a seguinte questão de investigação: **Quão eficaz é o uso de calcário e cinzas de madeira na correção do pH do solo e variabilidade de P assimilável?**

1.3. Justificativa

A acidez dos solos destaca-se como um dos problemas que afecta, muitas áreas em todo mundo. Um solo é considerado ácido quando possui uma alta concentração de iões H+ e uma baixa presença de iões cálcio (Ca2+), magnésio (Mg2+), e potássio (K+) em sua composição coloidal de troca (Purcena, 2014). Assim, é comum que solos ácidos enfrentem diversas limitações em termos de produtividade devido à acidez, bem como alterações químicas que afetam a fertilidade do solo. Estas incluem a presença de elementos tóxicos e a escassez de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (Enesi et al., 2023). Logo, torna-se evidente a importância da correção do solo para contornar tais problemas. A correção do solo é essencial para preservar as propriedades físico-químicas ideais do solo, promovendo o cultivo de plantas saudáveis e aumentando sua produtividade (Veloso & Botelho, 2020). Isso estabelece um equilíbrio ambiental propício ao desenvolvimento saudável das plantas, mitigando a incidência de pragas e doenças. Por outro lado, A presença de nutrientes é um dos fatores-chave que determinam a fertilidade do solo, e o pH do solo é uma das variáveis que influenciam essa disponibilidade. O pH do solo pode afectar tanto a disponibilidade de macronutrientes quanto de micronutrientes, exercendo um impacto direto na produtividade das culturas e na segurança alimentar do País (Mendes, 2007).

Portanto, saber qual a eficácia do uso de cal e cinzas de madeira para a correção do pH do solo e a variabilidade de fosforo assimilável no solo é de suma importância devido aos desafios enfrentados na agricultura contemporânea. Com o crescimento populacional global e a necessidade crescente de produção de alimentos, é vital maximizar a eficiência dos recursos agrícolas, incluindo o solo.

Os resultados deste estudo têm o potencial de informar práticas agrícolas mais eficazes, sustentáveis e economicamente viáveis, contribuindo para aumentar a segurança alimentar e reduzir os impactos ambientais associados à agricultura intensiva. Para os produtores, com base nos resultados deste estudo, eles podem fazer escolhas mais informadas sobre qual insumos

usar para a correção da acidez do solo e optimização da produtividade de suas culturas. Isso pode resultar em melhores rendimentos e qualidade dos produtos agrícolas. Para a comunidade académica, os resultados deste estudo podem servir como base para pesquisas futuras relacionadas à eficácia de diferentes materiais na correção do pH do solo e na melhoria da fertilidade do solo. Isso pode inspirar estudos mais detalhados sobre os mecanismos subjacentes e os efeitos a longo prazo desses materiais no ambiente agrícola.

1.4. Objectivos de estudo

A fertilidade do solo desempenha um papel fundamental na sustentabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas, influenciando diretamente o crescimento, desenvolvimento e rendimento das culturas. A correção do pH do solo é um aspecto crucial da gestão agrícola, pois um pH inadequado pode afetar a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas. Por exemplo, solos muito ácidos podem limitar a disponibilidade de nutrientes como fósforo, enquanto solos alcalinos podem resultar em deficiências de nutrientes como ferro e zinco. Portanto, é fundamental garantir um pH do solo adequado para maximizar a absorção de nutrientes pelas plantas e, consequentemente, melhorar a produtividade agrícola. Além da correção do pH, a disponibilidade de macronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio também é crucial para o crescimento saudável das plantas. Esses nutrientes desempenham papéis fundamentais em processos vitais das plantas, como a fotossíntese, a formação de proteínas e o desenvolvimento das raízes. Deficiências desses nutrientes podem levar a sintomas de deficiência nas plantas, como folhas amareladas, crescimento retardado e baixa produção de frutos. Portanto, é essencial garantir um suprimento adequado desses macronutrientes para promover o crescimento vigoroso das plantas e garantir altos rendimentos agrícolas na base de fertilizantes corretivos tais como o calcário e as cinzas de madeira. Assim, para entender como estes elementos afectam o pH do solo bem como a disponibilidade de nutrientes, este estudo irá focar-se nos seguintes objectivos.

1.4.1. Objectivo geral

- Analisar a eficácia do uso de cal e cinzas de madeira para a correção do pH do Solo e a variabilidade de P assimilável.

1.4.2. Objectivos específicos

- Determinar o tempo médio (em dias) ideal para elevar os valores de pH para o pH ideal para as diferentes culturas em solos com diferentes níveis de acidez;

- Quantificar a variação de P assimilável como resultado da aplicação de calcário e cinzas de madeira nas amostras de solos com diferentes níveis acidez;
- Relacionar as variações de P assimilável com o estabelecimento de diferentes culturas;

1.5. Hipóteses

- **Hipótese nula (H0) μ=0:** A aplicação de calcário e cinzas de madeira não resultará em diferenças significativas no aumento do nível de pH e nos teores de P assimilável nos solos com diferentes níveis de acidez.
- **Hipótese alternativa (H1) μ≠0:** A aplicação de calcário e cinzas de madeira resultará em diferenças significativas no aumento do nível de pH e nos teores de P assimilável nos solos com diferentes níveis de acidez. Pelo menos uma das substâncias demonstrará um desempenho superior em relação à outra na correção do pH e na variabilidade de P assimilável.

1.6. Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, organizados de maneira a guiar o desenvolvimento da pesquisa de forma clara e objetiva.

Capítulo 1: Introdução – Este capítulo introduz o tema de pesquisa, abordando o contexto em que o problema se insere e sua relevância para o campo de estudo. São apresentados o problema de pesquisa, que motivou o estudo, a justificativa que evidencia a importância do tema, os objetivos que se pretende alcançar e as hipóteses formuladas, que direcionam a investigação e estruturam as expectativas iniciais do estudo.

Capítulo 2: Revisão de Literatura – Aqui, é realizada uma análise aprofundada dos principais trabalhos científicos e estudos anteriores sobre o tema, fornecendo uma base teórica robusta que apoia o desenvolvimento da pesquisa. Esta revisão é essencial para identificar lacunas no conhecimento, fundamentar a metodologia adotada e relacionar a pesquisa com o panorama atual do campo.

Capítulo 3: Materiais e Métodos – Este capítulo detalha os materiais, instrumentos, e a área de estudo, assim como o delineamento experimental e as metodologias empregadas. São descritos os métodos de coleta, organização e análise de dados, explicando-se como cada técnica foi escolhida para atender às especificidades da pesquisa e garantir a confiabilidade dos resultados.

Capítulo 4: Resultados, Análise e Discussão – Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação dos métodos descritos, seguidos de uma análise comparativa com os estudos revisados no Capítulo 2. A discussão promove uma interpretação crítica, considerando a relevância dos achados e a sua consonância ou divergência com o conhecimento existente, enriquecendo a contribuição da pesquisa para o tema.

Capítulo 5: Conclusão, Recomendações e Inovação – O capítulo final sintetiza as principais conclusões do estudo, avaliando as hipóteses inicialmente propostas e o cumprimento dos objetivos estabelecidos. São feitas recomendações para futuras pesquisas, apontando direções promissoras para o aprofundamento do tema. Além disso, sugere-se inovações que possam contribuir para o avanço na área de estudo, destacando o potencial de impacto da pesquisa na prática e no conhecimento científico.

Referências Bibliográficas – Esta sessão reúne todas as fontes bibliográficas consultadas durante a pesquisa, apresentadas de acordo com as normas de citação apropriadas. As referências bibliográficas garantem a transparência e a credibilidade do trabalho, proporcionando aos leitores acesso aos estudos e fundamentações teóricas utilizadas para embasar a pesquisa.

CAPÍTULO II: REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Situação actual da produção agrícola

A agricultura desempenha um papel crucial em escala global, fornecendo alimentos, fibras e matérias-primas para uma população mundial em crescimento contínuo. A produção agrícola mundial tem mostrado um crescimento constante, impulsionado por avanços em biotecnologia, práticas agrícolas sustentáveis e mecanização (Godfray et al., 2010). No entanto, o setor enfrenta desafios substanciais devido às mudanças climáticas, que afetam a produtividade e a segurança alimentar. A variabilidade climática e os eventos climáticos extremos, como secas e inundações, têm impacto direto na produção de alimentos (Food and Agriculture Organization, 2021). Além disso, a degradação do solo e a escassez de recursos hídricos são questões críticas que precisam ser abordadas para garantir a sustentabilidade da agricultura a longo prazo (Lipper et al., 2014).

Na África Subsaariana, a produção agrícola é predominantemente de subsistência, com pequenos agricultores representando a maior parte dos produtores. (Langyintuo, 2020). Apesar do potencial agrícola da região, a produtividade continua baixa devido a limitações como acesso limitado a insumos agrícolas, infraestrutura inadequada e práticas agrícolas tradicionais (Alliance for a Green Revolution in Africa, 2020). A adoção de tecnologias modernas e o acesso a mercados são essenciais para transformar o setor agrícola na região (Sanchez, 2015).

A agricultura em Moçambique é essencialmente de subsistência e enfrenta vários desafios estruturais (Ministério da Agricultura, 2011) Entre os principais, destacam-se o acesso limitado a tecnologias agrícolas modernas e insumos adequados, como fertilizantes e sementes de alta qualidade (World Bank, 2020) . Além disso, a dependência das chuvas para irrigação e a irregularidade climática são fatores críticos que impactam diretamente na produtividade agrícola (Rutten, 2019) . O esgotamento da fertilidade do solo também é uma preocupação significativa, resultante de práticas agrícolas tradicionais e da falta de técnicas sustentáveis de manejo do solo (Schultz & Sanginga, 2020). Este problema é agravado pela falta de investimentos em infraestrutura agrícola, como sistemas de irrigação e armazenamento, que são essenciais para garantir uma produção estável ao longo do ano (Chamboko et al., 2018).

Os serviços de assistência técnica e extensão rural em Moçambique enfrentam várias limitações, incluindo falta de recursos financeiros, materiais e capacitação adequada para os extensionistas (Resnick & Thurlow, 2019). Essas limitações comprometem a capacidade de alcançar um

número maior de agricultores e fornecer o suporte necessário para melhorar as práticas agrícolas e aumentar a produtividade.

2.1.1. Principais culturas produzidas em Moçambique

Moçambique produz uma variedade de culturas, que desempenham um papel importante na economia agrícola do país (Mugabe, 2016) . As principais culturas cultivadas em Moçambique incluem milho, arroz, mapira, amendoim pequeno, feijão nhemba, feijão boer, mandioca, algodão e cana-de-açúcar (Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural, 2020).

2.1.1.1. Milho

O milho (*Zea mays L.*), uma planta anual de fotossíntese C4 da família Poaceae, é nativo da América Central e figura entre os cereais mais cultivados no mundo, sendo economicamente relevante por sua versatilidade em diversos produtos, desde rações para animais até alimentos para humanos (Suryavanshi et al., 2020; Paterniani & Denucci, 2022). Classificado na ordem Gramineae e na tribo Maydeae, o milho possui uma área cultivada em Moçambique de aproximadamente 2.286.362 hectares, com uma produção média de 1.632.321 toneladas, resultando em um rendimento médio nacional de 803 kg/ha (Agostinho Marcos et al., 2023). A província de Tete destaca-se como o maior produtor, gerando 461.394 toneladas (MADER, 2020)

Para maximizar o potencial produtivo do milho, é crucial que fatores climáticos, como temperatura, precipitação e fotoperíodo, estejam em níveis ótimos (Cruz, 2010). O milho prospera em climas tropicais e subtropicais, com temperaturas ideais entre 24º C e 30º C desde a emergência até a floração (Cruz et al., 2006). Embora possa ser cultivado em diversos tipos de solo, a planta se desenvolve melhor em solos bem estruturados, que facilitam a circulação de água e ar, além de possuírem alta capacidade de retenção de água e disponibilidade de nutrientes (Barros & Calado, 2014). Solos de textura média, com cerca de 30 a 35% de argila, são recomendados, pois garantem uma drenagem adequada, essencial para a retenção de água e nutrientes (Sans & Santana, 2007). O pH ideal do solo para o milho varia entre 5 e 8, embora solos ácidos próximos a pH 5 possam conter níveis de alumínio e ferro tóxicos (Barros & Calado, 2014). A necessidade de fósforo para o cultivo de milho varia conforme as condições do solo e as práticas de manejo, sendo que em solos ácidos, a disponibilidade de fósforo é reduzida, exigindo uma maior aplicação de fertilizantes fosfatados (Caires et al., 2010).

A cultura do milho possui grande importância econômica global e, em Moçambique, desempenha um papel vital, especialmente para pequenos e médios produtores. O milho é

consumido in natura e utilizado como matéria-prima para diversos subprodutos. No entanto, a produtividade pode ser seriamente afetada por fatores bióticos e abióticos, como pragas, que podem causar perdas superiores a 40% na produção (Maia et al., 2024). Desde a germinação até a maturação dos grãos, as plantas de milho estão suscetíveis a diversas pragas, incluindo a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), a lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*), entre outras (Ávila, 2015; Filho et al., 2016).

Desde sua domesticação há cerca de 9.000 anos, o milho tornou-se cada vez mais relevante nos sistemas agroalimentares globais, sendo o cereal de maior produção mundial e um componente essencial do comércio internacional de grãos grossos (Erenstein et al., 2022; Murdia et al., 2016). Em Moçambique, o milho é a principal cultura agrícola, cobrindo cerca de um terço da área cultivada do país. Além de ser uma fonte essencial de alimentação, especialmente nas zonas rurais onde é consumido na forma de farinha (xima). o milho é também um importante gerador de renda para pequenos agricultores, contribuindo significativamente para a segurança alimentar e a diversificação de renda nas famílias rurais (Mudema et al., 2012; MASA, 2020; Tschirley & Benfica, 2001).

2.1.1.2. Arroz

O arroz (*Oryza sativa*), uma gramínea da família Poaceae, pertence ao gênero *Oryza*, que inclui 24 espécies, sendo apenas duas cultivadas: *Oryza sativa*, originária da Ásia, e *Oryza glaberrima*, da África; as demais espécies são selvagens (Santos, 2017; Nascimento, 2008). Este cereal é amplamente cultivado e consumido, sendo o principal alimento para mais da metade da população mundial (de Baco, 2013). O arroz classifica-se na divisão *Magnoliophyta*, classe *Liliopsida*, tribo *Oryzeae* e subfamília *Oryzoideae* (Nascimento, 2008).

Em Moçambique, o potencial agrícola para o cultivo de arroz é estimado em 900.000 hectares, dos quais cerca de 310.000 hectares estão atualmente cultivados, resultando em uma produção anual de 551.181 toneladas de arroz em casca, equivalente a 350.000 toneladas de arroz limpo. A demanda por arroz limpo é de 576.000 toneladas, gerando um déficit de 226.000 toneladas. Os rendimentos médios são de aproximadamente 1,2 ton/ha em cultivo de sequeiro e 3,5 ton/ha em sistemas irrigados (MADER, 2021).

As condições climáticas durante o crescimento do arroz são fundamentais para maximizar o rendimento e otimizar o uso de insumos (da Cruz, 2010). O arroz prospera em climas quentes e úmidos com alta luminosidade, apresentando temperaturas ideais entre 20°C e 30°C; a floração ocorre melhor entre 22°C e 23°C, enquanto a formação dos grãos se dá entre 20°C e 21°C (Zingore et al., 2016).

Embora o arroz possa crescer em uma variedade de tipos de solo, os solos com boa capacidade de retenção de água, como os argilosos ricos em matéria orgânica, são os mais recomendados (Zingore et al., 2016). Este cereal é adaptado a solos alagados, mas também pode prosperar em áreas com baixa disponibilidade de água, devido a variedades e técnicas de cultivo apropriadas. Essa adaptabilidade permite que o arroz seja uma cultura essencial em regiões onde outras plantas não sobrevivem (Nascimento, 2008). O ideal é que o pH do solo esteja entre 6 e 7, propiciando condições quase neutras para o cultivo (Zingore et al., 2016). A disponibilidade de fósforo no solo deve variar entre 10 e 20 mg/dm³, dependendo das metodologias de análise e das características do solo (Fageria & Baligar, 2005). O pH do solo afeta a disponibilidade de fósforo, pois solos ácidos (pH < 6) podem fixar fósforo com alumínio e ferro, enquanto solos com pH acima de 7 podem tornar o fósforo insolúvel e inacessível às plantas (Havlin et al. 2014).

A cultura do arroz enfrenta desafios significativos devido a pragas que afetam a produtividade e a qualidade dos grãos, resultando em perdas consideráveis (Kumar et al., 2016). Além de reduzir a quantidade produzida, pragas como o percevejo-da-panícula podem introduzir patógenos que aumentam o risco de doenças nas plantas, comprometendo a segurança alimentar, especialmente em regiões onde o arroz é um alimento básico (Savary et al., 2019; Kushwaha et al., 2020). As principais pragas incluem a bicheira-da-raiz, a lagarta-da-panícula, a lagarta-da-folha, o percevejo-do-colmo, o percevejo-do-grão e o pulgão-da-raiz (Oliveira et al., 2010).

O arroz é um grão de grande importância econômica, sendo a principal cultura alimentar em muitos países em desenvolvimento, especialmente na Ásia e Oceania, onde reside 70% da população desses locais e dois terços da população mundial subnutrida (Lopes & da Rocha, 2008). Ele influencia práticas agrícolas, aspectos culturais e contribui para a coesão social e desenvolvimento sustentável (Zeigler & Barclay, 2008; Wopereis et al., 2019). Na África, o arroz é crucial para a segurança alimentar, fornece nutrientes essenciais e sustenta pequenos agricultores, promovendo o desenvolvimento socioeconômico nas comunidades rurais (FAO, 2020; Wopereis et al., 2019).

2.1.1.3. Mapira

A mapira (*Sorghum bicolor L.*) é uma gramínea anual do grupo C4, originária da Ásia e África, onde cresce espontaneamente (Cidraes, 1966). A domesticação do sorgo remonta a cerca de 3000 a.C., coincidente com o cultivo de outros cereais no Egito Antigo, especialmente a partir

da Etiópia (Ribas, 2008). Com o tempo, sua popularidade se espalhou pela África e Ásia, e no século XIX, foi introduzida em outras regiões do mundo (Duarte, 2021). Taxonomicamente, a mapira é classificada no Reino *Plantae*, Filo *Magnoliophyta*, Classe *Angiospermas*, Ordem *Poales*, Família *Poaceae*, Gênero *Sorghum* e Espécie *Sorghum bicolor* **(**Harlan, 1992)*,*

As principais áreas de cultivo da mapira estão localizadas na África, Índia, China, Estados Unidos e Brasil, sendo cultivada em regiões de savana na África. Em Moçambique, a cultura ocupa cerca de 262.580 hectares, com uma produção de 142.002 toneladas (MADER, 2020b).

A mapira é adaptada a climas quentes e apresenta características xerófilas e mecanismos eficientes de tolerância à seca. Existem variedades que se adaptam a diversas zonas climáticas, incluindo regiões temperadas, desde que haja uma estação estival quente propícia ao seu desenvolvimento (Landau & Sans, 2010). A temperatura ideal para o cultivo varia entre 33°C e 34°C; temperaturas acima de 38°C ou abaixo de 16°C podem reduzir a produtividade da cultura. A precipitação anual necessária para o crescimento da mapira está entre 375 e 625 mm (Ribas, 2008; Duarte, 2021).

Os solos mais adequados para o cultivo da mapira possuem textura que varia de franco-arenosa a franco-argilosa, são ricos em matéria orgânica e têm boa capacidade de retenção de nutrientes (Blum, 2004). Para evitar problemas de encharcamento e o consequente apodrecimento das raízes, é essencial que os solos sejam bem drenados, com pH entre 5,5 e 7,0, a fim de garantir a disponibilidade de nutrientes e o crescimento saudável da planta (Wiedenfeld, 2000; Steduto & Albrizio, 2005). A cultura exige que o solo contenha entre 10 e 20 mg/dm³ de fósforo, com ajustes possíveis conforme a metodologia de análise e as características específicas do solo. A disponibilidade de fósforo é influenciada pelo pH, tornando fundamental garantir condições adequadas para a sua absorção eficiente (Barrow, 2017; Ryan et al., 2001).

A mapira enfrenta desafios significativos devido a insetos-praga, que impactam sua produtividade e qualidade (Mendes et al., 2014). Entre os principais pragas estão o percevejo castanho (Scaptocoris castanea) e várias lagartas, como Spodoptera frugiperda (Waquil et al., 2003). Globalmente, a mapira é uma das cinco culturas mais importantes, utilizada principalmente na alimentação animal, embora seu consumo humano seja restrito a algumas regiões (Waquil et al., 2003). Em Moçambique, destaca-se pela resistência à seca e adaptação a diferentes condições climáticas, tornando-se uma opção viável para agricultores em áreas com escassez de água (Akinola & Olatunji, 2019).

2.1.1.4. Amendoim Pequeno

O amendoim (*Arachis hypogaea L.*) é uma planta anual dicotiledônea da família *Fabaceae* (Paquete, 2012). Nativo da América do Sul, (Barbosa, 2018). Ele provavelmente foi domesticado na região da Argentina ou Bolívia, com vestígios encontrados no Peru datados de 7600 anos (Duarte, 2008). Taxonomicamente, pertence à família *Leguminosae*, subfamília *Faboideae* e ao gênero *Arachis*, com a subespécie *Arachis hypogaea L. subsp. hypogaea* (Judd et al., 1999). A produção de amendoim pequeno em Moçambique é uma parte crucial da economia agrícola do pais, o amendoim pequeno em Moçambique e cultivado em áreas ate 247 473 hectares, com uma produção media de 76 029 toneladas (MADER, 2020).

A cultura do amendoim adapta-se bem a climas quentes e a várias regiões tropicais e subtropicais, exceto as excessivamente húmidas. Ela prospera em temperaturas mínimas acima de 15 ºC, com germinação ideal entre 20 ºC e 35 ºC, e desenvolvimento vegetativo eficiente em torno de 30 ºC (Jiovanangelo et al., 2020; Waele & Swanevelder, 2001). O amendoim é tolerante à seca devido ao seu sistema radicular profundo, que explora camadas mais profundas do solo em busca de água. Suas necessidades hídricas durante o ciclo de crescimento variam entre 450 e 700 mm (Cato et al., 2008).

A cultura do amendoim se desenvolve bem em solos de textura arenosa, os quais geralmente apresentam boa drenagem e aeração. Essas condições são favoráveis para o crescimento das raízes e dos frutos, além de promoverem o suprimento de nitrogênio necessário para a fixação simbiótica (Neto et al., 2012). O amendoim é uma cultura que tolera relativamente a acidez do solo, prosperando em solos com pH a partir de 5,0 e também em solos com altas concentrações de alumínio (Lima & Barrigossi, 2000). As quantidades ideais de fósforo (P) para o cultivo de amendoim geralmente variam entre 30 e 60 kg/ha, dependendo das condições do solo e do clima local. O fósforo é crucial para o desenvolvimento inicial das raízes e para a formação das vagens, especialmente em solos pobres ou com baixa disponibilidade de nutrientes. Solos com pH ácido podem requerer maiores quantidades de fósforo, devido à sua baixa disponibilidade natural nesses ambientes (Lima et al., 2019).

O amendoim é suscetível a diversas pragas que podem afetar a produção e a qualidade em diferentes fases, como no campo, transporte e armazenamento. Insetos comuns incluem a lagarta-rosca (Agrotis ipsilon), percevejo-castanho (Atarsocoris brachiariae), percevejo-preto (Cyrtomenus mirabilis), cigarrinha (Empoasca sp), e ácaros como o rajado (Tetranychus urticae) e o vermelho (Tetranychus evansi) (Nóbrega & Suassuna, 2004; Gabriel, 2016). Além disso, o amendoim é uma fonte nutricional valiosa, com 21% a 36% de proteínas em seu peso, sendo

essencial em regiões da África e Ásia onde o acesso à proteína animal é limitado (de Freitas & Margarido, 2003; Freire et al., 1998). Em Moçambique, sua produção é vital para pequenos agricultores, gerando renda e promovendo segurança alimentar nas áreas rurais (de Freitas & Margarido, 2003).

2.1.1.5. Feijão Nhemba

O feijão nhemba (*Vigna unguiculata*), também conhecido como feijão caupi, é uma leguminosa anual de grande valor, reconhecida por seu alto teor de proteínas (25% em peso seco). Ele desempenha um papel importante no combate à desnutrição na África Subsaariana, especialmente em países de língua portuguesa como Angola (Singh et al., 2002; Carvalho & Halecki, 2021).

Taxonomicamente, pertence à ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, gênero *Vigna* e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp (Verdecourt, 1970; Machado, 2018). A produção concentra-se nas regiões do Sudão e Sahel, abrangendo desde o Senegal até a Etiópia, e de Angola a Moçambique, onde cobre aproximadamente 348.272 hectares, com uma produção média de 83.450 toneladas (Pasquet et al., 2021; MADER, 2020).

O feijão nhemba prospera em climas quentes e secos, com temperaturas ideais entre 25°C e 35°C durante o crescimento, sendo sensível a baixas temperaturas noturnas (Nhamo et al., 2017). Adaptado a climas semiáridos e áridos, a planta necessita de uma precipitação anual entre 600 mm e 1200 mm, com chuvas bem distribuídas, especialmente durante a floração e formação das vagens, para garantir um bom rendimento (Emongor et al., 2013).

A cultura do feijão nhemba é adaptada tanto aos solos de várzea quanto aos de terra firme, mas seu desenvolvimento é mais favorável em solos leves, profundos, bem arejados e com fertilidade média a alta. (de Oliveira et al., 2019) Pesquisas mostram que o feijão nhemba possui certa tolerância a solos ácidos, mas é crucial considerar o nível de acidez, pois em pH abaixo de 5,5, os solos podem ter baixa disponibilidade de nutrientes essenciais para a planta(Cavalcante & Pinheiro, 1999). No entanto. o feijão nhemba prefere solos ligeiramente ácidos a neutros, com pH entre 5,5 e 6,5, para otimizar o desenvolvimento das plantas e a absorção de nutrientes (Embrapa, 2021). As quantidades ideais de fósforo para o cultivo de feijão nhemba variam entre 20 a 60 kg/ha de P2O5, dependendo da fertilidade do solo e das condições climáticas. O fósforo é essencial para o desenvolvimento das raízes e a formação de vagens, contribuindo para uma melhor produtividade da cultura. Em solos com baixos níveis de fósforo, a aplicação de fertilizantes fosfatados é fundamental para garantir a disponibilidade adequada desse nutriente durante o ciclo da cultura (Fageria et al., 2013).

A cultura do feijão nhemba enfrenta desafios significativos devido a pragas que afetam desde a semeadura até o armazenamento, causando redução na população de plantas, área foliar e rendimento de vagens (Cavalcante & Pinheiro, 1999). As principais pragas incluem pulgões, mosca-branca, percevejos e lagartas, como a lagarta-do-cartucho e a broca-das-vagens (Silva & Sobrinho, 2019). O feijão nhemba é vital para a segurança alimentar, crescendo em solos pobres e climas adversos, além de ser uma fonte de proteína e melhorar a fertilidade do solo através da fixação de nitrogênio (Boukar et al., 2016). Em Moçambique, ele tem grande valor nutricional e econômico (Vespucci et al., 2018).

2.1.1.6. Feijão bóer

feijão bóer (*Cajanus cajan*) é uma leguminosa arbustiva que pode ser cultivada como anual ou semiperene, vivendo de dois a três anos com poda (Pereira, 1985; Ribeiro et al., 2022). Nativa da Ásia e disseminada para a África e Américas (Silva-López & Teixeira, 2022). Classificado no Reino *Plantae*, Divisão *Magnoliophyta*, Classe *Magnoliopsida,* Ordem *Fabales*, Família *Fabaceae*, Gênero *Cajanus*, Espécie *cajan*, é valorizado em sistemas agroflorestais por fixar nitrogênio e melhorar a fertilidade do solo (Muthyalu et al., 2016). Em Moçambique a produtividade media é de 160 000 toneladas, ocupando áreas de 269 885 hectares (MADER, 2020).

O feijão bóer é uma espécie que prospera em condições tropicais e subtropicais. A temperatura média mais favorável para seu desenvolvimento varia de 18 a 29 °C, sendo capaz de tolerar temperaturas médias de até 35 °C (Souza, 2023). O feijão bóer requer uma precipitação pluvial na faixa de 200 mm a 400 mm para sua produção, e seu sistema radicular robusto, que se desenvolve profundamente, proporciona-lhe resistência em períodos prolongados de seca (Souza, 2023).

Para o cultivo do feijão bóer é essencial que o solo seja profundo, bem drenado e livre de salinidade. Além disso, uma boa fertilidade natural, ou corrigida, é fundamental para o desenvolvimento saudável da cultura (de Souza et al., 2007) O feijão bóer pode crescer em solos com pH variando de 5 a 8, porém seu melhor desempenho é observado em solos aproximadamente neutros (Carellos, 2013). Para o cultivo do feijão bóer, As quantidades ideais de fósforo no solo variam de 10 a 30 mg/dm³, o que é essencial para o desenvolvimento radicular e a floração (Muthyalu et al., 2016; de Souza, 2007).

O feijão bóer é uma leguminosa vital que enfrenta desafios significativos devido a pragas como a broca da vagem (Helicoverpa armigera) e a mosca-da-vagem (Melanagromyza obtusa),

resultando em perdas consideráveis de produtividade (Sharma et al., 2022; Sreekanth et al., 2019). É uma importante fonte de proteína para comunidades carentes e contribui para a fertilidade do solo por meio da fixação de nitrogênio. Suas folhas são utilizadas como forragem e suas sementes na alimentação e rações animais (Silva-López & Teixeira, 2022). Além de ser uma alternativa para adubação mineral, o feijão bóer desempenha um papel crucial na economia de Moçambique, fornecendo proteína, renda, energia e segurança alimentar (Tostão & Macome, 2014).

2.1.1.7. Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta*), pertencente à família *Euphorbiaceae,* é originária da América do Sul e foi amplamente cultivada por indígenas, responsáveis pela sua disseminação (Leão, 2021). Classificada no reino *Plantae,* divisão *Magnoliophyta*, e ordem *Malpighiales*, a mandioca é uma cultura essencial em várias regiões, incluindo Moçambique, onde desempenha um papel crucial na segurança alimentar, especialmente nas áreas rurais (Alves, 2002; Dlamini, Nkambule, & Mushonga, 2017). Em Moçambique, a mandioca é uma das principais culturas agrícolas, com uma produtividade média de 6.025.663 toneladas, ocupando aproximadamente 556.094 hectares (MADER, 2020b).

Esta planta desenvolve-se melhor em temperaturas entre 18 °C e 35 °C, e requer precipitações anuais de 1.000 a 2.000 mm, desde que a distribuição de chuva seja regular ao longo do ano (Maluf et al., 2011). Os solos ideais para o cultivo da mandioca são bem drenados, profundos e arenosos, ricos em matéria orgânica e com boa fertilidade. A profundidade do solo permite o crescimento adequado das raízes tuberosas, e solos leves favorecem essa expansão. Solos mal drenados ou excessivamente compactados prejudicam o desenvolvimento das raízes, reduzindo a produtividade (Filho et al., 2013). A mandioca cresce melhor em solos com pH entre 5,5 e 7, sendo o valor ideal de 6,5, mas demonstra tolerância à acidez em comparação com outras culturas (Souza et al., 2009).

A cultura da mandioca é afetada por várias pragas, algumas temporárias e outras que podem causar perdas significativas de produtividade. Entre as principais pragas estão as formigas (*Atta spp. e Acromyrmex spp*.), o mandarová (*Erinnyis ello e E. alope*), e o ácaro-da-mandioca (*Mononychellus progresivus e Tetranychus spp***.**) (Noronha, 2016).

Globalmente, a mandioca é fundamental para a segurança alimentar, especialmente em regiões em desenvolvimento, devido à sua resistência a condições adversas e ao seu valor nutricional (da Silva et al., 2011). Em Moçambique, mais de 1,2 milhões de famílias dependem desta cultura como principal fonte de alimento, especialmente em áreas onde outras culturas

enfrentam limitações causadas por condições climáticas e de solo. A resistência à seca torna a mandioca uma cultura estratégica para enfrentar a variabilidade climática no país, especialmente nas zonas rurais (McSween et al., 2006).

2.1.1.8. Algodão

O algodão (*Gossypium hirsutum*), pertencente à família Malvaceae, é a espécie mais amplamente cultivada devido à alta qualidade de suas fibras. A planta apresenta folhas grandes, flores de coloração amarela ou branca, e frutos chamados cápsulas, que, ao amadurecerem, liberam as fibras (Vieira & Ribeiro, 2020; Santos et al., 2021). A produção media de algodão em Moçambique e de 31 574 toneladas, podendo ocupar ate 134 918hectares.

Trata-se de uma planta de clima tropical e subtropical, que prefere temperaturas entre 20°C e 30°C, não tolera geadas e necessita de um período seco durante a maturação para garantir a qualidade de suas fibras. Para o crescimento vegetativo, são necessárias chuvas regulares entre 600 e 1.200 mm anuais (Fernandes & Oliveira, 2021; Lima & Souza, 2022). O algodão se desenvolve melhor em solos profundos, bem drenados, com pH entre 5,8 e 7,0, sendo comum o uso de calcário para corrigir a acidez e assegurar um desenvolvimento adequado (Santos & Silva, 2020; Ribeiro et al., 2021). A quantidade de fósforo necessária no solo para o cultivo de algodão varia conforme a análise de solo e as condições específicas de cultivo, mas geralmente recomenda-se uma faixa de 40 a 80 kg de P_2O_5 por hectare. O fósforo é essencial para o desenvolvimento radicular e a formação de frutos, contribuindo para a qualidade e produtividade das fibras de algodão (Silva & Andrade, 2020).

As principais pragas que afetam a cultura incluem o bicudo-do-algodoeiro, lagartas e pulgões, que podem ser controlados por inseticidas, controle biológico e manejo integrado. A rotação de culturas e o uso de variedades resistentes são estratégias eficazes para reduzir o impacto das pragas (Vieira & Carvalho, 2020; Almeida et al., 2021).

O algodão desempenha um papel fundamental na economia de Moçambique, gerando empregos e receitas por meio da exportação. A fibra é amplamente utilizada na indústria têxtil, enquanto as sementes são empregadas na produção de óleo e ração animal, sendo essenciais para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades rurais (Silva & Fernandes, 2020; Oliveira & Santos, 2022).

2.1.1.9. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), pertencente à família Poaceae, é uma planta perene e uma gramínea de rápido crescimento, cultivada principalmente para a produção de açúcar e bioenergia. Composta por colmos grossos que armazenam sacarose, a planta pode atingir até 6 metros de altura, dependendo das condições de cultivo (Almeida & Vieira, 2021; Santos & Lima, 2022).

Essa cultura se desenvolve melhor em regiões tropicais e subtropicais, com temperaturas que variam entre 25°C e 30°C e precipitação anual entre 1.500 mm e 2.500 mm. Durante o período de maturação, um clima seco é preferido, pois aumenta a concentração de açúcar nos colmos (Ribeiro & Oliveira, 2020; Santos et al., 2021). A cana exige solos profundos, bem drenados e ricos em matéria orgânica, com pH entre 6,0 e 7,0. Em solos ácidos, a aplicação de cal é necessária para garantir a disponibilidade de nutrientes (Moura & Silva, 2021; Almeida & Carvalho, 2020). A recomendação de fósforo para o cultivo de cana-de-açúcar varia entre 60 e 120 kg de P_2O_5 por hectare, conforme a análise da fertilidade do solo e as condições de cultivo. O fósforo desempenha um papel crucial no desenvolvimento inicial das raízes e no crescimento da planta, impactando diretamente a produtividade e a qualidade do açúcar produzido (Moura & Silva, 2021).

As principais pragas que afetam a cana em Moçambique incluem a broca da cana e os cupins. O controle dessas pragas é realizado por meio de manejo integrado, controle biológico e uso de variedades resistentes, além da aplicação de inseticidas em casos de infestações severas (Santos & Lima, 2020; Oliveira et al., 2021).

A cana-de-açúcar é economicamente significativa para Moçambique, sendo uma das principais culturas de exportação. Além da produção de açúcar, é utilizada na fabricação de etanol, um biocombustível sustentável, e gera empregos tanto nas plantações quanto nas indústrias (Vieira & Fernandes, 2020; Santos et al., 2022).

2.1.2. Desafios na agricultura

A agricultura é fundamental para a sobrevivência humana, pois fornece a base alimentar para bilhões de pessoas em todo o mundo. No entanto, este setor enfrenta diversos desafios, tanto globais quanto locais, que ameaçam sua sustentabilidade e a capacidade de atender à crescente demanda por alimentos. Entre os principais desafios, destacam-se as mudanças climáticas, a degradação do solo, o acç8esso limitado a insumos e tecnologias, e as pragas e doenças que afetam as plantações (Foley et al., 2011).

2.1.2.1. Pragas

As pragas agrícolas representam uma grave ameaça à produção de alimentos em todo o mundo, causando perdas significativas que podem atingir até 40% da produção global, de acordo com estudos sobre o impacto de pragas em diversas culturas. Esse problema é especialmente severo em países em desenvolvimento, onde a infraestrutura e os recursos tecnológicos são limitados, dificultando o controle eficiente dessas ameaças (Taylor et al., 2023). Além de afetar diretamente a produção agrícola, as pragas podem gerar sérias consequências econômicas, reduzindo a renda dos agricultores e elevando o custo dos alimentos. Isso, por sua vez, piora a situação da pobreza e restringe o acesso das populações mais vulneráveis a uma alimentação adequada (Savary et al., 2019).

2.1.2.2. Clima

A agricultura é um dos setores mais suscetíveis aos impactos das mudanças climáticas, devido à sua forte dependência de fatores climáticos e de recursos naturais como água, solo e temperatura. Essa vulnerabilidade é especialmente crítica para os agricultores familiares, que geralmente possuem menos recursos e tecnologias para se adaptar às variações climáticas. A irregularidade das chuvas, o aumento das temperaturas e a ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, afetam diretamente a produtividade agrícola, colocando em risco a segurança alimentar e a subsistência dessas famílias. Como resultado, a adaptação às mudanças climáticas, por meio de práticas agrícolas mais resilientes, é essencial para garantir a sustentabilidade do setor (Oliveira et al., 2022).

2.1.2.3. Solos

A agricultura enfrenta vários desafios críticos relacionados ao solo, que impactam tanto a produtividade quanto a sustentabilidade. A degradação do solo, causada pelo uso intensivo e pela ausência de práticas de manejo apropriadas, compromete a fertilidade e a qualidade do solo (Kumar et al., 2021). A erosão, resultante da ação da água e do vento, remove a camada fértil superficial, prejudicando a capacidade do solo de reter água e nutrientes (Borrelli et al., 2021). Além disso, a salinização, frequentemente decorrente de práticas inadequadas de irrigação, e a acidificação do solo, atribuída ao uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, pode prejudicar a saúde do solo e afetar a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Solos ácidos podem limitar o crescimento das culturas e reduzir a produtividade (Zhang et al., 2022).

2.2. Influência dos solos na produção

Os solos são essenciais para a agricultura, pois têm um impacto direto no desenvolvimento das plantas, na absorção de nutrientes e na gestão da água. A qualidade do solo influencia a produtividade das culturas de várias formas, sendo fundamental para assegurar uma produção agrícola sustentável a longo prazo (Kopittke et al., 2023).

2.2.1. Textura

A textura do solo é um dos principais factores usados para avaliar a sua qualidade física. A sua análise permite obter informações sobre outros atributos e compreender o comportamento e o manejo do solo, ambos fundamentais para a produtividade agrícola. A textura refere-se à proporção de partículas de diferentes tamanhos que compõem o solo, nomeadamente areia, silte e argila. Estes componentes influenciam directamente as propriedades do solo, como a sua capacidade de retenção de água, drenagem, aeração e a facilidade com que as raízes das plantas se desenvolvem (Centeno et al., 2017).

2.2.2. Composição nutricional

A composição nutricional do solo impacta diretamente a produção agrícola, influenciando o crescimento e a saúde das plantas. A presença e a disponibilidade de nutrientes essenciais, assim como o pH do solo, afetam a absorção desses nutrientes. Solos com pH inadequado podem limitar a absorção de nutrientes e prejudicar o crescimento das plantas. Além disso, a composição nutricional do solo afecta o microbioma, que é crucial para a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, contribuindo para a saúde geral do solo.(Hussain et al., 2016)

2.2.3. Níveis de pH

Os níveis de pH do solo exercem uma influência significativa na nutrição das plantas e na produtividade da biomassa, afetando a produção ao influenciar a disponibilidade de nutrientes, a sua mobilidade e os processos biológicos do solo, além de favorecer os processos de regeneração do solo. (Neina, 2019) A faixa ideal de pH para a maioria das culturas situa-se entre 5,5 e 7,0, garantindo a absorção de nutrientes e evitando a toxicidade.(Liu & Hanlon, 2012)

O pH do solo também afecta a actividade dos microrganismos, que desempenham funções essenciais na decomposição da matéria orgânica e na fixação de azoto. Solos com pH neutro (entre 6 e 7) geralmente apresentam maior actividade microbiana, o que facilita a decomposição da matéria orgânica e aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas.(Shu et al., 2023)

2.3. O pH do solo

Para Liu e Hanlon (2012) O pH do solo é definido como uma medida da acidez ou alcalinidade do solo, endo expresso como o logaritmo negativo da atividade dos iões hidrogénio (H+). O pH varia entre 0 e 14. Um pH de 7,0 é considerado neutro; valores abaixo de 7,0 indicam acidez, enquanto valores acima de 7,0 são classificados como básicos

2.3.1. Importância do pH no desenvolvimento das plantas

O pH do solo é fundamental para o desenvolvimento das plantas, pois influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes essenciais e a saúde das culturas (Brady & Weil, 2017). Um pH inadequado pode reduzir a solubilidade de nutrientes, causando deficiências ou toxicidades que afetam o crescimento das plantas (Paul, 2014). Além disso, o pH afeta a atividade microbiana, crucial para a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (Hillel, 2004). Manter o pH do solo dentro da faixa ideal para cada tipo de planta é essencial para garantir um crescimento saudável e otimizar a produtividade das culturas (Brady & Weil, 2017).

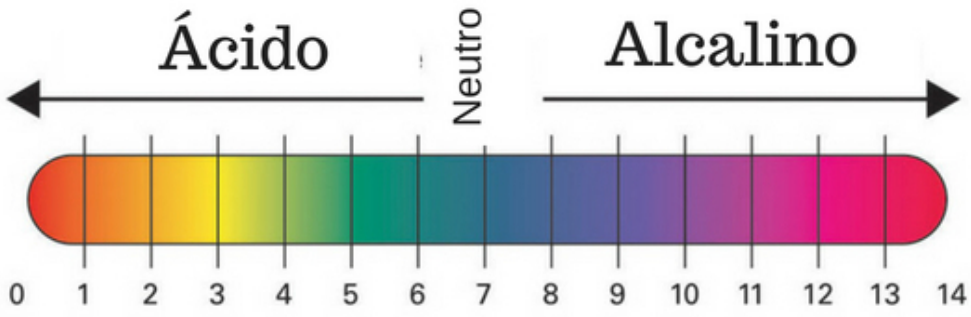
2.3.2. Variações de pH e seu impacto nas plantas

O pH do solo é uma medida crítica que afecta diretamente a saúde e o desenvolvimento das plantas. Variações no pH podem ter efeitos profundos sobre a disponibilidade de nutrientes e a atividade biológica no solo, influenciando, portanto, o crescimento das plantas. Para visualizar essas variações de pH, consulte a **figura 1** (Fafema, 2007).

a) **pH Ácido (pH < 7.0):** em solos ácidos, a solubilidade de certos nutrientes, como fósforo e cálcio, diminui, o que pode levar a deficiências nutricionais. Além disso, a acidez excessiva pode aumentar a disponibilidade de metais tóxicos, como alumínio e manganês, que podem prejudicar o sistema radicular e inibir o crescimento das plantas. Solos ácidos também podem reduzir a atividade de microrganismos benéficos que participam na decomposição da matéria orgânica e na reintegração nutrientes. (Veloso & Botelho, 2020)
b) **pH Neutro (pH = 7.0):** o pH neutro é geralmente considerado ideal para a maioria das culturas. Nesta faixa, a disponibilidade de nutrientes é otimizada, e a atividade microbiana é maximizada. Isso proporciona um ambiente equilibrado para o crescimento das plantas e a decomposição eficiente da matéria orgânica, resultando em uma melhor absorção de nutrientes. (Foth & Ellis , 1997)
c) **pH Alcalino (pH > 7.0):** em solos alcalinos, a disponibilidade de nutrientes essenciais, como ferro, zinco e manganês, é reduzida. Isso pode levar a deficiências nutricionais,

mesmo quando esses nutrientes estão presentes em quantidades suficientes no solo. Além disso, a alcalinidade pode afetar a estrutura do solo e a capacidade de retenção de água, prejudicando o desenvolvimento das raízes e a eficiência da absorção de água e nutrientes.(Neto, 2009)

Figura 1. Escala da variação do pH



2.3.3. Processo de correção de pH do solo

A correção do pH do solo é essencial para ajustar a acidez ou alcalinidade do solo, garantindo condições ideais para o crescimento das plantas e a disponibilidade de nutrientes. São conhecidas diversas técnicas de correção de solo, algumas voltadas a correção de solos ácidos e outas a correção de solos alcalinos.(Wadt, 2002)

2.3.3.1. Correção de solos ácidos (Calagem)

2.3.3.1.1. Calcário

O calcário é um corretivo amplamente utilizado para elevar o pH de solos ácidos. Este material reage com os ácidos presentes no solo para formar compostos menos ácidos, resultando no aumento do pH. Existem dois tipos principais de calcário usados na correção do pH: o dolomítico, que fornece magnésio adicional, e o calcítico, composto principalmente de cálcio. A aplicação de calcário deve ser feita de acordo com as recomendações obtidas a partir da análise do solo, garantindo que a quantidade e o tipo de calcário sejam adequados para a necessidade específica do solo. Para assegurar a eficácia, é essencial que o calcário seja bem incorporado ao solo, promovendo uma distribuição uniforme e permitindo que o corretivo atue de forma eficiente na neutralização da acidez. (Brady & Weil, 2017; Arai & Scott, 2018)

2.3.3.1.2. Cal Virgem (Óxido de Cálcio)

A cal virgem é um corretivo altamente reativo utilizado para aumentar rapidamente o pH do solo, especialmente em situações de acidez severa. Sua alta reatividade torna o produto eficaz

para ajustes rápidos, mas também exige cuidado no manuseio para evitar danos às plantas (Hargrove, 2020). Devido à sua alta reatividade, a cal virgem deve ser aplicada com precaução e bem incorporada ao solo para garantir uma distribuição uniforme e evitar efeitos adversos (Liu & Yang, 2022).

2.3.3.1.3. Cinza de madeira

A cinza de madeira é um corretivo eficaz para aumentar o pH de solos levemente ácidos devido ao seu conteúdo de carbonatos. Além de sua capacidade de elevar o pH, a cinza de madeira fornece potássio e outros micronutrientes essenciais que podem beneficiar o crescimento das plantas (Nelson & Sommers, 1996). O primeiro passo consiste na análise do solo, que envolve a coleta de amostras para determinar o pH, os níveis de acidez e os nutrientes presentes, em seguinda é feita a aplicação da cinza de acordo com as necessidades do solo. No entanto, sua aplicação deve ser feita de forma moderada e bem misturada ao solo para garantir a neutralização da acidez e para evitar excessos que poderiam levar a desequilíbrios nutricionais e impactos negativos no desenvolvimento das culturas (Brady & Weil, 2017).

A quantidade recomendada varia entre 1 a 2 toneladas por hectare, dependendo da análise do solo. Após a aplicação, é importante monitorizar os resultados com uma nova análise do solo alguns meses depois, para avaliar a eficácia da correção. A aplicação pode ser feita antes do plantio ou durante o cultivo, em condições climáticas favoráveis, e deve ser parte de uma gestão integrada que considere outras práticas de fertilização e conservação (Sawyer, 2020).

2.3.3.2. Correção de Solos Alcalinos

2.3.3.2.1. Enxofre elementar

O enxofre elementar é um corretivo amplamente utilizado para reduzir o pH de solos alcalinos. Quando aplicado, o enxofre é oxidado no solo para formar ácido sulfúrico, o que ajuda a acidificar o solo de forma gradual. A aplicação deve ser baseada nas recomendações obtidas a partir da análise do solo, e o efeito da acidificação pode levar alguns meses para se tornar completamente visível. É importante monitorar o pH do solo e ajustar a aplicação conforme necessário para alcançar e manter a faixa ideal de pH para o crescimento das plantas. (Sumner & Noble, 2003)

2.3.3.2.2. Fósforo

Os fertilizantes fosfatados podem ser utilizados para ajudar a reduzir o pH de solos alcalinos, uma vez que o fósforo frequentemente se torna menos disponível em tais condições. A

aplicação desses fertilizantes não só contribui para a acidificação do solo, mas também melhora a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas. É importante que a aplicação de fertilizantes fosfatados seja feita de acordo com as necessidades específicas do solo e das plantas, garantindo que o ajuste no pH seja adequado e eficaz para promover um crescimento saudável das culturas (Alloway, 2008).

2.3.3.2.3. Matéria orgânica

A incorporação de matéria orgânica, como compostagem e esterco, é uma técnica eficaz para acidificar lentamente solos alcalinos. Além de contribuir para a redução do pH, a adição de matéria orgânica melhora a estrutura e a fertilidade do solo, promovendo um ambiente mais favorável para o crescimento das plantas. Para maximizar os benefícios, é recomendável aplicar a matéria orgânica regularmente, garantindo uma melhoria contínua na qualidade do solo e na disponibilidade de nutrientes (Paul, 2014).

2.4. Fósforo (P)

De acordo com Marschner (2012), o fósforo é um elemento químico essencial para todos os organismos vivos e desempenha um papel crucial na biologia das plantas. O fósforo (P) é o nutriente essencial menos móvel em diversos solos, sendo frequentemente o principal fator limitante para o crescimento das plantas, tanto em ecossistemas terrestres quanto aquáticos (Devau et al., 2009). O fósforo no solo está presente principalmente em formas inorgânicas, como fosfatos, que podem ser encontrados em formas solúveis e insolúveis. (Sparks, 2003).

2.4.1. Influencia do pH na disponibilidade do fósforo no solo

Em solos ácidos (pH < 7), o fósforo assimilável tende a se apresentar principalmente na forma de fosfatos de ferro (Fe) e alumínio (Al). Isso ocorre devido à maior concentração desses elementos em ambientes com pH baixo, o que leva à fixação do fósforo em compostos insolúveis. Assim, embora o solo possa conter fósforo em quantidades adequadas, ele não está disponível na forma assimilável (fosfato) para as plantas, resultando em uma disponibilidade limitada do nutriente para o crescimento vegetal (Sousa & Lobato, 2020). Essa limitação do fósforo em solos ácidos pode impactar negativamente a produtividade agrícola, já que as plantas não conseguem absorver eficientemente o nutriente. Uma das soluções recomendadas para corrigir esse problema é a aplicação de calcário, a fim de neutralizar a acidez do solo e, com isso, aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas (Novais & Smyth, 1999).

Em solos com pH neutro, o fósforo disponível para as plantas geralmente se encontra na forma de fosfato de cálcio, que apresenta maior solubilidade e, portanto, é mais facilmente absorvido. Neste intervalo de pH (entre 6,5 e 7,5), o fósforo atinge seu nível máximo de disponibilidade, desempenhando funções cruciais como a fotossíntese e a formação de tecidos vegetais (Marschner, 2012). Nesses solos, a fixação do fósforo por metais como o ferro e o alumínio é bastante reduzida, aumentando a mobilidade do nutriente e favorecendo o crescimento saudável das culturas (Hinsinger, 2001). A neutralidade do solo cria condições ideais para a absorção não apenas do fósforo, mas também de outros nutrientes essenciais, maximizando a eficiência no uso de fertilizantes. Esse manejo equilibrado resulta em um melhor aproveitamento dos insumos agrícolas, beneficiando a produtividade sem a necessidade de intervenções químicas excessivas (Fageria, 2009).

Em solos básicos (pH >7) o fósforo se liga predominantemente ao cálcio, formando compostos insolúveis, como o fosfato tricálcico, o que reduz sua disponibilidade para as plantas. Quando o pH do solo ultrapassa 7,5, essa precipitação do fósforo aumenta, limitando sua absorção pelas raízes (Rengel & Marschner, 2005). Embora o fósforo esteja presente, ele se encontra em formas que as plantas não conseguem acessar facilmente, o que pode prejudicar o crescimento vegetal e a produtividade. Para melhorar a disponibilidade de fósforo em solos alcalinos, práticas como a acidificação localizada do solo ou a aplicação de fertilizantes solúveis em fósforo são recomendadas (Shen et al., 2011). Essas técnicas ajudam a evitar a fixação do fósforo em formas insolúveis, permitindo que as plantas o absorvam de forma mais eficiente, mesmo em condições de pH elevado.

CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Local de estudo

O estudo foi realizado no Laboratório de Solos da Faculdade de Ciências Agronômicas, pertencente à Universidade Católica de Moçambique, localizado no distrito de Cuamba, no sul da província de Niassa (Ministério da Administração Estatal, 2005). Cuamba está situada a aproximadamente 295 km da capital provincial, Lichinga. Faz fronteira ao norte com os distritos de Mandimba e Metarica, ao sul com Mecanhelas e Gurué (este último na província da Zambézia), a leste com os distritos de Lalaua e Malema, na província de Nampula, além de Gurué, na Zambézia, e a oeste com Mecanhelas. Atualmente, a população de Cuamba é estimada em 243.706 habitantes, distribuídos por uma área de 5.121 km², resultando em uma densidade populacional de 43 habitantes por km² (Centro de Integridade Pública, 2017). O clima do distrito é predominantemente tropical úmido, com variações moderadas devido à altitude nas regiões de Mitucué, Malia e Lúrio. A precipitação anual média é de aproximadamente 300 mm, podendo em alguns anos variar entre 600 e 700 mm. A temperatura média anual é de 26°C, exceto nas áreas mais elevadas, onde a média não supera 24°C (MAE, 2005; Administração Nacional de Estradas, 2020). Os solos da região são maioritariamente argilosos e vermelhos, geralmente profundos e bem drenados, com a erosão sendo a principal limitação potencial (MAE, 2005).

3.2. Materiais

Para a condução do estudo, foram utilizados diversos materiais, cada um com uma função específica que contribuiu para a realização dos procedimentos experimentais. Foram usadas 12 tigelas descartáveis que serviram de vasos para a incubação das amostras de solo, permitindo a aplicação e a observação dos efeitos dos corretivos. O calcário dolomítico e as cinzas desempenharam o papel de corretivos no estudo. A régua foi utilizada para medir e registrar as dimensões das tigelas, garantindo que as quantidades de solo e corretivos fossem aplicadas de maneira uniforme e precisa, levando em conta as quantidades de aplicáveis a cada tratamento. A enxada foi empregada na coleta do solo, facilitando a extração e preparação das amostras. O saco foi utilizado para o armazenamento e transporte do solo. A balança serviu para pesar com precisão as quantidades de corretivos, assegurando a aplicação correta e consistente em cada tigela. Por fim, o marcador foi usado para rotular as tigelas com as respectivas codificações, permitindo a organização e rastreabilidade dos experimentos.

Esses materiais foram essenciais para garantir a execução adequada dos procedimentos e a

3.2.1. Material laboratorial

Os materiais laboratoriais usados para este estudo foram os reagentes como acetato de cálcio, paranitrofenol, ácido salicílico e hidróxido de sódio para a preparação da solução tampão de Woodruff, essencial para o ajuste do pH e a realização de medições precisas. O potenciómetro foi o instrumento principal utilizado para medir o pH das amostras de solo, garantindo a obtenção de dados precisos sobre a acidez ou alcalinidade dos mesmos. Para assegurar a precisão das medições de pH, foram utilizados búferes para a calibração do potenciómetro, calibrando o instrumento antes das medições. Além disso, foi empregue um béquer para misturar os reagentes de forma homogênea, facilitando a preparação das soluções necessárias para o experimento. Um crivo de 2 mm foi utilizado para separar as impurezas do solo, garantindo que apenas as partículas de solo passassem para as análises subsequentes. O triturador foi essencial para triturar o solo, quebrando os torrões e obtendo uma textura uniforme que facilita a análise e a mistura dos corretivos com o solo.

3.3. Métodos

3.3.1. Delineamento experimental

Para a realização deste experimento, foi adotado o Delineamento de Blocos Completos Casualizados (DBCC), uma abordagem que se baseia nos princípios de repetição e aleatorização. Nesse delineamento, a área experimental é dividida em blocos homogêneos, e dentro de cada bloco, todos os tratamentos são aplicados de maneira aleatória (**Figura 1**). Essa estrutura permite que a variabilidade entre as unidades experimentais seja controlada, garantindo que as comparações entre os tratamentos sejam feitas em condições semelhantes (Cunha et al., 2019). O experimento seguiu um esquema bifatorial, composto por quatro tratamentos e três repetições, totalizando 12 unidades experimentais. As dimensões das unidades foram de 16 cm de comprimento e 11 cm de largura, resultando em uma área de 176 cm^2, o que, convertido para metros, equivale a 0,0176 m^2.

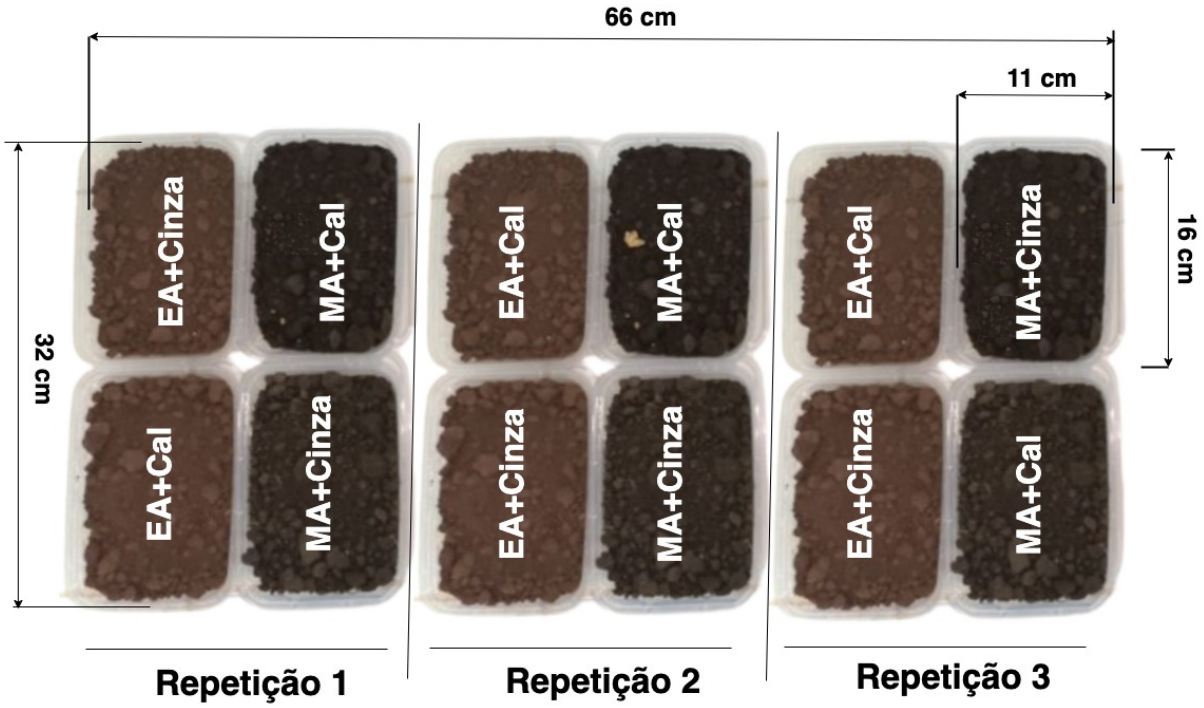


Figura 2. Croquí do ensaio

3.3.2. Condução do ensaio

O experimento foi realizado no Laboratório de Solos da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Católica de Moçambique, localizada na província do Niassa, distrito de Cuambaç8, no dia 5 de fevereiro de 2024, com duração total de três meses. O estudo incluiu três repetições e quatro tratamentos: T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico), T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico), T3 (solo extremamente ácido + cinzas) e T4 (solo muito ácido + cinzas). O ensaio foi montado em tigelas descartáveis, com um total de cinco medições de pH. A primeira medição foi feita 30 dias após o início do experimento, e as medições seguintes ocorreram a cada 15 dias, ao longo de 30 dias.

3.3.2.1. Obtenção dos corretivos

3.3.2.1.1. Obtenção da Cinza

A cinza utilizada neste trabalho foi obtida pela queima de madeira (lenha), frequentemente empregada no distrito de Cuamba para o preparo de alimentos. Após a combustão, a cinza foi submetida a um processo de peneiração com uma malha de 2 mm para a remoção de impurezas. Em seguida, foi coletada uma amostra da cinza para análises laboratoriais.

3.3.2.1.2. Obtenção do calcário dolomítico

O calcário utilizado no experimento foi fornecido pelo Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM). Segundo as informações contidas no rótulo do produto, o calcário apresenta um equivalente químico de 80%, o que significa que 80% do material possui capacidade de neutralizar a acidez do solo. A eficiência granulométrica é de 80%, indicando que a maior parte das partículas do calcário está na faixa adequada para garantir uma reação eficaz no solo. A umidade registrada do calcário é de 1%, o que assegura que o produto mantém um nível mínimo de água, sem comprometer sua eficácia. Cada saco de calcário pesa 25 kg e o preço médio de aquisição é de 1800 MZN por unidade.

3.3.2.2. Colecta das amostras de solo

O solo utilizado no ensaio foi coletado em dois locais distintos: no campus universitário da Faculdade de Ciências Agronômicas em Cuamba e no campo experimental da mesma faculdade. Para a coleç2ta, foram utilizados uma enxada e sacos. A enxada foi utilizada para escavar e retirar as amostras de solo nos locais selecionados. Os sacos foram utilizados para armazenar e transportar as amostras de solo coletadas até o laboratório para análise de pH.

3.3.2.3. Processamento das Amostras

O processamento das amostras é uma etapa crucial para assegurar que elas estejam devidamente preparadas, garantindo que os resultados das análises sejam precisos e representativos das condições reais do solo coletado. Esse processo começa com a secagem, que remove a umidade, facilitando a etapa seguinte: o destorroamento, que consiste na trituração das amostras. Após o destorroamento, as amostras são peneiradas, passando por peneiras com aberturas específicas para separar partículas de diferentes tamanhos. Esse procedimento assegura uma granulometria uniforme, o que facilita as análises subsequentes e melhora a precisão dos resultados laboratoriais. O material que fica retido na peneira é descartado, enquanto o que passa por ela é colocado em um recipiente limpo, seco e devidamente identificado. Com isso, a amostra está pronta para o início das análises (Fillus et al., 2010).

No presente estudo, o processamento das amostras consistiu na secagem natural em local sombreado. O destorroamento foi realizado manualmente, utilizando um bastão de madeira, e as amostras foram peneiradas com um crivo de 2 mm. As amostras finais foram armazenadas em dois béquç2eres, identificadas de acordo com o local de coleta, e posteriormente submetidas às análises.

3.3.2.4. Preparação da Solução Tampão de Woodruff

De acordo com Motsara e Roy (2008), a preparação da solução tampão de Woodruff segue os seguintes passos: inicialmente, dissolvem-se 10 g de acetato de cálcio em água destilada dentro de um béquer, sob agitação constante. Em seguida, adicionam-se 12 g de paranitrofenol à solução de acetato de cálcio, misturando bem até que esteja completamente dissolvido. Depois, incorporam-se 10 g de ácido salicílico à mistura, mantendo a agitação até a dissolução total dos componentes. Após isso, adicionam-se 1,2 g de hidróxido de sódio à solução, misturando bem para garantir a formação da solução tampão.

Em seguida, é essencial medir o pH da solução utilizando um potenciómetro devidamente calibrado. O pH deve ser ajustado para 7,0, adicionando cuidadosamente ácido acético, se for necessário diminuir o pH, ou mais hidróxido de sódio, caso seja necessário aumentá-lo. É importante verificar o pH após cada adição para assegurar precisão no ajuste. Por fim, a solução preparada deve ser transferida para um balão volumétrico de 1 litro, completando o volume com água destilada até atingir a marca de 1 litro. Agitar bem o conteúdo do balão para garantir que todos os componentes estejam completamente dissolvidos e que a solução esteja homogênea.

3.3.2.5. Calibração do Potenciómetro

Os passos para a calibração do potenciómetro são os seguintes: primeiro, ligar o aparelho e, em seguida, mergulhar o sensor em uma solução padrão de pH 7, pH 4 ou pH 10. Recomenda-se começar a calibração com a solução de pH 7 e, posteriormente, utilizar as outras para garantir maior precisão (de Almeida et al., 2021). Neste estudo, a calibração do potenciómetro foi realizada utilizando as soluções padrão de pH 7 e pH 4.

3.3.2.6. Análise de pH do Solo

O pH do solo é uma medida da concentração de íons H+ na solução do solo e influencia a disponibilidade de nutrientes. A medição do pH do solo permite identificar a necessidade de correções, como a aplicação de calcário ou cinzas para aumentar o pH em solos ácidos. A análise do pH para a calagem seguiu a metodologia proposta por Woodruff (1948), enquanto o monitoramento do pH foi baseado na abordagem de McLean (1982). Essas análises foram realizadas a cada 15 dias, ao longo de um período de três meses.

3.3.2.7. Necessidades de Calcário e Cinza Para a Calagem

As necessidades de calcário e de cinza para a calagem foram calculadas considerando a quantidade do cálcio que foi encontrada nas amostras de cinza e considerado as recomendações

da surgidas por para vários níveis de pH (Motsara & Roy, 2008)**,** conforme indicado na **tabela 1.** abaixo sendo que para cinza foi considerada o $Ca(OH)_2$, porque a cinca é composta por cerca de 97.8% de CaO (Saleh et al., 2024), que ao reage com água no forma o hidróxido do cálcio (Eames & Louis Empie, 2001), conforme mostra a **equação 1.** As quantidades de corretivos empregadas neste estudo estão apresentadas na **tabela 2**.

$$CaO + H_20 \rightarrow Ca(OH)_2 \quad ...(1)$$

Tabela 1. Quantidades em toneladas por hectare recomendadas para calagem

pH (antes do buffer)	$CaCO_2$	$Ca(OH)_2$	Marga	Calcário	Dolomito
6.5	6.00	4.68	7.20	9.00	6.54
6.4	7.20	5.62	8.64	10.80	7.85
6.3	8.40	6.55	10.08	12.60	9.16
6.2	9.60	7.49	11.52	14.40	10.46
6.1	10.80	8.42	12.96	16.20	11.77
6.0	12.00	9.36	14.40	18.00	13.08
5.9	13.20	10.30	15.84	19.80	14.39
5.8	14.40	11.23	17.28	21.60	15.70
5.7	15.60	12.17	18.72	23.40	17.00
5.6	16.80	13.10	20.16	25.20	18.31

Tabela 2. Quantidade de corretivos usados

Codificação	Descrição	Quantidade de corretivo (g)
T1	Solo extremamente ácido + calcário dolomítico	28,16
T2	Solo muito ácido + calcário dolomítico	19,36
T3	Solo extremamente ácido + cinza	4,71
T4	Solo muito ácido + cinza	1,76

3.3.2.8. Medição do pH

Para determinar o pH de uma amostra de solo, devem ser seguidos os seguintes procedimentos: pese 10 g de solo e adicione em um copo plástico de 100 mL, junto com 25 mL de água destilada ou 25 mL de solução salina (KCl 1 mol L^{-1} ou $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}). Neste estudo, foi utilizada água. Agite a amostra com um bastão por aproximadamente 60 segundos e deixe em repouso por 1 hora. Após esse período, agite ligeiramente cada amostra com um bastão de vidro,

mergulhe os eletrodos na suspensão homogeneizada e proceda com a leitura do pH (de Almeida et al., 2021).

As amostras analisadas apresentaram os seguintes resultados: o solo coletado no campo experimental da Faculdade de Ciências Agronômicas – Cuamba teve pH de 4,29, enquanto o solo coletado no campus universitário da mesma faculdade apresentou pH de 5,25. Como o objetivo das análises era verificar o nível de pH para determinar as quantidades de corretivos a serem aplicadas, foi necessária uma segunda medição. Se o valor do pH for inferior a 5,5, recomenda-se adicionar 10 mL da solução tampão de Woodruff à amostra. Misture bem a solução e aguarde 30 minutos antes de proceder com a determinação do novo valor de pH (Motsara & Roy, 2008a). Com a adição da solução tampão de Woodruff, os resultados mudaram de pH 4,29 para pH 5,75 e de pH 5,25 para pH 6,09. Para garantir a precisão dos resultados, recomenda-se ligar o medidor potenciométrico 30 minutos antes do uso e realizar a calibração (de Almeida et al., 2021).

3.3.2.9. Análise de Cinza

As amostras de cinzas foram previamente processadas de acordo com as metodologias descritas por Motsara e Roy (2008) e Gowing e De-Hayr (2020). Em seguida, foram enviadas ao laboratório regional de solos e plantas do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM), localizado na província de Nampula, onde foram realizadas análises de potássio (K), sódio (Na), fósforo (P), ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), Os resultados estão empregados na **tabela 3**.

Tabela 3. Resultado das análises de cinza

Designação	P (g/kg)	K (g/kg)	Na g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Amostra 1	9.8	25.9	1.1	238	76	4165	247
Amostra 2	10.1	25.9	1.1	251	76	4165	247
Amostra 3	10.1	25.3	1.1	238	76	5229	185

3.3.2.10. Análise de fósforo

A determinação do fósforo no solo foi realizada seguindo o método de Olsen, conforme descrito pela FAO (2021). Este método é amplamente utilizado devido à sua eficiência em avaliar a disponibilidade de fósforo em diferentes tipos de solo. Antes da aplicação dos corretivos as quantidades de fósforo eram, solo extremamente acido (34.1 mg/kg) e solo muito acido (11.1

mg/kg). As quantidades de fósforo 3 meses após a aplicação de corretivos estão apresentadas no (**Tabela A2.1**)

3.3.3. Variáveis de medição e observação

As variáveis de medição observadas neste estudo forakm, pH e fósforo assimilável.

3.3.3.1. pH

Para a medição do pH do solo, foi utilizada a metodologia de McLean (1982), amplamente reconhecida em estudos de ciência do solo por sua precisão e simplicidade. Este método envolve a mistura de uma amostra de solo seco com água destilada ou com uma solução de cloreto de cálcio ($CaCl_2$), normalmente na proporção de 1:1, ou seja, uma parte de solo para uma parte de líquido. A escolha entre água destilada ou solução de cloreto de cálcio depende do objetivo da análise, sendo que o uso da solução de $CaCl_2$ tende a produzir leituras de pH ligeiramente mais baixas e estáveis, proporcionando uma leitura mais próxima da condição natural do solo. Após a mistura, a amostra é submetida a agitação por um período determinado, garantindo que o solo e o líquido estejam completamente integrados, facilitando a liberação de íons hidrogênio presentes no solo, essenciais para a leitura do pH. A seguir, a solução resultante é deixada em repouso por um período, permitindo a sedimentação das partículas maiores, e o pH é medido utilizando-se um medidor de pH devidamente calibrado, com soluções padrão de pH conhecidas (geralmente 4, 7 e 10) para assegurar a precisão das leituras.

Neste estudo, a água destilada foi utilizada como meio de extração, buscando-se uma leitura do pH que refletisse as condições naturais do solo. As medições foram realizadas a cada 15 dias, a partir do 30º dia após a aplicação dos tratamentos, totalizando várias leituras ao longo do tempo. Os dados foram registrados manualmente em papel de recolha de dados, garantindo o controle preciso e o acompanhamento das variações de pH ao longo do experimento.

3.3.3.2. Fósforo assimilável (P)

A quantificação do fósforo assimilável disponível no solo seguiu a metodologia de Olsen, conforme descrita pela FAO (2021). Este método, amplamente utilizado para solos com pH neutro a alcalino, utiliza uma solução extratora de bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) a 0,5 M com pH ajustado para 8,5, que solubiliza as formas de fósforo disponíveis para as plantas. O processo envolve a mistura de uma amostra de solo seco com a solução extratora na proporção de 1:20 (uma parte de solo para vinte partes de solução extratora), seguida de agitação por 30 minutos para maximizar a extração do fósforo assimilável. Após a agitação, a mistura é filtrada e o

fósforo presente no extrato é quantificado por espectrofotometria, utilizando um reagente de molibdato que forma um complexo colorido com o fósforo, permitindo sua quantificação.
Neste estudo, as medições de fósforo foram realizadas em dois momentos: antes da aplicação dos corretivos de solo (como calcário ou cinzas) e novamente 90 dias após a aplicação. Os resultados das medições foram utilizados para calcular a diferença entre os dois momentos, com o objetivo de verificar a variação nas concentrações de fósforo assimilável e, assim, avaliar o impacto dos corretivos na disponibilidade de fósforo no solo ao longo do tempo.

3.3.4. Análise e processamento dos dados

Para a organização dos dados, foi utilizado o Microsoft Excel, uma ferramenta prática e amplamente adotada para manipulação de planilhas em diferentes áreas do conhecimento (Rafael et al., 2020). O Excel oferece uma interface intuitiva e uma gama de funcionalidades que permitem a criação de tabelas, gráficos e outras formas de representação visual dos dados, facilitando a visualização e a análise preliminar das informações (Harris, 2018). A aplicação de filtros, ordenação de dados e fórmulas automatizadas garantiu uma organização eficiente dos dados coletados, contribuindo significativamente para a precisão na apresentação e no processamento dos resultados antes das análises estatísticas mais complexas. Além disso, a facilidade em realizar cálculos automáticos e gerar gráficos dinâmicos ofereceu um suporte essencial durante as fases iniciais de exploração dos dados, permitindo detectar padrões e tendências de forma rápida.
Para a análise estatística, foi empregue a análise de variância (ANOVA), uma técnica robusta para determinar se existem diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos grupos em estudo. A ANOVA foi realizada utilizando o pacote estatístico Sisvar 8.6, uma ferramenta amplamente reconhecida por sua robustez e flexibilidade em análises estatísticas aplicadas à pesquisa agronômica (Ferreira, 2011). O Sisvar é especialmente eficiente para experimentos com variáveis dependentes e tem sido amplamente utilizado em estudos que envolvem a comparação de múltiplos tratamentos. Sua interface amigável e o suporte a diferentes modelos experimentais o tornam uma escolha ideal para análise de dados experimentais no campo da agronomia.
Para a comparação de médias, optou-se pelo teste de Tukey, um dos métodos disponibilizados pelo Sisvar. O teste de Tukey é amplamente utilizado devido à sua eficácia na identificação de diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, controlando o erro do tipo I em comparações múltiplas. Este método é particularmente útil em experimentos agronômicos, onde as diferenças entre os tratamentos precisam ser claramente identificadas para facilitar a interpretação dos resultados. O teste oferece uma abordagem confiável e precisa para detectar

variações significativas entre os grupos de forma clara, ajudando na compreensão dos efeitos dos tratamentos aplicados (Zanetti et al., 2018). A aplicação do teste de Tukey permitiu a identificação clara das médias que se diferiram significativamente, assegurando que as conclusões obtidas fossem respaldadas por um rigor estatístico adequado.

3.3.5. Relação entre as Variações de Fósforo Assimilável e o Estabelecimento de Diferentes Culturas

O fósforo (P) é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, afetando processos como a fotossíntese e a respiração (Rodrigues et al., 2021). Sua disponibilidade no solo é influenciada pelo pH e pela calagem, que varia conforme as necessidades de diferentes culturas. Em solos ácidos (pH < 5,5), o P se torna menos disponível, enquanto em solos alcalinos (pH > 7,5), liga-se a íons de cálcio, reduzindo sua absorção (López et al., 2018). Manter o pH entre 6,0 e 7,0 é essencial para otimizar a disponibilidade de fósforo (Santos et al., 2020).

A calagem é uma prática que eleva o pH do solo, melhorando a disponibilidade de nutrientes. Contudo, os efeitos da calagem podem levar semanas ou meses para se manifestar, dependendo do tipo de cal, da quantidade aplicada e das condições ambientais (Silva et al., 2019). Além disso, as diferentes culturas têm exigências variadas em relação ao fósforo. Por exemplo, leguminosas como feijão e soja podem absorver fósforo mais eficientemente em condições de baixa disponibilidade do que grãos como milho e trigo (Rodrigues et al., 2021).

A calagem também pode estimular a atividade microbiana no solo, favorecendo a solubilização do fósforo (López et al., 2018). Portanto, um manejo eficaz da calagem, considerando o tempo necessário para que os efeitos sejam percebidos e as diferentes necessidades das culturas, é fundamental para garantir a disponibilidade de fósforo assimilável e o crescimento saudável das plantas (Silva et al., 2019).

3.3.6. Limitações do estudo

Durante a condução do ensaio para este trabalho de conclusão de curso (TCC), algumas limitações foram enfrentadas, exigindo ajustes significativos no escopo da pesquisa. O principal desafio foi a impossibilidade de realizar as análises de nitrogênio (N) e potássio (K) no solo utilizado no estudo, o que resultou em uma alteração no tema original. O estudo, que inicialmente se concentrava na correção do pH e na melhoria dos macronutrientes NPK com o uso de cal e cinzas de madeira, foi adaptado para investigar a correção do pH do solo e a variabilidade do fósforo assimilável, mantendo o foco nos efeitos dos corretivos aplicados.

Além disso, houve a perda de amostras importantes que seriam utilizadas para a análise de fósforo disponível antes da aplicação dos corretivos. Diante desse imprevisto, optou-se por realizar uma nova coleta de solo nas mesmas áreas ou pontos específicos onde as amostras originais haviam sido obtidas. Essa medida foi adotada com o intuito de garantir que as novas amostras representassem, da forma mais fiel possível, as condições originais do solo. Para assegurar a consistência dos resultados, todos os procedimentos de coleta, manipulação e armazenamento seguiram rigorosamente o mesmo protocolo utilizado na primeira coleta.

Embora esses contratempos tenham limitado o alcance do estudo, as adaptações permitiram que a pesquisa avançasse com um novo enfoque, preservando a relevância dos objetivos de estudar a correção do pH e a disponibilidade de fósforo no solo.

3.3.7. Considerações éticas

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram adotadas importantes considerações éticas. Para obter as cinzas de madeira necessárias para o experimento de correção do pH do solo, foi realizada uma queima controlada de madeira. Entretanto, com o objetivo de minimizar o impacto ambiental, optou-se por utilizar resíduos lenhosos provenientes de atividades locais, evitando a utilização de madeira proveniente de florestas nativas ou áreas protegidas. A queima foi conduzida de forma responsável e controlada, em conformidade com as normas ambientais, visando reduzir ao máximo a emissão de poluentes.

No que se refere ao uso de reagentes e materiais laboratoriais, foram seguidos rigorosos protocolos de segurança. O manuseio de produtos químicos foi realizado utilizando-se equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados, como luvas, óculos de proteção e jalecos, garantindo a segurança de todos os envolvidos no processo de pesquisa. Adicionalmente, o descarte de resíduos químicos foi feito de acordo com as regulamentações ambientais vigentes, prevenindo a contaminação do solo e da água.

Essas práticas éticas reforçam o compromisso com a sustentabilidade, a segurança e a minimização dos impactos ambientais, tanto no uso de recursos naturais quanto no manuseio de substâncias potencialmente perigosas ao longo de todo o processo de pesquisa.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÃO

4.1. Resultados da análise do pH nas diferentes datas de análises

4.1.1. pH do solo 30 dias após a aplicação de corretivos

A **Tabela 4** apresenta os resultados médios de pH do solo 30 dias após a aplicação dos corretivos. Esses dados refletem as diferenças iniciais entre os tratamentos com calcário dolomítico e cinza na correção da acidez do solo, evidenciando variações significativas entre eles.

Tabela 4. Resultados da análise do pH do solo 30 dias após a aplicação de corretivos

Tratamentos	Médias	Resultados
Solo extremamente ácido+ calcário dolomítico	6.16	a1
Solo muito ácido + calcário dolomítico	6.42	a2
Solo extremamente ácido + cinza	6.60	a2, a3
Solo muito ácido + cinza	6.67	a3
Media geral	6.46	
CV (%)	1.31	
0DMS	0.24	
NMS	0.05	

*Médias seguidas pela mesma numeração nos resultados, não diferem entre sí pelo teste de Tukey a nível de 05% de significância.

Os resultados da análise de variância (**Tabela A1.1**) mostraram diferenças significativas entre os tratamentos de correção de acidez do solo após 30 dias, com nível de confiança de 5%. O teste de Tukey foi aplicado para comparar as médias dos tratamentos e identificar quais apresentaram variações estatisticamente significativas. O tratamento T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico) apresentou a menor média de pH (6,16), sendo significativamente diferente dos demais tratamentos. Esse resultado sugere que o calcário dolomítico foi o menos eficaz na neutralização da acidez em solos extremamente ácidos. O T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico) obteve um pH médio de 6,42, sendo estatisticamente diferente de T1, mas semelhante ao T3 (solo extremamente ácido + cinza), que teve uma média de 6,60. Esses resultados indicam que o calcário dolomítico apresentou maior eficácia em solos muito ácidos, mas sua eficiência foi limitada em solos extremamente ácidos. O T4 (solo muito ácido + cinza), com pH médio de 6,67, foi o tratamento mais eficaz, formando um grupo distinto, e diferindo

significativamente do T1, sugerindo que a cinza foi mais eficiente na elevação do pH, especialmente em solos muito ácidos.

Esses resultados estão alinhados com os estudos de Alvarez et al. (2000) que indicam que o calcário dolomítico, devido à presença de magnésio, pode reagir de forma mais lenta em solos extremamente ácidos, que têm altos teores de alumínio tóxico. Esse comportamento explica o desempenho inferior do calcário dolomítico no T1, uma vez que sua capacidade de neutralizar a acidez pode ser limitada pela alta concentração de íons de alumínio. No entanto, no T2, o calcário foi mais eficiente, com um pH médio de 6,42, corroborando a observação de que o calcário dolomítico pode ser mais adequado em solos com acidez moderada, como descrito por Raij (2011). Por outro lado, os tratamentos com cinza de madeira (T3 e T4) mostraram maior eficácia na elevação do pH, especialmente o T4, que apresentou o pH mais elevado (6,67). Isso está de acordo com os estudos de Demeyer et al. (2001), que destacam a composição diversa das cinzas de madeira, incluindo óxidos de cálcio e magnésio, além de potássio, que contribuem para uma neutralização mais rápida da acidez. As cinzas, ao contrário do calcário, oferecem uma resposta mais imediata, o que pode explicar a formação de um grupo distinto no tratamento T4 em comparação com T1 e T2.

4.1.2. pH do solo 45 dias após a aplicação de corretivos

Na **Tabela 5**, são apresentados os resultados de pH do solo após 45 dias da aplicação dos corretivos. As médias indicam o progresso dos tratamentos na neutralização da acidez, com destaque para a eficácia crescente da cinza em comparação ao calcário dolomítico.

Tabela 5. Resultados da análise do pH do solo 45 dias após a aplicação de corretivos

Tratamentos	Médias	Resultados
Solo extremamente ácido+ calcário dolomítico	6.240000	a1
Solo muito ácido + calcário dolomítico	6.563333	a2
Solo extremamente ácido + cinza	6.576667	a2
Solo muito ácido + cinza	6.723333	a3
Media geral	6.53	
CV (%)	0.60	
DMSç2	0.11	
NMS	0.05	

*Médias seguidas pela mesma numeração nos resultados, não diferem entre sí pelo teste de Tukey a nível de 05% de significância.

Os dados coletados 45 dias após a aplicação dos corretivos demonstram diferenças significativas entre os tratamentos, conforme evidenciado pela análise de variância (**Tabela A1.2**) realizada com um nível de significância de 5%. O teste de Tukey revelou que T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico) continuou a ser o menos eficaz, com um pH médio de 6,24, sendo significativamente diferente dos demais. O tratamento T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico), com média de 6,56, foi significativamente superior a T1, mas estatisticamente semelhante a T3 (solo extremamente ácido + cinza), com média de 6,58. O T4 (solo muito ácido + cinza) foi novamente o mais eficaz, com média de 6,72, formando um grupo distinto e indicando que a cinza foi o corretivo mais eficiente para elevar o pH, especialmente em solos muito ácidos.

Esses achados corroboram a literatura existente, pois o tratamento T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico) apresentou o menor pH médio de 6,24, o que reflete a conclusão de Alvarez et al. (2000) sobre a lentidão da reação do calcário em solos com alta acidez e elevados níveis de alumínio. Essa limitação da neutralização da acidez pode ser um fator crucial para entender o desempenho inferior desse corretivo em solos extremamente ácidos. Em contraste, o tratamento T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico) mostrou um pH médio de 6,56, evidenciando uma maior eficácia em comparação ao T1. Essa observação é consistente com o trabalho de Raij (2011), que sugere que o calcário dolomítico é mais eficaz em solos com níveis moderados de acidez. A eficiência do calcário em condições menos extremas pode explicar sua melhor performance no tratamento T2. Em contrapartida, os tratamentos com cinzas de madeira, especialmente o T4 (solo muito ácido + cinza), demonstraram um pH médio de 6,72, ressaltando a eficácia das cinzas na correção da acidez do solo. Isso se alinha com os estudos de Demeyer et al. (2001), que destacam que as cinzas de madeira contêm uma variedade de compostos benéficos, os quais contribuem para uma neutralização mais rápida da acidez, mas também fornece nutrientes que podem ser benéficos para as plantas.

4.1.3. pH do solo 60 dias após a aplicação de corretivos

A **Tabela 6** resume as médias de pH do solo 60 dias após a aplicação dos corretivos. Observa-se que, nesse período, tanto a cinza quanto o calcário mostraram melhorias na correção do pH, com variações significativas entre os tratamentos.

Tabela 6. Resultados da análise do pH do solo 60 dias após a aplicação de corretivos

Tratamentos	Médias	Resultados
Solo extremamente ácido+ calcário dolomítico	7.02	a1
Solo muito ácido + calcário dolomítico	7.35	a2
Solo extremamente ácido + cinza	7.38	a2
Solo muito ácido + cinza	7.55	a3
Média geral	7.32	
CV (%)	0.49	
DMS	0.10	
NMS	0.05	

*Médias seguidas pela mesma numeração nos resultados, não diferem entre sí pelo teste de Tukey a nível de 05% de significância.

Sessenta dias após a aplicação dos corretivos, os resultados continuaram a mostrar diferenças significativas entre os tratamentos (**Tabela A1.3**). O tratamento T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico) apresentou a menor média de pH (7,02), sendo classificado no grupo a1, o que indica que sua eficácia foi limitada em relação aos outros tratamentos. O T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico) e T3 (solo extremamente ácido + cinza) apresentaram médias semelhantes (7,34 e 7,37, respectivamente), agrupados no grupo a2, sugerindo eficácia moderada na neutralização da acidez. O T4 (solo muito ácido + cinza) teve a maior média de pH (7,54), formando o grupo a3, evidenciando sua superioridade em elevar o pH do solo.

O T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico) registrou a menor média de pH (7,02), o que evidencia a limitação do calcário dolomítico em solos altamente ácidos. Conforme Alvarez et al. (2000), essa ineficácia pode ser explicada pela reação mais lenta do magnésio presente no calcário, especialmente em solos ricos em alumínio tóxico, que inibem a neutralização rápida da acidez. Os tratamentos T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico) e T3 (solo extremamente ácido + cinza) mostraram resultados semelhantes, com pH médio de 7,34 e 7,37, respectivamente. O melhor desempenho do calcário em T2 é apoiado por Raij (2011), que observou que o calcário dolomítico tende a ser mais eficiente em solos menos ácidos, já que a menor concentração de alumínio facilita a reação de neutralização. No caso de

T3, a cinza de madeira, como relatado por Demeyer et al. (2001), contém compostos como óxidos de cálcio e magnésio que atuam rapidamente, embora sua eficiência em condições extremas de acidez, como no T3, seja menos acentuada. O tratamento T4 (solo muito ácido + cinza) foi o mais eficaz, com pH médio de 7,54, destacando-se como o corretivo mais eficiente. Isso reforça as conclusões de Bolan et al. (2003) sobre a superioridade das cinzas de madeira em elevar o pH, especialmente em solos com menor acidez. As cinzas, além de neutralizar a acidez rapidamente, também fornecem nutrientes como potássio, tornando-as uma opção mais vantajosa em termos de correção do pH e melhoria da fertilidade do solo.

4.1.4. pH do solo 75 dias após a aplicação de corretivos

Os dados de pH do solo, coletados 75 dias após a aplicação dos corretivos, estão apresentados na **Tabela 7**. Neste período, as médias de pH dos tratamentos foram bastante semelhantes, sem diferenças estatísticas significativas entre eles.

Tabela 7. Resultados da análise do pH do solo 75 dias após a aplicação de corretivos

Tratamentos	Médias	Resultados
Solo extremamente ácido+ calcário dolomítico	7.30	a1
Solo muito ácido + calcário dolomítico	7.38	a1
Solo extremamente ácido + cinza	7.62	a1
Solo muito ácido + cinza	7.78	a1
Média geral	7.52	
CV (%)	3.78	
DMS	0.80	
NMS	0.05	

*Médias seguidas pela mesma numeração nos resultados, não diferem entre sí pelo teste de Tukey a nível de 05% de significância.

Após 75 dias, a análise de variância (**Tabela A1.4**) revelou que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (p = 0,2464). Os valores médios de pH foram relativamente próximos entre os tratamentos, com T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico) apresentando média de 7,30 e T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico) com 7,38.Nos tratamentos com cinza, as médias foram um pouco maiores: 7,62 para T3 (solo extremamente ácido + cinza) e 7,78 para T4 (solo muito ácido + cinza). Apesar de uma leve tendência de maior elevação do pH com o uso da cinza, essas diferenças não foram estatisticamente significativas, indicando que, após esse período, tanto o calcário quanto a cinza tiveram efeitos similares na correção do pH do solo.

A ausência de diferenças significativas sugere que, a essa altura, tanto o calcário dolomítico quanto as cinzas de madeira estabilizaram seus efeitos no pH do solo, proporcionando resultados similares. No tratamento T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico), o pH médio foi de 7,30, enquanto no T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico) a média foi de 7,38. Isso está em linha com as observações de Alvarez et al. (2000), que mencionam que o calcário dolomítico pode demorar para reagir plenamente em solos extremamente ácidos, devido à presença de magnésio e a alta concentração de alumínio tóxico, fatores que retardam a elevação do pH. Ao longo do tempo, no entanto, o calcário se mostrou eficaz em ambos os tipos de solo.

Os tratamentos que utilizaram cinza de madeira, T3 (solo extremamente ácido) e T4 (solo muito ácido), apresentaram valores médios de pH ligeiramente superiores (7,62 e 7,78, respectivamente). Embora não tenham sido estatisticamente diferentes dos tratamentos com calcário, a leve tendência de elevação pode ser atribuída à composição da cinza, que contém elementos como óxidos de cálcio e magnésio, conforme discutido por Demeyer et al. (2001) e Bolan et al. (2003). Esses autores destacam que as cinzas de madeira, por terem uma ação mais rápida, tendem a promover uma neutralização inicial mais eficiente da acidez do solo, especialmente em solos moderadamente ácidos. Apesar das variações entre os tratamentos, os resultados sugerem que após 75 dias, o efeito corretivo tanto do calcário dolomítico quanto das cinzas de madeira tende a convergir, resultando em valores de pH semelhantes. Naylor & Schmidt (1986) também encontraram resultados semelhantes em seus estudos, sugerindo que, embora as cinzas ofereçam uma resposta inicial mais rápida, o efeito final sobre a acidez do solo, após um período mais prolongado, pode ser comparável ao de corretivos mais lentos, como o calcário.

4.1.5. pH do solo 90 dias após a aplicação de corretivos

A **Tabela 8** mostra os resultados médios de pH do solo 90 dias após a aplicação dos corretivos. As diferenças entre os tratamentos se tornaram mais evidentes, com a cinza apresentando um desempenho superior na correção da acidez em relação ao calcário.

Tabela 8. Resultados da análise do pH do solo 90 dias após a aplicação de corretivos

Tratamentos	Médias	Resultados
Solo extremamente ácido+ calcário dolomítico	7.56	a1
Solo muito ácido + calcário dolomítico	7.61	a1, a2
Solo extremamente ácido + cinza	7.70	a1, a2
Solo muito ácido + cinza	7.81	a2
Média geral	7.67	
CV (%)	1.04	
DMS	0.22	
NMS	0.05	

*Médias seguidas pela mesma numeração nos resultados, não diferem entre sí pelo teste de Tukey a nível de 05% de significância.

Noventa dias após a aplicação dos corretivos, a análise de variância (**Tabela A1.5**) mostrou diferenças significativas entre os tratamentos (p = 0,0343). O T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico) apresentou um pH médio de 7,56, enquanto o T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico) obteve média de 7,61, ambos estatisticamente semelhantes. Por outro lado, os tratamentos com cinza tiveram melhor desempenho: o T3 (solo extremamente ácido + cinza) alcançou média de 7,70, e o T4 (solo muito ácido + cinza) teve a maior média, 7,81. O teste de Tukey confirmou que o T4 foi significativamente melhor do que T1, enquanto T3 e T2 ficaram em um grupo intermediário. Esses resultados indicam que a cinza foi um corretivo mais eficaz na elevação do pH, especialmente em solos muito ácidos.

O T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico) apresentou um pH médio de 7,56, e o T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico) alcançou uma média de 7,61, sendo ambos estatisticamente semelhantes. Esses resultados estão em linha com estudos como o de Alvarez et al. (2000), que apontam que o calcário dolomítico, apesar de eficiente a longo prazo, pode não proporcionar elevações rápidas no pH em solos extremamente ácidos, devido à lenta reação do magnésio presente em sua composição. Os tratamentos que utilizaram cinza de madeira, T3 (solo extremamente ácido) e T4 (solo muito ácido), mostraram um desempenho superior, com pH médio de 7,70 e 7,81, respectivamente. A eficácia das cinzas é reforçada pelos estudos de Demeyer et al. (2001), que destacam que as cinzas de madeira possuem uma composição rica em óxidos de cálcio e magnésio, além de potássio, o que permite uma neutralização mais rápida da acidez do solo. Esse comportamento é coerente com os resultados obtidos, onde o T4 foi o tratamento mais eficaz, superando significativamente o T1. A superioridade da cinza como corretivo de acidez, especialmente em solos muito ácidos, também é suportada por pesquisas

mais recentes, como as de Bolan et al. (2003) e Fidalski et al. (2015), que demonstram que o uso de cinza de madeira não só aumenta rapidamente o pH do solo, mas também melhora sua estrutura, favorecendo o desenvolvimento de culturas. Esse aumento da capacidade de elevação do pH é essencial em solos muito ácidos, onde as cinzas se mostram mais eficientes do que corretivos tradicionais, como o calcário.

4.2. Resultados da análise de P assimilável

4.2.1. P assimilável no solo 90 dias após a aplicação de corretivos e diferenças com o início

Na **Tabela 9**, são apresentados os resultados de fósforo assimilável no solo 90 dias após a aplicação dos corretivos. Os dados revelam uma diferença significativa na disponibilidade de fósforo entre os tratamentos, destacando a maior eficiência da cinza em aumentar os níveis desse nutriente.

Tabela 9. Resultados da análise do P assimilável 90 dias após a aplicação de corretivos

Tratamentos	Médias	Resultados
Solo extremamente ácido+ calcário dolomítico	2.03	a1
Solo muito ácido + calcário dolomítico	2.80	a1
Solo extremamente ácido + cinza	7.33	a1
Solo muito ácido + cinza	12.93	a2
Média geral	6.28	
CV (%)	30.90	
DMS	5.50	
NMS	0.05	

*Médias seguidas pela mesma numeração nos resultados, não diferem entre sí pelo teste de Tukey a nível de 05% de significância.

Os resultados obtidos 90 dias após a aplicação dos corretivos também revelaram diferenças significativas nos níveis de fósforo assimilável no solo (**Tabela A1.6**), com um nível de significância de 5%. A análise de variância mostrou que os corretivos aplicados tiveram um impacto considerável na disponibilidade de fósforo no solo, e o teste de Tukey foi utilizado para identificar diferenças significativas entre os tratamentos. Os tratamentos T1 (solo extremamente ácido + calcário dolomítico) e T2 (solo muito ácido + calcário dolomítico) apresentaram as menores médias de fósforo, com 2,03 e 2,80, respectivamente. Esses resultados indicam que o calcário dolomítico teve uma eficácia limitada na disponibilização do fósforo no

solo, o que pode estar relacionado ao fato de que este corretivo atua mais na neutralização da acidez do solo, sem promover uma solubilização significativa de fósforo presente nas formas mais imobilizadas. Em solos extremamente ácidos, a alta acidez pode tornar o fósforo menos disponível para as plantas, mesmo após a aplicação de calcário. O tratamento T3 (solo extremamente ácido + cinza) apresentou uma média de fósforo de 7,33, indicando uma melhoria em relação aos tratamentos com calcário, embora essa diferença não tenha sido estatisticamente significativa. Isso sugere que a cinza começou a liberar formas de fósforo mais acessíveis, especialmente em solos ácidos. Já o tratamento T4 (solo muito ácido + cinza) destacou-se com uma média de 12,93, sendo estatisticamente significativo, e indicando que a cinza foi o corretivo mais eficaz para aumentar os níveis de fósforo. A cinza de madeira não apenas neutraliza a acidez, mas também fornece fósforo e outros nutrientes essenciais, tornando-os rapidamente disponíveis para as plantas. Esses resultados mostram que a aplicação de cinza em solos muito ácidos é uma estratégia eficiente para melhorar a disponibilidade de fósforo, destacando sua utilidade em práticas de manejo sustentável do solo.

os tratamentos influenciaram de forma significativa a disponibilidade de fósforo no solo. No caso dos tratamentos T1 e T2, que receberam calcário dolomítico, os níveis de fósforo foram os mais baixos, com médias de 2,03 e 2,80, respetivamente. Estes resultados indicam que o calcário dolomítico, embora eficaz na neutralização da acidez, não foi suficientemente capaz de aumentar a disponibilidade de fósforo. Este fenómeno pode ser explicado pela função primária do calcário, que atua mais diretamente na correção do pH, sem, no entanto, promover uma solubilização eficiente do fósforo que se encontra em formas imobilizadas, como também é mencionado por Sousa et al. (2018). Por outro lado, o tratamento com cinza apresentou uma melhoria considerável na disponibilidade de fósforo, especialmente no tratamento T4, que atingiu uma média de 12,93, diferença esta que foi estatisticamente significativa. A cinza de madeira, além de corrigir a acidez do solo, contribuiu diretamente com a disponibilização de nutrientes essenciais como fósforo e potássio. Isto está alinhado com os achados de Caires et al. (2015), que destacam a cinza como um corretivo que não só neutraliza a acidez do solo, mas também oferece nutrientes de forma mais rápida e eficiente do que o calcário.

No tratamento T3, que também utilizou cinza, embora a diferença não tenha sido estatisticamente significativa, a média de 7,33 indica uma melhoria em relação aos tratamentos com calcário, sugerindo que a cinza começou a libertar formas de fósforo mais acessíveis para as plantas. Segundo Silva et al. (2019), a aplicação de cinza em solos muito ácidos tende a ser mais eficaz, não apenas por corrigir a acidez, mas também por promover a disponibilização rápida de nutrientes, o que foi observado nos resultados deste estudo.

Assim, os resultados reforçam a eficácia da cinza de madeira como um corretivo eficiente para solos ácidos, não só pela sua capacidade de neutralizar a acidez, mas também pela sua contribuição significativa na melhoria da disponibilidade de fósforo. Isso coloca a cinza como uma alternativa promissora em práticas de manejo sustentável, especialmente em solos altamente ácidos que necessitam de correção tanto de pH quanto de nutrientes.

4.2.2. Diferença de P assimilável no solo antes e 90 dias após a aplicação de corretivos

Na **Tabela 10**, são apresentados os resultados da diferença de fósforo assimilável no solo antes e 90 dias após a aplicação dos corretivos. Os dados revelam uma diferença significativa na disponibilidade de fósforo entre os tratamentos, destacando a maior eficiência da cinza em aumentar os níveis desse nutriente.

Tabela 10. Resultados da análise da diferença de P assimilável antes e 90 dias após a aplicação de corretivos

Tratamentos	Médias	Resultados
Solo extremamente ácido+ calcário dolomítico	-32,06	a1
Solo muito ácido + calcário dolomítico	-26,77	a1
Solo extremamente ácido + cinza	-8,30	a2
Solo muito ácido + cinza	1.83	a3
Média geral	6.28	
CV (%)	-11,91	
DMS	5.50	
NMS	0.05	

*Médias seguidas pela mesma numeração nos resultados, não diferem entre sí pelo teste de Tukey a nível de 05% de significância.

Os resultados obtidos da diferença dos níveis P assimilável de antes e 90 dias após a aplicação de corretivos revelam diferenças significativas (**Tabela A1.7**), com 5% de nível de significância. Os tratamentos com calcário dolomítico (T1 e T2), tanto no solo extremamente ácido quanto no muito ácido, apresentaram as menores médias de fósforo, com valores de -32,07 e -26,77, respectivamente. Esses resultados indicam que o calcário dolomítico teve uma eficácia limitada na disponibilização de fósforo no solo, possivelmente devido à sua principal função de neutralizar a acidez, sem promover uma solubilização significativa do fósforo que está em formas imobilizadas. Em contrapartida, o tratamento com cinza mostrou resultados mais promissores. Embora o T3 tenha apresentado uma média de -8,3, o T4 teve um resultado

positivo, com uma média de +1,83. Isso sugere que a cinza de madeira começou a liberar formas de fósforo mais acessíveis para as plantas, especialmente em solos com alta acidez inicial.

Esses dados indicam que a aplicação de cinza, especialmente em solos muito ácidos, é uma estratégia mais eficiente para melhorar a disponibilidade de fósforo em comparação ao uso de calcário dolomítico. A cinza não apenas neutraliza a acidez, mas também parece atuar diretamente na mobilização de nutrientes essenciais, como o fósforo, tornando-os mais acessíveis para as plantas. Assim, a cinza se destaca como uma opção promissora em práticas de manejo sustentável do solo, especialmente em solos altamentes ácidos que necessitam de correção tanto de pH quanto de nutrientes. Os resultados evidenciaram diferenças significativas nos níveis de fósforo assimilável no solo após a aplicação dos corretivos, realçando comportamentos contrastantes entre o calcário dolomítico e a cinza de madeira. Os tratamentos com calcário dolomítico (T1 e T2) apresentaram as médias mais baixas de fósforo (-32,07 e -26,77, respetivamente), demonstrando uma eficácia limitada na disponibilização de fósforo, de acordo com as observações de Raij (2011). Este corretivo parece atuar sobretudo na neutralização da acidez do solo, sem promover uma solubilização considerável do fósforo em formas imobilizadas, como também apontado por Sousa et al. (2018).

Em contraste, a aplicação de cinza de madeira produziu resultados mais promissores, nomeadamente no tratamento T4 (solo muito ácido + cinza), com uma média positiva de +1,83. Estes resultados sugerem que a cinza não só corrige a acidez, mas também facilita a mobilização de nutrientes como o fósforo, confirmando os estudos de Caires et al. (2015) e Fernandes et al. (2020). Embora o tratamento T3 (solo extremamente ácido + cinza) tenha apresentado uma média de -8,3, foi observada uma tendência de melhoria na disponibilidade de fósforo. Estes dados indicam que a cinza de madeira, particularmente em solos muito ácidos, pode ser uma estratégia mais eficiente para a disponibilização de fósforo, tal como referido por Silva et al. (2019). Ao corrigir o pH e melhorar a mobilização de nutrientes, a cinza surge como uma alternativa promissora para o manejo sustentável de solos ácidos, como sublinhado por Santos et al. (2021).

4.3. Relação entre as Variações de Fósforo Assimilável e o Estabelecimento de Diferentes Culturas

As variações no pH e sua correlação com a assimilação de fósforo nos primeiros 30 dias após a aplicação dos corretivos são essenciais para o planejamento agrícola. Durante esse período, a disponibilidade de fósforo, crucial para o crescimento de culturas exigentes como milho, arroz,

feijão nhemba e mandioca, mostrou-se mais favorável em solos onde o pH foi elevado. A gestão adequada da acidez do solo pode melhorar a absorção de fósforo, refletindo diretamente no desenvolvimento dessas plantas.

Após 45 dias, a importância do pH na disponibilidade de fósforo continuou a se destacar. Solos com pH elevado favorecem a assimilação desse nutriente, essencial para um crescimento saudável e produtivo das culturas mencionadas. Nesse período, os níveis de fósforo se mostraram mais altos em solos corrigidos, reforçando a ideia de que a neutralização da acidez do solo é vital para a eficiência no uso de fósforo. Essa relação sublinha a necessidade de monitoramento constante das condições do solo para garantir um manejo eficiente. Sessenta dias após a aplicação dos corretivos, a eficácia na neutralização da acidez permaneceu relevante. Solos com pH mais elevado demonstraram maior disponibilidade de fósforo, o que é crucial para maximizar o rendimento de culturas como milho, arroz, feijão nhemba e algodão. A combinação de um pH adequado com níveis elevados de fósforo contribuiu para o desenvolvimento robusto das plantas, evidenciando a importância de um manejo integrado do solo.

Após 75 dias, as medições de pH mostraram valores relativamente próximos, indicando que diferentes métodos de correção tiveram efeitos similares na acidez do solo. Essa uniformidade sugere que, após esse período, é possível utilizar abordagens de correção de forma intercambiável. No entanto, os produtores devem estar cientes de que a manutenção de um pH adequado continua crucial para assegurar a disponibilidade de nutrientes, especialmente fósforo, para culturas sensíveis como mapira e feijão bóer. Os níveis de fósforo permaneceram estáveis, refletindo a eficácia das correções realizadas anteriormente, e a consistência na gestão do pH pode impactar diretamente a produtividade agrícola, promovendo colheitas mais saudáveis e abundantes.

Noventa dias após a aplicação dos corretivos, os resultados revelaram diferenças significativas nos níveis de fósforo assimilável no solo. Os tratamentos com calcário dolomítico apresentaram as menores médias de fósforo, evidenciando a eficácia limitada desse corretivo na disponibilização desse nutriente. Em solos extremamente ácidos, a alta acidez pode imobilizar o fósforo, tornando-o menos disponível para as plantas. Em contraste, o tratamento com cinza, especialmente no tratamento T4, não apenas elevou o pH, mas também melhorou significativamente a disponibilidade de fósforo no solo. Isso indica que a cinza de madeira é uma estratégia eficiente para aumentar a disponibilidade de fósforo em solos ácidos, contribuindo para um manejo sustentável e produtivo.

Esses resultados mostram que a combinação do uso de cinza e o controle do pH são essenciais para otimizar a disponibilidade de fósforo e, consequentemente, a produtividade das culturas como milho, arroz, feijão nhemba, mandioca e algodão. A escolha adequada dos corretivos é crucial para garantir a eficiência na absorção de nutrientes, refletindo diretamente no crescimento e na qualidade das colheitas. Assim, esses resultados mostram que a combinação do uso de cinza e o controle do pH são essenciais para otimizar a disponibilidade de fósforo e, consequentemente, a produtividade das culturas. A escolha adequada dos corretivos é crucial para garantir a eficiência na absorção de nutrientes, refletindo diretamente no crescimento e na qualidade das colheitas.

CAPÍTULO V: CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E INOVAÇÃO

5.1. Conclusões

Este estudo abordou sobre a eficácia de corretivos no maneio da acidez do solo e da disponibilidade de fósforo assimilável, essenciais para a produtividade agrícola em solos ácidos, comuns em regiões agrícolas de Moçambique. O solo ácido limita a absorção de nutrientes vitais pelas plantas, prejudicando a produção agrícola. Corretivos como calcário dolomítico e cinza de madeira são amplamente recomendados para neutralizar essa acidez e melhorar a fertilidade do solo, mas há uma lacuna de conhecimento quanto à sua eficácia comparativa. Com base nos resultados, confirmou-se a eficácia dos corretivos na neutralização da acidez do solo e na melhoria da disponibilidade de fósforo. A análise dos dados revelou que a escolha do corretivo é crucial para o maneio adequado dos solos ácidos, evidenciando que diferentes materiais apresentam desempenhos distintos em relação à elevação do pH e à liberação de nutrientes.

O resultados deste estudo mostraram que a cinza de madeira não apenas elevou significativamente o pH do solo, mas também aumentou a disponibilidade de fósforo, um nutriente essencial para o crescimento saudável das plantas. Essa capacidade dual de ação torna a cinza uma solução viável e sustentável para práticas agrícolas em solos com alta acidez, proporcionando benefícios tanto imediatos quanto a longo prazo para a fertilidade do solo. Além disso, as evidências coletadas ao longo do estudo ressaltam a importância de práticas de manejo que integrem a aplicação de corretivos adequados. A utilização da cinza de madeira, por exemplo, não só promove a correção da acidez, mas também contribui para a recuperação da estrutura do solo e para a promoção de uma microbiota saudável, fatores fundamentais para a sustentabilidade da agricultura bem como no desenvolvimento de diversas culturas, incluindo o milho, arroz, a soja, entre outras.

Com isso, a hipótese alternativa que afirmava que aplicação de calcário e cinzas de madeira resultará em diferenças significativas no aumento do nível de pH e nos teores de P assimilável nos solos com diferentes níveis de acidez. Pelo menos uma das substâncias demonstrará um desempenho superior em relação à outra na correção do pH e na variabilidade de P foi aceita, em determimento da hipótese nula que afirmava que a aplicação de calcário e cinzas de madeira não resultará em diferenças significativas no aumento do nível de pH e nos teores de P assimilável nos solos com diferentes níveis de acidez, destacando assim destacando a cinza como uma alternativa promissora para o manejo sustentável de solos ácidos.

5.2. Recomendações

Os resultados deste estudo realçam a importância de adotar práticas adequadas para a correção da acidez do solo e a melhoria da disponibilidade de nutrientes, contribuindo para a sustentabilidade da agricultura. Com base nas conclusões alcançadas, várias recomendações foram elaboradas para a comunidade académica, instituições de investigação e produtores agrícolas, com o objetivo de optimizar as práticas de gestão e promover uma agricultura mais eficiente e sustentável.

- **Para a Comunidade Acadêmica**: Recomenda-se que as universidades e centros de pesquisa ampliem os estudos sobre a aplicação de corretivos, promovendo investigações de longo prazo que analisem os impactos desses corretivos na dinâmica do solo ao longo de diversas estações e em diferentes condições climáticas. É importante incentivar estudos interdisciplinares, integrando agronomia, ecologia e ciências do solo, para entender como os corretivos influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo a longo prazo. Esses estudos podem fornecer uma base sólida para práticas de manejo mais sustentáveis e ecologicamente corretas, ajudando a identificar soluções que aumentem a resiliência agrícola frente às mudanças climáticas.
- **Para Instituições de Pesquisa**: Sugere-se que as instituições desenvolvam programas e parcerias voltados à exploração do uso de resíduos orgânicos como fontes alternativas de nutrientes e corretivos de acidez, aproveitando subprodutos agrícolas e industriais, como cinzas, resíduos de biomassa e compostos orgânicos. Além disso, é fundamental que essas instituições promovam treinamentos e workshops para disseminar o conhecimento sobre o uso seguro e eficiente desses corretivos, com foco específico na cinza de madeira. O desenvolvimento de guias práticos e orientações técnicas voltadas para o uso de corretivos alternativos pode apoiar produtores e técnicos em campo, aumentando a eficiência das práticas de manejo e promovendo uma agricultura mais sustentável.
- **Para os Produtores**: A cinza de madeira deve ser considerada uma alternativa econômica e acessível para pequenos produtores, especialmente em regiões onde o acesso a corretivos convencionais é escasso ou financeiramente inviável. Recomenda-se que os produtores façam o monitoramento contínuo do pH e dos níveis de nutrientes no solo, ajustando a aplicação dos corretivos conforme necessário para manter a fertilidade ideal do solo e maximizar a produtividade. A implementação de práticas de monitoramento simples e de baixo custo pode ajudar os produtores a identificar as

necessidades específicas do solo ao longo do tempo, permitindo um uso mais preciso dos corretivos.

5.3. Inovação e/ contributo para a sustentabilidade

Este estudo introduz uma abordagem inovadora para o manejo da acidez do solo e da fertilidade através da **utilização de resíduos orgânicos**, especificamente a cinza de madeira, como um corretivo eficiente e sustentável. Além de sua capacidade de neutralizar a acidez, a cinza oferece nutrientes essenciais, especialmente o fósforo, promovendo uma alternativa ao uso de fertilizantes químicos. A adoção dessa prática proporciona diversas vantagens:

1. **Agricultura Circular e Sustentável**: A cinza de madeira, um subproduto da queima de madeira, é transformada de resíduo em recurso, contribuindo para uma prática agrícola que minimiza o desperdício. Ao utilizar resíduos locais para corrigir a fertilidade do solo, promove-se um modelo de agricultura circular, onde recursos internos e renováveis são aproveitados de forma inteligente. Esta abordagem é especialmente valiosa para comunidades agrícolas que buscam alternativas econômicas e ecológicas aos corretivos convencionais.
2. **Redução do Impacto Ambiental**: A aplicação de cinza reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos e corretivos de solo, diminuindo a pegada ambiental associada à produção e transporte desses insumos. Além disso, a utilização de cinza contribui para a diminuição de resíduos de madeira, prevenindo o acúmulo de subprodutos que poderiam causar problemas ambientais.
3. **Aumento da Resiliência Agrícola**: A adoção da cinza como corretivo, especialmente em solos com alta acidez, pode ser uma solução para melhorar a resiliência das culturas frente às condições adversas. Com o uso da cinza, pequenos agricultores e comunidades rurais ganham acesso a um insumo valioso, capaz de corrigir o pH do solo e fornecer nutrientes sem custo elevado. Essa prática tem potencial para promover a autossuficiência agrícola e o desenvolvimento sustentável.

Essa inovação representa uma alternativa promissora para a agricultura sustentável, oferecendo um método de manejo de solo que alia correção de acidez, disponibilização de nutrientes e preservação ambiental. Ao adotar a cinza de madeira como corretivo, os agricultores podem obter um aumento na produtividade de forma economicamente viável e ambientalmente responsável, o que reforça a cinza de madeira como uma ferramenta inovadora e estratégica para o manejo sustentável de solos ácidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, A. A., Leinweber, P., & Kühn, O. (2022). Advances in understanding the phosphate binding in soil: A Computational Chemistry perspective. https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2022-lq2j3

Aiuba, R. (2023). instrumentos de política agrícola e a produção agrícola em moçambique.

Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association

Alvarez V., V. H., Dias, L. E., & Ribeiro, A. C. (2000). Correção da acidez do solo. Universidç2ade Federal de Viçosa.

Alvarez, V. H., Dias, L. E., & Ribeiro, A. C. (2000). Correção da acidez do solo. Universidade Federal de Viçosa.

Alvarez, V. H., Novais, R. F., Barros, N. F., Cantarutti, R. B., & Lopes, A. S. (2000). Interpretação dos resultados das análises de solos. In R. F. Novais, V. H. Alvarez, N. F. Barros, R. B. Cantarutti, & A. S. Lopes (Eds.), Fertilidade do solo (pp. 303-330). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Alvarez, V. H., Novais, R. F., Barros, N. F., Cantarutti, R. B., & Lopes, A. S. (2000). Interpretação dos resultados das análises de solos. In R. F. Novais, V. H. Alvarez, N. F. Barros, R. B. Cantarutti, & A. S. Lopes (Eds.), Fertilidade do solo (pp. 303-330). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Alves, A. A. C. (2002). Cassava botany and physiology. In R. J. Hillocks, J. M. Thresh, & A. Bellotti (Eds.), Cassava: Biology, production and utilization (pp. 67-89). CAB International.

Alves, A. A. C. (2002). Cassava botany and physiology. In R. J. Hillocks, J. M. Thresh, & A. Bellotti (Eds.), Cassava: Biology, production and utilization (pp. 67-89). CAB International.

amendments on P availability in calcareous soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 124(2), 247–262. https://doi.org/10.1007/s10705-022-10241-1

análise estatística: uma revisão. Revista Brasileira de Estatística, 82(3), 419-433. https://doi.org/10.5915/rbe.v82i3.50936

Antônio, J. (2001). efeito de fertilizantes nitrogenados na acidificação de um argissolo vermelho amarelo latossóllco distrófico cultivado com milho.

Araújo, E. A. D., Ker, J. C., Neves, J. C. L., & Lani, J. L. (2012). Qualidade do solo: Conceitos, indicadores e avaliação. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, 5(1), 187–206. https://doi.org/10.5777/PAeT.V5.N1.12

Barrow, N. J. (2017). Soil chemistry and plant nutrients: Principles and practices. Routledge.

Barrow, N. J. (2017). Soil Chemistry and Plant Nutrients: Principles and Practices. New York: Routledge.

Barrow, N. J., & Hartemink, A. E. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. Plant and Soil, 487(1–2), 21–37. https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5

Bide, T., Ander, E. L., & Broadley, M. R. (2021). A Spatial Analysis of Lime Resources and their Potential for Improving Soil Magnesium Concentrations and pH in Grassland

Areas of England and Wales [Preprint]. In Review. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-590775/v1

Bolan, N. S., Adriano, D. C., & Curtin, D. (2003). Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. Advances in Agronomy, 78, 215-272. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)78006-1

Bolan, N. S., Adriano, D. C., & Curtin, D. (2003). Soil acidification and liming interactions with nutrient and heavy metal transformation and bioavailability. Advances in Agronomy, 78, 215-272. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)78006-1

Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., & Montanarella, L. (2021). Land degradation risk assessment in Europe. Science of The Total Environment, 764, 142680. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142680

Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., & Montanarella, L. (2021). Land degradation risk assessment in Europe. Science of The Total Environment, 764, 142680. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142680

Boukar, O., Coulibaly, O., & Fatokun, C. (2016). Uses and roles of cowpea in cropping systems of sub-Saharan Africa: Lessons from farmers' fields. In Cowpea (pp. 305-325). Springer.

Boukar, O., Coulibaly, O., & Fatokun, C. (2016). Uses and Roles of Cowpea in Cropping Systems of Sub-Saharan Africa: Lessons from Farmers' Fields. In Cowpea (pp. 305-325). Springer, Cham.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). The nature and properties of soils (15th ed.).

Brownrigg, S., McLaughlin, M. J., McBeath, T., & Vadakattu, G. (2022). Effect of acidifying

Caires, E. F., et al. (2010). "Effects of liming and phosphorus fertilization on the yield and nutritional status of rice." Nutrient Cycling in Agroecosystems, 88(3), 321-330.

Caires, E. F., Garbuio, F. J., Churka, S., Barth, G., & Corrêa, J. C. L. (2010). Effects of liming and phosphorus fertilization on the yield and nutritional status of rice. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 88(3), 321-330. https://doi.org/10.1007/s10705-010-9364-y

Cardoso, F. H. (1984). Fernando Henrique Cardoso. Língua e Literatura, 13, 158. https://doi.org/10.11606/issn.2594-5963.lilit.1984.114570

Carellos, D. D. C. (2013). Avaliação de cultivares de feijão-guandu (cajanus cajan (l.) millsp.) para produção de forragem no período seco, em são joão evangelista-mg.

Carvalho, L. C. T. (2008). Análise Comparativa entre Diferentes Metodologias Utilizadas para Recomendação de Gesso Agrícola em Solos Cult.

Carvalho, M. D., & Halecki, W. (2021). Modelagem do rendimento do feijão-caupi (Vigna unguiculata) e controle da exposição a inseticidas em uma região semiárida. Plantas, 10, 1074.

Carvalho, M. D., & Halecki, W. (2021). Modelagem do rendimento do feijão-caupi (Vigna unguiculata) e controle da exposição a inseticidas em uma região semiárida. Plantas, 10, 1074

Cavalcante, E. da S., & Pinheiro, I. de N. (1999). Recomendações técnicas para o cultivo de feijão caupi (Vigna unguiculata (L.)Walp.) no Estado do Amapá.

Centeno, L. N., Guevara, M. D. F., Cecconello, S. T., Sousa, R. O. D., & Timm, L. C. (2017a). extura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, 4(1), 31. https://doi.org/10.15210/rbes.v4i1.11576

Centeno, L. N., Guevara, M. D. F., Cecconello, S. T., Sousa, R. O. D., & Timm, L. C. (2017b). Textura do solo: Conceitos e aplicações em solos arenosos.

Century. CRC Press.

Ciotta, M. N., Bayer, C., Ernani, P. R., Fontoura, S. M. V., Albuquerque, J. A., & Wobeto, C. (2002). Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26(4), 1055–1064. https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400023

Costa, D. C. (2020). Efeitos residuais da fertilizacao organica e mineral aplicada na recuperacao de solo de pastagem minerado para bauxita.

de Oliveira, I. J., Fontes, J. R. A., Dias, M. C., & Barreto, J. F. (2019). Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no estado do Amazonas.

de Souza, F. (2012). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M.

de Souza, F. H. D., Frigeri, T., Moreira, A., & Godoy, R. (2007). Produção de sementes de guandu.

de Souza, R. (2007). "Efeitos da fertilização fosfatada no crescimento do feijão bóer." Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Deighton, H. D., & Watmough, S. A. (2020). Effects of Non-Industrial Wood Ash (NIWA) Applications on Soil Chemistry and Sugar Maple (Acer saccharum, Marsh.) Seedling Growth in an Acidic Sugar Bush in Central Ontario. Forests, 11(6), 693. https://doi.org/10.3390/f11060693

Delfim, J. (2020). Angola: Acidez do solo e a calagem.

Demeyer, A., Voundi N. J. C., & Verloo, M. G. (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: An overview. Bioresource Technology, 77(3), 287-295. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00043-2

Demeyer, A., Voundi Nkana, J. C., & Verloo, M. G. (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. Bioresource Technology, 77(3), 287-295. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00043-2

Devau, N., Cadre, E. L., Hinsinger, P., & Gérard, F. (2009). A mechanistic model for understanding pH effect on phosphorus availability in rhizosphere and bulk soil.

Dimkpa, C., Adzawla, W., Pandey, R., Atakora, W. K., Kouame, A. K., Jemo, M., & Bindraban, P. S. (2023). Fertilizers for food and nutrition security in sub-Saharan Africa: An overview of soil health implications. Frontiers in Soil Science, 3, 1123931. https://doi.org/10.3389/fsoil.2023.1123931

Dlamini, T. S., Nkambule, S., & Mushonga, J. (2017). Cassava value chain development in Southern Africa: Case study of Mozambique. African Journal of Agricultural Research, 12(3), 210-218.

Dlamini, T. S., Nkambule, S., & Mushonga, J. (2017). Cassava value chain development in Southern Africa: Case study of Mozambique. African Journal of Agricultural Research, 12(3), 210-218.

Eames, D., & Louis Empie, H. (Diretores). (2001, janeiro 1). Direct causticizing of sodium carbonate with manganese oxide [Gravação de vídeo]. Georgia Institute of Technology.

https://typeset.io/papers/direct-causticizing-of-sodium-carbonate-with-manganese-oxide-4xwyauw3rf

Embrapa. (2021). Cultivo do feijão-caupi. https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126562/cultivo-do-feijao-caupi

Embrapa. (2021). Cultivo do feijão-caupi. Recuperado de https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126562/cultivo-do-feijao-caupi

Emongor, V., Kyamanywa, S., & Ampofo, J. K. O. (2013). Response of cowpea genotypes to inoculation with indigenous and exotic rhizobia strains in Uganda. African Journal of Agricultural Research, 8(35), 4517-4524.

Emongor, V., Kyamanywa, S., & Ampofo, J. K. O. (2013). Response of cowpea genotypes to inoculation with indigenous and exotic rhizobia strains in Uganda. African Journal of Agricultural Research, 8(35), 4517-4524.

Enesi, R. O., Dyck, M., Chang, S., Thilakarathna, M. S., Fan, X., Strelkov, S., & Gorim, L. Y. (2023). Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability—A meta-analysis. Frontiers in Agronomy, 5, 1194896. https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1194896

Eyo, E., & Abbey, S. (2022). Shear Response of Lime/GGBS-Stabilised High-Sulphate-Bearing Clay under Consolidated-Undrained Conditions. Applied Sciences, 12(20), 10639. https://doi.org/10.3390/app122010639

Fafema, A. A. (2007). O controle do pH do solo e sua importância para a fertilidade do solo (Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense).

Fafema, A. A. (2007). O controle do pH do solo e sua importância para a fertilidade do solo (Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense)

Fageria, N. K. (2007). "Nutrient interactions in crop plants." Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38(11-12), 1527-1558.

Fageria, N. K. (2007). Nutrient interactions in crop plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38(11-12), 1527-1558.

Fageria, N. K. (2009). The use of nutrients in crop plants. CRC Press.

Fageria, N. K. (2009). The use of nutrients in crop plants. CRC Press.

Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2005). "Nutrient interactions in rice." Journal of Plant Nutrition, 28(4), 503-518.

Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2005). Nutrient interactions in rice. Journal of Plant Nutrition, 28(4), 503-518.

Fageria, N. K., & Stone, L. F. (1999). Manejo da acidez dos solos de cerrado e de varzea do Brasil.

Feng, J. N., Ahmed, O. H., Jalloh, M. B., Omar, L., Kwan, Y. M., Musah, A. A., & Poong, K. H. (2022). Soil Nutrient Retention and pH Buffering Capacity Are Enhanced by Calciprill and Sodium Silicate. Agronomy, 12(1), 219. https://doi.org/10.3390/agronomy12010219

Fidalski, J., Auler, P. A. M., Tormena, C. A., & Silva, M. A. S. (2015). Ash application in citrus production: Effects on soil properties, root distribution, and yield. Scientia Agricola, 72(2), 116-123. https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0248

Fidalski, J., Auler, P. A. M., Tormena, C. A., & Silva, M. A. S. (2015). Ash application in citrus production: Effects on soil properties, root distribution, and yield. Scientia Agricola, 72(2), 116-123. https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0248

Filho, J. U. T. B., Freitas, P. S. L. D., Berian, L. O. S., & Goto, R. (Eds.). (2018). Hortaliças-fruto. EDUEM. https://doi.org/10.7476/9786586383010

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. Nature, 478(7369), 337-342. https://doi.org/10.1038/nature10452

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... & Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. Nature, 478(7369), 337-342. https://doi.org/10.1038/nature10452

Francisco, A., & Neves, E. J. M. (2001). Calagem e adubacao em especies florestais plantadas na propriedade rural.

Freitas, I. D. D., & Salvalaio, L. H. (2023). Desenvolvimento e formulação de sabão utilizando cinzas de madeira a partir da reciclagem do óleo residual de fritura desenvolvimento e formulacao de sabao utilizando cinzas de madeira a partir da reciclagem do oleo residual de fritura.

Gomes, A. M. F., Draper, D., Talinhas, P., Santos, P. B., Simões, F., Nhantumbo, N., Massinga, R., Ramalho, J. C., Marques, I., & Ribeiro-Barros, A. I. (2020). A diversidade genética entre as raças locais de feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.). Agronomia, 10, 1983.

Gomes, A. M. F., Draper, D., Talinhas, P., Santos, P. B., Simões, F., Nhantumbo, N., Massinga, R., Ramalho, J. C., Marques, I., & Ribeiro-Barros, A. I. (2020). A diversidade genética entre as raças locais de feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.). Agronomia, 10, 1983.

Guina, J., Ferrão, J., Samamade, N., & Fernandes, T. H. (2023). Outlook on Mozambique's Agribusiness as a Driving Force for Family Farmers. European Journal of Agriculture and Food Sciences, 5(1), 85–96. https://doi.org/10.24018/ejfood.2023.5.1.618

Hansted, A. L. S. (2020). Aproveitamento de cinzas de madeira para calagem do solo.

Hargrove, W. L. (2020). Managing soil pH for optimal crop production. In J. D. L. Roberts (Ed.), Modern techniques in soil science (pp. 55-67). Wiley-Blackwell.

Hargrove, W. L. (2020). Managing soil pH for optimal crop production. In J. D. L. Roberts (Ed.), Modern techniques in soil science (pp. 55-67). Wiley-Blackwell.

Harris, C. (2018). The role of Excel in data analysis. International Journal of Data Science and Analytics, 5(2), 127-134. https://doi.org/10.1007/s41060-018-0080-4

Harris, C. (2018). The role of Excel in data analysis. International Journal of Data Science and Analytics, 5(2), 127-134. https://doi.org/10.1007/s41060-018-0080-4

Hema K, S, P., Manjunath, & Chakravarthy, A. K. (2023). Impact-of-climate-change-on-soil-health-emerging-issues_May_2023_3461846380_8224912.pdf.

Hendges, I. P. (2020). Produtividade do milho e eficiência de uso de nitrogênio pela aplicação de fertilizantes de libertação controlada, fertilizantes estabilizados e matéria orgânica.

Hillel, D. (2004). Introduction to environmental soil physics. Academic Press.

Hillel, D. (2004). Introduction to environmental soil physics. Academic Press.

Hinsinger, P. (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. Plant and Soil, 237(2), 173-195.

Hinsinger, P. (2001). Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. Plant and Soil, 237(2), 173-195.

Hussain, A., Awan, M. S., Ali, S., Khan, S. W., Morari, F., & Ali, S. (2016). Variabilidade espacial de micronutrientes do solo (cu, fe, zn e mn) e dinâmica populacional de micoflora em campos de batata de região cknp gilgit-baltistan paquistão.

Kopittke, P. M., Minasny, B., Pendall, E., Rumpel, C., & McKenna, A. (2023). Healthy soil for healthy humans and a healthy planet. Critical Reviews in Environmental Science and Technology.

Kumar, S., Mishra, A., & Rathi, D. (2021). Soil degradation: Causes, consequences, and management strategies. Land Degradation & Development, 32(6), 2379-2391. https://doi.org/10.1002/ldr.4260

Kumar, S., Mishra, A., & Rathi, D. (2021). Soil degradation: Causes, consequences, and management strategies. Land Degradation & Development, 32(6), 2379-2391. https://doi.org/10.1002/ldr.4260

Langyintuo, A. (2020). Smallholder Farmers' Access to Inputs and Finance in Africa. Em S. Gomez Y Paloma, L. Riesgo, & K. Louhichi (Eds.), The Role of Smallholder Farms in Food and Nutrition Security (pp. 133–152). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42148-9_7

Libohova, Z., Seybold, C., Wysocki, D., Wills, S., Schoeneberger, P., Williams, C., Lindbo, D., Stott, D., & Owens, P. R. (2018). Reevaluating the effects of soil organic matter and other properties on available water-holding capacity using the National Cooperative Soil Survey Characterization Database. Journal of Soil and Water Conservation, 73(4), 411–421. https://doi.org/10.2489/jswc.73.4.411

Lima, J. S., Oliveira, R. F., & Silva, A. B. (2019). Fósforo e sua relação com o cultivo do amendoim. Revista Brasileira de Agricultura, 15(2), 45-56.

Lima, J. S., Oliveira, R. F., & Silva, A. B. (2019). Fósforo e sua relação com o cultivo do amendoim. Revista Brasileira de Agricultura, 15(2), 45-56.

Lima, P. S. da C., & Barrigossi, J. A. F. (2000). Cultura-Amendoim-Capitulo1-Pag-89-107.pdf.

Lima, V. C., Lima, M. R. de, & Melo, V. de F. (2007). O solo no meio ambiente abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. UFPR.

Liu, G., & Hanlon, E. (2012). Soil pH Range for Optimum Commercial Vegetable Production: HS1207/HS1207, 10/2012. EDIS, 2012(11). https://doi.org/10.32473/edis-hs1207-2012

Liu, J., & Yang, J. (2022). Soil acidification and nutrient management. Soil Science Society of America Journal, 86(3), 669-680. https://doi.org/10.2136/sssaj2021.10.0375

Liu, J., & Yang, J. (2022). Soil acidification and nutrient management. Soil Science Society of America Journal, 86(3), 669-680. https://doi.org/10.2136/sssaj2021.10.0375

López, F., Lentz, R. D., & Morrow, A. (2018). Phosphorus availability in acidic soils: Implications for crop production. Soil Science Society of America Journal, 82(3), 641-652. https://doi.org/10.2136/sssaj2017.12.0462

López, F., Lentz, R. D., & Morrow, A. (2018). Phosphorus availability in acidic soils: Implications for crop production. Soil Science Society of America Journal, 82(3), 641-652. https://doi.org/10.2136/sssaj2017.12.0462

Luz, M. J. da S., Ferreira, G. B., & Bezerra, J. R. C. (2002). Adubação e Correção do Solo: Procedimentos a Serem Adotados em Função dos Resultados da Análise do Solo.

MADER. (2020). Inquérito Agrário Integrado.

Maldaner, J. (2008). Pfaffia glomerata (Spreng.) Pedersen e Pfaffia tuberosa (Spreng.) Hicken.

Marassiro, M. J., Oliveira, M. L. R. de, & Pereira, G. da P. (2021). Agricultura familiar em Moçambique: Características e desafios.

Marschner, H. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press.

Marschner, H. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press.

Marschner, H. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press.

Maunze, X. H., Dade, A., Zacarias, M., Cubula, B., Alfeu, M., Mangue, J., & Zavale, O. (2019). IV Recenseamento Geral da População e Habitação, 2017: Resultados Definitivos–Moçambique. Maputo, Moçambique: Instituto Nacional de Estatística.a

Medeiros, J. C., Albuquerque, J. A., Mafra, Á. L., Rosa, J. D., & Gatiboni, L. C. (2008). Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. Semina: Ciências Agrárias, 29(4), 799. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2008v29n4p799

Mendes, A. M. S. (2007). INTRODUÇÃO A FERTILIDADE DO SOLO.

MINAG, M. da A. (2011). Plano estratégico para o desenvolvimento do sector agrário.

Mirzabaiki, M., Ebrahimipak, N. A., Pazira, E., & Samavat, S. (2020). Investigation of different organic fertilizers application on the soil water holding capacity.

Motsara, M. R., & Roy, R. N. (2008). Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. FAO.

Muthyalu, G., Reddy, K. S., & Reddy, P. N. (2016). Cajanus cajan (L.) Millsp.: a valuable forage crop. Forage Research, 41(4), 212-218.

Naeem, A., Deppermann, P., & Mühling, K. H. (2023). Ammonium Fertilization Enhances Nutrient Uptake, Specifically Manganese and Zinc, and Growth of Maize in Unlimed and Limed Acidic Sandy Soil. Nitrogen, 4(2), 239–252. https://doi.org/10.3390/nitrogen4020017

Naylor, R. L., & Schmidt, L. G. (1986). Agricultural sustainability: An overview of the literature. Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Berkeley.

Neina, D. (2019). The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. Applied and Environmental Soil Science, 2019, 1–9. https://doi.org/10.1155/2019/5794869

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis (pp. 961-1010). SSSA.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis (pp. 961-1010). SSSA.

Neto, J. F., Costa, C. H. M., & Castro, G. S. A. (2012). Ecofisiologia do Amendoim. Scientia Agraria Paranaensis, 11(4), 1–13. https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v11n4p1-13

Neto, S. P. de M. (2009). Acidez, alcalinidade e efeitos da calagem no solo.

Nhamo, L., Rodenburg, J., Zenna, N., Makombe, G., Luzi-Kihupi, A., & Wale, E. (2017). Factors affecting seasonal variation in the performance of herbaceous legumes for integrated weed management in maize in Southern Africa. Field Crops Research, 204, 128-138.

Nhamo, L., Rodenburg, J., Zenna, N., Makombe, G., Luzi-Kihupi, A., & Wale, E. (2017). Factors affecting seasonal variation in the performance of herbaceous legumes for integrated weed management in maize in Southern Africa. Field Crops Research, 204, 128-138.

Novais, R. F., & Smyth, T. J. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Universidade Federal de Viçosa.

Oliveira, I. P. de, Costa, C. A. de P., Santos, K. J. G., & Moreira, F. P. (2005). Consideracoes sobre a acidez dos solos no cerrado.

Oliveira, S. F., Prado, R. B., & Monteiro, J. M. G. (2022). Impactos das mudanças climáticas na produção agrícola e medidas de adaptação sob a percepção de atores e produtores rurais de Nova Friburgo, RJ.

Paul, E. A. (2014). Soil microbiology, ecology, and biochemistry (3rd ed.). CRC Press.

Prezotti, L. C. (com M, A. G.). (2013). Guia de interpretação de análise de solo. Incaper.

Purcena, L. L. A. (2014). Prospecção de enzimas de solo de Cerrado sob cultivo de cana-de-açúcar.

Rafael, R. M., Mendes, J. M., & Silva, D. L. (2020). A importância do Microsoft Excel na

Raij, B. Van. (2011). Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. International Plant Nutrition Institute (IPNI).

Reetz, H. F. (2016). Fertilizers and their efficient use. international fertilizer industry association, ifa.

Rengel, Z., & Marschner, P. (2005). Nutrient availability in soils. In D. Hillel (Ed.), Encyclopedia of soils in the environment (pp. 63-71). Academic Press.

Ribeiro, k. d., & menezes, s. m. (2007). de poros, de seis classes de solos da região de lavras-mg. Ciênc. agrotec., 31(4).

Ribeiro, R., Amendola, E., Andrade, V., & Miranda, B. (2015). Utilização da cinza vegetal para calagem e correção de solos – um estudo de caso para a região metropolitana de curitiba (rmc). Agrarian Academy, 2(3), 115–124. https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_011

Rodrigues, M. F., Lima, G. M., & Costa, J. M. (2021). Microbial activity in calcareous soils and its effect on phosphorus availability. Applied Soil Ecology, 163, 103930. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103930

Rolka, E., Żołnowski, A. C., Wyszkowski, M., Zych, W., & Skorwider-Namiotko, A. (2023). Wood biomass ash (wba) from the heat production process as a mineral amendment for

improving selected soil properties. Energies, 16(13), 5110. https://doi.org/10.3390/en16135110

Ronquim, C. C. (2020). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.

Saleh, S., Surajo, I., Surajo, M., Idris, A. T., & Umar, A. (2024). Calcium Carbide and Wood Ash as Environmentally Friendly Soil Stabilisers for Enhanced Subgrade Performance. Archives of Advanced Engineering Science, 1–7. https://doi.org/10.47852/bonviewAAES42022403

Santana, D. P. (1999). Indicadores de qualidade do solo.

Santos, L. B., Carvalho, M. C., & Ferreira, P. A. (2020). Soil pH and phosphorus availability: A review of the relationship. Agronomy for Sustainable Development, 40(1), 8. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0592-2

Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. Nature Ecology & Evolution, 3(3), 430-439. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y

Sawyer, J. E. (2020). Soil pH and liming. Iowa State University Agronomy Extension. https://www.agronext.iastate.edu

Severino, L. S. (2006). Comunicado 278 Técnico ISSN 0102-0099 Agosto/2006 Campina Grande, PB.

Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., Zhang, F., & Rengel, Z. (2011). Phosphorus dynamics: From soil to plant. Plant Physiology, 156(3), 997-1005.

Shoemaker, H. E., McLean, E. O., & Pratt, P. F. (1961). Métodos tampão para determinar a necessidade de cal em solos com quantidades apreciáveis de alumínio extraível. Proceedings of the Soil Science Society of America, 25(4), 274-277. https://doi.org/10.2136/sssaj1961.03615995002500040016x

Shoemaker, HE, McLean, EO & Pratt, PF (1961). Métodos tampão para determinar a necessidade de cal em solos com quantidades apreciáveis de alumínio extraível. Processo. Ciência do Solo. Soc. Am., 25: 274–277

Shu, X., Daniell, T. J., Hallett, P. D., Baggs, E. M., & Griffiths, B. S. (2023). Soil pH moderates the resistance and resilience of C and N cycling to transient and persistent stress. Applied Soil Ecology, 182, 104690. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104690

Silva, A. L., Pereira, A. S., & Ribeiro, M. R. (2019). Lime and phosphorus fertilization effects on the growth of soybean in a Brazilian soil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 19(2), 337-347. https://doi.org/10.1007/s42729-019-00027-3

Silver, W. L., Perez, T., Mayer, A., & Jones, A. R. (2021). The role of soil in the contribution of food and feed. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 376(1834), 20200181. https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0181

Singh, B. B., & Emechebe, A. M. (2014). Cowpea: The Food Legume of the 21st

Singh, B. B., Chambliss, O. L., & Sharma, B. (1997). Recent advances in cowpea breeding. In B. B. Singh, D. R. Mohan Raj, K. E. Dashiell, & L. E. N. Jackai (Eds.), Advances in cowpea research (pp. 30-49). IITA-JIRCAS.

Sousa, D. M. G., & Lobato, E. (2020). Fertilidade do solo e seu manejo. Embrapa Solos.

Souza, A. L. D. (2023). Instituto federal de educação, ciência e tecnologia do rio grande do norte- campus ipanguaçu. curso superior de tecnologia em agroecologia.

Sparks, D. L. (2003). Environmental soil chemistry. Academic Press.

Sumner, M. E., & Noble, A. D. (2003). Soil acidification and the role of soil amendments. In H. M. Selim & A. C. Chang (Eds.), Environmental soil chemistry (pp. 181-212). Academic Press.

Taylor, B., Tonnang, H. E. Z., Beale, T., Holland, W., Oronje, M., Abdel-Rahman, E. M., Onyango, D., Finegold, C., Zhu, J., Pozzi, S., & Murphy, S. T. (2023). Leveraging Data, Models & Farming Innovation to Prevent, Prepare for & Manage Pest Incursions: Delivering a Pest Risk Service for Low-Income Countries. Em J. Von Braun, K. Afsana, L. O. Fresco, & M. H. A. Hassan (Eds.), Science and Innovations for Food Systems Transformation (pp. 439–453). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15703-5_23

Veloso, C. A. C., & Botelho, S. M. (2020a). Correção da acidez do solo.

Verdcourt, B. (1970). Studies in the Leguminosae - Papilionoideae for "Flora of Tropical East Africa". Kew Bulletin, 24, 507-569

Wadt. (2002). Manejo dos solos acidos do estado do acre. Língua e Literatura, 13, 158. https://doi.org/10.11606/issn.2594-5963.lilit.1984.114570

Wang, L., He, Z., Zhao, W., Wang, C., & Ma, D. (2022). Fine Soil Texture Is Conducive to Crop Productivity and Nitrogen Retention in Irrigated Cropland in a Desert-Oasis Ecotone, Northwest China. Agronomy, 12(7), 1509. https://doi.org/10.3390/agronomy12071509

Wang, T., Cao, X., Chen, M., Lou, Y., Wang, H., Yang, Q., Pan, H., & Zhuge, Y. (2022). Effects of Soil Acidification on Bacterial and Fungal Communities in the Jiaodong Peninsula, Northern China. Agronomy, 12(4), 927. https://doi.org/10.3390/agronomy12040927

Wang, Y., Zhang, W., Müller, T., Lakshmanan, P., Liu, Y., Liang, T., Wang, L., Yang, H., & Chen, X. (2023). Soil phosphorus availability and fractionation in response to different phosphorus sources in alkaline and acid soils: A short-term incubation study. Scientific Reports, 13(1), 5677. https://doi.org/10.1038/s41598-023-31908-x

Zanetti, R. S., Martins, R. R., & Silva, D. C. (2018). Performance of Tukey's test and the Scheffé test in the comparison of means in agricultural experiments. Revista Brasileira de Agricultura, 93(1), 34-44. https://doi.org/10.36793/rba.v93i1.19045

Zhang, F., et al. (2014). "Phosphorus management for sustainable rice production." Field Crops Research, 162, 92-100.

Zhang, F., Wang, J., & Wei, X. (2022). Nitrogen fertilizer application and soil acidification: Evidence from long-term field experiments. Agricultural Systems, 194, 103280. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103280

APÊNDICES

Apéndice 1: Resultados da Análise de Variância

Tabela A1.1. ANOVA de pH 30 dias após a aplicação de corretivos no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	0.018600	0.009300	1.306	0.3382
Tratamento	3	0.455692	0.151897	21.327	0.0013
Erro	6	0.042733	0.007122		
total	11	0.517025			

Tabela A1.2. ANOVA de pH 45 dias após a aplicação de corretivos no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	0.056817	0.028408	18.561	0.0027
Tratamento	3	0.374092	0.124697	81.472	0.0000
Erro	6	0.009183	0.001531		
total	11	0.440092			

Tabela A1.3. ANOVA de pH 60 dias após a aplicação de corretivos no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	0.018150	0.009075	6.936	0.0275
Tratamento	3	0.435825	0.145275	111.038	0.0000
Erro	6	0.007850	0.001308		
total	11	0.461825			

Tabela 11. ANOVA de pH 75 dias após a aplicação de corretivos no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	0.277550	0.138775	1.720	0.2567
Tratamento	3	0.436800	0.145600	1.805	0.2464
Erro	6	0.484050	0.080675		
Total	11	1.198400			

Tabela A1.5. ANOVA de pH 90 dias após a aplicação de corretivos no solo

FV	GL	SM	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	0.386867	0.193433	30.650	0.0007
Tratamento	3	0.108033	0.036011	5.706	0.0343
Erro	6	0.037867	0.006311		
Total	11	0.532767			

Tabela 12. ANOVA da diferença de P assimilável 90 dias após a aplicação de corretivos no solo

FV	GL	SM	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	9.855000	4.927500	1.303	0.3388
Tratamento	3	226.562500	75.520833	19.975	0.001
Erro	6	22.685000	3.780833		
total	11		259.102500		

Tabela 13. ANOVA níveis da diferença de P assimilável antes e depois da aplicação de corretivos no solo

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	9.855000	4.927500	1.303	0.3388
Tratamento	3	2252.862500	750.954167	198.621	0.0000
Erro	6	22.685000	3.780833		
total	11		2285.402500		

Apêndice 2: Resultados Brutos

Tabela 14. Resultados obtidos em laboratório

Bloco	Tratamento	Descrição	P (mg/kg)	pH				
			90 dias	30 dias	45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
1	T1	Solo extremamente ácido + Calcário dolomítico	2,3	6,15	6,2	6,93	7,35	7,46
	T2	Solo muito ácido + Calcário dolomítico	3	6,36	6,5	7,32	7,6	7,48
	T3	Solo extremamente ácido + Cinza	7,5	6,62	6,5	7,31	6,6	7,54
	T4	Solo muito ácido + Cinza	17,4	6,64	6,63	7,51	7,68	7,64
2	T1	Solo extremamente ácido + Calcário dolomítico	1,5	6,14	6,24	7,07	7,34	7,48
	T2	Solo muito ácido + Calcário dolomítico	2,5	6,29	6,5	7,4	7,59	7,49
	T3	Solo extremamente ácido + Cinza	7,3	6,58	6,57	7,4	7,64	7,66
	T4	Solo muito ácido + Cinza	11,7	6,7	6,69	7,53	7,82	7,61
3	T1	Solo extremamente ácido + Calcário dolomítico	2,3	6,2	6,28	7,06	7,45	7,74
	T2	Solo muito ácido + Calcário dolomítico	2,9	6,61	6,69	7,41	7,67	7,87
	T3	Solo extremamente ácido + Cinza	7,2	6,6	6,66	7,33	7,66	7,91
	T4	Solo muito ácido + Cinza	9,7	6,66	6,85	7,6	7,84	8,18

Apêndice 3: Protocolo de Ensaio

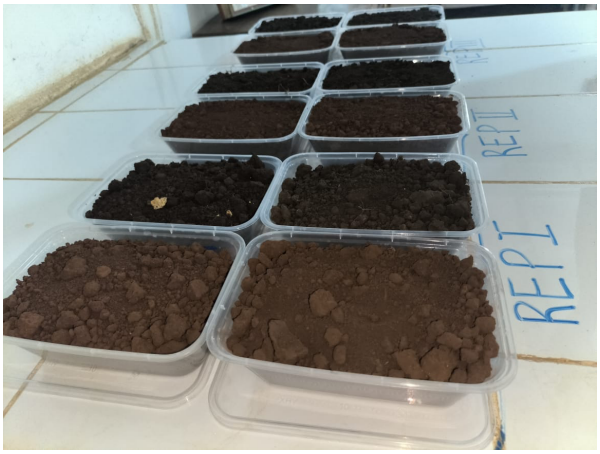
1. Pessoa responsável pelo planeamento do ensaio	Nome: Helena Lino Jorge Teca
2. Pessoa responsável pela condução do ensaio	Nome: Helena Lino Jorge Teca Contacto: 844560590
3. Local do ensaio	Laborátorio de solos da Universidade Católica de Moçambique, Faculdade de Ciências Agronómicas
4. Delinamento experimental	Delineamento de blocos completos casualizados
5. Componentes do ensaio	N° de blocos: 3 N° de parcelas: 12 N° de repetições: 4
6. Área	Área da parcela: 0,0176m² Área total do ensaio: 0,2112m²
7. Pessoa responsável pela descrição e elaboração de relatório	Nome: Helena Lino Jorge Teca
8. Entidade responsável pela avaliação do estudo	Nome: Universidade Católica de Moçambique, Facculdade de Ciências Agronómicas.

Apêndice 4: Cronograma de atividade

Actividade		Ano de 2024															
		Janeiro				Fevereiro				Março				Abril			
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Desenho da proposta																	
Actividades do práticas	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	6																
Elaboração do trabalho																	

Legenda: 1) Colecta de amostras; 2) Análise e Processamento das amostras; 3) Montagem do ensaio; 4) Aplicação dos tratamentos; 5) Análise de pH.

Apêndice 5: Orçamentação

N°	Categoria	Item	Unidade	Quantidade	Preço unitário (MZN)	Total (MZN)
1	Equipamento	Tigelas descartáveis	Unidade	12	20	240
2	Análises Laboratoriais	Análise de Fósforo	Amostras	14	400	5600
3	Aquisição de reagentes	Calcium acetate AR 500g P_Nitrofenol, 99%, 50g Salicylic Acid AR 500g (Iva)	Unidade	1 1 1	1,958. 04 10,224.00 1,689.20 2,219.40	16,090.64
Total dos custos directos						21,930.64
4	custos indirectos	Contingência (10% do total dos custos directos)	Unidade	1	2, 193,00	2,193.064
Total geral (Total dos custos directos + custos indirectos)						24,123.704

Apêndice 6: Fotos