



**UNIVERSIDADE JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO E PROTECÇÃO VEGETAL

TRABALHO DE FIM DE CURSO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
LICENCIATURA EM ENGENHARIA AGRONÓMICA

**AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DOS SOLOS FERRALÍTICOS (Amarelo e
Vermelho) PELO MÉTODO BIOLÓGICO (Mitschelrlich) UTILIZANDO COMO
INDICADOR A CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.)**

OSVALDO DE JESUS AUGUSTO

Número de registo: 0367/15

Huambo, Dezembro de 2016



UNIVERSIDADE JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO E PROTECÇÃO VEGETAL

TRABALHO DE FIM DE CURSO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
LICENCIATURA EM ENGENHARIA AGRONÓMICA

**AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DOS SOLOS FERRALÍTICOS (Amarelo e
Vermelho) PELO MÉTODO BIOLÓGICO (Mitschelrlich) UTILIZANDO COMO
INDICADOR A CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.)**

OSVALDO DE JESUS AUGUSTO

Orientador: Doutor Ginhas Alexandre Manuel, Professor Associado da Universidade José
Eduardo dos Santos

Co-orientador: Doutor Carlos Armando Mazorra Calero, Profesor Associado da
Universidade Ciego de Avila (Cuba)

Número de registo: 0367/15

Huambo, Dezembro de 2016

APOIOS



UNIVERSIDADE JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS - FACULDADE DE
CIÊNCIAS AGRÁRIAS



Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto SASSCAL

FICHA CATALOGRÁFICA

Título: Avaliação da fertilidade dos solos ferralíticos (amarelo e vermelho) pelo método biológico (Mitscheltlich) utilizando como indicador a cultura do milho (*Zea mays* L.).

Departamento de Produção e Protecção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias do Huambo, da Universidade José Eduardo dos Santos. Trabalho de Fim de Curso para Obtenção do Grau de Licenciatura em Engenharia Agronómica.

Autor: Osvaldo de Jesus Augusto

Orientador: Professor Doutor Ginhas Alexandre Manuel

Co-orientador: Professor Doutor Carlos Armando Mazorra Calero

Número de registo: 0367/15

Número de páginas: 50

Palavras-chave: Fertilidade do solo, Nitrogénio, Fósforo, Potássio, Agroprodutividade.

Dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

A Deus pai-todo-poderoso pelo dom da Vida e por me ter concedido saúde, forças e coragem ao longo desta caminhada.

Aos meus pais António Augusto e Inês Francisca, aos meus irmãos, aos primos, aos tios, ao meu avô António Francisco "Camanhinga", aos amigos, colegas... por todo apoio prestado.

Aos estimados professores, Doutor Ginhas Alexandre Manuel (Orientador) e Doutor Carlos Armando Mazorra Calero (Co-orientador), pela dedicação e paciência inesgotável durante esta jornada.

À Faculdade de Ciências Agrárias (Huambo - Angola), da Universidade José Eduardo dos Santos, por tornarem para mim este sonho em realidade.

Ao Instituto de Investigação Agronómica, na Estação Experimental Agrícola da Chianga (Huambo), por conceder uma das suas estufas para realização dos trabalhos experimentais.

Ao projecto SASSCAL Angola task 147, pelo apoio na realização do ensaio.

Á todos o meu muito obrigado

Oswaldo de Jesus Augusto

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objectivo de avaliar a influência dos macronutrientes principais (Nitrogénio, Fósforo e Potássio) na fertilidade dos solos, empregando o método biológico (Mitschelrich) e como teste a cultura do milho (*Zea mays* L.). Para tal foi realizado um ensaio em vasos, em condições semi-controladas, numa das estufas do Instituto de Investigação Agronómica, na Chianga - Huambo, utilizando como substratos o solo ferralítico vermelho e o solo ferralítico amarelo. Foram estabelecidos cinco (5) tratamentos (T0: solo simples "Testemunha"; T1: solo sem nitrogénio " $0+P_2O_5+K_2O$ "; T2: Solo sem fósforo " $N+0+K_2O$ "; T3: Solo sem potássio " $N+P_2O_5+0$ " e T4: Completo " $N+P_2O_5+K_2O$ "), com quatro (4) repetições. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados. As variáveis avaliadas foram: altura da planta, diâmetro do caule, comprimento da raiz, peso fresco e peso seco da planta e sintomas visuais de deficiências nutricionais. Os dados obtidos foram processados no pacote estatístico INFOSTAT ver. 2008, onde foram feitas análises da variância de classificação simples (ANOVA) e comparações das médias, para todos parâmetros analisados. De acordo com os resultados obtidos é de realçar que, de modo geral o tratamento sem fósforo e o tratamento testemunha apresentaram menor desenvolvimento na maioria dos parâmetros avaliados, tanto para os ferralsolos vermelhos como para os ferralsolos amarelos, enquanto que os melhores resultados, foram atingidos nos tratamentos T1, T3 e T4. Ficou evidenciado que o fósforo (P_2O_5) é o elemento que se constitui no principal factor limitante da agroprodutividade dos solos ferralíticos, alvos deste estudo.

Palavras-chave: Fertilidade do solo, Nitrogénio, Fósforo, Potássio, Agroprodutividade.

ABSTRACT

This work was carried out to assess the influence of the major macronutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) on soil fertility, using the biological method (Mitschlerlich) and how to test the maize (*Zea mays* L.). There was carried out tests in pots in semi-controlled conditions in a greenhouse of Agronomic Research Institute in Chianga - Huambo, using two ferralsols (red and ferralsols yellow) as substrates. There were established five (5) treatments (T0: Simple soil "Testemunha"; T1: soil without nitrogen " $0 + P_2O_5 + K_2O$ ", T2: soil without phosphorus " $N + 0 + K_2O$ "; T3: soil without potassium " $N + P_2O_5 + 0$ " and T4: Full " $N + P_2O_5 + K_2O$ ") with four (4) repetitions. The experimental design was completely randomized blocks. The variables evaluated were: plant height, stem diameter, root length, fresh weight and dry weight of the plant and visual symptoms of nutrient deficiencies. The data obtained were processed in the statistical package INFOSTAT ver. 2008, where analysis of variance of simple classification (ANOVA) and comparisons of the means were done, for all parameters analyzed. According to the results obtained, it should be noted that, in general, the treatment without phosphorus and the control treatment showed less development in most of the evaluated parameters, both for the red ferralsols and the yellow ferralsols, whereas the best results were reached In treatments T1, T3 and T4. It was evidenced that the phosphorus (P_2O_5) is the element that constitutes the main limiting factor of the agroproductivity of the ferralsols, targets of this study.

Key-words: Soil fertility, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Agro productivity.

ÍNDICE GERAL

Introdução	1
Problema Científico	3
Hipóteses	3
Objectivo geral	3
Objectivos específicos	3
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
1.1. Solo	4
1.1.1. O solo como subministrador de nutrientes para as plantas	5
1.2. Fertilidade do solo	5
1.2.1. Fertilidade natural	5
1.2.2. Fertilidade actual	6
1.2.3. Fertilidade potencial	6
1.2.4. Manejo da fertilidade do solo	6
1.3. Fertilidade e produtividade	8
1.4. Métodos para avaliar a fertilidade dos solos	9
1.4.1. Métodos químicos	10
1.4.2. Métodos Biológicos	10
1.4.3. Métodos microbiológicos	11
1.4.4. Outros métodos	11
1.4.4.1. Método Químico-Biológico	11
1.4.4.2. Método Físico-Químico-Biológico	12
1.4.4.3. Diagnose visual	12
1.5. Níveis de fertilidade dos solos	14
1.6. A fertilidade dos solos e a ciclagem dos nutrientes	14
1.7. Legislação da fertilidade dos solos	15

1.8. Macronutrientes primários ‘Nitrogénio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)’ na planta e no solo	15
1.8.1. Funções que realizam na planta	16
1.8.2. Formas disponíveis no solo	17
1.8.2.1. Nitrogénio (N)	17
1.8.2.2. Fósforo (P)	18
1.8.2.3. Potássio (K)	18
1.9. Solos ferralíticos	19
1.10. Cultura do milho (<i>Zea mays</i>)	19
1.10.1. Exigências nutricionais da cultura do milho	20
2. MATERIAL E MÉTODOS	21
2.1. Caracterização da área experimental	21
2.1.1. Clima	21
2.1.2. Solo	23
2.2 Metodologia utilizada	24
2.2.1. Delineamento experimental	24
2.2.1.1. Tratamentos estudados	24
2.2.1.2. Disposição dos tratamentos na área de ensaio	25
2.2.2. Preparação e instalação do ensaio	25
2.2.3. Sementeira	26
2.2.4. Amanhos culturais ou manutenção do ensaio	27
2.2.4.1. Rega	27
2.2.4.2. Sacha	27
2.2.4.3. Desbaste	27
2.2.5. Variáveis avaliadas	27
2.2.5.1. Altura das plantas	27
2.2.5.2. Diâmetro do caule	28

2.2.5.3. Peso fresco e seco das plantas	28
2.2.5.4. Comprimento da raiz	28
2.2.5.5. Sintomas visuais de deficiências nutricionais	29
2.2.6. Processamento estatístico de dados	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.1. Resultados das variáveis avaliadas no solo ferralítico amarelo	30
3.1.1. Altura das plantas	30
3.1.2. Diâmetro do caule	31
3.1.3. Comprimento da raiz	31
3.1.4. Peso fresco das plantas	32
3.1.5. Peso seco das plantas	33
3.2. Resultados das variáveis avaliadas no solo ferralítico vermelho	34
3.2.1. Altura das plantas	34
3.2.2. Diâmetro do caule	35
3.2.3. Comprimento da raiz	36
3.2.4. Peso fresco das plantas	37
3.2.5. Peso seco das plantas	37
3.3. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em ambos os solos	38
3.4 Discussão dos resultados	39
4. CONCLUSÕES RECOMENDAÇÕES	42
4.1. Conclusões	42
4.2. Recomendações	43
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	

Índice de quadros

Quadro 1. Atributos químicos do solo ferralítico vermelho (SFV) e do solo ferralítico amarelo (SFA), utilizados no estudo. Onde P_{ER} – fósforo extraído pelo teste de Egnér-Riehm; P_{OL} – fósforo extraído pelo teste de Olsen	24
Quadro 2. Tratamentos estudados, sua designação e composição quantitativa	24
Quadro 3. Valores médios do peso fresco das folhas, do caule e da raiz e peso total das plantas, determinados no final do ensaio com o solo ferralítico amarelo.	33
Quadro 4. Valores médios do peso seco das folhas, do caule e da raiz e peso total das plantas, determinados ao final do ensaio no solo ferralítico amarelo	33
Quadro 5. Valores médios do peso fresco das folhas, do caule e da raiz e peso total das plantas, determinados no final do ensaio com o solo ferralítico vermelho	37
Quadro 6. Valores médios do peso seco das folhas, do caule e da raiz e peso total das plantas, determinados no final do ensaio com o solo ferralítico vermelho	41
Anexo 1 - Altura das plantas e diâmetro do caule - Solo Amarelo	
Anexo 2 - Comprimento da raiz - Solo amarelo	
Anexo 3 - Altura das plantas e diâmetro do caule - Solo vermelho	
Anexo 4 - Comprimento da raiz - Solo vermelho	

Índice de figuras

Figura 1. Representação esquemática dos principais factores relacionados com a fertilidade do solo	7
Figura 2. Variação mensal da temperatura durante o período de ensaio (T ^a max -Temperatura máxima, T ^a min - Temperatura mínima e T ^a méd - Temperatura média).	22
Figura 3. Variação mensal da precipitação durante o período de ensaio	22
Figura 4. Variação mensal da humidade relativa durante o período de ensaio	23
Figura 5. Disposição dos tratamentos na área de ensaio	25
Figura 6. Momento da adição do solo e do adubo na betoneira para homogeneização	26
Figura 7. Momento da sementeira	26
Figura 8. Determinação da altura das plantas (cm)	27
Figura 9. Determinação do Diâmetro do caule (mm)	28
Figura 10. Determinação do peso (g) fresco e seco das plantas em gramas	28
Figura 11. Comprimento (cm) da raiz	28
Figura 12. Valores médios da altura (cm) das plantas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico amarelo 30, 45, 60 e 75 dias após a sementeira.....	30
Figura 13. Valores médios da tendência dos diâmetros (mm) médios das plantas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico amarelo. 30, 45, 60 e 75 dias após a sementeira ...	31
Figura 14. Comprimento ou extensão longitudinal (cm) das raízes das plantas dos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico amarelo.....	32
Figura 15. Valores médios da altura (cm) das plantas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho. 30, 45, 60 e 75 dias após a sementeira	34
Figura 16. Valores médios do diâmetro (mm) dos caules das plantas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho. 30, 45, 60 e 75 dias após a sementeira..	35
Figura 17. Comprimento (cm) das raízes das plantas avaliadas nos tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho	36

Figura 18. Deficiência de fósforo na cultura do milho	38
Anexo 5. Solo ferralítico amarelo)	
Anexo 6. Solo ferralítico vermelho	
Anexo 7. Sorteio dos tratamentos, para o delineamento experimental	
Anexo 8. Identificação dos vasos para instalação dos tratamentos	
Anexo 9. 10 dias após a germinação das plantas	
Anexo 10. Momento da sacha manual	
Anexo 11. Tratamentos avaliados no solo ferralítico	
Anexo 12. Tratamentos avaliados no solo ferralítico vermelho	
Anexo 13. Tratamentos avaliados no solo ferralítico amarelo na parte frontal e na retaguarda os seus homólogos avaliados no solo ferralítico vermelho	
Anexo 14. Preparação das raízes, folhas e caules para determinação do peso fresco	

INTRODUÇÃO

O solo é a formação natural da superfície das terras emersas com estrutura móvel e espessura variável, situada acima da rocha-mãe de que teve origem, ou seja, é a parte mais superficial da crosta terrestre, tratando-se de um complexo composto de mineral, material orgânico e gases (Madeira e Ricardo, 2012).

O conhecimento das características do solo é de extrema importância para basear os sistemas, e práticas de uso, gestão e sustentabilidade dos ecossistemas e a qualidade do ambiente. O estudo das suas características físicas, químicas e biológicas torna-se hoje cada vez mais importante e com maior impacto no manejo dos distintos sistemas de produção agrícola (Raij *et al.*, 2001)

No estudo das características químicas dos solos dentre outros aspectos faz-se a avaliação da sua fertilidade; e para tal, parte-se de hipóteses geradas pela existência de problemas específicos, os quais, mediante a aplicação de uma metodologia viável e sensível, permitem o seu estudo (Sertoli, 2009)

Quando o homem deixou de ser nómada e se fixou em áreas delimitadas, ele começou a se preocupar em melhorar o solo, pois produções seguidas numa mesma área repercutiam-se em menores colheitas. Com o decorrer dos tempos, o homem civilizado aproveitando conhecimentos incipientes de biologia e química, constituiu hipóteses sem grandes respaldos científicos mas principalmente fundamentadas em observações de campo, tentando descobrir qual(is) seria(m) o(s) agente(s) fomentador(es) da produção agrícola. Hoje sabe-se que a produção agrícola depende de uma série de factores bióticos e abióticos, como o solo, o clima, o manejo das plantas, as práticas culturais, o controlo de pragas e doenças, etc. O solo é fundamental para abrigar e fixar as plantas, armazenar água e fornecer os nutrientes essenciais à vida vegetal (Carvalho *et al.*, 2005).

Como o solo é um meio formado por componentes químicos, físicos e biológicos, sob influência das condições climáticas e das práticas de manejo adoptadas pelo homem, sofre constantes e profundas transformações. Estas transformações permitem-nos entender a evolução dos níveis nutricionais ou de fertilidade de um solo ao longo do tempo, bem como explicar os índices de produtividade que podem ser obtidos numa determinada área de produção agrícola. A avaliação da fertilidade do solo torna-se necessária, tendo por objectivo quantificar a sua capacidade de fornecimento dos nutrientes necessários para o óptimo crescimento e desenvolvimento das plantas (Varaschini, 2012).

O conhecimento sobre a fertilidade dos solos pode parecer em muitos casos de fácil entendimento, entretanto a resposta das culturas à calagem e às adubações têm indicado o contrário, uma vez que várias são as causas da má nutrição das plantas. O interesse em avaliar a fertilidade de um solo tem aumentado cada vez mais nos últimos tempos, por considerá-la um aspecto fundamental na manutenção e sustentabilidade dos sistemas de produção agrária. Práticas como a realização de análises de solo, a sementeira directa, a rotação de culturas e agora mais recentemente a agricultura de precisão, visam maximizar a produtividade com melhor utilização dos insumos agrícolas, assegurando maior tempo de disponibilidade destes recursos, além de potencializar o rendimento das culturas e diminuir significativamente os custos de produção, permitindo melhores níveis de renda aos produtores agrícolas (Ivonir *et al.*, 2009).

A viabilidade da exploração comercial do milho em distintas classes ou tipos de solos, demonstram que esta cultura pode atingir altas produtividades, mas as mesmas só são possíveis em solos cuja fertilidade se encontra em níveis classificados como de médio a alto, pois em solos com fertilidade classificada como baixa e muito baixa é bastante difícil obter médias e/ou altas produtividades. A pesquisa científica actual tem dado suporte a modalidade da fertilidade de um solo para o cultivo, seja de milho ou de outra cultura qualquer, para que se promovam retornos económicos nos sistemas de produção, com um uso racional dos recursos, a fim de se obter rentabilidade económica (Pinotti *et al.*, 2014)

Ao analisar-se quimicamente um solo, inúmeros elementos podem ser encontrados na amostra, de forma semelhante, o mesmo pode ser observado nos vegetais superiores. De maneira geral, qualquer elemento químico que se encontre na forma disponível no solo pode ser absorvido pelas plantas; e a sua disponibilidade poderá ser avaliada em função do comportamento das plantas que o absorvem. No entanto, a presença de um elemento químico no tecido vegetal não implica que este seja fundamental para a nutrição da planta e em decorrência disso, é necessário separar os elementos que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas daqueles que, sem ser essenciais, são-lhes benéficos (Pauletti, 2011).

Problema científico

Qual é a influência dos macronutrientes principais (Nitrogénio, Fósforo e Potássio) na fertilidade dos solos ferralíticos (amarelo e vermelho)?

Hipótese

Ao realizar um estudo no sentido de determinar a influência dos macronutrientes principais na fertilidade dos solos, através do método biológico (Mitschelrich) empregando a cultura do milho como indicador, pode - se determinar qual dos macronutrientes constitui factor limitante da agroprodutividade dos solos.

Objectivo geral

Avaliar a influência dos macronutrientes principais na fertilidade dos solos ferralíticos (amarelo e vermelho).

Objectivos específicos

1. Avaliar os efeitos do nitrogénio, fósforo e potássio no crescimento e desenvolvimento da cultura do milho, quando instalada nos solos ferralíticos amarelo e vermelho.
2. Determinar qual dos macronutrientes principais constitui factor limitante da Agroprodutividade do solo ferralítico amarelo e do solo ferralítico vermelho.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Solo

O solo é um material mineral e/ou orgânico não consolidado na superfície da terra, influenciado por factores genéticos e ambientais, como material de origem, topografia, clima (temperatura e humidade) e microrganismos, que se encarregaram da sua formação no decorrer de um certo tempo; e é sempre diferente nas suas propriedades e características físicas, químicas, biológicas e morfológicas, do material de origem (Fageria, 1989; Madeira e Ricardo, 2012).

O solo pode ser definido também como sendo a colecção de corpos naturais ocorrendo na superfície da terra, contendo matéria viva e suportando ou sendo capaz de suportar plantas. É enfim, a camada superficial da crosta terrestre em que se sustentam e se nutrem as plantas. Essa ténue camada é composta por partículas de rochas em diferentes estádios de desagregação, água e substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em distintas fases de decomposição (Neto, 2005).

Na génese dos solos um conjunto de factores está envolvido, dentre os quais se destacam, o material original, o clima, a actividade biológica dos organismos vivos, a topografia e o tempo. O clima representado pelas precipitações e a temperatura, influi principalmente na distribuição variada dos elementos solúveis e na velocidade das reacções químicas. A principal acção dos microrganismos no solo é a decomposição de restos de vegetais e/ou tecidos animais. A topografia influi pelo movimento transversal e lateral da água. A formação de um solo depende naturalmente do espaço de tempo em que atuam os diferentes factores (Moniz, 1972; Sertoli, 2009).

O solo é a maior riqueza de uma propriedade rural, constitui a fábrica que vai produzir os grãos e os frutos, que vai gerar a vegetação espontânea e não só, que vai alimentar a criação animal e que vai dar lucros para sustentar o dono dessa propriedade. Assim sendo deve ser tratado com muito respeito, com muita técnica, para que não se degrade facilmente, não se perca pela acção das águas e do vento e não se deteriore apenas pelo descuido ou pelo desmatamento (Silveira, 1988).

O solo é um sistema bastante complexo. Um dado volume de solo é composto por material sólido, líquido e gasoso. A proporção aproximada dessas três fases é de 50% de sólidos, 25% de líquidos e 25% de gases. É um recurso natural não renovável muito importante para a

humanidade, e a sua qualidade determina a produtividade e sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Fageria *et al.*, 1999).

1.1.1. O solo como subministrador de nutrientes para as plantas

O solo é considerado como reserva, dreno e fonte de nutrientes para as plantas, à semelhança de um sistema bancário que administra o dinheiro de seus clientes, guardando-o, protegendo-o, liberando recursos quando solicitados e, de modo importante evitando perdas. O solo como administrador de nutrientes tem cargas positivas e negativas, de modo a proceder a administração tanto dos cátions como dos aniões, sejam eles nutrientes ou não. As cargas do solo, à semelhança da fotossíntese, são consideradas como os fenómenos mais importantes para existência da vida na terra. A compreensão dos processos de liberação de nutrientes, quando um dreno como a planta o requisita, vai permitir a optimização dos nutrientes aplicados por meio de fertilizantes, sua mais eficiente absorção e utilização pelas plantas e protecção do ambiente, não permitindo a chegada de grandes quantidades de nutrientes em suas águas superficiais. O suprimento de nutrientes para as plantas implica não apenas o seu conteúdo nos solos, mas também o seu transporte até à superfície das raízes para serem absorvidos. Portanto, os solos compactos, deficientes em água, poderão ser férteis e as plantas neles cultivadas apresentarem deficiência nutricional por falta de transporte de nutrientes até às raízes, pois a chegada de nutrientes junto das raízes não implica a garantia de absorção plena pelas plantas (Novais *et al.*, 2007; Brady e Weil, 2008).

1.2. Fertilidade do solo

A fertilidade do solo refere-se à sua capacidade de fornecer os nutrientes essenciais, em quantidade e proporções adequadas, para o crescimento das plantas ou culturas específicas. Esta capacidade, para não apresentar limitações, deve ser mantida durante todo o crescimento e desenvolvimento da planta, mesmo que esta deixe de absorver ou utilizar, numa determinada fase de seu ciclo (Fageira e Stone, 2006; Ronquim, 2013).

1.2.1. Fertilidade natural

A fertilidade natural de um solo corresponde à sua fertilidade, quando ainda não sofreu nenhum manejo, ou seja, não foi trabalhado e portanto, não sofreu interferência antrópica. É muito usada na avaliação e classificação de solos onde não existe actividade agrária. Dá a

ideia da capacidade que apresenta o solo ou unidade de classificação para ceder nutrientes; mostra as diferenças entre as unidades (Lepsch, 1983).

1.2.2. Fertilidade actual

O solo após receber práticas de manejo para satisfazer as necessidades das culturas apresenta dentre outras alterações, diferentes propriedades químicas, ao conjunto dessas propriedades químicas adaptadas pelo homem para o melhor desenvolvimento das culturas denomina-se de fertilidade actual. A mesma deve ser interpretada considerando-se as correções realizadas, por exemplo, calagem, adubação fosfatada, etc. Esta fertilidade é caracterizada pela determinação das formas disponíveis dos nutrientes do solo (Vitti e Malavolta, 1985; Novais *et al.*, 2007).

1.2.3. Fertilidade potencial

A fertilidade potencial manifesta-se, quando num solo se evidencia a existência de algum elemento ou característica que o impede de mostrar sua real capacidade de ceder nutrientes. Assim, persistindo essas condições limitantes, a capacidade de ceder elementos estará obstruída, ainda que a fertilidade potencial seja alta. Entre as características limitantes cita-se o caso de solos ácidos, onde o teor de Al^{3+} é elevado e a disponibilidade de Ca, Mg e P é baixa ou insuficiente, o que se poderia corrigir com adição de calcário, gesso e fosfato (Mendes, 2007).

1.2.4. Manejo da fertilidade do solo

A estabilidade e a sustentabilidade de sistemas de produção agropecuários são preocupações cada vez mais constantes para toda a sociedade. Os agricultores necessitam ter garantida sua sobrevivência econômica e a sociedade depende da produção agrícola para sua própria existência. Esta estabilidade, por sua vez, somente pode ser mantida se houver um uso adequado e racional dos recursos naturais, especialmente do solo (nomeadamente da sua fertilidade) e da água. O manejo adequado da fertilidade do solo, tal como o manejo da água no solo é um pré-requisito que deve-se ter sempre em conta quando se propõe estabelecer sistemas sustentáveis de cultivo. Sabe-se que o solo, quando passa a ser cultivado, pode sofrer degradação em seus atributos físicos, químicos e biológicos, de tal maneira que suas características iniciais não são mais mantidas. A intensidade desta degradação depende

grandemente das condições nas quais esse manejo é executado, além das condições específicas de cada local (Viana, *et al.*, 2006; Raij 2011).

Manejar a fertilidade de um solo pode ser considerada uma tarefa complexa, uma vez que envolve factores relacionados com a capacidade do mesmo em suprir às plantas com os nutrientes essenciais em quantidades adequadas para o seu crescimento e com a ausência de elementos em níveis tóxicos. Entre estes factores podem-se destacar, as condições ambientais, (especialmente a temperatura e a luminosidade para actividade fotossintética), condições físicas do solo, garantindo o suporte necessário de água e oxigénio com uma menor resistência ao crescimento radicular, e condições químicas, onde envolve à ausência de elementos tóxicos e um fornecimento adequado dos nutrientes essenciais que são absorvidos pela planta a partir da solução do solo. Além disso, podem-se incluir condições biológicas adequadas, tendo em vista que muitas das reacções que ocorrem no solo são medidas por organismos vivos e devem estar no sentido favorável à adequada nutrição da planta (Cirilo, 2009; Ivonir *et al.*, 2009).



Figura 1. Representação esquemática dos principais factores relacionados com a fertilidade do solo.

Embora extremamente importante considerar todos esses factores no que se refere ao real manejo da fertilidade de um solo, muitas vezes desconsideram-se os factores ambientais, físicos e biológicos, e simplifica-se o manejo da fertilidade do solo apenas com o controlo das

condições químicas do mesmo. Dessa forma partindo do pressuposto que as demais condições são adequadas (o que nem sempre acontece) pode-se diagnosticar as condições do solo através de determinados indicadores obtidos por meio da análise/avaliação do solo da área que se pretende avaliar, os quais podem ser confrontados com aqueles valores previamente estabelecidos como referência para uma determinada condição no caso de uma adequada fertilidade do solo. Para que o objectivo do manejo racional da fertilidade do solo seja atingido é imprescindível a utilização de uma série de instrumentos de diagnose de possíveis problemas nutricionais que, uma vez corrigidos, aumentarão as probabilidades de sucesso na agricultura. Assim, o agricultor ao planejar a adubação do milho deve levar em consideração os seguintes aspectos: a) diagnose adequada dos problemas: *análise de solo e histórico de calagem e adubação das glebas*; b) nutrientes que devem ser considerados neste particular caso (*muitos solos tem adequado suprimento de Ca, Mg, etc.*); c) quantidades de N, P e K necessários na sementeira: *determinadas pela análise de solo e removidas pela cultura*; d) fonte, quantidade e, quando aplicar N (*baseado na produtividade desejada*); e) nutrientes que podem ter problemas; solo da área em questão: *lixiviação de azoto em solos arenosos, ou são necessários em grandes quantidades* (Coelho, 2006).

1.3. Fertilidade e produtividade

Ao longo do tempo, tem-se visto numerosas tentativas de se conceituar a fertilidade do solo. Entretanto, sempre existiu a tendência de se expressar a fertilidade do solo em termos de produtividade, de se utilizar indiscriminadamente, os termos fertilidade e produtividade (produção por unidade de área) como sinónimos. Com o desenvolvimento de técnicas analíticas, o homem adquiriu maior facilidade e capacidade preditiva da disponibilidade dos nutrientes, facto que lhe permitiu desvincular, parcialmente, a produção da planta, da fertilidade do solo como índice para medir a quantidade de nutrientes passíveis de serem absorvidos (Mendes, 2007).

Para esclarecer a diferença entre produtividade e fertilidade, suponha-se que um solo fértil gere altas produções de algodão na época de verão. Quando as temperaturas são elevadas, existe suficiente água disponível e os dias são mais longos. Sem dúvida, no inverno sucederá o contrário e os rendimentos cairão substancialmente. Pode-se, então, perguntar qual o motivo dessa queda? Pois a fertilidade do solo não foi responsável por este menor rendimento, já que ela permanece adequada. Pode-se concluir que o uso de um solo fértil nem sempre implica na obtenção de alta produtividade. Ou seja, a produtividade está mais relacionada com o solo

produtivo (aquele que possui em quantidade e proporções adequadas, os nutrientes essenciais e disponíveis á serem assimilados pelas plantas para seu normal o crescimento e desenvolvimento de plantas e que esteja localizado em uma região com condições edafoclimáticas favoráveis a cultura em questão). Por outro lado, um solo produtivo deve apresentar fertilidade elevada, ou ter sido, previamente, corrigido. A produtividade encontra na fertilidade do solo, variável determinante de seu dimensionamento, apenas por limitação quando ela é deficiente (Braga, 1983).

No rendimento produtivo das diferentes culturas, a fertilidade do solo é tão-somente um componente do factor solo na equação de produção ‘‘Produção = f (solo, clima, planta e manejo)’’ que envolve além desses factores, outros como a mineralogia e a química. Para que as culturas possam expressar todo seu potencial produtivo, é necessário a conjugação de todos estes diferentes factores de produção (Alvarez, 1985 e Silva, 1997).

1.4. Métodos para avaliar a fertilidade dos solos

Para se avaliar a fertilidade de um solo, a melhor forma de fazê-la consiste na condução de experimentos de adubação perfeitamente planejados para se obter as respostas desejadas (Raij, 1981). Os ensaios com plantas podem ser desenvolvidos em:

- Casa de vegetação: Segundo Carvalho *et al.* (2005), os resultados aí obtidos têm mostrado serem inadequados como critérios de recomendação para o campo, ainda que representem um meio importante para o estudo de situações isoladas, onde se queira conhecer um comportamento ou definir uma tendência. São mais utilizados para estudos que visam o estabelecimento de relações causa-efeito, buscando-se modelos explicativos das tendências encontradas.

- Ensaios de campo: Seus resultados quando bem planejados e conduzidos podem construir uma boa fonte de recomendação; podem ser utilizados para atingir os mais variados objectivos dentro da fertilidade do solo, tanto nos aspectos quantitativos como qualitativos (Braga, 1983).

Segundo Braga (1987) e Pauletti (2011) para avaliar o estado da fertilidade de um solo existem vários métodos práticos, uns fundamentam-se na análise química do solo e/ou de plantas, outros na observação de sintomas visuais de deficiências nutricionais e outros em ensaios de carácter biológico, sendo alguns aqui descritos:

1.4.1. Métodos químicos

Os métodos químicos de avaliação da fertilidade de um solo, procuram simular a capacidade das plantas em extrair os elementos minerais do solo, pelo uso de extratores químicos, que podem ser ácidos, bases ou sais diluídos. O melhor extrator e método de extracção serão aqueles que em conjunto, se correlacionem mais estreitamente com o método considerado padrão, que é avaliado através do conteúdo do nutriente na planta. Em geral, as correlações são obtidas em dois níveis (Lopes e Carvalho, 1991):

- Nível exploratório: Desenvolvido em casa de vegetação com grande número de solos e com grandes variações de características. O principal objectivo neste caso, é comparar diferentes métodos de extracção de nutrientes e determinar possíveis faixas de baixa, média e alta probabilidade de resposta á aplicação de um nutriente;

- Nível definitivo: Conduzido no campo, em menor número de solos, porém cuidadosamente seleccionados. As correlações neste caso, visam estabelecer as faixas de respostas das plantas à aplicação de nutrientes com carácter definitivo, permitindo a ampla utilização dos resultados analíticos.

De acordo com Lopes & Carvalho (1991), os métodos químicos apresentam inúmeras vantagens tais como: São rápidos e simples; permitem analisar um grande número de amostras num curto período de tempo; geralmente são mais baratos que os métodos biológicos; independem das condições ambientais; pode-se ter informações da fertilidade do solo antes do período de sementeira; e são eficientes, desde que os padrões de fertilidade estejam bem estabelecidos.

1.4.2. Métodos Biológicos

Os métodos biológicos utilizam a resposta da planta para avaliar a fertilidade do solo, que é um factor da produção. Neste caso, além do solo, a planta também é analisada. Um exemplo importante de um método biológico para avaliar a fertilidade de um solo, é o método de Mitschlerlich, que permite determinar o teor disponível de um nutriente no solo, sem a utilização de análises de solo ou material vegetal. Este método consiste em suprir as plantas com todos os nutrientes à excepção de um; e o seu crescimento será proporcional à quantidade desse nutriente em estudo, que será fornecido ao solo, de maneira gradual, em intervalos regulares (Santos, 2012).

Um outro exemplo de método biológico, é o método de Colwell para o Boro, o qual se baseia na vigorosa extracção do Boro aplicado em pequeno volume de solo, pelo crescimento maciço

de girassol. Nesse caso, é aplicado ao solo uma solução nutritiva completa menos Boro, e cultivam-se cinco plantas de girassol. O diagnóstico da deficiência ou não de Boro é feito de acordo com o número de dias após a germinação em que a primeira planta mostra os sintomas iniciais da carência desse nutriente: forte deficiência: menos de 28 dias, forte deficiência: entre 28 a 36 dias e forte deficiência: mais de 36 dias. Um dos métodos biológicos que também merece atenção é a diagnose por subtração. Nesse sistema de avaliação, uma amostra de solo recebe uma fertilização completa e as demais amostras são constituídas de tratamentos nos quais um nutriente não é adicionado. Considerando o peso das produções de matéria seca obtidas nos vários tratamentos, são feitas comparações que permitem avaliar a disponibilidade de cada nutriente omitido em relação ao tratamento completo. Através desse método pode-se saber quais nutrientes são deficientes; e principalmente a importância relativa das deficiências (Cooke, 1985).

1.4.3. Métodos microbiológicos

Os métodos microbiológicos são aqueles em que, além das plantas, pode-se empregar os microorganismos (fungos, algas e bactérias) que, mesmo sendo organismos inferiores, requerem os mesmos nutrientes que as plantas superiores. A técnica consiste na incubação de pequenas amostras de solo durante um certo tempo, geralmente 4 a 6 dias, em presença de microorganismos e com a adição de todos os nutrientes essenciais, além de uma fonte de energia, excepto aquele elemento que se pretende estudar e que será proporcionado somente pelo solo (Mello *et al.*, 1989).

1.4.4. Outros métodos

Segundo Lucena (1997), além dos métodos químicos, biológicos e microbiológicos, existem outros recursos que permitem avaliar a fertilidade de um solo e que envolvem o cultivo de plantas e a análise química de secções ou partes de plantas, com realce o método químico-biológico, o método físico-químico-biológico e a diagnose visual.

1.4.4.1. Método Químico-Biológico

O método Químico-Biológico consiste na combinação de métodos químicos e biológicos; e consiste numa análise foliar, baseada na existência de uma relação entre teores de nutrientes disponíveis no solo e a concentração existente na planta (folhas representativas, o que permitirá estimar-se a produção. O método Neubauer-Schneider constitui também um método

Químico-Biológico, e baseia-se no pressuposto de que um grande volume de plantas (100), crescendo em um volume limitado de solo (100g), absorverão os nutrientes disponíveis em um relativo curto espaço de tempo (Pauletti, 2011).

1.4.4.2. Método Físico-Químico-Biológico

Neste método utilizam-se elementos marcadores, para avaliar a fertilidade do solo, dentre os elementos marcadores utilizados, destacam-se em especial substâncias radioactivas, para determinar o teor de vários nutrientes no solo ou na planta (Lucena, 1997).

1.4.4.3. Diagnose visual

A observação de sintomas visuais é uma forma rápida e pouco dispendiosa de diagnóstico do estado nutricional de um solo, porém sua principal limitação refere-se ao facto de que, quando há manifestação visível de sintomas de carência ou de excesso, expressiva parte da produção das plantas já está comprometida. Outra limitação refere-se ao facto de que em condições de campo, comumente têm sido associados mais de um sintoma de carência e, ou excesso reflectindo uma situação complexa de limitada fertilidade do solo ou de correcções e, ou fertilizantes inadequados. Como a água é o veículo para o transporte e absorção ou aquisição dos nutrientes, é comum que em períodos secos, alguns sintomas se acentuem (Malavolta *et al.*, 1997; Pauletti, 2011).

A diagnose visual requer uma análise criteriosa dos factores bióticos e abióticos que possam alterar o estado nutricional da planta ou induzir padrões de danos similares à deficiência ou toxidez de nutrientes. Neste sentido, destacam-se a deficiência ou o excesso do suprimento de água, variações bruscas de temperatura, textura e compactação do solo, reacções entre misturas de produtos fitossanitários, toxidez causada por herbicidas, senescência natural das folhas, ataque de pragas e doenças, práticas de cultivo inadequadas, dentre outros factores. As desordens nutricionais caracterizam-se por apresentarem simetria e um gradiente de intensidade das folhas velhas para as jovens em caso de nutrientes móveis no floema, verificando-se o contrário para os nutrientes imóveis (Lucena, 1997; Ferreira, 2012).

Os sintomas de deficiência mais comuns, relacionados com a carência de macronutrientes principais (Nitrogénio, Fósforo e Potássio) podem ser facilmente diagnosticados através de uma análise visual, através de sintomas visuais de deficiência:

Nitrogénio (N): a sua deficiência traduz - se em plantas pequenas e de crescimento lento. O sintoma típico da falta de N é a clorose (amarelecimento) generalizada (uniforme) de folhas. Como é um elemento que se move no floema, o sintoma aparece primeiramente nas folhas mais velhas, progredindo com o tempo para as mais novas (Coelho, 2007).

Fósforo (P): O sinal típico de deficiência de fósforo na maioria das plantas é a cor púrpura das folhas mais velhas. A sua deficiência resulta em menor crescimento da planta. Sendo um elemento móvel na planta, a deficiência é observada primeiramente nas folhas mais velhas, sendo um sintoma típico o desenvolvimento da coloração púrpura ou avermelhada nas folhas inferiores e no caule do milho. As espigas de milho quando deficientes em fósforo ficam pequenas, com a ponta retorcida e com grãos pequenos. Embora a deficiência extrema de fósforo possa resultar em algum amarelecimento das folhas, o sintoma mais comum que aparece inicialmente é uma cor verde-escura sem brilho, ou verde-azulada, tornando-se difícil, nesta fase, o seu reconhecimento em condições de campo. Plantas deficientes em Fósforo apresentam crescimento mais lento e, frequentemente coloração verde escura nas folhas. Em muitos casos, o processo da deficiência leva ao surgimento de coloração avermelhada em caules e folhas velhas. Os sintomas progridem das folhas mais velhas para as mais novas, porque assim como o N, o P é um elemento bastante móvel no floema. A cor avermelhada é causada pelo acúmulo de antocianina. Embora as exigências do milho em fósforo sejam em quantidades bem menores do que as em azoto e as em potássio, as doses normalmente recomendadas são altas, em função da baixa eficiência de utilização (20 a 30 %) de aproveitamento desse nutriente pela cultura. Isto decorre da alta capacidade de fixação do fósforo adicionado ao solo através de mecanismos de adsorção e precipitação, reduzindo sua disponibilidade às plantas. Outro factor que deve ser levado em conta é a demanda de fósforo pela cultura. Plantas de intenso desenvolvimento, de ciclo curto como o milho, requerem maior nível de fósforo em solução e reposição mais rápida do P-adsorvido que as plantas e/ou culturas de ciclos perenes. A análise do solo se mostra útil para discriminar respostas do milho à adubação fosfatada. A interpretação da análise de solo e a recomendação da adubação fosfatada, para milho grão, com base no rendimento esperado. Essas doses devem ser aplicadas no sulco de sementeira e serem ajustadas para cada situação, levando-se em conta, além dos resultados da análise de solo, o potencial de produção da cultura na região e o nível de tecnologia utilizada (Taiz e Zeiger, 2004; Freitas *et al.*, 2011).

Potássio (K): O sintoma típico de deficiência é a clorose das margens das folhas mais velhas. Os sintomas aparecem nas folhas mais velhas por o potássio ser móvel na planta. No milho, a

deficiência manifesta - se com espigas com poucos grãos na extremidade e com sementes soltas no sabugo. O acamamento de gramíneas pode ser ocasionado por deficiência de potássio, para além de aumentar. Um outro dano da deficiência de potássio no solo é o retardamento do crescimento das plantas, a susceptibilidade da planta ao ataque de patógenos, havendo retranslocação de K das folhas velhas e caules para as regiões de crescimento activo (Sengik, 2003; Ferreira, 2012).

1.5. Níveis de fertilidade dos solos

Os solos apresentam diferenças quanto à capacidade de fornecimento de nutrientes, dependendo da quantidade de reservas totais, da dinâmica de mobilização e fixação e da disponibilidade dos nutrientes para as raízes. Desse modo, para dimensionar correctamente as quantidades de correctivos e adubos para a produção de uma dada cultura, é necessário quantificar, por meio de análises químicas, o potencial dos solos em fornecer os nutrientes, bem como o estado nutricional das culturas. Esta quantificação é um importante instrumento para o uso eficiente dos fertilizantes, pois permite obter uma produção com satisfatórios resultados agrícolas, ambientais e económicos (Coelho e Resende, 2008).

1.6. A fertilidade dos solos e a ciclagem dos nutrientes

Na natureza, os nutrientes fazem parte de ciclos, ou seja, são reutilizados na cadeia alimentar dos seres vivos. O solo fornece os nutrientes para as plantas, que por sua vez são utilizadas como alimento pelos animais e seres humanos. Assim, o nutriente que estava no solo passa a fazer parte de todos os seres vivos. Por exemplo, o cálcio que está no solo é absorvido pelos vegetais, onde vai fazer parte das células da folha, caule, etc. E quando nos alimentamos de uma salada ou de uma fruta, estamos reutilizando o cálcio que a planta absorveu do solo. Em nosso organismo, este cálcio vai participar de diversos processos, como, por exemplo, a formação dos ossos. Na produção rural, os agricultores podem modificar os teores de nutrientes do solo para aumentar a produtividade das culturas. Para isso, eles utilizam correctivos (calcários), adubos químicos e orgânicos. Dessa forma, os vegetais podem se desenvolver adequadamente, sem que no solo ocorra “falta” ou deficiência dos nutrientes. Mas de um modo geral, tanto os nutrientes aplicados no solo de forma mineral ou orgânico, como aqueles que o solo ganha através fixação livre ou simbiótica, passam todos por processos de ciclagem, constituindo assim de certa forma uma cadeia alimentar no ambiente. Os seres heterotróficos, como nós, dependem de moléculas ricas em energia previamente

sintetizadas por outros organismos. Pelo contrário, as plantas são seres autotróficos e por isso precisam de retirar do meio que as rodeia, o carbono, a água e os nutrientes minerais, e é a partir destes compostos totalmente inorgânicos que têm de formar todas as moléculas que constituem o seu corpo. Como as plantas estão na base da cadeia trófica, os nutrientes minerais que assimilam vão acabar por fazer parte dos corpos de todos animais, incluindo os seres humanos. Assim, podemos considerar que as plantas representam a “porta de entrada” dos nutrientes minerais na ecosfera (Hopkins e Hüner, 2009).

1.7. Legislação da fertilidade dos solos

Existe um conjunto de preceitos legais que regulam a utilização de adubos e correctivos nos solos, para o fornecimento de determinados nutrientes as plantas e/ou para criação de condições adequadas para sua absorção. O crescimento de uma planta é função, entre outros factores, da quantidade de elementos essenciais a ela fornecidos. A adição de nutrientes ao solo por meio de fertilizantes constitui, quando aplicada científica e racionalmente, prática fundamental para o êxito de qualquer exploração agrícola. A adubação tem como objectivo primordial manter ou aumentar no solo a disponibilidade dos nutrientes e o teor de matéria orgânica, já que a incorporação de elementos restitui aqueles perdidos pelo solo em processos de lixiviação, erosão, complexação, imobilização, fixação, volatilização e, de absorção pelas plantas. Por isso, o crescimento das plantas depende, entre outros factores, da quantidade de nutrientes adicionados ao solo. Na aplicação desses nutrientes ao solo deve-se sempre ter em conta a qualidade da produção, que em primeira instância deva ser prioritária em relação a quantidade de produção, a fim de se manter os equilíbrios ambientais, uma vez que o uso inadequado dos adubos e correctivos acarreta distúrbios ambientais, ocasionando instabilidades nos ecossistemas (Tisdale *et al.*, 1984).

1.8. Macronutrientes primários “Nitrogénio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)” na planta e no solo

O nitrogénio, o fósforo e o potássio, são absorvidos pelas plantas em quantidades de um modo geral elevadas, e para a grande maioria dos condicionalismos agro-climáticos e culturais, é necessário proceder à sua aplicação no solo e/ou às plantas sob a forma de fertilizantes, para que a nutrição não seja o factor limitante a expressão do potencial genético das plantas, pois as disponibilidades destes elementos no solo na maioria das vezes é inferior as necessidades (Santos, 2012).

1.8.1. Funções que realizam na planta

A planta para sua sustentação absorve do solo determinadas quantidades de nutrientes (uns em maior quantidade que os outros). Entre os nutrientes que ela absorve, o nitrogénio, fósforo e potássio, são absorvidos em maiores quantidades em relação os outros, constituindo-se assim como condicionantes ao crescimento e desenvolvimento das plantas. O nitrogénio geralmente é exigido em grandes quantidades pelos vegetais, encontrando-se em concentrações que variam de 1 a 5 dag/kg da matéria seca. De maneira geral, é observado em maiores concentrações nos tecidos das espécies pertencentes à família Leguminosae. Para a maioria das culturas, sua absorção ocorre preferencialmente na forma de NO_3^- , excepto em solos sob condições adversas a nitrificação. Uma vez absorvido, o NO_3^- é reduzido e incorporado em compostos orgânicos. Sua forma mais abundante é como um peptídeo ligado as proteínas, uma ligação muito estável graças a sua configuração electrónica que permite fortes ligações covalentes com dois átomos adjacentes de C. Assim, o N é constituinte de aminoácidos, nucleotídeos, coenzimas, clorofila, alcalóides, e outros. Na ausência desse elemento, o principal processo bioquímico afectado na planta é, justamente, a síntese proteica, com consequências no seu crescimento. O amarelecimento ou clorose das folhas mais velhas, como sintoma de deficiência de N, decorre da inibição da síntese de clorofila. Plantas com excesso de N apresentam folhas de coloração verde escura, com folhagem suculenta, tornando-a mais susceptível às doenças e ataque de insectos ou deficits hídricos. O N apresenta interacções com P, S e K. A absorção de NO_3^- estimula a absorção de cátions, enquanto que a absorção de NH_4^+ pode restringir a absorção de cátions como o Ca^{2+} (Lange, 2006; Mendes, 2007).

O P, apesar de seu papel fundamental como componente energético, sua concentração nos tecidos vegetais pode variar de 0,10 a 1,0 dag/kg da matéria seca, sendo que a faixa de suficiência para a maioria das culturas pode variar de 0,12 a 0,30 dag/kg. Da solução do solo, é absorvido nas formas aniônicas (H_2PO_4^- e HPO_4^{2-}), as quais apresentam uma forte ligação covalente com o átomo de O, que é mantida mesmo após sua incorporação aos tecidos vegetais. Ao ligar-se a átomos de C, forma complexos polifosfatados como adenosina trifosfato (ATP) e adenosina difosfato (ADP), vitais para o metabolismo energético, ou seja, para processos de conversão de energia nas plantas. Além de formar ATP e ADP, o P atua em outras funções vitais. Participa de reacções de esterificação com açúcares e outros compostos envolvidos na fotossíntese e na respiração. Componente dos ácidos ribonucléicos (DNA e

RNA) e formando fosfolipídeos nas membranas, sua maior concentração pode ser observada nas sementes e frutos. O P pode apresentar interações com N, S e micronutrientes como: Cu, Fe, Mn e Zn (Marschner, 1995).

Quanto ao potássio, sua concentração nos tecidos vegetais pode apresentar grande variabilidade em função da espécie e do manejo cultural utilizado. Valores mais comumente encontrados situam-se na faixa de 1,0 a 3,5 dag/kg. Seu papel tem pouco em comum com o desempenhado pelo N, P e S. Sua estrutura química não conduz à formação de ligações covalentes e, portanto, não forma complexos de grande estabilidade. Assim como o P, e contrariamente ao que ocorre com o N e com o S, durante sua assimilação não sofre alteração em seu estado redox, permanecendo na mesma forma iônica em que foi absorvido. Seu principal papel é o de ativador enzimático, com participações no metabolismo protéico, fotossíntese, transporte de assimilados e potencial hídrico celular. Como principal componente osmótico das células guardas, a transferência de K dentro e fora destas células regula a abertura e o fechamento dos estomas. Junto com Ca e Mg participa da importante função de manutenção do equilíbrio iônico com os ânions. Como ativador de inúmeras enzimas, sua deficiência conduz a profundas alterações no metabolismo. Compostos nitrogenados solúveis acumulam-se, indicando a redução na síntese proteica. Em condições de deficiência de K, as plantas tendem a apresentar diminuição da dominância apical, internódios mais curtos e clorose seguida de necrose das margens e pontas de folhas mais velhas (Mendes, 2007).

1.8.2. Formas disponíveis no solo

1.8.2.1. Nitrogénio (N)

O nitrogénio no solo comporta-se como cátion (NH_4^+) e como ânion (NO_3^-). A maioria, mais de 95%, está na forma de NO_3^- , forma que é bastante lixiviada para fora da zona de absorção das raízes (rizosfera). Há uma relação íntima entre a matéria orgânica do solo e o N disponível para as plantas. Mais de 90% do N do solo está na forma orgânica. Em geral cerca de 20 a 30 Kg de nitrogénio por hectare são liberados para cada 1% de matéria orgânica mineralizada do solo. As transformações das formas de NH_4^+ para NO_3^- são feitas por bactérias dos géneros nitrobacter e nitrossomas. O nitrogénio disponível para as plantas pode ser adsorvido aos colóides, lixiviado, perdido na forma gasosa ou absorvido pelas plantas. Na planta, o nitrogénio, dentre os macronutrientes primários, é o que tem efeito mais rápido sobre o crescimento vegetal. Tem como função básica o crescimento das plantas, é responsável pela

cor verde-escura das mesmas e, como promove o desenvolvimento do sistema radicular, melhora a absorção de outros nutrientes do solo. Faz parte da composição das proteínas de todas as plantas e animais (Costa, 2014).

1.8.2.2. Fósforo (P)

O fósforo (P) pode estar no solo em uma quantidade total elevada, mas somente pequenas quantidades de fósforo estão presentes na solução do solo, em geral menos de $6 \mu\text{g dm}^{-3}$. As formas de disponibilidade do P para as plantas são afectadas pelo pH do solo: H_3PO_4 (pH = 2), H_2PO_4^- (pH 7), HPO_4^{2-} (pH = 7) e PO_4^{3-} (pH = 13), onde, em solos de acidez elevada tende a predominar a forma de ortofosfato primário (H_2PO_4^-), e em solos alcalinos predomina o íon ortofosfato secundário (HPO_4^{2-}). Em geral o pH que proporciona maior disponibilidade de P está entre 6,0 e 6,5, pois nesta faixa de pH é mínima a reacção ou fixação do fósforo. O valor de pH igual a 6,3 é considerado o ideal para disponibilidade de fósforo para as plantas. O fósforo é absorvido pelas raízes principalmente como íon ortofosfato (H_2PO_4^-). O fósforo é importante na formação do ATP (trifosfato de adenosina) que será a principal fonte energética da planta. Energia utilizada no transporte de assimilados, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, no aumento das células e na transferência de informações genéticas (Sengik, 2003; Ernani, 2008).

1.8.2.3. Potássio (K)

O potássio no solo comporta-se como cátion (K^+) monovalente e dessa forma poderá ser facilmente lixiviado, absorvido, fixado, adsorvido as argilas ou permanecer na solução do solo. Cerca de 90 a 98% do potássio total do solo está na forma de minerais como ortoclásio, moscovita, biotita e leucita. Do potássio prontamente disponível (1 - 2% do total) cerca de 10% está na solução do solo e o restante está na forma fixada, isto é, não disponível às plantas. Seu teor trocável nos solos, considerado como médio, é de 0,1 a $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O potássio por ser bastante móvel no solo é facilmente lixiviado em solos com baixa CTC como por exemplo em solos arenosos. Seu teor no solo, considerado como médio é de 0,1 a $0,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. O potássio, absorvido como íon cátion (K^+), é um nutriente que não faz parte de qualquer composto nas plantas, mas de forma livre regula e participa de muitos processos essenciais tais como fotossíntese, abertura e fechamento de estomas, absorção de água do

solo, actividades enzimáticas, formação de amido e síntese proteica. A qualidade de alguns produtos agrícolas depende da disponibilidade de potássio como o teor de açúcar em cana-de-açúcar, tamanho dos frutos cítricos, resistência ao transporte e ao armazenamento de hortaliças e resistência ao acamamento de gramíneas. As plantas forrageiras absorvem de 15 a 30 gramas de potássio por quilo de matéria seca. Seu teor nas plantas variam de 20 a 40 g kg⁻¹ de matéria seca (Vasconcellos *et al.*, 1982).

1.9. Solos ferralíticos

Os solos ferralíticos, são solos minerais de perfil ABC, de horizonte B ferralítico, em geral de textura fina ou média/fina, mais frequentemente crômicos (colorações desde o amarelado ao avermelhado), constituídos por minerais caulínicos e óxidos de ferro e alumínio, sem «reserva mineral alterável» ou então de reduzida expressão, sem estrutura ou fracamente estruturados em agregados granulosos, em geral de consistência friável, ou muito friável, com grau de saturação em bases inferior a 50% e capacidade de troca catiónica inferior a 15%, podendo apresentar concreções lateríticas dispersas no perfil ou então concentrando-se em camada ou camadas a profundidade variável, por vezes constituindo bancada mais ou menos dura (Diniz, 2006; Nangafina, 2016).

São solos que se caracterizam por serem muito desenvolvidos, muito profundos, de textura argilosa ou franco-argilosa, ótima porosidade, cor vermelha, amarela ou castanha, baixa fertilidade natural, bem drenados, muito ácidos, com processos de migração restringidos pelo alto grau de estabilidade ou imobilidade de argila. Têm, portanto, ótimas propriedades físicas mas requerem boa adubação química e orgânica, calagem e controlo da erosão. São apropriados para cultura de culturas exigentes, quando bem manejados. (Centro de Educação Agrícola da Província do Bié, 2005; Kalivala, 2016).

1.10. A Cultura do milho (*Zea mays* L.)

Cultivada a mais de 8000 anos em muitas partes do Mundo (Estados Unidos da América, República Popular da China, Índia, Brasil, França, Indonésia, África do Sul, etc.), a cultura do milho é das que ocupam maior área no mundo, sendo com o trigo e o arroz as três culturas com maior expressão. A sua área de cultivo localiza-se entre as latitudes de 30° S e 55° N. No entanto, o melhoramento genético tem permitido potenciar a adaptação de algumas variedades que, actualmente se encontram em latitudes superiores, nomeadamente a Norte em regiões da Rússia e do Canada e a Sul em regiões da Argentina e da Bolívia. A sua grande

adaptabilidade, representada por variados génotipos, permite o seu cultivo desde o Equador até ao limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3600 metros, encontrando-se, assim, em climas tropicais, subtropicais e temperados. Esta planta tem como finalidade de utilização à alimentação humana e animal, devido às suas elevadas qualidades nutricionais, contendo quase todos os aminoácidos conhecidos, com excepção da lisina e do triptofano (Bellido, 1991).

Pensa-se que o milho tenha tido origem numa região tropical americana, provavelmente o México. Os Incas, Maias e Astecas, não só se alimentavam dele, mas tinham também uma relação de cunho religioso. Pertence à família das gramíneas e é um dos mais importantes cereais cultivados no mundo, onde a sua superfície está em contínua expansão. É de grande importância económica não só para os países grandes produtores, pois é um produto de exportação, como também serve de alimento para a população de muitos países em África e Ásia (Parizi, 2010).

Os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, com aproximadamente 37 % do total da produção mundial seguindo-se China, Brasil, Comunidade Europeia e Argentina. Desde a colheita de 2005\2006, a produção mundial de milho cresceu em torno de 38%, atendendo ao aumento do consumo, que foi em torno de 32%. Mesmo assim, os estoques mundiais se encontravam em torno de 16,1% suficientes apenas para suprir a demanda mundial por cerca de 2 meses. Apesar de maior produção em relação ao consumo neste período, houve um maior consumo que produção nos últimos 3 anos (EMBRAPA, 2013).

1.10.1. Exigências nutricionais da cultura do milho

De acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004) e Santos (2012), a produção potencial de uma dada cultura é o principal factor determinante das exigências nutricionais da mesma. Na grande maioria dos condicionalismos agro-climáticos e culturais, para a cultura do milho admitindo produções que se situam entre 5t a 10t de grãos/hectare, as quantidades dos macronutrientes principais a aplicar no solo deverão na maior parte dos casos situar-se dentro dos seguintes limites: Nitrogénio (N): 150-300kg, Fósforo (P_2O_5): 75-150kg, Potássio (K_2O): 75-150kg.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Departamento de Produção e Protecção Vegetal, da Faculdade de Ciências Agrárias, unidade orgânica da Universidade José Eduardo dos Santos. O mesmo foi executado no âmbito do projecto SASSCAL, task 147. *“SISTEMA DE GESTÃO DA FERTILIDADE DO SOLO, INTEGRANDO O USO RACIONAL DE FERTILIZANTES E BIOFERTILIZANTES”*, no período de Setembro de 2014 a Janeiro de 2016.

2.1. Caracterização da área experimental

O ensaio foi montado e desenvolvido em condições semi-controladas, em uma das estufas do Instituto de Investigação Agronómica, sito na Chianga, a cerca de 13Km a Este e Nordeste (ENE) da sede da cidade do Huambo, definida pelos paralelos 12° 14' e 12° 16' de latitude Sul e pelo meridiano 15° 48' e 15° 52' de longitude Leste de Greenwich. As altitudes da zona estão entre os 1650m e 1740m no ponto mais elevado (Nogueira, 1970).

2.1.1. Clima

A zona caracteriza-se por ter um clima onde as temperaturas oscilam entre 19°C e os 20°C, considerando-se como um clima húmido e mesotérmico do tipo climático (temperado com inverno seco e verão quente), de acordo a classificação de Koppen, os valores de precipitação oscilam entre os 1100mm aos 1400mm, com sete (7) meses de chuva e uma estação seca de aproximadamente cinco (5) meses (Diniz, 2006).

Temperatura

A temperatura média mensal durante o período de condução do ensaio, variou de 19,09°C em Julho a 22,4°C em Dezembro, a temperatura máxima variou de 27,79°C em Julho a 30,5°C em Outubro, enquanto que a temperatura mínima variou de 10,4°C em Julho a 15,4°C em Outubro (figura 2), de acordo os dados disponibilizados pela Estação Experimental Agrícola da Chianga, Instituto de Investigação Agronómica.

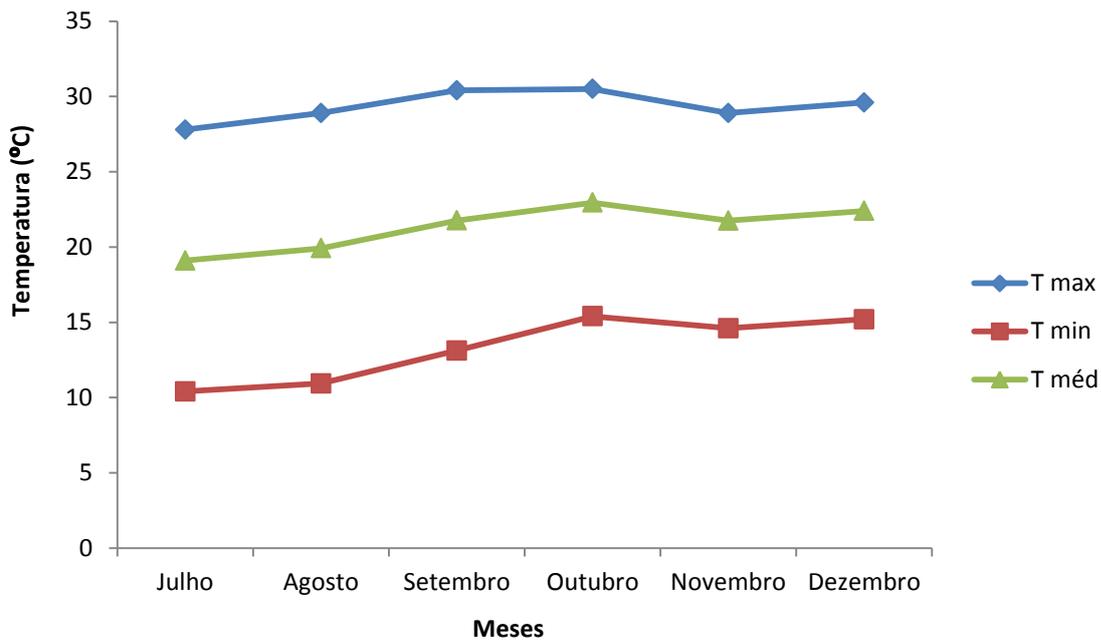


Figura 2. Variação mensal da temperatura (°C) durante o período de ensaio (T max - Temperatura máxima, T min - Temperatura mínima e T méd - Temperatura média).

Precipitação

O ensaio foi realizado entre o período seco (Julho e Agosto) e o período chuvoso (Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro), ocorrendo a precipitação máxima no mês de Dezembro (figura 3).

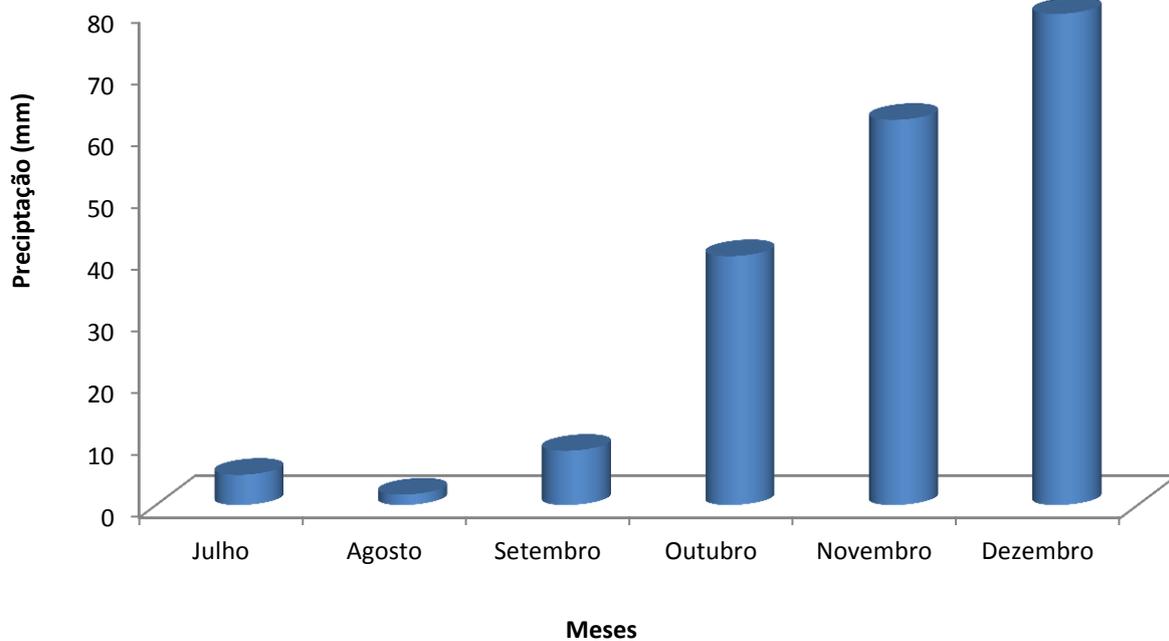


Figura 3. Variação mensal da precipitação durante o período de ensaio

Humidade relativa

A humidade relativa do ar, durante o período de ensaio atingiu níveis mais elevados nos meses de Novembro e Dezembro (figura 4).

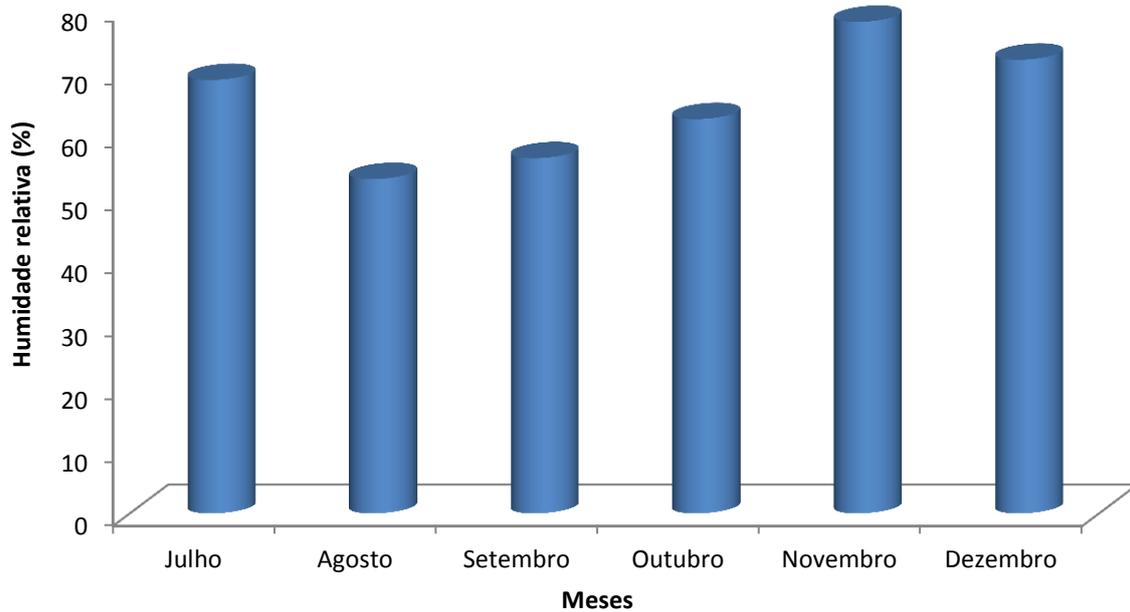


Figura 4. Variação mensal da humidade relativa (%) durante o período de ensaio

2.1.2. Solo

Os solos predominantes na área pertencem aos solos ferralíticos, os quais se caracterizam por apresentarem textura arenosa e areno-argilosa, uma boa drenagem, baixa fertilidade, são ácidos e susceptíveis a processos erosivos. São solos pouco férteis, onde os teores em nitrogénio e matéria orgânica são muito baixos, os níveis de fósforo e potássio são de médios a altos e possuem aceitáveis valores de cálcio e magnésio (Missão de Pedologia de Angola, 1961).

Os solos utilizados no ensaio foram colectados nos arredores da Chianga. Para maiores informações sobre os mesmos, foram tomadas amostras de solo e as mesmas foram enviadas para o laboratório de análises de solo do Instituto Superior de Agronomia, da Universidade de Lisboa, em Portugal. As amostras foram submetidas a análise química para determinação de pH (H₂O e HCl), MO (gk⁻¹), bases de troca (cmolckg⁻¹) e Extraíveis (mgkg⁻¹), (quadro1).

Quadro 1. Características químicas dos solos ferralítico vermelho (SFV) e ferralítico amarelo (SFA), utilizados no estudo. P_{ER} - fósforo extraível pelo teste de Egnér-Riehm; P_{OI} - fósforo extraível pelo teste de Olsen.

Solos	pH		MO g kg ⁻¹	Bases de troca				SB	Al ³⁺	Extraíveis		
	H ₂ O	KCl		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺			P_{ER}	K	P_{OI}
				----- cmolc kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----				
SFV	5,25	4,28	23,20	0,53	0,07	0,03	0,14	0,77	0,46	1,98	53,4	7,52
SFA	5,19	4,25	21,40	0,27	0,03	0,03	0,03	0,36	0,50	0,56	8,30	3,48

2.2. Metodologia utilizada

No presente trabalho utilizou-se o método biológico descritivo por Mitschelrich, que consistiu em avaliar a fertilidade do solo, baseando-se no comportamento morfológico das plantas, em resposta a aplicação de nitrogénio, fósforo e potássio no solo ferralítico amarelo e no solo ferralítico vermelho. Este método nos permitiu determinar dentre os macronutrientes principais o que se encontra em maior deficiência nos referidos solos.

2.2.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados com quatro repetições. Cada bloco ficou composto de cinco 5 vasos, de acordo com os tratamentos que nos propusemos estudar; perfazendo 20 vasos em cada uma das classes de solos estudadas.

2.2.1.1. Tratamentos estudados

Quadro 2. Tratamentos estudados, sua designação e composição quantitativa

Tratamentos	Designação/constituição	Composição quantitativa
T0	Solo simples ou testemunha Solo + 0 + 0 + 0	(Solo + 0g + 0g + 0g)
T1	Solo sem nitrogénio: Solo + 0 + P ₂ O ₅ + K ₂ O	(Solo + 0g + 1,2g + 1,2g)
T2	Solo sem fósforo: Solo + N + 0 + K ₂ O	(Solo + 2g + 0g + 1,2g)
T3	Solo sem potássio: Solo N+ P ₂ O ₅ + 0	(Solo + 2g + 1,2g + 0g)
T4	Completo: Solo + N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	(Solo + 2g + 1,2g + 1,2g)

2.2.1.2. Disposição dos tratamentos na área de ensaio



Figura 5. Disposição dos tratamentos na área de ensaio

2.2.2. Preparação e instalação do ensaio

Após o solo ser transportado até a estufa este foi crivado, utilizando um crivo de 2mm de diâmetro, em seguida, a terra fina seca ao ar foi colocada em vasos de 20kg de capacidade, posteriormente determinou-se a capacidade de campo do solo, através da saturação do mesmo com uma quantidade de água conhecida durante 24 horas, até que o excesso de água tenha drenado e a taxa do movimento descendente decrescido acentuadamente (sendo esta de $6,4\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para o solo amarelo e $9,8\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para o vermelho). Sucedeu-se a adubação do solo, de acordo as doses a que nos propusemos utilizar.

Os adubos utilizados como fontes de nitrogénio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O), foram respectivamente: Ureia (46%), Superfosfato triplo (45%) e Sulfato de potássio (52%), os mesmos foram aplicados na totalidade em adubação de fundo.

Tanto o solo como os adubos, foram introduzidos na betoneira, com o propósito de se homogeneizar a mistura dos mesmos, a fim de permitir que em toda área do vaso houve-se nutrientes disponíveis a serem absorvidos pelas raízes das plantas.



Figura 6. Momento da adição do solo e do adubo na betoneira para homogeneização.

2.2.3. Sementeira

A sementeira foi feita manualmente, utilizando sementes de milho da variedade SAM-3, colocando 3 sementes em cada vaso a uma profundidade aproximada de 3cm.



Figura 7. Momento da sementeira

2.2.4. Amanhos culturais ou manutenção do ensaio

2.2.4.1. Rega

A rega foi feita de forma periódica, ou seja, sempre que fosse necessário, aplicando em todos os casos uma quantidade de água igual ou inferior a capacidade de retenção do solo, previamente determinada.

2.2.4.2. Sacha

Com a finalidade de manter os vasos sempre isentos de plantas infestantes, foram feitas sachas manuais durante o transcurso do ensaio.

2.2.4.3. Desbaste

O desbaste foi realizado 15 dias após a germinação deixando somente uma planta por cada vaso.

2.2.5. Variáveis avaliadas

2.2.5.1. Altura das plantas: A altura das plantas foi determinada em centímetros (cm) aos 30, 45, 60 e 75 dias posteriores à germinação, com o auxílio de uma fita métrica, entre o colo da planta até a extremidade da folha mais comprida tal como Steven *et al.* (2003).



Figura 8. Determinação da altura das plantas (cm)

2.2.5.2. Diâmetro do caule: Para medição do diâmetro do caule utilizou-se o parquímetro com escala em milímetros (mm), o mesmo foi determinado aos 30, 45, 60 e 75 dias depois da germinação;



Figura 9. Determinação do Diâmetro do caule (mm)

2.2.5.3. Peso fresco e peso seco das plantas: Os pesos fresco e seco das plantas (em gramas), foram determinados no final do ensaio. Para os mesmos utilizou-se uma balança analítica de pequeno porte, modelo ADAN 22, do Laboratório de Tecnologia Alimentar, da Faculdade de Ciências Agrárias do Huambo.



Figura 10. Determinação do peso fresco das plantas

2.2.5.4. Comprimento da raiz

O comprimento da raiz foi medido com uma fita métrica graduada em centímetros, o mesmo foi determinado pela distância entre o primeiro nó e a extremidade basal da raiz mais comprida.



Figura 11. Comprimento da raiz.

2.2.5.5. Sintomas visuais de deficiências nutricionais

Durante a evolução do ensaio procurou-se detectar os sintomas visuais de deficiências nutricionais na cultura, dentre os diferentes tratamentos estudados em ambos os solos.

2.2.6. Análise estatística

Os dados obtidos inerentes as variáveis avaliadas, foram submetidos á análise estatística, recorrendo à base de dados do programa Excel ver. 2010, onde os mesmos foram preparados, posteriormente processados no pacote estatístico INFOSTAT ver. 2008; no qual foram feitas análises de variância de classificação simples (ANOVA) e comparações das médias, para cada um dos parâmetros analisados. Nos casos em que a ANOVA foi significativa usou-se a prova de Tukey, onde letras diferentes mostram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos para probabilidade menor ou igual á 50% ($P \leq 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. RESULTADOS DAS VARIÁVEIS AVALIADAS NO SOLO FERRALÍTICO AMARELO (SFA)

3.1.1. Altura das plantas

A evolução da altura das plantas dos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico amarelo ao longo do ensaio com a cultura do milho (*Zea mays L.*), está ilustrada na figura 12 e no quadro 7 do anexo. Na figura 12 pode-se observar que houve diferença significativa entre os tratamentos estudados. As maiores alturas foram atingidas nos tratamentos T4 (tratamento completo), T3 (sem potássio) e T1 (sem nitrogénio), com valores de 87,18cm, 81,20cm e 69,95cm de altura respectivamente. Os três tratamentos referidos anteriormente apresentam diferenças significativas em relação ao tratamento sem fósforo (T2) e altamente significativas quando comparados com o tratamento testemunha "T0" (sem adição de nenhum nutriente), que atingiu o menor resultado, com um valor de aproximadamente 29 cm de altura. Os tratamentos (T0 e T2) sem aplicação da adubação fosfatada apresentaram menor crescimento, comparativamente aos tratamentos com adição deste adubo, o que demonstra claramente o baixo teor de fósforo no referido solo (quadro 1, 'materiais e métodos').

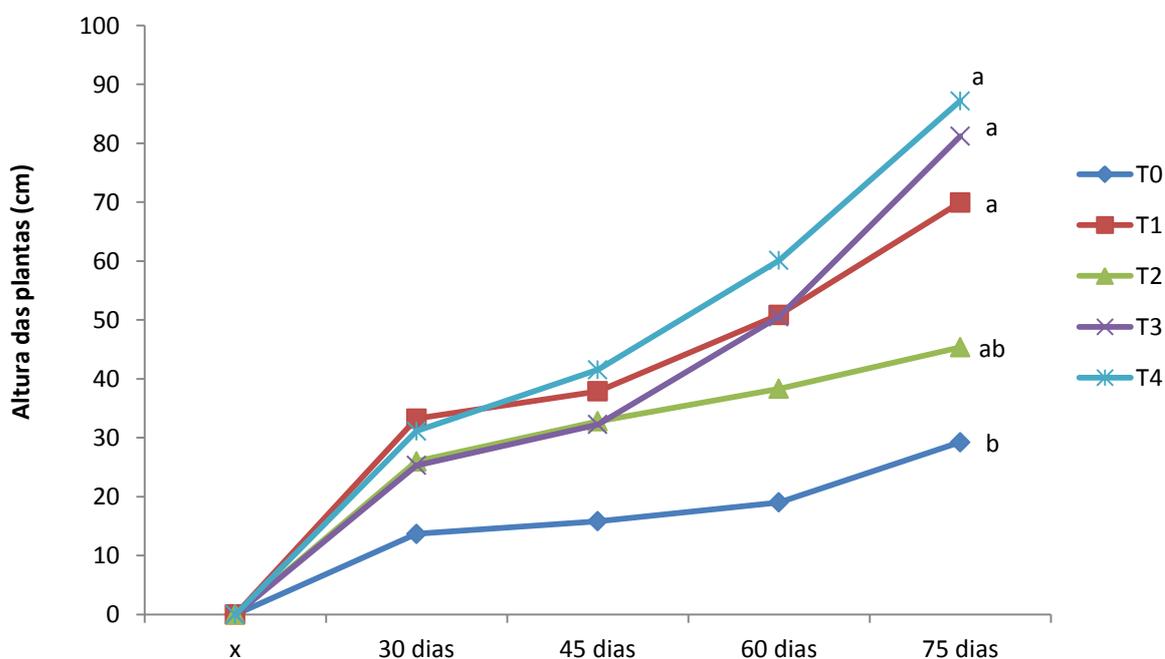


Figura 12. Valores médios da altura das plantas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico amarelo, aos 30, 45, 60 e 75 dias após a germinação. Letras diferentes significam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

3.1.2. Diâmetro do caule

No diâmetro do caule das plantas, houve resposta significativamente diferenciada entre os diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico amarelo. Tal como está ilustrada na figura 13, o maior desenvolvimento em grossura do caule, foi observado no tratamento T1, com o valor mais elevado de 9,97cm. O referido tratamento apresentou diferenças significativas em relação aos tratamentos T3 e T4; e altamente significativa quando comparado ao tratamento testemunha (T0), que não beneficiou da aplicação de nenhum nutriente.

Apesar de não haver diferenças estatísticas entre os tratamentos T3 e T4, numericamente o tratamento T3 (Solo+N+P+0) apresentou melhor resultado entre eles, ostentando o valor de 8,94mm.

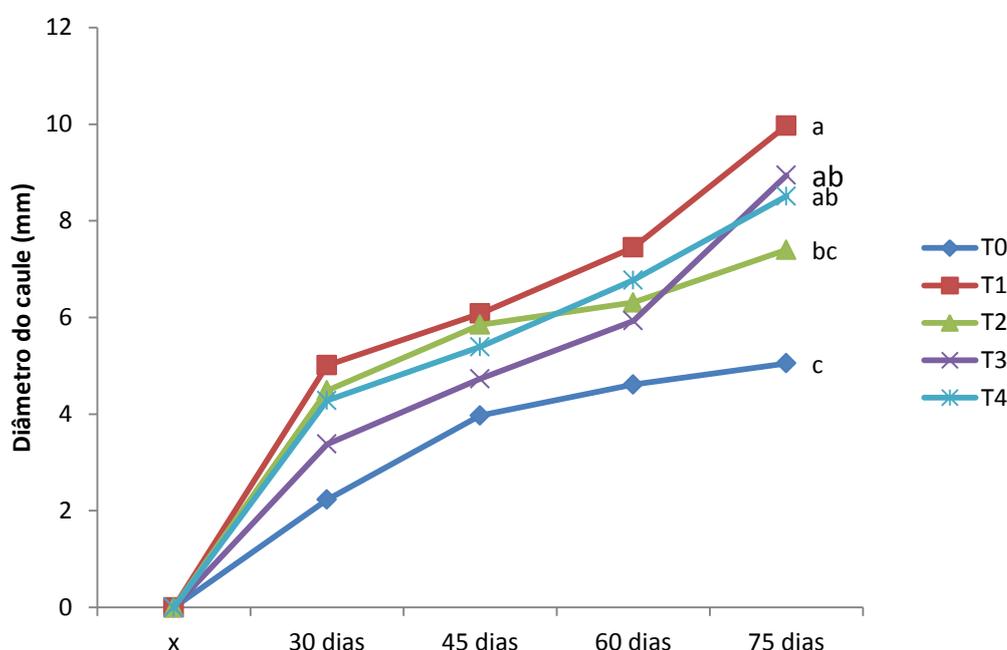


Figura 13. Valores médios da tendência dos diâmetros médios das plantas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico amarelo. 30, 45, 60 e 75 dias após a germinação. Letras diferentes significam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

3.1.3. Comprimento da raiz

A figura 14 faz referência ao comprimento das raízes das plantas, determinado em centímetros no final do ensaio. Na mesma podemos observar que não houve diferenças significativas na análise estatística dos tratamentos. Não obstante, as plantas dos tratamentos T3 e T1 atingiram maior comprimento das raízes, exibindo valores de 38,75cm e 37,75cm respectivamente, tendo os tratamentos T2 e T0 apresentado os

resultados inferiores com valores de 25,95cm e 29,78cm cada. Isto evidencia claramente a carência de fósforo no solo, tal como se pode observar no quadro 1''nos materiais e métodos''. O fósforo por ser um nutriente importante no desenvolvimento das plantas; e porque limitações na sua disponibilidade no solo logo no início do ciclo vegetativo das plantas, podem resultar em restrições no desenvolvimento das mesmas, das quais não se recuperam posteriormente, a sua carência nos tratamentos T2 (sem fósforo) e T0 (sem adição de nenhum nutriente), pode estar na base do menor comprimento das raízes das plantas.

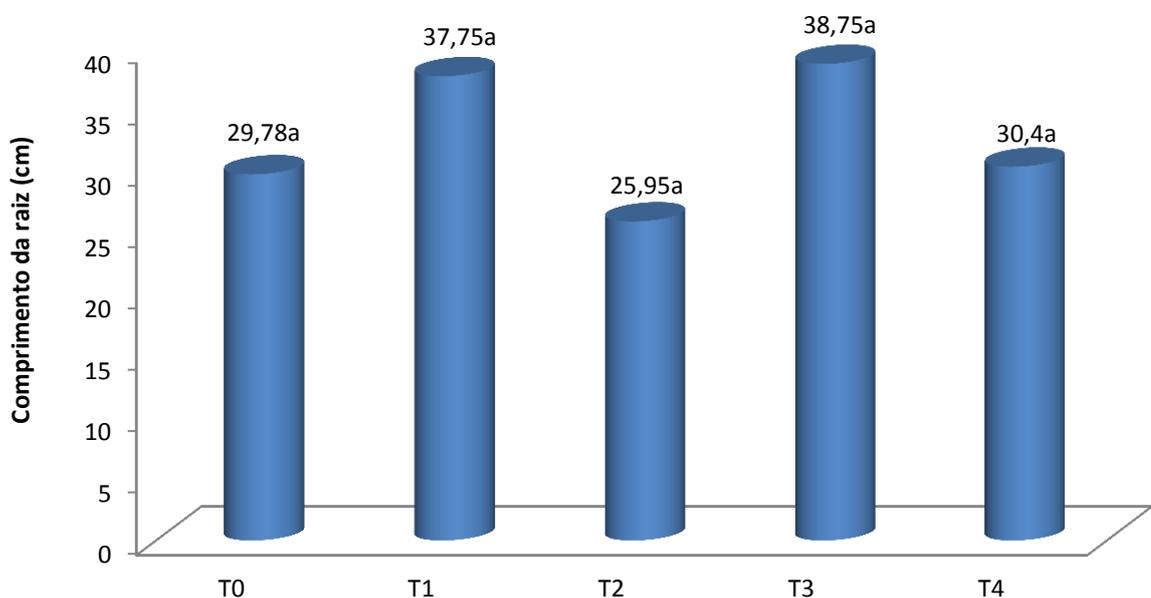


Figura 14. Comprimento ou extensão longitudinal das raízes das plantas dos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico amarelo.

3.1.4. Peso fresco das plantas

O quadro 3 apresenta o peso fresco das plantas determinado no final do ensaio, realizado no solo ferralítico amarelo. No mesmo se pode observar, que houve diferença significativa no peso fresco total das plantas, entre os diferentes tratamentos estudados. Os melhores resultados foram atingidos nos tratamentos T4 (completo), T3 (sem potássio) e T1 (sem nitrogénio) com valores de 32,19g, 28,98g e 28,6g respectivamente, sem diferença estatística significativa entre os mesmos. Os três tratamentos referidos apresentam diferenças significativas em relação ao tratamento sem fósforo (T2) e altamente significativas quando comparados com o tratamento testemunha (T0), que atingiu o menor resultado, com um valor de 4,23g de peso.

Quadro 3. Valores médios do peso fresco das folhas, do caule e da raiz e peso total das plantas, determinados no final do ensaio com o solo ferralítico amarelo.

Tratamentos	Folhas	Caule	Raiz	Peso total
T0	2,22c	0,8b	1,21b	4,23c
T1	13,13ab	10,56a	4,91ab	28,6a
T2	8,03bc	5,10ab	4,32ab	17,45b
T3	16,12a	7,81a	5,05ab	28,98a
T4	16,09a	10,31a	5,79a	32,19a
ES	1,35	1,41	1,04	
P	0,0001	0,001	0,0549	

Letras diferentes significam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

3.1.5. Peso seco das plantas

O padrão utilizado para se determinar o peso fresco das plantas foi também usado para o peso seco das mesmas. O quadro 4 apresenta os dados relacionados com o peso seco das folhas, caule, raiz e total das plantas, nos diferentes tratamentos estudados. No mesmo se pode observar claramente que os melhores resultados de peso total foram apresentados pelas plantas dos tratamentos T4 (14,12g), T1 (12,14g) e T3 (12,04g). Os tratamentos referidos apresentam diferenças significativas com o tratamento T2 (8,32g) e altamente significativa com o tratamento testemunha (T0), que exibiu o menor resultado, com um valor de 3,14g.

Quadro 4. Valores médios do peso seco das folhas, do caule e da raiz e peso total das plantas, determinados ao final do ensaio no solo ferralítico amarelo.

Tratamentos	Folhas	Caule	Raiz	Peso total
T0	1,52c	0,66b	0,96b	3,14c
T1	5,59ab	3,64a	2,91a	12,14a
T2	3,50bc	2,40ab	2,42a	8,32b
T3	5,85a	3,24a	2,95a	12,04a
T4	5,87a	4,31a	3,94a	14,12a
ES	0,5	0,52	0,59	
P	0,0001	0,0041	0,1564	

Letras diferentes significam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

3.2. RESULTADOS DAS VARIÁVEIS AVALIADAS NO SOLO FERRALÍTICO VERMELHO (SFV)

3.2.1. Altura das plantas

A figura 15 apresenta a tendência do crescimento (altura) das plantas nos diferentes tratamentos estudados ao longo do ensaio realizado no solo ferralítico vermelho, com a cultura do milho. Tal como observado no caso do solo ferralítico amarelo, a altura das plantas também foi determinada aos 30, 45, 60 e 75 dias após a germinação das mesmas. Pode-se averiguar na referida figura que não foram observadas diferenças significativas entre os distintos tratamentos estudados. Não obstante, numericamente o tratamento T2 apresentou melhor resultado exibindo um valor de 154,43cm de altura, seguido dos tratamentos T3 (146,7cm), T0 (145,73cm), T4 (144,53cm) e T1 (142,6cm) respectivamente tal como pode ser observado no quadro 9 do anexo. O mesmo se justifica pelo alto conteúdo de matéria orgânica, médios teores de fósforo e de potássio assimiláveis disponíveis no solo no momento da sementeira.

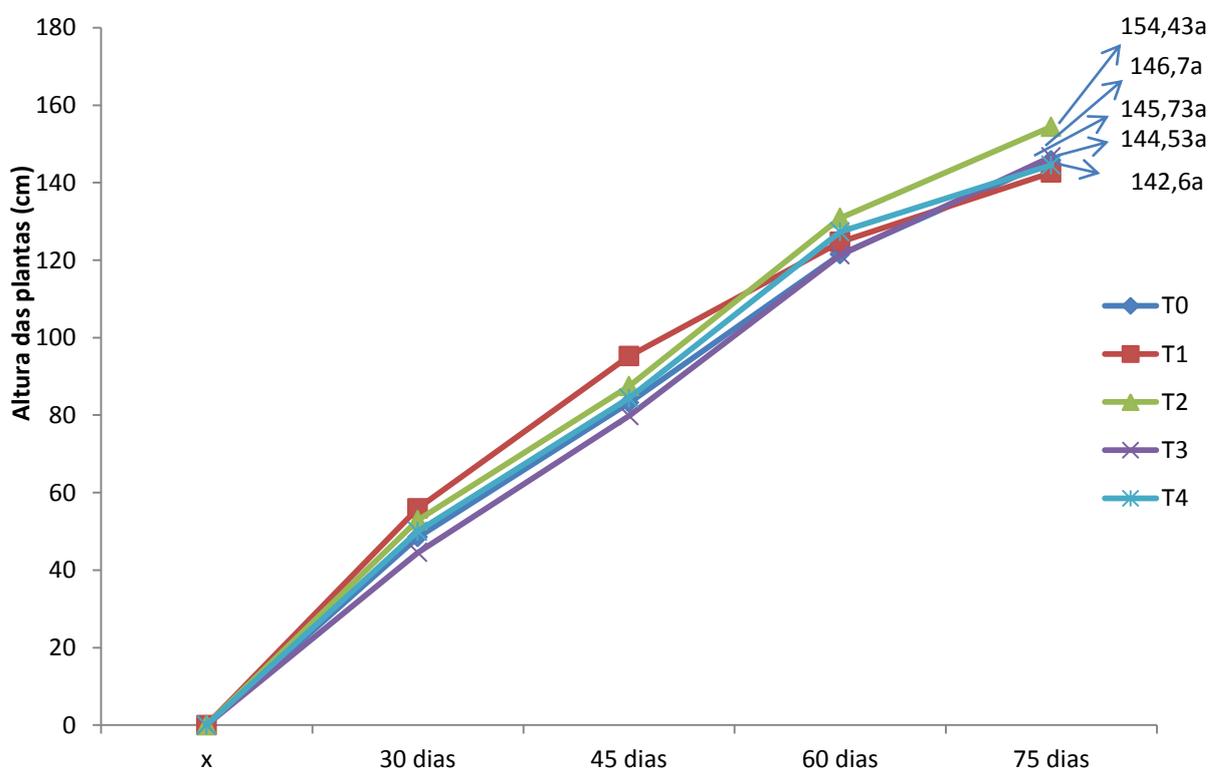


Figura 15. Valores médios da altura das plantas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho, aos 30, 45, 60 e 75 dias após a germinação.

3.2.2. Diâmetro do caule

A figura 16 ilustra a evolução do diâmetro do caule das plantas de milho, sob influência dos diferentes tratamentos realizados no solo ferralítico vermelho. Sendo o diâmetro do caule uma característica morfológica que influencia a produção de uma planta, o seu desenvolvimento é bastante condicionado pela disponibilidade nutricional do solo. Na figura 16, pode-se constatar que ao longo do período de avaliação, as plantas reagiram aos tratamentos, podendo ser visualizado no mesmo que na comparação de médias por Tukey a 5% de probabilidade, houve diferenças significativas entre os distintos tratamentos estudados. O tratamento sem nitrogénio (T1) apresentou o melhor resultado, com o valor de 15,33mm de diâmetro, diferindo significativamente do ponto de vista estatístico em relação aos tratamentos T2 (sem fósforo) e T3 (sem potássio) e altamente significativo quando confrontado com o tratamento completo (T4) e o testemunha (T0). O tratamento completo e o testemunha apresentaram igual tendência, com resultados numericamente semelhantes (12,84mm e 12,76m de diâmetro do caule respectivamente). Tal facto pode ter sido ocasionado pela não ocorrência de sinergismo iónico entre os nutrientes fruto da dose de nitrogénio adicionada ao solo; uma vez que o mesmo apresentava um considerável nível de matéria orgânica, sendo esta uma fonte natural de disponibilidade de nitrogénio assimilável para as plantas.

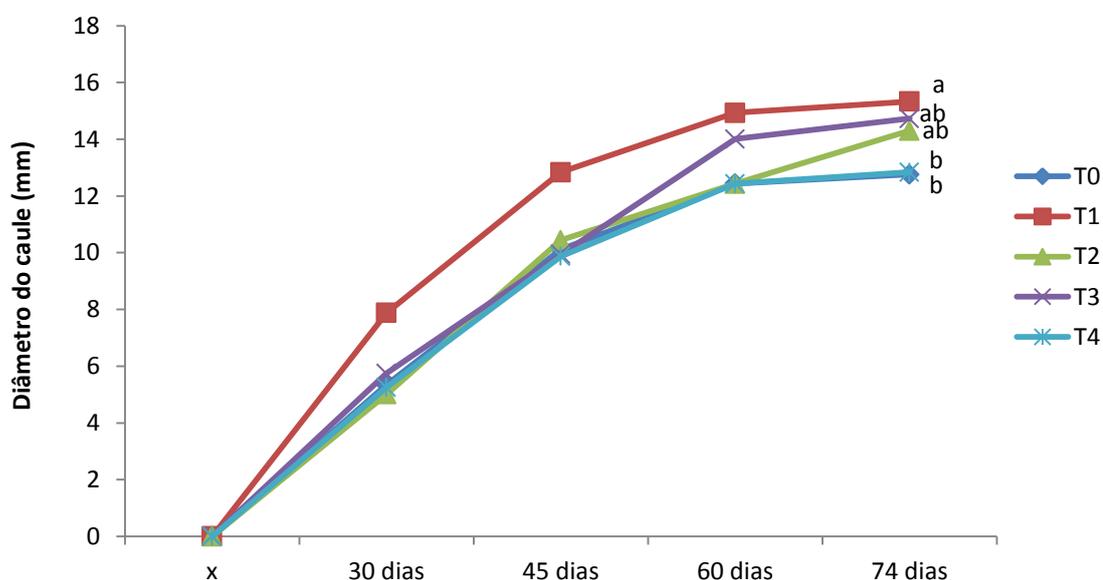


Figura 16. Valores médios do diâmetro dos caules das plantas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho. 30, 45, 60 e 75 dias após a germinação. Letras diferentes significam diferenças significativas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey

3.2.3. Comprimento da raiz

A figura 17 faz alusão ao comprimento médio das raízes das plantas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho. No mesmo se pode constatar que não houve diferenças significativas entre os distintos tratamentos. Apesar de não haver diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, o melhor resultado em termos matemáticos foi exibido pelo tratamento sem nitrogénio (T1) com o valor mais alto de 73,2cm, seguido do tratamento sem potássio (T3) com 65,7cm e o menor valor foi encontrado no tratamento sem fósforo (T2) com aproximadamente 52cm. O menor comprimento das raízes tanto no tratamento sem fósforo como no testemunha (ambos sem aplicação do adubo fosfatado) pode ter sido ocasionado pela escassez de fósforo assimilável no solo (quadro 1, dos materiais e métodos), pois a cultura do milho apresenta máxima absorção deste nutriente durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, onde à um maior alongamento das raízes no solo, a procura de absorver fósforo disponível, sendo ele um elemento indispensável no desenvolvimento do sistema radicular da planta.

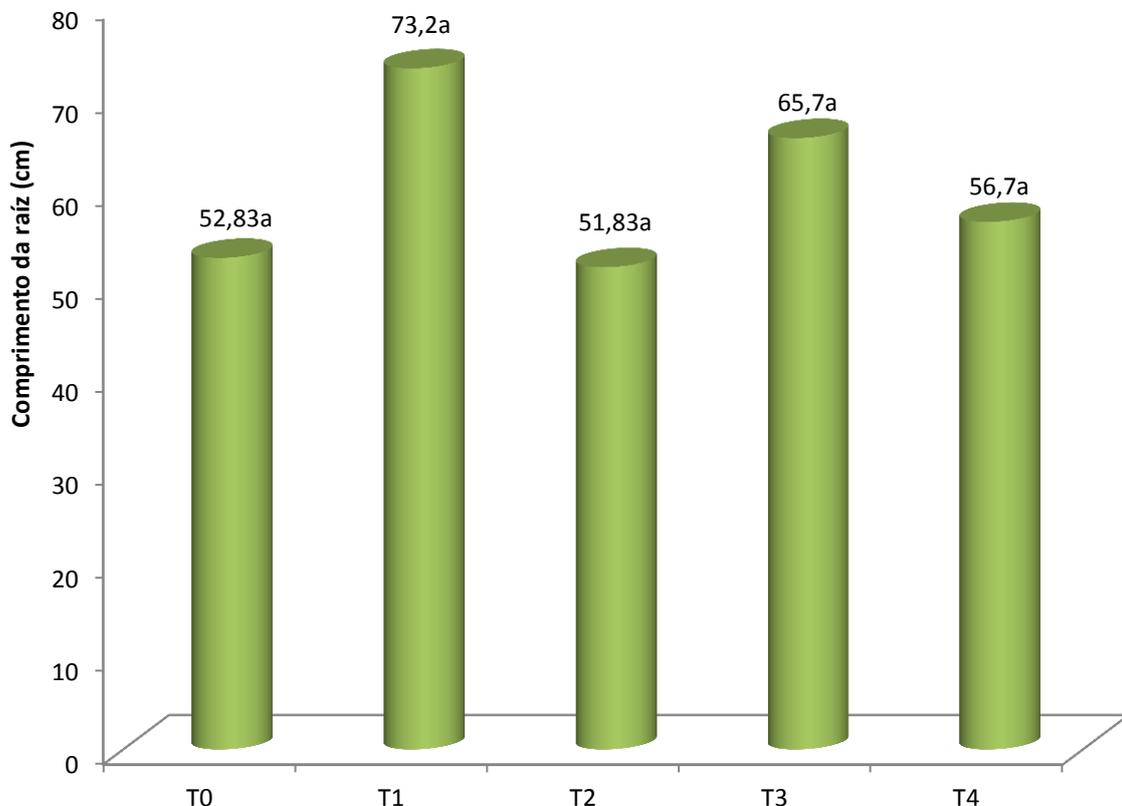


Figura 17. Comprimento das raízes das plantas avaliadas nos tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho.

3.2.4. Peso fresco das plantas

O quadro 5 apresenta o peso fresco das plantas nos distintos tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho. A semelhança do solo ferralítico amarelo, o peso fresco das plantas foi determinado, utilizando como indicadores os pesos das folhas, dos caules e das raízes. Pode-se averiguar no quadro (5) que não houve diferenças estatísticas significativas entre os diferentes tratamentos estudados, mas do ponto de vista numérico, o tratamento sem nitrogénio (T1) apresentou melhor resultado, exibindo o valor mais alto com 130,96g de peso fresco total, seguido do tratamento sem potássio (T3) com 114,31g, sendo que o menor valor foi atingido pelo tratamento completo, cujo peso fresco total das plantas foi de 97,14g.

Quadro 5. Valores médios do peso fresco das folhas, do caule e da raiz e peso total das plantas, determinados no final do ensaio com o solo ferralítico vermelho.

Tratamentos	Folhas	Caule	Raiz	Peso total
T0	34,02a	51,17a	15,02a	100,21a
T1	38,7a	76,31a	15,95a	130,96a
T2	30,75a	54,51a	14,94a	100,2a
T3	40,83a	60,74a	12,74a	114,31a
T4	32,99a	47,96a	16,19a	97,14a
ES	5,48	7,03	1,99	
P	0,6824	0,7483	0,7571	

3.2.5. Peso seco das plantas

O quadro 6 apresenta os valores médios do peso seco das plantas. No mesmo se pode observar que após uma análise de Variância (ANOVA) de classificação simples por cada tipo de solo e comparação de médias por Tukey, não houve diferenças significativas ($P \leq 0,05$) entre os distintos tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho. No entanto, o valor mais alto do peso seco total foi alcançado no tratamento sem potássio (T3) com 35,79 g, o mesmo comportamento também foi observado nas folhas e no caule, com exceção da raiz que foi superado pelos tratamentos T0, T4 e T1. O menor valor (29,47g) do peso seco total, foi alcançado no tratamento completo (com aplicação de nitrogénio, fósforo e potássio).

Quadro 6. Valores médios do peso seco das folhas, do caule e da raiz e peso total das plantas, determinados no final do ensaio com o solo ferralítico vermelho.

Tratamentos	Folhas	Caule	Raiz	Peso total
T0	13,56a	14,13a	7,47a	35,16a
T1	14,51a	12,68a	6,81a	34a
T2	11,33a	12,71a	5,55a	29,59a
T3	15,16a	14,27a	6,36a	35,79a
T4	11,37a	11,06a	7,04a	29,47a
ES	2,01	1,67	0,94	
P	0,5546	0,6617	0,6633	

3.3. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em ambos os solos

Os sintomas visuais de deficiências nutricionais, foram observados durante o percurso do ensaio, no qual, como podemos observar na figura 18., foi notoriamente visível a deficiência de fósforo nos tratamentos sem adição deste nutriente, sendo que logo aos 30 dias após a germinação, facilmente era observado um desenvolvimento retardado e tonalidade enroxada nas folhas velhas das plantas submetidas aos tratamentos T2 e T0, comparativamente a outros tratamentos, que não manifestaram nenhum sintoma visível de deficiência, o que evidenciou claramente a baixa disponibilidade do fósforo nos solos ferralíticos, particularmente no solo amarelo, tal como observamos na análise do solo (quadro 1).



Figura 18. Deficiência de fósforo na cultura do milho.

3.4 Discussão dos resultados

De modo geral, verificou-se que os tratamentos (T1, T3 e T4) que beneficiaram da adubação fosfatada (adição de fósforo), quando comparados aos tratamentos sem fósforo (T2 e T0), apresentaram os melhores resultados na maioria dos parâmetros avaliados em ambos os solos. É interessante destacar que o tratamento sem fósforo (T2), superou os restantes tratamentos quanto a altura média das plantas, nos tratamentos estudados no solo ferralítico vermelho, o que deveu-se sobretudo aos teores médios de fósforo e potássio assimiláveis disponíveis e da disponibilidade de matéria orgânica no solo logo no início do ciclo vegetativo das plantas.

É de realçar também que o tratamento testemunha (T0) foi superado em todas as variáveis avaliadas nos diferentes tratamentos estudados no solo ferralítico amarelo. No solo ferralítico vermelho o comportamento foi o mesmo, com a exceção de que o referido tratamento, superou os tratamentos T1 e T4 em relação a altura média das plantas e o tratamento T2 em relação ao comprimento da raiz. Os resultados obtidos revelam que houve maior resposta das plantas no solo ferralítico amarelo, que no solo ferralítico vermelho, devendo sobretudo a baixa fertilidade natural deste solo (quadro 1) comparativamente a do solo ferralítico vermelho.

O facto de o fósforo ser absorvido em menores quantidades pelas plantas que os outros macronutrientes principais, a sua presença no solo é indispensável para o crescimento e produção vegetal, interfere nos processos de fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão celular, crescimento das células, especificamente no aumento do sistema radicular quer em comprimento, como em largura, contribuindo assim para o crescimento prematuro das raízes, qualidade de frutas, verduras, grãos e formação das sementes, o que permite as plantas expressarem todo seu potencial genético de crescimento e produção. Por interferir em vários processos vitais das plantas, deve haver um suprimento adequado de fósforo no solo desde a germinação, principalmente em plantas de ciclo curto. (Malavolta *et al.*, 2002).

Grant *et al.* (2001) em seu trabalho sobre a importância do fósforo no desenvolvimento inicial das plantas, afirmam que limitações ou deficiências na disponibilidade de fósforo logo no início do ciclo vegetativo das plantas, podem resultar em restrições no desenvolvimento das mesmas, das quais elas não se recuperaram posteriormente, mesmo aumentando o suprimento deste elemento para níveis adequados; pois o suprimento adequado de fósforo, é essencial desde o estágio inicial de crescimento das

plantas. Pedro (2011) em seu trabalho sobre a influência da inoculação à base de *Rhizobium tropici*, da calagem e da fertilidade do solo como indicadores de crescimento e de desenvolvimento para cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), encontrou em tratamentos onde foi feita a adubação fosfatada, melhor desenvolvimento das plantas e com valores numericamente superiores em todas as variáveis que analisou comparativamente aos tratamentos que não beneficiaram da adição deste nutriente, tendo concluído que o mesmo se evidenciou claramente devido a resposta das plantas à adição de fósforo no solo; pois que o substrato utilizado em seu estudo (solo ferralítico amarelo) era caracterizado por uma pobre fertilidade natural; e em virtude das plantas dos tratamentos sem emenda da adubação fosfatada terem apresentado resultados inferiores.

O nitrogénio é, depois do carbono, hidrogénio e oxigénio, o elemento mais demandado pelas plantas; e entre os macronutrientes primários é o mais utilizado, mais absorvido e mais exportado pelas culturas. Parte da quantidade deste nutriente requerida pelas culturas pode ser suprida pelo solo, no entanto, na maioria das situações o solo é incapaz de atender toda a demanda de nitrogénio, tornando-se necessária a adubação nitrogenada, pois a escassez deste elemento no solo se traduz em plantas pequenas e de crescimento lento, afectando todos os demais processos fisiológicos nas plantas (Farinelli e Lemos, 2010; Santos, 2012).

Coelho (2007) em seu trabalho sobre o manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho, em latossolos (solos ferralíticos) de textura arenosa com menos 15% de argila e condições de percolação, ao avaliar o comportamento morfológico das plantas, observou melhor e maior desenvolvimento dos caules das plantas nos tratamentos que sofreram adubação nitrogenada e fosfatada, comparativamente as áreas que não tiveram os mesmos tratamentos; e deduziu que tal facto deveu-se ao aporte significativo de nitrogénio e fósforo na fase inicial de desenvolvimento das plantas (estádio fenológico 5 a 6 folhas) dos tratamentos nos quais foi feita a adubação nitrogenada e fosfatada, pois estes impulsionam o crescimento vegetal logo na fase inicial, proporcionando posteriormente um maior índice de área foliar (aparato fotossintético), culminando em maior propagação das características morfológicas da planta, que têm influências directas na produção da cultura.

De acordo com Costa *et al.* (2009), o potássio é um elemento que não sofre metabolização na planta, ou seja, ao contrário o que se verifica com o nitrogénio e o

fósforo, não intervém na composição de substâncias vitais da mesma. Embora não entrando na composição dos principais compostos orgânicos da planta, o potássio desempenha importante função na síntese de muitos desses compostos, exercendo a sua acção em fenómenos como; o metabolismo do azoto e síntese das proteínas, activação das enzimas, crescimento dos tecidos meristemáticos, resistência das plantas a pragas e doenças, qualidade dos produtos agrícolas etc.

O potássio é depois do nitrogénio o nutriente mais absorvido pelas culturas; e é o catión mais abundante na planta, sendo notável a diferença na velocidade de absorção, quando comparado com os outros macronutrientes primários. A taxa de absorção de potássio é relativamente lenta até 30 dias após a germinação das plantas, aumentando consideravelmente a partir desta data, mantendo uma taxa constante de crescimento por um período de 20 a 25 dias.

Meurer e Anghinoni (1993) afirmam na sua publicação sobre a disponibilidade de potássio no solo, que quando um solo apresenta teor aceitável de potássio assimilável pelas plantas, ao adicionar no mesmo quantidades de outros nutrientes essenciais as plantas (tais como fósforo e nitrogénio), cria-se condições que irão proporcionar ganhos significativos no crescimento e desenvolvimento da planta. Barboza (2011), encontrou em seus ensaios de campo, cerca de 90 - 120gr de peso seco médio nas plantas de milho em tratamentos com adição de potássio, valores significativamente superiores quando comparados aos obtidos nos tratamentos que não sofreram emenda da adubação potássica.

De acordo com Coelho e Resende (2008) e Pedro (2016) do ponto de vista da fertilidade dos solos e da nutrição das plantas, para cultura do milho, resultados de pesquisas e a própria experiência têm demonstrado que altas produtividades somente são possíveis em solos cuja fertilidade encontra-se em níveis classificados como de médio a alto. Em solos com fertilidade classificada como baixa e muito baixa, seja devido às condições naturais ou por processos de degradação, é bastante difícil obter altas produtividades de milho no primeiro ano de cultivo.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

4.1. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos é de realçar que no solo ferralítico amarelo as plantas dos tratamentos sem emenda de fósforo (T0 e T2), apresentaram menor desenvolvimento em todas as variáveis avaliadas, com diferenças significativas em relação aos demais tratamentos, evidenciando a baixa disponibilidade deste nutriente no solo. No solo ferralítico vermelho, entre os distintos tratamentos estudados, não se verificaram diferenças significativas na maioria das variáveis avaliadas, com excepção do diâmetro do caule, em que o tratamento sem nitrogénio diferiu significativamente dos demais, demonstrando claramente as boas propriedades químicas que o referido solo apresentava no momento da instalação do ensaio, comparativamente ao solo ferralítico amarelo. O fósforo foi o nutriente que mais limitou o desenvolvimento das plantas, mostrando-se assim como o macronutriente em maior deficiência nos solos ferralíticos, constituindo factor limitante da agroprodutividade destes solos.

4.2. RECOMENDAÇÕES

Que se repita o presente estudo, com maior ênfase no solo ferralítico vermelho utilizando doses relativamente superiores, pois que no presente trabalho, para maioria das variáveis avaliadas, não foram observadas respostas com diferenças significativas das plantas às emendas feitas no referido solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez V. H. (1985) Avaliação da fertilidade do solo (Superfícies de resposta - Modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta). Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, UFV. Viçosa - MG. 75 p.
- Barboza, E.; Moline, E. F. V.; Blind., A. D.; Farias, E. A. P. & Schlindwein, J. A. (2011) Desenvolvimento de plantas de milho em função de doses de potássio em um latossolo de Rondônia. Enciclopédia Biosfera, Goiânia - Centro Científico Conhecer, Vol.7, N.13; 2011.
- Bellido, L. L. (1991) Cultivos herbáceos - cereales. Vol. 1, Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 539p. Disponível em: <http://www.google.co.ao/?gwsrd=cr,ssl&ei=K5BWW72LI6Ta6eNs8gD#q=Caracteristicas+morfologicas+da+cultura+do+milho>. Consultado a 5/05/2016.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (2008) The nature and properties of the soils. Twelfth Edition. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River, 975p
- Braga, J. M. (1983) Avaliação da fertilidade do solo (ensaios de campo). Viçosa, Imprensa Universitária - Universidade Federal de Viçosa. UFV, Viçosa - MG. 101 p.
- Braga, J. M. (1987) Química e fertilidade do solo. Teoria. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, Campus Universitário, 83p.
- Carvalho, J. C. R.; Sousa, C. S. & Sousa, C. S. (2005) Fertilizantes e fertilização. Universidade Federal da Bahia - Escola de Agronomia - Departamento de Química Agrícola e Solos, Cruz das Almas - BA, 159p.
- Centro de Educação Agrícola da Província do Bié (2005) Manual de treinamento agrícola - Solos do Planalto Central em Angola, parte 1 - propriedades físicas. 34p. Disponível em: <http://projects.its.czu.cz/angola/kestazeni/Brozurasolos.pdf>. Consultado a 3/4/2016.

- Cirilo, P. A. M. (2009) Efeitos da acção do homem na fertilidade dos solos. Faculdade Católica de Tocantís. Série 4. Tocantís - Palmas.
- Coelho, A. M. & Resende, A. V. (2008) Exigências nutricionais e adubação do milho. Embrapa : Milho e Sorgo, curricular técnica nº 111. Sete Lagoas, MG.
- Coelho, A. M. (2006) Nutrição e adubação do milho. Curricular técnica nº 78, EMBRAPA e Ministério da Agricultura e Abastecimento. Sete Lagoas, MG. 10pp ISSN 1679-1150. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br>. Consultado a 08/3/2016.
- Coelho, A. M. (2007) Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. EMBRAPA - Curricular técnica nº 96. Solos e Nutrição de Plantas. Cx Postal nº 151, Sete Lagoas - MG. 11p. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br>, Consultado a 5/05/2016.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004) Manual de adubação e de calagem. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10 ed. RS/SC Porto Alegre. CDD: 631.4. 400 p.
- Cooke, G. W. (1985) Pesquisa de factores que limitam os rendimentos e sua importância no desenvolvimento de sistemas agrícolas. In: Simpósio sobre reciclagem de nutrientes e Agricultura de baixos insumos nos trópicos. Ilhéus, CEPLAC/SBCS, 50p.
- Costa, A. R. (2014). Apontamentos de fisiologia vegetal - nutrição mineral em plantas vasculares. Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora.
- Costa, L. S.; Souza, E. D.; Anghinomi, I.; Flores, J. P. C. & Andriguetti, M. H. (2009) Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. R. Bras. Ci. Solo, 33:1291 – 1301. 1p. disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n5a22.pdf>. Consultado a 21/06/2016.
- Diniz, A. C. (2006) Características mesológicas de Angola. 2ed. Lisboa, Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento. 546p.
- Ernani, P. R. (2008) Química do solo e disponibilidade de nutrientes. Lagos:Udesc. 1 ed. 230p

- EMBRAPA (2013) Indicações técnicas para o cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul - Safras 2013/2014 e 2014/2015. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Pelotas: RS, 2013. 1ªed. p. 15-25 a 27 Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicações/publica/2006/circular/Circ_75.pdf>. Consultado a 6/6/2016.
- Fageria, N. K. & Stone L. F. (2006) Qualidade do Solo e Meio Ambiente. Doc. 97 Santo Antônio de Goiás, GO - Brasil. ISSN 1678-9644, 35p.
- Fageria, N. K. (1989) Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas. Brasília, DF: EMBRAPA-DPU, (Documentos, 18 - EMBRAPA-CNPAP). 425 p.
- Fageria, N. K.; Stone, L. F. & Santos, A. B. (1999) Maximização da eficiência de produção das culturas. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 294 p.
- Ferreira, M. M. (2012) Sintomas de deficiências de macro e micronutrientes em plantas de milho híbrido BRS 1010. Revista agro@mbiente online, v6. Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima, Boa Vista - RR.10p Disponível em: www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/unespjboticabal/omissao_milho11.pdf. Consultado a 7/05/2016
- Freitas, M. S. M.; Monnerat, P. H.; Carvalho, A. J. C. & Vasconcellos, M. A. S. (2011) Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em maracujazeiro-doce. Ver. Bras. Frutic_Jaboticabal - SP, v.33, Dezembro de 2011.
- Grant, C. A.; Flaterf, D. N.; Tomasiewicz, D. J. & Sheppard, S. C. 2001. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial das plantas. Instituto da Potassa e do Fosfato (USA) e Instituto da Potassa e do Fosfato (Canadá). Informações agronômicas nº 96. Setembro de 2001. 5p. Disponível em:[http://www.ipni.net/publication/ia.brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia.brasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf). Consultado a 5 de Abril de 2016.

- Hopkins, W. G. & Hüner N. P. A. 2009. Introduction to plant physiology. 4th Edition, USA, John Wiley and Sons, Inc.
- Ivonir, P. G.; Silva, L. S.; Reinert, D. J.; Oliveira, A. & Xavier, A. (2009) Manejo da fertilidade do solo com auxílio do software CABUD - (Revista Plantio Direto, edição nº 113). 15º encontro nacional de plantio direto. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)-departamento de solos. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=contint&id=952>. Consultado a 18/03/2016.
- Kalivala, M. J. M. (2016) Caracterização dos sistemas de produção e efeitos das acções destes na qualidade do solo nas parcelas de algumas comunas das províncias do Huambo e Bié. Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre em Engenharia Rural, Huambo - Angola. FCA-UJES. 130p.
- Lange, A. (2006). Manejo da adubação nitrogenada após o cultivo da soja em sistema de sementeira direta no cerrado. Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo do Título de Doutor em Ciências. Piracicaba - SP. 138p.
- Lepsch, I. F. (1983) Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso, 4ª aproximação. Campinas, SBCS, 175 p.
- Lopes, A. S. & Carvalho, J. G. (1991) Técnicas de levantamento e diagnose da fertilidade dos solos. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Consultado a 18/03/2016.
- Lucena, J. J. (1997) Methods of Diagnosis of Mineral Nutrition of Plants. A critical review. Acta Hortic., 448:179-192.
- Madeira, M. & Ricardo, R. P. (2012) Factores e processos de evolução dos solos. Instituto Superior de Agronomia, da Universidade de Lisboa (ISA - UL).
- Malavolta, E.; Pimentel-Gomes, F. & Alcarde, J. C. (2002) Adubos e adubações: *Adubos minerais, interpretação da análise do solo e prática da adubação*. 2ed. São Paulo-Nobel. ISBN 85-213-1074-9. 200p.

- Malavolta, E.; Vitti, G. C. & Oliveira, S. A. (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações. 2ed. Piracicaba, ABPPF 238p.
- Marschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2ed. London, Academic Press.
- Mello, F. A. F.; Brasil Sobrinho, M. O. C.; Arzolla, S.; Silveira, R. I.; Cobra Neto, A. & Kiehl, J. C. (1989) Fertilidade do solo. 3 ed. Piracicaba-Nobel, 400p.
- Mendes, A. M. S. (2007). Introdução a fertilidade do solo: aula ministrada no curso de manejo e conservação do solo e da água promovido pela superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia – SFA - BA/SDC/MAPA, no auditório da UFBA, em Barreiras-BA, no período de 29/05 a 01/06/2007. 64p.
- Meurer, E. J. & Anghinoni, I. (1993) Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 17, p. 377-382.
- Missão de Pedologia de Angola (1961) Carta Geral dos Solos de Angola - Distrito Do Huambo. Memórias da Junta de Investigações do Ultramar. 2ª Série, nº 27 Lisboa, 275p.
- Moniz, A. C. (1972) Elementos de pedologia. São-Paulo, SP, Polígono ed. Universal, 459p.
- Nangafina, I. C. (2016) Correção da acidez dos solos ferralíticos do planalto central de Angola. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Agronomia e Recursos Naturais. UJES - FCA, Huambo. 83p.
- Neto, J. F. L. (2005) Conservação do Solo, 5ªed. Ícone-editora, Barra Funda - São Paulo SP, Brasil ISBN 85-274-0143-6., 355p.
- Nogueira, M. D. (1970) Carta de solos do Centro de Estudos da Chianga. I.I.A.A. Série Científica n. 14. IIAA.
- Novais, R. F.; Alvarez, V. H. V.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantautti, R. B. & Neves, J. C. L. (2007) Fertilidade do solo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1ed. Viçosa-Minas Gerais: Brasil. 1017pp ISBN 978-85-86504-08-2.

- Parizi, A. C. (2010) Funções de produção das culturas de milho e feijão através de estudo experimental e simulação. Tese de Doutorado em Engenharia agrícola. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. RS, Brasil. 153p.
- Pauletti, V. (2011) Nutrição mineral de plantas. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná. Pr: Morretes. vpauletti@ufpr.br. 73p/slibes. Disponível em: <http://www.soloplan.agrarias.ufpr.br/litoral/pdf/nutricao.plantas.pdf>. Consultado a 6/6/2016.
- Pedro, A. F. (2016) A gestão dos solos ferralíticos e a disponibilidade de fósforo. Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre em Agronomia e Recursos Naturais. Faculdade de Ciências Agrárias do Huambo, Huambo-Angola. 99p.
- Pedro, R. M. (2011) Influência da inoculação a base de *rhizobium tropoci*, da calagem e da fertilidade do solo como indicadores de crescimento e de desenvolvimento para cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*). Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias. FCA.
- Pinotti, E. B.; Bicudo, S. J.; Godoy, L. J. G. & Bueno, C. E. M. S. (2014) Características agronômicas de cultivares de milho em função de populações de plantas e épocas de semeadura. Revista Científica Electrónica de Agronomia – FAEF - Garça/SP - v.25 - n.1. Jun. 2014.17p.
- Raij, B. Van. (1981) Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa. 142p.
- Raij, B. VAN. (2011) Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: IPNI, 420p.
- Raij, B. VAN.; Andrade, J. C.; Cantarella, H. & Quaggio, J. A. (2001) Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. 285p.

- Ronquim, C. C. (2013). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais - Boletim de pesquisa e de desenvolvimento, EMBRAPA, Campinas - SP, Novembro de 2010. ISSN 1806-3322. Campinas - SP, 30p. Disponível em: <http://www.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/bpd.8.pdf>. Consultado 7/5/2016.
- Santos, J. Q. (2012). Fertilização - fundamentos da utilização dos adubos e correctivos. 4 ed. pub. Europa-America, Lousã - Portugal. 638p.
- Sengik, E. S. (2003) Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas. Disponível em: <http://www.googleacademico.com.br>. Consultado a 18/03/2016.
- Sertoli, P. E. (2009) As características do complexo de troca e a classificação dos solos da república de Angola. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agronómica. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa. 71p.
- Silva, J. R. T. (1997) Avaliação da fertilidade do solo. Universidade Federal de Viçosa, SOL-671. Viçosa-MG, matrícula nº 34.249/95-3. 54p. Disponível em: www.augustocoi mbra.xpg.com.br/introdu.pdf. Consultado a 6/6/2016.
- Silveira, G. M. (1988). O Preparo do Solo: Implementos correctos. Edt Globo Rural, Rio de Janeiro, RJ - Brasil ISBN 85-250-0608-4. 243p.
- Steven, W. R.; John, J. H. & Garren, O. B. (2003) Como a planta de milho se desenvolve. Arquivo do agrónomo nº15, informações agronómicas nº 103-Setembro/2003. Goiânia, GO. 20p.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2004) Fisiologia vegetal. 3ed. ARTMED, Porto Alegre, 719p.
- Tisdale, S. L.; Nelson, W. L. & Beaton, J. D. (1984) Soil fertility and fertilizers. 4ed, New York: Macmillan, 754p.
- Varaschini, A. D. C. (2012) Avaliação da fertilidade do solo na agricultura de precisão. Ijuí-RS: Universidade regional do noroeste do estado do Rio Grande do Sul - Brasil. 55p.

Vasconcellos, C. A.; Santos, H. L. & França, G. E. (1982) O potássio na cultura do milho. EMBRAPA, Sete Lagoas - Mg. 12p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/537961/potassio-cultura.pdf>. Consultado a 5/05/2016.

Viana, J. H. M.; Cruz, J. C.; Alvarenga, R. C. & Santana, D. P. (2006) Manejo do solo para a cultura do milho. EMBRAPA - Curricular técnica nº77 Sete Lagoas, MG, Dezembro, 2006. ISSN 1679-1150. 14p.

Vitti, G. C. & Malavolta E. (1985) Seminário sobre adubos e correctivos agrícolas. Fundação Cargill - Campinas, 215p.

ANEXOS

Anexo 1 - Altura das plantas e diâmetro do caule - Solo Amarelo

Idades	Indicador	Tratamentos					ES	P
		T0	T1	T2	T3	T4		
30 dias	Altura	13,68b	33,25a	26,00a	25,30a	31,13a	2,36	0,0003
	Diâmetro	2,23c	5,01a	4,49ab	3,38bc	4,28ab	0,36	0,0006
45 dias	Altura	15,83b	37,9a	32,8a	32,25a	41,55a	3,03	0,0003
	Diâmetro	3,97b	6,08a	5,85a	4,73ab	5,39ab	0,33	0,0024
60 dias	Altura	19,03c	50,88ab	38,33b	50,55ab	60,10a	3,84	0,0001
	Diâmetro	4,61b	7,45a	6,31ab	5,93ab	6,77a	0,39	0,0017
75 dias	Altura	29,25b	69,95a	45,38b	81,20a	87,18a	5,51	0,0001
	Diâmetro	5,05c	9,97a	7,40bc	8,94ab	8,51ab	0,56	0,0002

Anexo 2 - Comprimento da raiz - Solo amarelo

Indicador	Tratamentos					ES	P
	T0	T1	T2	T3	T4		
Comprimento raiz	29,78a	37,75a	25,95a	38,75a	30,40a	3,89	0,1447

Anexo 3 - Altura das plantas e diâmetro do caule - Solo vermelho

Idades	Indicador	Tratamentos					ES	P
		T0	T1	T2	T3	T4		
30 dias	Altura	48,48a	55,95a	52,90a	44,55a	50,03a	3,71	0,2920
	Diâmetro	5,34b	7,88a	5,01b	5,75ab	5,25b	0,5	0,0063
45 dias	Altura	83,2ab	95,23a	87,48ab	79,83b	84,4ab	3,46	0,0624
	Diâmetro	10,12b	12,84a	10,44b	9,94b	9,87b	0,69	0,0418
60 dias	Altura	121,5	124,73	130,93	121,35	127,33	5,86	0,7494
	Diâmetro	12,44b	14,93a	12,43b	14,01ab	12,43b	0,66	0,0492
75 dias	Altura	145,73a	142,6a	154,43a	146,7a	144,53a	8,46	0,8821
	Diâmetro	12,76b	15,33a	14,30ab	14,73ab	12,84b	0,54	0,0132

Anexo 4 - Comprimento da raiz - Solo vermelho

Indicador	Tratamentos					ES	P
	T0	T1	T2	T3	T4		
Comprimento raiz	52,83a	73,20a	51,83a	65,70a	56,70a	8,95	0,5062



Anexo 5. Solo ferralítico amarelo.



Anexo 6. Solo ferralítico vermelho.



Anexo 7. Sorteio dos tratamentos, para o delineamento experimental.



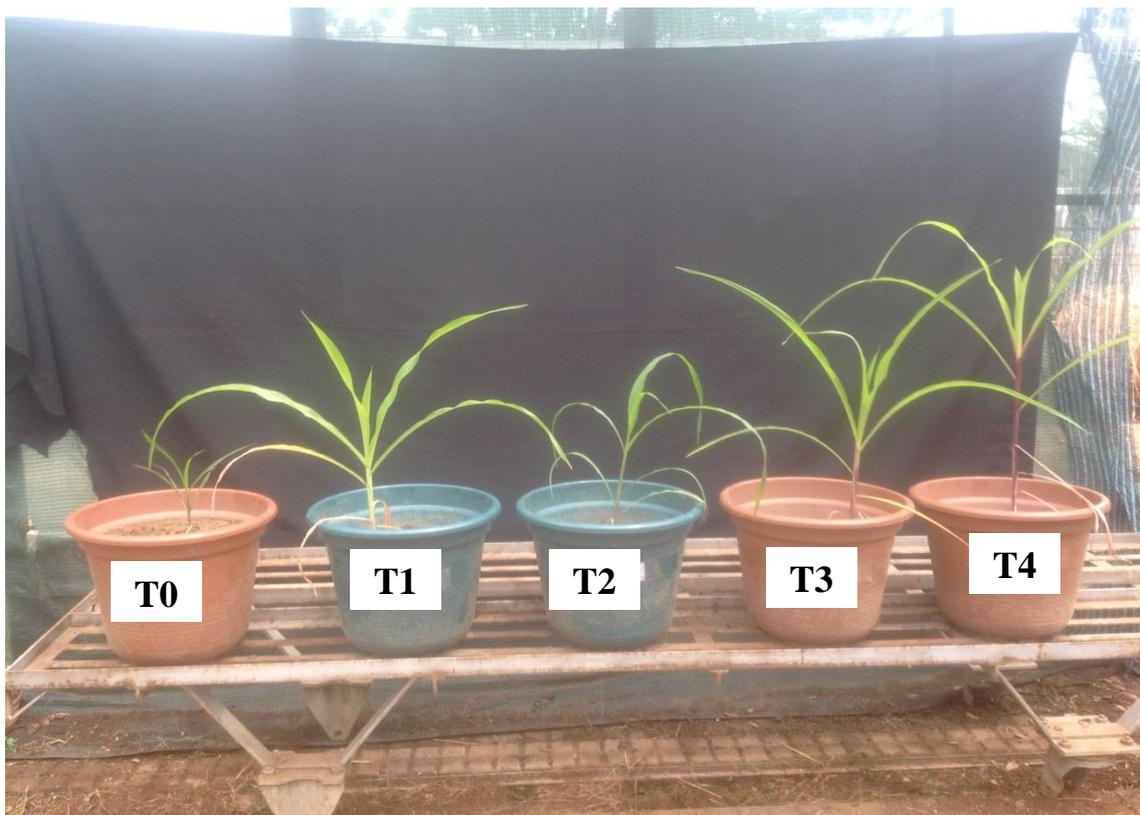
Anexo 8. Identificação dos vasos para instalação dos tratamentos.



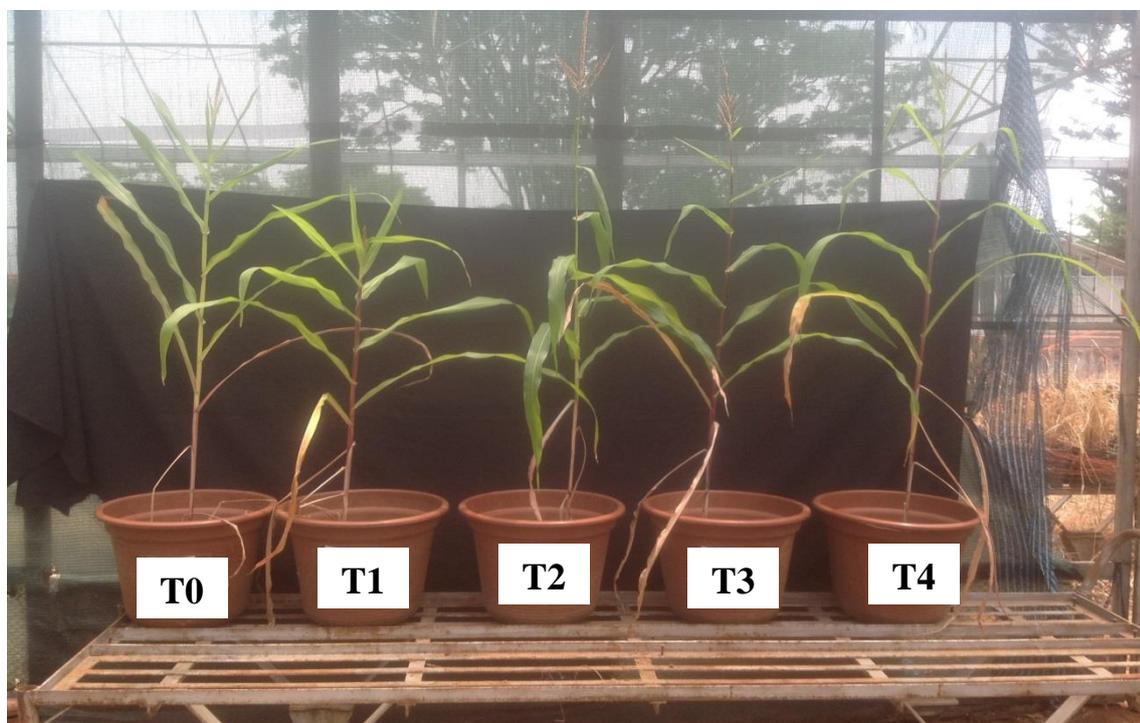
Anexo 9. 10 dias após a germinação da plantas.



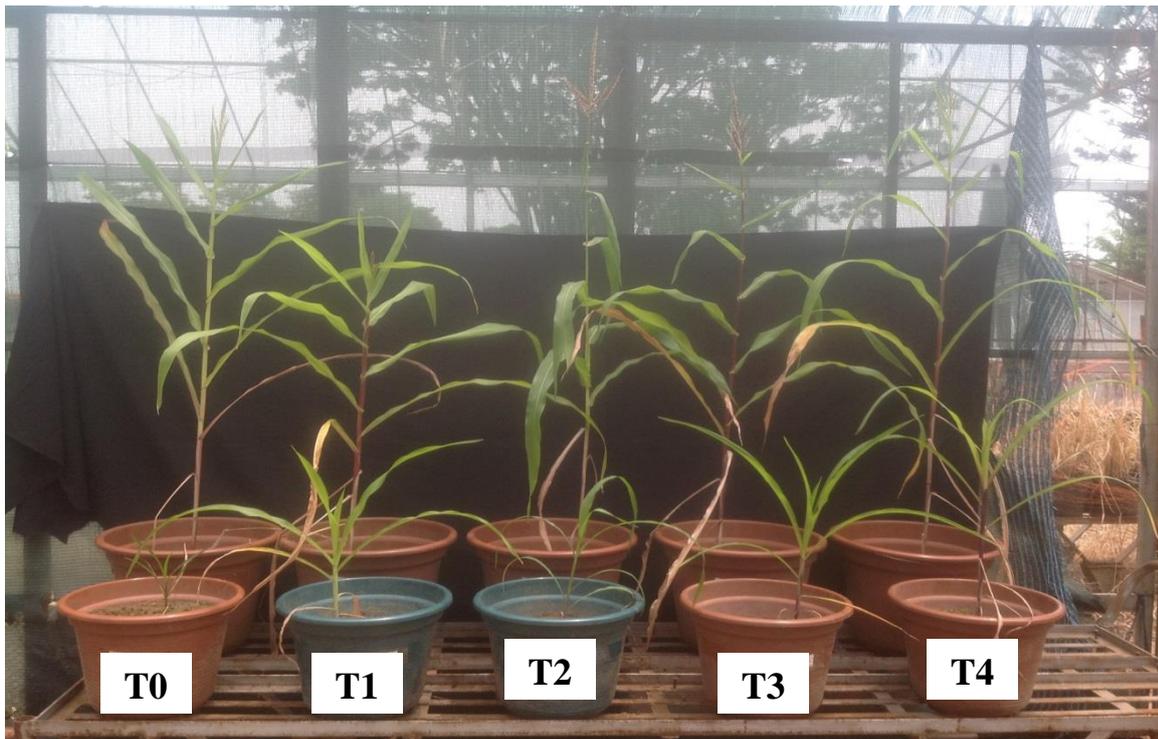
Anexo 10. Momento da sacha manual.



Anexo 11. Tratamentos avaliados no solo ferralítico amarelo.



Anexo 12. Tratamentos avaliados no solo ferralítico vermelho.



Anexo 13. Tratamentos avaliados no solo ferralítico amarelo na parte frontal e na retaguarda os seus homólogos avaliados no solo ferralítico vermelho.



Anexo 14. Preparação das raízes, folhas e caules para determinação do peso fresco.