



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior Agrária

**Resposta do Milho a Diferentes Formas de Gestão da
Fertilidade do Solo**

Xênia Demelza Ramos de Sousa

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau
de Mestre em Agricultura Tropical*

Orientado por

Professora Doutora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues

Coorientado por

Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Bragança

2017

Aos meus pais Carlos de Sousa e Paula de Sousa

A minha irmã Adelaide de Oliveira e ao meu cunhado José Carlos de Oliveira

Aos meus queridos sobrinhos Carlos de Oliveira e Ivan de Oliveira

Ao meu companheiro Aldair de Almeida

Dedico este trabalho

Agradecimentos

À Deus Todo-poderoso pela vida e pela proteção.

Aos meus orientadores, Professora Margarida Arrobas Pereira Rodrigues e Professor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues, pelo apoio incondicional, pelo incentivo nos momentos difíceis e pela paciência que tiveram durante todo percurso.

À toda equipa do laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança, colegas Sandra Afonso e Isabel Ferreira, técnicas Ana Pinto e Rita Diniz, por me guiarem durante o trabalho laboratorial. Sem esquecer o senhor José Rocha pelo apoio nos trabalhos de campo.

Aos meus professores do curso de Mestrado em Agricultura Tropical, em especial ao Professor Carlos Aguiar pelo carinho e todo apoio prestado. À minha orientadora de Seminário, professora Maria João.

À direção do Instituto Superior Politécnico do Kwanza-Sul pela oportunidade dada e confiança depositada. Ao Instituto Politécnico de Bragança, em especial ao diretor da Escola Superior Agrária Professor Albino Bento, à Natália dos Santos e ao senhor Carlos que me receberam em meu primeiro dia em Bragança. À Doutora Clarisse Pais responsável das Bibliotecas do IPB e à Doutora Carla Costa dos Serviços Académicos.

A todos os meus colegas do curso, em especial ao Nelson Tipewa e Rosalino Viegas pela ajuda nos trabalhos de campo, às minhas amigas Silvia Rafael, Georgina Tobias e Nuria Bom Jesus pelo apoio e companheirismo ao longo de toda a caminhada. A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação. O meu mais sincero agradecimento.

Resumo

O melhoramento genético é considerado um dos fatores que mais contribuiu para a revolução verde do milho (*Zea mays* L.). As variedades híbridas, apresentam melhor performance agronómica da que podem alcançar as variedades regionais de polinização livre. A duração do ciclo é também dos fatores que mais pode diferenciar os diferentes materiais genéticos cultivados, apresentando as variedades de ciclo longo melhor potencial produtivo que as variedades de ciclo curto. Neste estudo comparou-se o comportamento agronómico de variedades regionais provenientes de Montalegre (Portugal) e de Benguela (Angola), e híbridos recomendados para o Norte de Portugal (PR36Y03) e para a região sul de Angola (SC411SRT). As plantas foram submetidas a seis tratamentos fertilizantes orgânicos e minerais: estrume de vaca; composto orgânico comercial; N0 (testemunha sem aplicação de fertilizante azotado); N1 (50 kg N ha⁻¹); N2 (100 kg N ha⁻¹); e N3 (200 kg N ha⁻¹). A variedade de polinização livre (Montalegre) apresentou um ciclo particularmente curto em comparação com as restantes. A variedade regional de Angola apresentou ciclo muito longo. A cultura do milho revelou características morfológicas distintas relativamente às diferentes doses de fertilizante utilizadas, onde o tratamento fertilizante com a dose de 200 kg N ha⁻¹ se mostrou mais eficiente, e o tratamento Estrume o que apresentou os resultados mais baixos. A variedade híbrida recomendada para a região sul de Angola (SC411SRT) foi a mais produtiva, apresentando os valores mais elevados em produção de grão (9,8 Mg ha⁻¹) e a variedade regional de Angola a que valor mais baixo apresentou (0,8 Mg ha⁻¹), devido ao seu ciclo vegetativo particularmente longo. A variedade regional de Montalegre, apesar do seu ciclo particularmente curto, conseguiu alcançar resultado de produção bastante satisfatório (5,7 Mg ha⁻¹).

Palavras-chave: *Zea mays*; fertilização orgânica; fertilização azotada; morfologia; produção de grão.

Abstract

Genetic improvement is considered to be one of the factors that have most contributed to the green revolution of corn (*Zea mays* L.). The hybrid varieties show better agronomic performance than the regional varieties of free pollination can achieve. The length of the growing cycle is also one of the factors that can more differentiate the different cultivated genetic materials, presenting the long cycle varieties better performances than the short cycle varieties. This study compared the agronomic behavior of regional varieties from Montalegre (Portugal) and Benguela (Angola), and recommended hybrids for northern Portugal (PR36Y03) and southern Angola (SC411SRT). The plants were submitted to six organic and mineral fertilizer treatments: cow manure; commercial organic compound; N0 (control without application of nitrogen fertilizer); N1 (50 kg N ha⁻¹); N2 (100 kg N ha⁻¹); And N3 (200 kg N ha⁻¹). The free pollinated variety (Montalegre) presented a particularly short growing cycle compared with the others. The regional variety of Angola presented a very long cycle. The maize crop showed different morphological traits regarding the different doses of fertilizer used, where the fertilizer treatment with the dose of 200 kg N ha⁻¹ was shown to be more efficient, and the manure treatment showed the lowest results. The hybrid variety recommended for the southern region of Angola (SC411SRT) was the most productive, presenting the highest grain production (9,8 Mg ha⁻¹) and the regional variety of Angola presented the lower value (0, 8 Mg ha⁻¹) due to its particularly long growing cycle. The regional variety of Montalegre, despite its particularly short cycle, managed to achieve a very satisfactory grain production (5,7 Mg ha⁻¹).

Keywords: *Zea mays*; organic fertilization; nitrogen fertilization; morphology; production.

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. A cultura do milho ----- | 1 |
| 1.1. <i>Aspetos botânicos</i> | 1 |
| 1.2. <i>Elementos estatísticos</i> | 3 |
| 1.3. <i>Adaptação ambiental da cultura</i> | 4 |
| 1.4. <i>Aspetos relevantes da técnica cultural</i> | 6 |
| 2. Fertilização das culturas ----- | 7 |
| 2.1. <i>Fertilização mineral</i> | 7 |
| 2.2. <i>Fertilização orgânica</i> | 11 |
| 2.3. <i>Sideração ou adubação verde</i> | 13 |
| 3. Fertilização da cultura do milho ----- | 14 |
| 3.1. <i>Exigências nutricionais</i> | 15 |
| 4. Material e métodos ----- | 17 |
| 4.1. <i>Caraterização do local</i> | 17 |
| 4. 2. <i>Delineamento experimental</i> | 19 |
| 4.3. <i>Condução da cultura</i> | 19 |
| 4.4. <i>Determinações de campo</i> | 20 |
| 4.5. <i>Determinações laboratoriais</i> | 22 |
| 4.6. <i>Análise de dados</i> | 24 |
| 5. Resultados e discussão ----- | 25 |

| | |
|--|-----------|
| <i>5.1. Azoto amoniacal e nítrico no solo antes da adubação de cobertura.....</i> | <i>25</i> |
| <i>5.2. Estado nutricional azotado das plantas antes da adubação de cobertura.....</i> | <i>26</i> |
| <i>5.3 Estatura e número de espigas por planta</i> | <i>29</i> |
| <i>5.4 Produção de biomassa e índice de colheita.....</i> | <i>32</i> |
| <i>5.5 Concentração de azoto nos tecidos e azoto recuperado.....</i> | <i>35</i> |
| <i>5.6. Evolução fenológica das plantas</i> | <i>40</i> |
| 6. Conclusões----- | 42 |
| 7. Referências bibliográficas ----- | 43 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Valores médios mensais da temperatura do ar (linha) e da precipitação acumulada (barras) para o período de 1970-2000 para a estação meteorológica da Bragança. | 17 |
| Figura 2. Valores médios mensais da temperatura do ar (linha) e da precipitação acumulada (barras) para o período de janeiro a Outubro de 2016 registados na estação meteorológica da Quinta de Santa Apolónia em Bragança. | 18 |
| Figura 3. Fases de desenvolvimento da cultura do milho (Weismann, 2008). | 21 |
| Figura 4. Teores de azoto amoniacal e nítrico no solo antes da adubação de cobertura a partir de amostras de solo colhidas em 30 de junho de 2016. | 25 |
| Figura 5. Estimativas do teor de clorofila nas folhas medidas com o aparelho portátil SPAD-502 Plus antes da adubação de cobertura em 30 de junho de 2016. | 27 |
| Figura 6. Concentração de azoto nas folhas antes da adubação de cobertura em 30 de junho de 2016. | 28 |
| Figura 7. Número médio de folhas por planta registadas no dia 29 de agosto de 2016 em função da dose de azoto e da variedade. | 30 |
| Figura 8. Altura média das plantas estimadas no dia 29 de agosto de 2016 em função da dose de azoto e da variedade. | 31 |
| Figura 9. Número de espigas por planta em função da dose de azoto e da variedade. | 32 |
| Figura 10. Produção de grão em função do tratamento fertilizante e da variedade. | 33 |
| Figura 11. Produção de palha em função do tratamento fertilizante e da variedade. | 34 |
| Figura 12. Índice de colheita em função do tratamento fertilizante e da variedade. | 35 |
| Figura 13. Concentração de azoto no grão em função do tratamento fertilizante e da variedade. | 36 |

| | |
|--|----|
| Figura 14. Concentração de azoto na palha em função do tratamento fertilizante e da variedade..... | 37 |
| Figura 15. Azoto recuperado no grão em função do tratamento fertilizante e da variedade. | 38 |
| Figura 16. Azoto recuperado na palha em função do tratamento fertilizante e da variedade. | 39 |
| Figura 17. Azoto recuperado na totalidade da planta em função do tratamento fertilizante e da variedade..... | 40 |

Índice de quadros

| | |
|---|----|
| Quadro 1. Propriedades de solo determinadas a partir de amostras de solo (0-20 cm) coletadas pouco antes do início dos experimentos. | 18 |
| Quadro 2. Estado fenológico das plantas ao longo da estação de crescimento. | 41 |

1. A cultura do milho

1.1. Aspectos botânicos

O milho é uma planta de metabolismo em C₄, que pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Poales, Família Poaceae, tribo Maydeae, género *Zea* e espécie *Zea mays*, L. (Wikipedia, 2016). Segundo Llaca *et al.* (2011) é uma das culturas mais estudadas no mundo, a par das culturas do trigo e soja, o que revela a sua importância económica.

De acordo com a descrição morfológica da planta de Paes (2012), o milho possui sistema radicular fasciculado, de grande crescimento, e com raízes adventícias que lhe conferem resistência à acama. Estas surgem no estado fenológico de 5 a 6 folhas, estando a parte inicial de desenvolvimento da planta assente no sistema radicular seminal, que é apurado. O caule é um colmo meduloso, ereto, que em boas condições de crescimento desenvolve 16 nós. As folhas são compridas, largas, paralelinerveas, de disposição alterna, lanceoladas, sem lígula, de bainha longa, bordos ásperos, glabras ou pubescentes, com nervuras retilíneas-paralelas e uma nervura funda ao meio da página superior. As flores surgem agrupadas em inflorescências masculinas e femininas (planta monoica). A inflorescência masculina é uma panícula (bandeira) que surge na extremidade do caule e contém duas espiguetas em cada dente. Cada espiguetta tem 2 flores, uma fértil e outra estéril. A inflorescência feminina surge entre o 6º e o 8º nós, na axila das folhas, em número de uma ou, raras vezes, duas e é uma espiga de espiguetas unifloras (maçaroca). A espiga pode ter de 16 a 20 carreiras, em média, e cada carreira cerca de 50 grãos. A espiga é envolvida por brácteas (camisas), de onde saem longos estiletos (barbas) terminados por dois estigmas. As brácteas são solidárias ao pedúnculo e o eixo da espiga é carnudo (carolo). O fruto do milho é uma cariopse indeiscente, monospermico, com semente ligada ao pericarpo e agrupado em infrutescências. O peso de mil grãos varia entre 250 e 300g.

O ciclo da cultura é marcado por um período vegetativo e um período reprodutivo seguindo com os estados fenológicos: germinação, emergência; emissão de folhas; aparecimento de panícula; floração masculina; floração feminina; formação de grão e maturação (Paes, 2012).

De acordo com Del Re e Minichiello (s/d), existem numerosas formas cultivadas de milho que diferem entre si na aparência e que derivam das seguintes variedades botânicas:

Zea mays var. *indurata*, milho duro com endosperma duro e cristalino;

Zea mays var. *indentada*, milho dente-de-cavalo, cujos grãos apresentam uma depressão característica que faz lembrar o dente equino;

Zea mays var. *amilácea*, milho tenro, com endosperma farinhento rico em amido mole;

Zea mays var. *saccharata*, milho doce, grãos com endosperma rico em açúcares;

Zea mays var. *everta*, milho pipoca, com grãos pequenos que se transformam em pipocas quando aquecidos.

Devido à facilidade de se efetuarem cruzamentos a partir das variedades botânicas foram criadas numerosíssimas formas cultivadas. Na perspectiva de que possam ser cultivadas em Angola, elas podem ser classificadas como (Del Re e Minichiello, s/d):

Variedades locais, são variedades originariamente cultivadas tradicionalmente em dada região, adaptadas às condições locais, de produtividade média-baixa e cujas necessidades são bem conhecidas pelos agricultores. A obtenção de semente é fácil, podendo cada agricultor produzir a sua própria semente;

Variedades introduzidas, são variedades locais que demonstraram boas capacidades produtivas podendo tentar-se a sua introdução em áreas com características pedo-climáticas semelhantes. A produção de semente não apresenta problemas mas para se manter as características da variedade é necessário o isolamento das parcelas cultivadas para semente;

Variedades sintéticas, são variedades de polinização livre provenientes do cruzamento de pelo menos 5 linhas puras de boa produtividade e só podem ser obtidas num centro especializado em melhoramento vegetal; e

Variedades híbridas, proveniente do cruzamento de 2, 3 ou 4 linhas puras, sendo mais produtivas mas ao mesmo tempo muito exigentes. Neste caso, a semente só pode ser produzida em centros especializados em melhoramento de plantas e deve ser renovada anualmente.

De acordo com Del Re e Minichiello (s/d), as variedades locais mais utilizadas em Angola são ‘Catete’, recomendada para zonas de baixa pluviosidade devido a apresentar

ciclo curto, e ‘Branco-redondo’ e ‘Dente-de-cavalo’, mais produtivas, embora de ciclo mais longo. Como variedades sintéticas são utilizadas ‘SAM-3’ e ‘Kalahry’ ambas difundidas nas principais áreas produtoras de milho de Angola. Entre os híbridos podem destacar-se ‘ZPSC-85.2b’, de produção nacional, e ‘SR-52’, ambas bem conhecidas dos agricultores. Estes híbridos são de ciclo longo, precisando de condições climáticas favoráveis e de uma técnica de cultivo apurada para se obter o máximo rendimento.

O milho, por ser um dos cereais mais consumidos no mundo, tem despertado o interesse de muitos investigadores. Um dos grandes objetivos do melhoramento genético para estudar esta cultura é tentar obter milhos mais ricos em aminoácidos essenciais e com maior teor em proteína, de forma a aumentar o seu valor nutritivo. Outro objetivo importante é a obtenção de variedades resistentes a pragas e doenças e condições ambientais desfavoráveis (Versiani, 2009).

1.2. Elementos estatísticos

A produção do milho a nível mundial em 2014 atingiu 1 038 281 035 toneladas (FAOSTAT, 2016). Em 2014, os cinco maiores produtores mundiais foram Estados Unidos (361 091 140 t), China (215 646 300 t), Brasil (79 877 714 t), Argentina (33 000 000 t) e Ucrânia (28 496 810 t). O Brasil ocupa o terceiro lugar mundial. Versiani (2009) refere que o Brasil tem a produção ajustada ao consumo interno, não sendo habitual a importação ou exportação de milho.

Em 2014, a produção nacional portuguesa de milho atingiu 933 100 t (FAOSTAT, 2016). Segundo a Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo (ANPROMIS, 2016), o milho constitui a mais importante cultura arvense e é, destacadamente, a que mais explorações agrícolas envolve, com uma estimativa de 80000 unidades produtivas e com uma área semeada de 170000 hectares. Em Portugal cultiva-se de norte a sul do país. O milho é utilizado para produção de grão e forragem (sobretudo silagem). O milho em Portugal afirma-se como um dos casos demonstrativos das potencialidades produtivas da agricultura de regadio gerando, a montante e a jusante, contributos importantes para a vitalidade das economias regionais e nacional. Apesar do milho ser o cereal mais produzido em Portugal, Barros e Calado (2014) referem a produção nacional portuguesa representa apenas 32% das necessidades do país em grão.

De acordo com as estatísticas da FAO (2016) a produção de milho em Angola foi, no ano de 2014, de 1 686 869 t. Os maiores produtores do continente africano são a África do Sul e o Zimbábue. Em Angola, embora este cereal seja cultivado em todas as regiões do país, é na província de Malanje, nos planaltos centrais e em Huila que a cultura se reveste de importância fundamental (Del Re e Minichiello, s/d). Em Angola, as produções unitárias são baixas, encontrando-se próximas de 1 000 kg/ha (FAO, 2016). Material vegetal de melhor qualidade e uma tecnologia de cultura mais intensiva, como o uso de rega e fertilizantes, poderia aumentar significativamente a produção por unidade de área.

1.3. Adaptação ambiental da cultura

O milho durante o seu crescimento e desenvolvimento é limitado por fatores como a disponibilidade de água, temperatura e radiação solar. Para que o mesmo atinja o seu potencial máximo produtivo, é fundamental que a temperatura, precipitação pluviométrica e fotoperíodo alcancem os níveis considerados ótimos (Pereira Filho, 2010).

A planta tende a ter a mesma temperatura do ambiente que a envolve. Devido a este sincronismo, alterações periódicas podem influenciar os processos metabólicos que acontecem no interior da planta. Quando a temperatura é alta, os processos metabólicos tendem a ser mais acelerados; quando a temperatura é mais baixa estes processos tendem a diminuir (Pereira Filho, 2010).

A temperatura ótima do estado que vai da emergência à floração varia entre 24 e 30 °C. Para um maior rendimento em grão e produção de matéria seca, a temperatura nas fases avançadas deve estar próxima de 21 °C. As temperaturas toleráveis para a cultura do milho, sem perda apreciável de rendimento, variam entre 10 °C e 30 °C. Quando as temperaturas se aproximam de 10 °C a planta cessa o seu crescimento e quando a temperatura ultrapassa 30 °C durante períodos muito prolongados, a produção é negativamente afetada e ocorre uma senescência precoce das folhas (Cruz *et al.*, 2006a).

A duração da estação de crescimento também afeta o desempenho da planta. No mercado surge uma grande diversidade de variedades, desde ultraprecoces a ultratardias, com grande variação em termos de exigências térmicas. As variedades mais tardias têm maiores exigências térmicas (soma de temperaturas medidas em °C dia). Em climas favoráveis, as variedades tardias são mais produtivas (Pereira Filho, 2010).

Apesar de ser uma cultura bem adaptada a climas secos, o milho é muito exigente em água. Durante o seu ciclo pode consumir até 600 mm de água. Contudo, pode ser cultivado onde as precipitações variem de 250mm até 5000mm anuais. A quantidade de água utilizada pela planta varia segundo as condições em que se desenvolve. Em climas quentes e secos, a planta em seu estágio inicial atinge um limite de consumo de 2,5 mm/dia. Entre o espigamento e a maturação há um ligeiro aumento no consumo, podendo atingir 5 a 7,5 mm/dia. No limite, se a humidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura bastante elevada, estes valores podem atingir 10 mm/dia (Cruz *et al.*, 2006a). No caso de haver um deficit hídrico na cultura, todas as fases do seu ciclo são afetadas. Na fase do crescimento vegetativo, devido ao menor alongamento celular e à diminuição da massa vegetativa, ocorre uma baixa na taxa fotossintética. A produção de grão também é afetada pela falta de água, pois a menor massa vegetativa limita a produção de fotoassimilados (Pereira Filho, 2010).

Na fase de floração, a ocorrência de dessecação dos pistilos/estigmas conduz a aborto das espiguetas e morte dos grãos de pólen com diminuição de rendimento. Na fase de enchimento do grão, a falta de água na planta provoca o fecho dos estomas, afetando o seu metabolismo com diminuição da taxa fotossintética. Em consequência, a produção de fotoassimilados e sua translocação para os grãos é reduzida (Cruz *et al.*, 2008).

Dos fatores que afetam a produtividade do milho, está o fotoperíodo que corresponde ao número de horas de luz solar. Apesar deste ser um fator climático de variação sazonal, o mesmo não apresenta variação de ano para ano. O aumento do fotoperíodo incide com maior relevância no aumento da duração da etapa vegetativa da planta e também acarreta um incremento no número de folhas emergidas durante a diferenciação do pendão e do número total de folhas produzidas pela planta (Cruz *et al.*, 2008).

De todos os fatores ambientais, um dos que mais determina o potencial produtivo do milho é a radiação solar. Este fator é de extrema importância pois dele depende o processo fotossintético, já que 90% da matéria seca do milho provém da fixação de CO₂ pela fotossíntese. Assim, redução da intensidade luminosa em 30% a 40% por longos períodos retarda a maturação do grão e origina uma queda na produção (Cruz *et al.*, 2006b).

1.4. Aspectos relevantes da técnica cultural

A técnica cultural do milho depende significativamente da região do globo, de tradições locais e do clima. Em pequenas explorações, a técnica cultural assenta em processos manuais enquanto em grandes explorações se utiliza normalmente mecanização integral das técnicas de cultivo.

A época de sementeira varia muito consoante a região e o clima local. Em climas tropicais, um dos aspectos a ter em conta na determinação da época de sementeira é fazer com que o período de floração coincida com os dias mais longos do ano. É também importante que a fase de enchimento do grão coincida com um período do ano em que a temperatura e a radiação solar se apresentem elevadas, isto considerando satisfeitas as necessidades hídricas da cultura (Cruz *et al.*, 2006b). De acordo com Pereira Filho (2010), sendo que nas regiões tropicais a variação da temperatura e comprimento do dia é pouco sentido, o fator que mais determina a época de sementeira é a precipitação, sobretudo a forma como é distribuída a água da chuva ao longo do tempo.

A profundidade de sementeira pode variar dependendo do tipo de solo. É necessário ter em conta que para que a germinação ocorra o solo deve dispor de humidade adequada. Sendo assim, em um solo mais arenoso, as sementes podem ser colocadas a uma profundidade de 5 e 7cm para que possam melhor beneficiar da humidade do solo. Em solos mais argilosos, com drenagem deficiente, as sementes são colocadas a uma menor profundidade, 3 e 5cm, para que não haja impedimento do alongamento do mesocótilo, dificultando a emergência de plântulas (Cruz *et al.*, 2008).

A densidade de sementeira é definida como o número de sementes por unidade de área e desempenha um papel muito importante na produtividade da cultura do milho. A densidade de sementeira depende da água disponível para a planta, da fertilidade do solo, do ciclo da cultura, da época em que se vai semear. Sendo o milho a gramínea mais sensível à variação na densidade de plantação, para que haja maximização da produção de grão é necessário que o número de plantas por hectares esteja em torno de 30000 a 90000 plantas ha⁻¹ (Cruz *et al.*, 2006b).

2. Fertilização das culturas

Os tecidos das plantas podem conter uma enorme diversidade de elementos minerais. Contudo, presentemente, dezassete elementos são considerados essenciais, isto é, sem eles a planta não se desenvolve adequadamente e não pode concluir o seu ciclo biológico. De acordo com Varennes (2003) os dezassete elementos reconhecidos pela ciência como essenciais às plantas são: carbono (C), oxigénio (O) hidrogénio (H), azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), molibdénio (Mo), boro (B) e cloro (Cl). Diversos outros elementos podem ter papéis importantes em algumas plantas ou em algumas etapas da vida de uma planta, mas não podem ser considerados essenciais para todas elas. Esses elementos são designados de benéficos ou eventualmente benéficos (Varennes, 2003). Alguns desses elementos são alumínio (Al), selénio (Se), cobalto (Co), entre outros.

O solo é fundamental para a vida da planta pois para além de dar suporte em termos de fixação, o mesmo pode reservar água e fornecer nutrientes às plantas. Os solos apresentam diferentes níveis de fertilidade e capacidade de fornecer nutrientes às plantas. De uma maneira geral nenhum solo consegue fornecer todos os nutrientes às plantas, pelo menos nas quantidades necessárias. Os fertilizantes orgânicos e minerais são usados para suplementar a disponibilidade natural de nutrientes no solo e favorecer o desenvolvimento das plantas (Alcarde *et al.*, 1998; Santos, 1996). Contudo, é importante fazer uma distinção entre a função dos fertilizantes orgânicos, por vezes designados de corretivos orgânicos, e os fertilizantes minerais. Os segundos destinam-se a fornecer nutrientes às plantas de forma simples e direta. Os primeiros podem melhorar as propriedades físicas e biológicas dos solos promovendo, desta forma, o desenvolvimento das plantas e fornecer ainda elementos minerais embora de uma maneira geral em menores quantidades que os fertilizantes minerais (Santos, 1996; Alcarde *et al.*, 1998).

2.1. Fertilização mineral

De acordo com Silva (1982) os elementos essenciais são divididos em: macronutrientes principais, sendo aqueles que as plantas absorvem em maior quantidade e que no solo não costumam estar disponíveis em quantidades suficientes para satisfazer as necessidades nutritivas das plantas (N, P e K); macronutrientes secundários, sendo aqueles que mesmo absorvidos em grandes quantidades pelas plantas se admite existirem frequentemente no solo

em quantidades suficientes para satisfazer as suas necessidades nutritivas (Ca, Mg e S); e micronutrientes, sendo elementos que são absorvidos pelas plantas em quantidades muito reduzidas (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn).

Cada um destes elementos tem papéis específicos nas plantas que não podem ser substituídos por outros. De seguida identificam-se as principais funções dos nutrientes essenciais no desenvolvimento e metabolismo das plantas (Silva, 1982).

Azoto - Trata-se do elemento mais representado na matéria seca das plantas, logo a seguir ao C, O e H. Os teores médios variam entre 1 e 3 % da matéria seca. O azoto é um constituinte de compostos como a clorofila, proteínas, enzimas e ácidos nucleicos entre outros. A molécula de clorofila converte a energia solar em energia química através do processo da fotossíntese. A energia produzida é essencial para os processos de crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas. Alguns dos efeitos mais notáveis da adubação azotada é exatamente a coloração verde carregada que o azoto induz nas folhas e a aceleração do crescimento. A sua aplicação em excesso favorece a acama e retarda a maturação. O azoto pode encontrar-se no solo essencialmente nas formas orgânica e mineral (amoniacal; e nítrica). Segundo Ernani (2003) os fertilizantes azotados amoniacais e nítricos têm ganho espaço no mercado nos últimos anos, principalmente por apresentarem baixo custo. Os adubos costumam dosear cerca de 30 a 33% de azoto, sendo metade do azoto na forma amoniacal e metade na forma nítrica. O mesmo é fabricado a partir da mistura de amoníaco com ácido nítrico. A escolha do nitrato de amónio como fertilizante azotado apresenta vantagens pois apresenta baixa volatilização e sua dissolução não altera o pH nas imediações dos grânulos. Como desvantagem, ele pode apresentar maiores perdas por lixiviação, por ficar prontamente disponível na solução do solo, além de apresentar maior higroscopicidade do que a ureia e ter a possibilidade de incendiar ou se tornar explosivo quando puro (Ernani, 2003).

Fósforo – A concentração deste elemento na matéria seca varia entre 0,1 e 0,4%. Este elemento é constituinte de vários tipos de compostos entre os quais: os ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolípidos, açúcares fosfatados e compostos ricos em energia. Estas substâncias controlam todos os processos de crescimento. É ainda um componente da fitina, forma que acumula P nas sementes. Desempenha um papel de grande importância pois atua especialmente no desenvolvimento do sistema radicular, no afilhamento e na formação do grão.

Potássio – O potássio não integra a estrutura de nenhum composto orgânico ou estrutural mas está envolvido na síntese de vários. Sendo considerado como elemento de qualidade e rendimento, o potássio age como complemento dos efeitos do azoto e do fósforo. Favorece a síntese de hidratos de carbono, proporciona o aumento do teor de amido nos grãos, e tem grande contribuição na produção de celulose para os tecidos de suporte. Está ainda associado ao bom estado hídrico das plantas e à resistência a pragas e doenças.

Cálcio –É um elemento constituinte das paredes celulares. Parece ser indispensável na formação do sistema radicular. Este nutriente encontra-se sobretudo nas folhas e nas raízes. A deficiência é comum nos solos ácidos e de baixa capacidade de troca catiónica. Nestas circunstâncias o milho pode apresentar as folhas mais novas cloróticas.

Magnésio - O magnésio é um componente da molécula de clorofila e ativador de muitas enzimas. É também componente da pectina e fitina, este último composto um importante fosfato rico em energia, relevante para a germinação das sementes. Tem grande influência no transporte de fósforo para as plantas. É muito comum haver carência de magnésio em solos arenosos ácidos. A deficiência de magnésio na planta pode levar a mesma a desenvolver sintomas de clorose nas folhas (em algumas espécies como o milho e a vinha esta coloração pode ser muitas vezes vermelha por efeito da formação de antocianinas nas folhas). Nos vegetais lenhosos (árvores de fruto) a carência de magnésio pode levar a queda prematura das folhas.

Enxofre – O enxofre é um elemento de grande importância para a vida das plantas pois é constituinte essencial de muitas proteínas. O mesmo ainda tem o papel de favorecer a nitrificação e de intensificar a ação microbiana nos solos. Pela ação oxidante de microrganismos especiais, o enxofre, no solo, é transformado em ácido sulfúrico que permite solubilizar numerosos elementos em particular ferro, alumínio e manganês.

Ferro – É um elemento que se reveste de grande importância para o ótimo desenvolvimento da planta, pois atua como catalisador no processo de formação da clorofila e intervém no processo da respiração. Trata-se de um elemento importante para a troca de elétrons durante as reações bioquímicas. Segundo Silva (1982), o ferro existe em todos os solos em quantidades suficientes para as plantas, mas a sua disponibilidade varia muito em dependência do pH do solo.

Manganês – É um elemento essencial na formação da clorofila, sendo mais comum encontrá-lo nas partes verdes da planta que no material lenhoso. A carência de manganês é mais acentuada em solos calcários que apresentem nível freático à superfície e também em solos arenosos e turfosos. Sendo o pH um fator chave na disponibilidade do manganês no solo pode-se dizer que quanto maior a acidez do solo maior é a quantidade de manganês biodisponível.

Cobre - Está presente numa enzima que atua nos processos de oxidação-redução, normalmente encontrada nos cloroplastos das folhas de algumas plantas, desempenhando assim um papel importante no processo da fotossíntese. É ainda importante para a formação da lenhina nas paredes celulares contribuindo para a sua estrutura e para a estrutura das plantas. A deficiência em cobre manifesta-se por emurchecimento das folhas superiores e seca das pontas sem haver qualquer alteração de cor. Em geral, este elemento encontra-se menos disponível quando o pH é elevado.

Zinco - Este elemento é encontrado em várias partes da planta como raízes, caules, folhas e frutos. As árvores de frutos como a cerejeira têm-se mostrado sensíveis à deficiência do zinco. Alguns cereais como o milho têm-se também mostrado sensíveis à presença do zinco, podendo até haver um aumento de produção pelo uso de pulverizações com sulfato de zinco. Pelo facto de as ervas daninhas terem melhor capacidade de absorção de zinco que as plantas cultivadas, no caso do milho uma das melhores formas de preparação do terreno é deixar cobrir previamente o terreno com estas ervas e enterrá-las posteriormente, colocando assim à disposição das plantas zinco sob a forma assimilável.

Boro – As funções atribuídas ao boro passam pelo desenvolvimento da parede celular divisão celular, desenvolvimento de frutos e sementes e transporte de açúcares, entre outras. O elemento é indispensável ao crescimento das plantas e aconselham-se quantidades muito pequenas para não se tornar tóxico. Atua como elemento nutritivo e é indispensável durante toda vida da planta. Uma carência em boro causa deformação nas folhas e queda prematura das mesmas, tornando-as acastanhadas ou amarelo-avermelhadas nas suas extremidades. A carência de boro pode surgir em todo tipo de solos, mas costuma ser mais frequente em solos calcários.

Molibdénio - É necessário ao desenvolvimento de algumas plantas. No caso das leguminosas, a falta de molibdénio torna as plantas incapazes de fixar o azoto. Os solos

ácidos são os que mais frequentemente apresentam carência em molibdênio. Como forma de melhorar esta carência é aconselhável fazer-se uma calagem passando o nutriente a ser assimilado mais facilmente pelas plantas.

Sódio – É considerado um elemento benéfico, tendo a adição de sódio nas doses necessárias para a cultura um efeito no aumento de rendimento ou de melhoria na qualidade de produção, muito embora esta não seja uma prova suficiente para que este nutriente seja considerado indispensável para o desenvolvimento dos vegetais. Muitas plantas contêm quantidades consideráveis de sódio e certas espécies acabam absorvendo quantidades maiores de sódio que outras. Há também plantas que são beneficiadas pela ação do sódio quando as mesmas denotam uma insuficiência em potássio, enquanto outras só manifestam efeitos benéficos na presença abundante de potássio. Silva (1982) refere que o efeito favorável do sódio na ausência do potássio dá-se pela capacidade de realizar as funções que nas plantas são habitualmente realizadas pelo potássio.

Cobalto – É considerado um elemento benéfico de grande importância. O cobalto é essencial para a fixação de azoto, pois participa na síntese de cobamida e da leghemoglobina nos nódulos. A carência pode causar deficiência de azoto em algumas culturas fixadoras como a soja. Uma deficiência em cobalto ocasiona clorose total seguida de necrose nas folhas mais velhas. Pelo facto de o excesso de cobalto diminuir a absorção de ferro, a planta tende a apresentar sintomas semelhantes aos da carência de ferro quando se encontrar com níveis elevados de cobalto (folhas cloróticas na parte superior das plantas e atrofiamento das mesmas).

2.2. *Fertilização orgânica*

De acordo com Diehl (1989), os corretivos orgânicos compreendem toda a fonte de matéria orgânica suscetível de se decompor no solo para aí dar origem ao húmus e contribuir, deste modo, para o melhoramento das suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Diehl (1989) destaca ainda o papel dos corretivos orgânicos no fornecimento de nutrientes às plantas o que também melhora o seu valor fertilizante para as culturas. Se bem que o seu teor em matéria orgânica humificável seja um fator determinante do seu valor, haverá sempre que ter em conta o seu conteúdo em elementos minerais.

Segundo Diehl (1989), a matéria orgânica dos solos tem por origem nos detritos provenientes dos vegetais e dos animais que neles vivem. Tanto nos solos naturais como nos solos cultivados, a fração de origem vegetal é predominante, mas a parte dos detritos animais não é para desprezar, tendo esta um papel importante nos processos biológicos do solo.

O húmus apresenta uma estrutura orgânica complexa, suscetível de entrar em suspensão coloidal e floculado no solo pelos sais de cálcio e de magnésio. Apresenta propriedades coloidais e carga eletronegativa. A estabilidade das substâncias húmicas é normalmente função da sua relação carbono/azoto (Diehl, 1989).

Na área florestal, é habitual distinguir-se dois tipos de húmus (Diehl, 1989):

- Húmus *mull*, das florestas de folhosas e dos chernozem. Forma-se em meio neutro (pH 7) ou, por vezes, em solos calcários. A razão carbono/azoto é baixa (7 a 15).

- Húmus *mor*, das florestas de resinosas, charnecas de urzes, turfeiras, etc. Forma-se em meio ácido (pH ≤ 5) e a sua razão carbono/azoto é mais elevada (até 20 a 22). A sua decomposição em meio ácido é muito lenta.

Nos solos, a fração humificada da matéria orgânica vai depender essencialmente das condições do meio e da intensidade da atividade biológica existente.

A população microbiana do solo é de elevada importância na ciclagem dos nutrientes a partir do substrato orgânico. O número de bactérias presentes no solo pode variar entre limites consideráveis, de 1 a 50 milhões por grama de terra na camada arável. No subsolo, onde não há substrato orgânico, o seu número é mais limitado. Estas enormes variações explicam-se pela velocidade de multiplicação destes microrganismos e pela sua sensibilidade à ação dos fatores do meio. Nos solos agrícolas, os micróbios estão sobretudo localizados próximo das raízes (rizosfera) onde os detritos orgânicos são mais abundantes (Diehl, 1989).

Excetuando a ação do homem, é, em primeiro lugar, o clima cuja influência se traduz por uma variação sazonal do número de germes, apresentando máximos na primavera e no outono e mínimo no verão e no inverno. A temperatura e a humidade do solo são as duas causas que podem ser invocadas para explicar estas variações. A temperatura ótima de desenvolvimento da maior parte das bactérias do solo situa-se entre 25 e 35° e o máximo de

atividade observa-se quando a humidade se eleva para 60 a 80% da capacidade de retenção, conjunto de condições que, nos nossos climas não têm oportunidade de se realizar senão no fim da primavera e no outono (Diehl, 1989).

As propriedades físicas do solo têm igualmente influência sobre a abundância da flora microbiana e sua natureza. Os solos arenosos e arejados são favoráveis às bactérias aeróbias e à circulação rápida dos microrganismos. Nos solos argilosos, pelo contrário, a sua difusão é mais lenta e as condições de desenvolvimento menos favoráveis (Diehl, 1989).

Os estrumes de curral são por excelência os fertilizantes orgânicos do agrado dos agricultores. Uma das principais vantagens do esterco bovino está no facto de ele contribuir para o melhoramento das condições físicas, químicas e biológicas do solo, podendo ser também usado como alternativa aos fertilizantes minerais e orgânicos para o crescimento e desenvolvimento das mudas (Gomes *et al.*, 2004). Independentemente da origem dos estercos animais, estes promovem o desempenho das culturas quando aplicados ao solo (Kiehl, 2010). De acordo com Primavesi (2002), o esterco de bovino é sobretudo importante pelo aumento da capacidade de troca catiónica, da retenção de humidade, da circulação do ar, da presença de substâncias de crescimento e da agregação das partículas e menos pelo efeito da adição de elementos minerais contidos no esterco.

2.3. Sideração ou adubação verde

Consiste no cultivo de plantas e no seu enterramento no solo como forma de melhorar a sua fertilidade e promover o crescimento das culturas seguintes. É uma técnica muito antiga que continua a ser usada atualmente, pois está devidamente comprovado que aumenta a capacidade produtiva do solo (Donizeti *et al.*, 2006).

O uso da adubação verde sofreu uma redução considerável na década de 1950 e início da década de 1960 devido à mecanização da agricultura e ao grande incentivo ao uso de fertilizantes minerais. Contudo, o interesse pelos adubos verdes ganhou de novo importância devido aos problemas de contaminação ambiental gerados pela agricultura intensiva e pelo aumento da adoção de práticas agroecológicas e de gestão orgânica da fertilidade do solo mais amigas do ambiente (Donizeti *et al.*, 2006).

Os benefícios das culturas para sideração podem ser diversos. Segundo Donizeti *et al.* (2006), elas aumentam o número de culturas da rotação (com redução da incidência de pragas e doenças), promovem a cobertura do solo (com redução da erosão e da amplitude térmica do solo e melhor combate a infestantes), melhoria da estrutura do solo (devido ao efeito do sistema radicular), reciclam nutrientes (absorção em camadas profundas e transporte para a superfície e fixação biológica de azoto) e aumentam o teor de matéria orgânica do solo com todas as vantagens daí decorrentes.

3. Fertilização da cultura do milho

É notável o aumento da produção na cultura do milho das últimas décadas. Este aumento está ligado principalmente à implementação de novas tecnologias, entre as quais o melhoramento genético, a implementação da mecanização e o bom uso da fertilização, seja ela química e/ou orgânica. Para que haja um manejo racional da fertilidade do solo é importante diagnosticar os problemas que o mesmo apresenta.

Coelho *et al.* (2000) apresentam alguns aspetos a ter em conta no momento da adubação do milho, designadamente: i) descrever os possíveis problemas que o solo apresenta, através de uma análise do mesmo, tendo em conta o histórico de fertilizações efetuadas nos anos passados; ii) nos casos particulares em que muitos solos possuem quantidades adequadas de Ca, Mg, etc., quais nutrientes se devem considerar; iii) as quantidades necessárias de N, P, e K a aplicar no momento da sementeira; iv) com base na produção esperada, decidir sobre a fonte, quantidade e época de aplicação do N; e v) ter em conta os possíveis problemas que podem apresentar alguns nutrientes facilmente lixiviados considerando o tipo de solo que vamos ter, se são necessárias maiores quantidades ou possivelmente fracionar a sua aplicação para se evitar problemas de lixiviação ou outro tipo de perdas.

De entre os nutrientes, o azoto é o mais requerido pela cultura do milho e possui importantes funções no metabolismo da planta, como constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, citocromos, clorofila e atua diretamente na expansão e divisão celular (Marschner, 2011).

Os solos, em geral, não suprem a demanda da cultura do milho em termos de azoto. Portanto para se evitar perdas e garantir melhores rendimentos para a cultura é essencial que a adubação azotada seja parcelada (Martin *et al.*, 2014). O manejo da adubação azotada deve suprir a demanda da planta nos períodos críticos, maximizar a percentagem de recuperação do azoto e minimizar o impacto no ambiente pela redução de perdas (Fernandes e Libardi, 2007). A aplicação de azoto em pré-semeadura é muito comum no sistema de plantio direto. Esse tipo de aplicação aumenta o rendimento operacional e proporciona maior flexibilidade para a distribuição do azoto (Basso e Caretta, 2000).

O desenvolvimento do aparelho que estima o valor da clorofila contido nas folhas constitui alternativa promissora para avaliação do nível de azoto nas plantas (Argenta *et al.*, 2001a). Alguns pesquisadores demonstraram uma boa relação entre leitura do clorofilômetro e teor de clorofila na folha (Yadava, 1986; Marquard e Tipton, 1987; Dwyer *et al.*, 1995; Argenta *et al.*, 2001b) e entre teor de clorofila na folha e teor de azoto na planta (Smeal e Zhang, 1994; Argenta *et al.*, 2001b).

3.1. Exigências nutricionais

Ao relatarmos os dados de seus experimentos, Coelho e França (1995) fornecem uma ideia dos nutrientes que são extraídos tanto para uma produção de milho para grão, quanto para silagem. Os mesmos referem que a extração de azoto, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento da produtividade, e que a cultura tem maior exigência em azoto e potássio, seguido de cálcio, magnésio e fósforo. Com relação aos micronutrientes, as quantidades exigidas pela planta são pequenas. Para se ter noção, em uma produtividade de 9 t de grãos/ha, são extraídos 2.1g de ferro, 340 g de manganês, 400 g de zinco, 170 g de boro, 110 g de cobre e 9 g de molibdênio. Os mesmos autores ainda afirmam que as recomendações para uma adubação nitrogenada em cobertura variam muito de acordo as curvas de resposta, histórico da área e produtividade esperada. De modo geral, a cultura de milho em sequeiro tende a ter uma recomendação para a adubação nitrogenada em cobertura variável entre 40 e 80 kg de N/ha, sendo que, para um cultivo de milho irrigado em que o uso da alta tecnologia prevalece com o objetivo de alcançar uma produtividade mais elevada, as doses de azoto a aplicar tendem a variar de 100 a 150 kg/ha.

A aplicação de altas quantidades do elemento está sujeita a maiores perdas, uma vez que a planta tem capacidade de assimilá-lo até certa quantidade. Acima de tal quantidade, o excesso será perdido por meio de processos que ocorrem no ambiente (Martin *et al.*, 2014).

De acordo com ANPROMIS (2016), a forma como a cultura do milho extrai azoto no solo varia muito de acordo com as fases do seu ciclo cultural. Com isto, nas fases que vão de 8-10 folhas, a extração de azoto é mínima, rondando os 10%, devido ao pouco desenvolvimento que apresentam as raízes. Já a partir das fases de 10 folhas até ao escurecimento das barbas, a extração de azoto no solo dá-se de forma mais intensa (60-70%) pois as raízes já se encontram mais desenvolvidas, capacitadas para extrair mais do solo de acordo com as suas necessidades, sendo também nestas fases que a cultura se prepara para o seu potencial produtivo. E, por último, já na fase do enchimento dos grãos, a extração tende a diminuir representando 20-30% das suas necessidades.

4. Material e métodos

4.1. Caraterização do local

O experimento foi realizado na Quinta de Sta Apolónia, na Escola Superior Agrária (ESA) do Instituto Politécnico de Bragança (IPB).

Bragança, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, apresenta um clima temperado com verão quente e seco (IPMA, 2016). A normal climatológica da região para o período 1970-2000 é apresentada na figura 1. A região apresenta duas estações bem definidas, o Inverno em que as temperaturas são muito baixas e limitam o crescimento dos vegetais (durante a noite atingem-se frequentemente temperaturas negativas), e o Verão, em que as temperaturas são elevadas mas a precipitação é reduzida e impede o cultivo de plantas anuais a menos que se possa recorrer a regadio. Esta situação ocorre com o milho, que é uma cultura que tem de ser cultivada no Verão e por isso sujeita a regadio.

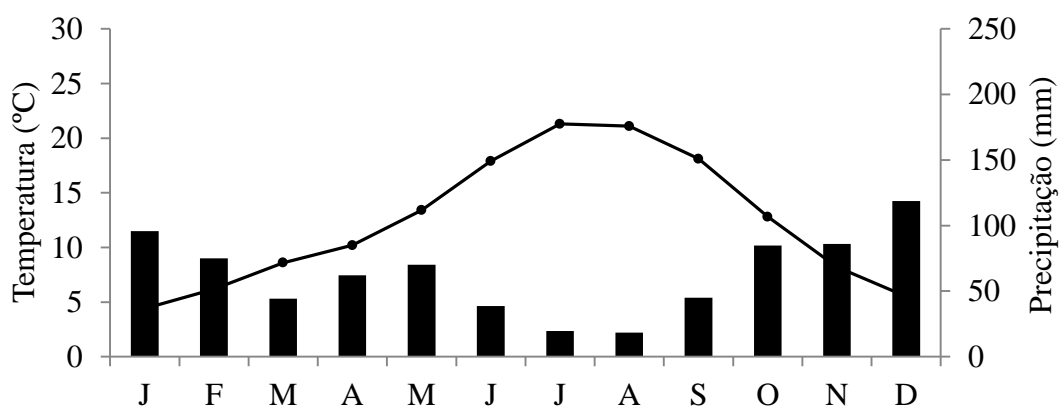


Figura 1. Valores médios mensais da temperatura do ar (linha) e da precipitação acumulada (barras) para o período de 1970-2000 para a estação meteorológica da Bragança.

Na figura 2 apresentam-se os registos meteorológicos da estação da Quinta de Santa Apolónia para o ano de 2016, o que inclui o período em que os ensaios de campo decorreram, de maio a outubro do mesmo ano.

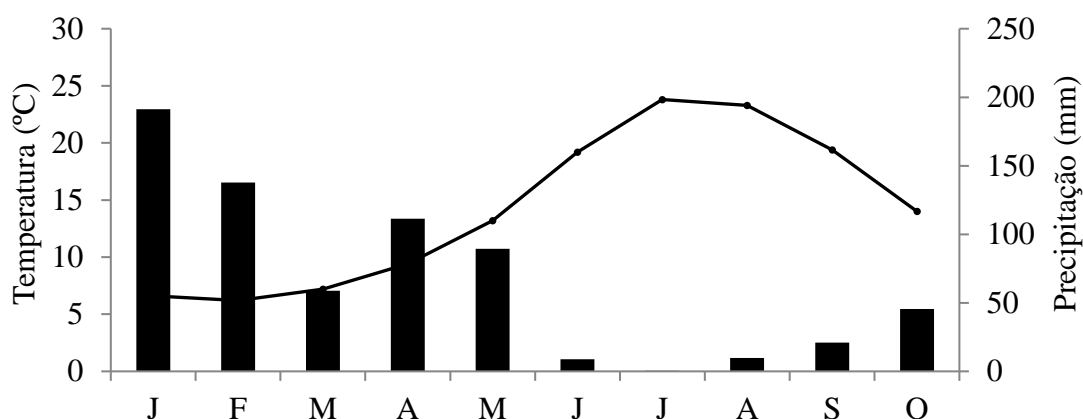


Figura 2. Valores médios mensais da temperatura do ar (linha) e da precipitação acumulada (barras) para o período de janeiro a Outubro de 2016 registados na estação meteorológica da Quinta de Santa Apolónia em Bragança.

Na região de Bragança, Leptosolos, Regossolos e Cambissolos são as classes de solos mais representativas (Afonso e Arrobas, 2009). O solo da parcela onde decorreu o ensaio assenta em rocha básica muito alterada não identificável sob cascalheira de origem diversa. De acordo com a classificação da FAO, inclui-se nos Cambissolos Êutricos (Rodrigues, 2000). Resultados de análises químicas efetuadas antes da instalação do ensaio são apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Propriedades de solo determinadas a partir de amostras de solo (0-20 cm) coletadas pouco antes do início dos experimentos.

| Propriedades do solo | | Propriedades do solo | |
|--|------|--|------|
| Argila (%) | 23,9 | P extraível (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹) | 90 |
| Limo (%) | 21,8 | K extraível (mg K ₂ O kg ⁻¹) | 118 |
| Areia (%) | 54,4 | B extraível (mg kg ⁻¹) | 0,75 |
| pH (H ₂ O) | 5,87 | K trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 0,31 |
| pH (KCl) | 5,28 | Na trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 0,70 |
| CTCe (cmol _c kg ⁻¹) | 9,07 | Ca trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 4,46 |
| | | Mg trocável (cmol _c kg ⁻¹) | 2,70 |

4.2. Delineamento experimental

A experiência consistiu num fatorial completo com dois fatores, designadamente variedades e fertilização. Foram incluídas quatro variedades, duas variedades regionais de polinização livre e dois híbridos comerciais. Uma variedade regional foi obtida em Portugal, na região de Montalegre e a outra em Angola na região sul (província de Benguela). Os híbridos utilizados foram PR36Y03, recomendado para a região Norte de Portugal, e SC411SRT, um híbrido de ciclo mais longo em uso no mercado angolano. A fertilização foi incluída em seis níveis, designadamente duas modalidades de fertilização orgânica (estrume de bovino e um fertilizante orgânico comercial), três modalidades de fertilização azotada mineral com 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ aplicados na forma de nitrato de amónio, e uma modalidade testemunha, sem fertilização. Os fertilizantes orgânicos foram aplicados em quantidade equivalente a 100 kg N ha⁻¹. Foram ainda incluídas na experiência três repetições de cada combinação variedades x fertilização. Cada unidade experimental foi composta de 7 linhas (espaço entrelinhas de 50 cm) com 3 m de comprimento.

4.3. Condução da cultura

O ensaio foi instalado após mobilização do solo com charrua de aivecas, de forma a remover a vegetação espontânea. Posteriormente passou-se um escarificador para preparar a cama para a semente e incorporar os fertilizantes.

No dia 16 de maio de 2016 foi efetuada a aplicação dos fertilizantes nos talhões experimentais. A aplicação foi efetuada de forma manual e os fertilizantes incorporados com uma escarificação, como se referiu. A fertilização mineral foi efetuada de forma fracionada, isto é, a adubação de fundo foi feita no dia 16 de maio de 2016 e consistiu na aplicação de metade da dose do fertilizante mineral em cada um dos talhões fertilizados e a adubação de cobertura que consistiu na aplicação da restante metade do fertilizante foi efetuada no dia 30 de junho de 2016. Os fertilizantes orgânicos foram aplicados em fundo no dia 16 de maio.

Para avaliação da composição dos fertilizantes orgânicos foram retiradas várias amostras dos produtos originais. No caso do estrume, por ser mais heterogéneo, recolheram-se três amostras compósitas da pilha que sofreu compostagem durante o inverno. Para o fertilizante comercial, por se apresentar mais homogéneo, foram usadas apenas duas repetições. Os fertilizantes orgânicos foram pesados em fresco, secos em uma estufa de

ventilação forçada regulada a 70 °C até peso constante e pesados de novo para se calcular a percentagem de matéria seca.

A sementeira foi feita manualmente no dia 17 de Maio de 2016, com um compasso de 50 x 25cm o que representa uma densidade de sementeira de 80 000 plantas por hectare. Após a distribuição das sementes nas linhas, fez-se a incorporação de forma manual, utilizando uma enxada.

Foi feita uma aplicação de herbicida durante o ciclo vegetativo do milho. O mesmo foi aplicado no dia 12 de junho de 2016, isto é, 20 dias após a emergência das plantas.

O ensaio foi regado por aspersão com aspersos de débito equivalente distribuídos regularmente no campo. Após avaliação da pluviometria recuperando a água em copos de plástico tipo piquenique, distribuídos aleatoriamente no terreno, a dotação de rega foi assegurada mantendo constante o tempo de rega. A primeira rega foi efetuada no dia 20 de junho de 2016 (aproximadamente 26 dias após emergência).

4.4. Determinações de campo

Nos dias 02 de julho e 11 de agosto de 2016 foram efetuadas medições do estado nutritivo das plantas de milho com um aparelho portátil (SPAD-502 chlorophyll meter) que estima o teor de clorofila das folhas medindo a transmitância da luz na planta (Rodrigues, 2000). Os valores SPAD podem ser um bom indicador do estado nutritivo azotado, pois a maior parte de N encontrado nas células está ligado à molécula de clorofila.

Amostras de solo compósitas foram colhidas na profundidade 0-20 cm, no dia 30 de junho de 2016, em três repetições por cada tratamento fertilizante, com o auxílio de uma sonda. As amostras foram congeladas até poderem ser analisadas de modo a cessar toda atividade microbiana.

Durante a estação de crescimento, procedeu-se à caracterização das fases de desenvolvimento do milho nas datas de 24 de maio, 21 de junho, 02 e 28 de julho, 01, 11 e 29 de agosto e 23 de setembro de 2016. Usou-se para a caracterização das fases, a escala fenológica representada na figura 3.

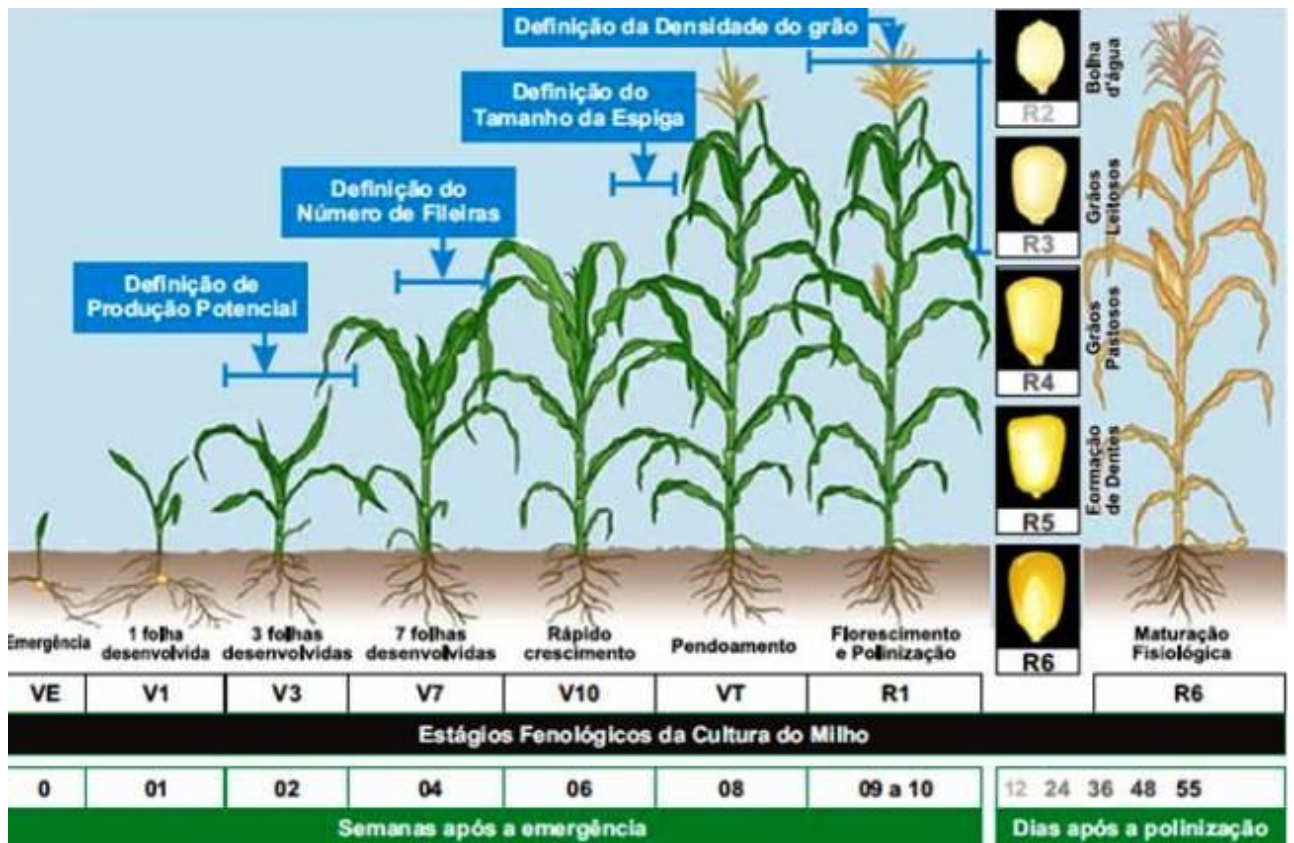


Figura 3. Fases de desenvolvimento da cultura do milho (Weismann, 2008).

Descrição de cada fase:

VE- emergência

V1- uma folha desenvolvida

V3- três folhas desenvolvidas

V7- sete folhas desenvolvidas

V10- rápido crescimento

VT- emissão do pendão

R1- florescimento e polinização

R2- grãos de formato de bolha de água

R3- grãos leitosos

R4- grãos pastosos

R5- grãos farináceos (início da formação de dentes)

R6- maturação fisiológica.

No dia 29 de agosto de 2016 foram cortadas amostras de plantas (a partir da base), a partir das quais se fez a contagem das folhas. Com as plantas deitadas sobre o solo, com a ajuda de uma fita métrica registou-se também a altura das mesmas.

O ângulo das folhas na planta do milho foi medido com ajuda de um compasso e uma régua. Foram selecionadas para a medição a segunda e a quarta folha da planta contando-as a partir de cima. Levou-se uma das pontas do compasso até ao meio do caule e a outra ponta do compasso era aberta até a parte central traseira da folha. Com o compasso aberto tirou-se cuidadosamente o mesmo e levou-se até a régua, para a constatação dos reais valores do ângulo obtido na medição.

No dia 30 de junho de 2016 foram colhidas as primeiras amostras vegetais (folhas) em cada tratamento e com 3 repetições para cada tratamento (variedades e fertilizações), fazendo um total de 72 amostras. Nesta amostragem foram colhidas as folhas mais jovens que apresentavam o limbo já completamente expandido, tal como descrito em LQARS (2006). As amostras foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e levadas ao laboratório para secagem e análise elementar.

Para avaliação da produção as plantas foram colhidas em datas diferentes em função da variedade devido às grandes diferenças na duração dos seus ciclos culturais. Iniciou-se a colheita quando cada variedade atingiu a maturação fisiológica do grão. As plantas foram cortadas pela base com ajuda de uma faca. Foram colhidas 4 plantas por repetição em cada modalidade de fertilização e variedade. As amostras foram devidamente identificadas e levadas ao laboratório para a avaliação da produção total de biomassa, produção de grão e análise elementar aos tecidos.

4.5. Determinações laboratoriais

As amostras de folhas colhidas no dia 30 de junho de 2016, foram levadas à uma estufa de ventilação forçada, regulada a 70 °C. Após a secagem, as mesmas foram moídas num moinho Cyclotec da marca Foss, com um crivo de 1mm de malha. Com a amostra moída foi feita a determinação da concentração de azoto nas folhas.

Após a colheita, a separação da espiga da restante biomassa foi feita de forma manual. O processo de secagem das plantas completava-se ao ar. A totalidade da planta seca era pesada. Posteriormente era retirado o grão das espigas. O grão era pesado e por diferença obtinha-se o peso da palha. De seguida, subamostras de grão e palha eram pesadas e colocadas em estufa regulada a 70 °C e pesadas de novo após secagem. Este procedimento

permitiu obter a biomassa seca dos componentes da planta. Este material vegetal seco foi posteriormente moído e usado para determinações da sua composição elementar.

Nas amostras de solos foram realizadas as seguintes análises:

Teor de humidade - Foram pesadas 20 g de solo fresco e posteriormente colocadas numa estufa de ventilação forçada a 105°C durante 72 horas, até as mesmas atingirem um peso constante. Após a secagem, as amostras voltaram a ser pesadas para se determinar a sua percentagem de humidade.

Teor em nitratos e amónia - Nas amostras de solo fresco fez-se a determinação da concentração dos iões nitrato (NO_3^-) e amónia (NH_4^+). Pesou-se 10 g de solo e adicionou-se 40 ml de KCl 2M. Agitou-se a suspensão durante uma hora e em seguida filtrou-se com papel de filtro Watman 42 (Rodrigues, 2000). A concentração de iões NH_4^+ foi feita pelo método do fenato que tem como princípio a formação de um composto de cor azul, indofenol, pela reação da amónia, hipoclorito e fenol, catalisado pelo nitroprussido de sódio (Clescerl *et al.* 1998). As leituras foram feitas por espectrofotometria de absorção molecular a 640 nm. A determinação dos nitratos foi feita por espectrofotometria na gama ultravioleta. A medição da absorção UV a 220 nm auxilia a determinação acelerada de NO_3^- , pois a matéria orgânica dissolvida também absorve a 220 nm e o ião nitrato não absorve a 275 nm. Assim, faz-se uma segunda medição a 275 nm para se corrigir o valor NO_3^- (Clescerl *et al.* 1998). Para este método foi utilizado um espectrofotómetro UV/VIS T80 PG instrument Lda.

Nos tecidos vegetais colhidos para análise (folhas, grão e palha) efetuou-se a determinação da concentração de azoto nos tecidos. Para o efeito colocou-se 1g de amostra em tubos para análise kjeldhal. Dentro de cada tubo colocaram-se duas pastilhas de um catalisador que contém em sua composição 5 g de sulfato de potássio e 0,1 g de sulfato de cobre e em seguida adicionou-se 15 ml de ácido sulfúrico. Após este procedimento, levou-se o suporte ao digestor em alumínio durante uma hora e dez minutos, a uma temperatura de 420 °C. No fim da digestão fez-se a titulação da amónia arrastada numa corrente de vapor num equipamento automático Kjeltex TM 8400 Analyser unit FOSS onde se obtiveram os valores da concentração de azoto.

4.6. Análise de dados

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Em algumas situações verificou-se a existência de interação entre os fatores em estudo (variedades x fertilização). Quando não se registou interação significativa e ocorreram diferenças significativas entre tratamentos, as médias foram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

5. Resultados e discussão

5.1. Azoto amoniacal e nítrico no solo antes da adubação de cobertura

A quantidade de ião amónio no solo nos diferentes tratamentos fertilizantes não apresenta diferenças significativas, variando os valores entre 1,0 e 1,7 mg kg⁻¹ (Figura 4). Pelo contrário, os teores de nitratos no solo variaram significativamente com os tratamentos fertilizantes. Os tratamentos nos quais foram adicionadas maiores quantidades de azoto, apresentam valores de nitratos no solo mais elevados.

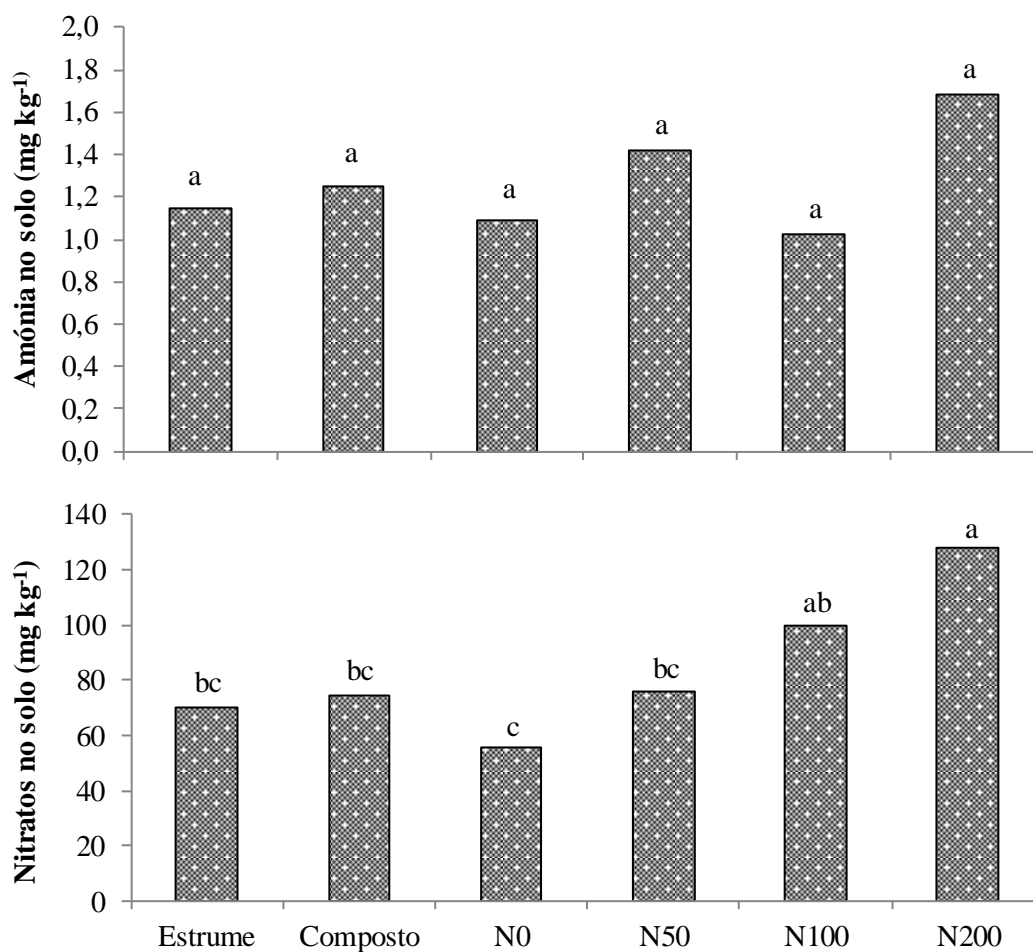


Figura 4. Teores de azoto amoniacal e nítrico no solo antes da adubação de cobertura a partir de amostras de solo colhidas em 30 de junho de 2016. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

O tratamento N200 apresentou os valores médios mais elevados (128,2 mg kg⁻¹), seguido do tratamento N100 (99,6 mg kg⁻¹). A testemunha que não levou qualquer tipo de fertilizante (N0) foi a que apresentou valores de nitratos no solo mais baixos (55,3 mg kg⁻¹).

Pelo facto do azoto ser um macronutriente de extrema importância para os cultivos, produtividades elevadas dependem da disponibilidade de azoto no solo e esta vai depender de certa forma da adubação azotada e da forma em que o nutriente é aplicado. As plantas absorvem as duas formas de azoto (amoniacoal e nítrico), mas a maior parte é absorvido pelas plantas na forma de nitrato (NO₃⁻) e em menor quantidade na forma amoniacoal (NH₄⁺) (Martin *et al.*, 2014). A disponibilidade de azoto no solo depende também da qualidade de matéria orgânica no solo.

A disponibilidade de azoto mineral no solo imediatamente antes da adubação de cobertura dá informação sobre a necessidade de se aplicar fertilizante azotado e pode ajudar a estimar a quantidade de azoto a aplicar em cobertura. Foi desenvolvido um índice de disponibilidade de azoto baseado neste princípio designado de *pre-sidedress soil nitrate test* que tem tido grande aceitação internacional (Rodrigues, 2000).

5.2. Estado nutricional azotado das plantas antes da adubação de cobertura

O estado nutricional azotado das plantas foi avaliado através da determinação da intensidade da cor verde das folhas com o medidor de clorofila portátil SPAD 502 Plus e através da determinação da concentração de azoto nas folhas.

Os valores SPAD mostraram diferenças significativas entre tratamentos fertilizantes e entre variedades (Figura 5). Entre os tratamentos com fertilizante mineral, as doses mais elevadas originaram os valores SPAD mais elevados e vice-versa. Os tratamentos com fertilizantes orgânicos tiveram um comportamento intermédio entre N0 e N200, apresentado o composto valores médios mais elevados que o estrume.

As variedades híbridas (PR36Y03 e SC411SRT) apresentaram valores SPAD idênticos entre si, mas com diferenças significativas para as variedades regionais (Angola e Montalegre).

Argenta *et al.* (2001c) utilizou um aparelho que designou de clorofilómetro em um ensaio de fertilização onde avaliou diversos outros parâmetros como concentração e acúmulo

de azoto, produção de matéria seca e área foliar, como indicadores do nível de azoto na planta de milho. Os autores constataram que o melhor indicador do nível de azoto na planta de milho, de entre as características avaliadas, foi a leitura com o clorofilómetro.

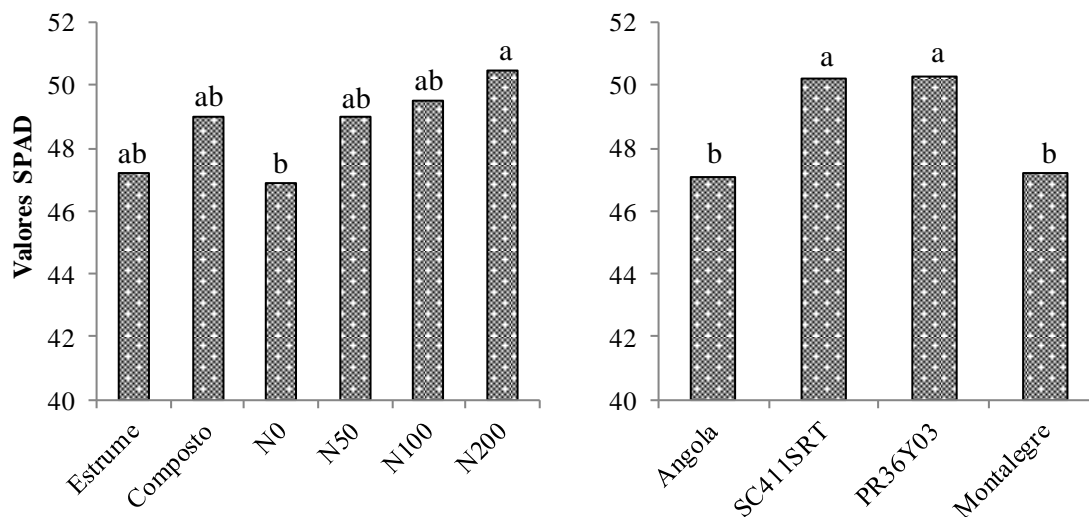


Figura 5. Estimativas do teor de clorofila nas folhas medidas com o aparelho portátil SPAD-502 Plus antes da adubação de cobertura em 30 de junho de 2016. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

Os valores de clorofila SPAD-502 constituem-se como um indicador do estado azotado que se tem utilizado em diversas culturas e tem mostrado resultados satisfatórios (Ferreira, 2008; Pereira *et al.*, 2009), talvez devido ao facto da maior parte do azoto das células se encontrar associado à molécula de clorofila (Arrobas *et al.*, 2013).

Monitorar o índice de cor verde da folha pode ajudar a avaliar o azoto disponível para a planta do milho durante o ciclo (Godoy *et al.*, 2007). Os valores SPAD registados nas folhas da planta do milho neste trabalho podem ser considerados baixos de acordo com Argenta (2001) que descreveu que na planta de milho os valores considerados apropriados para os estádios de três a quatro folhas, seis a sete folhas, dez a onze folhas e de espigamento devem estar acima de 45,4, 52,1, 55,3 e 58,0, respetivamente. Pois a época em que se fez a medição, as plantas encontravam-se em estádios vegetativos V7 (sete folhas desenvolvidas), com exceção a variedade de Montalegre que estava na eminência do estádio VT (emissão do

pendão). Assim, de acordo com os valores apresentados por Argenta (2001), apenas a variedade SC411SRT no tratamento N200 apresentou valores adequados (52,9).

Os valores mais elevados de azoto nas folhas foram registados nos tratamentos fertilizantes N100 e N200 (Figura 6). Entre fertilizantes orgânicos uma vez mais o composto apresentou valores significativamente mais elevados em relação ao estrume. O estrume apresentou valores médios inferiores à testemunha ainda que sem diferenças significativas para esta modalidade. A variedade Angola e os híbridos apresentaram concentração de azoto nas folhas sem diferenças significativas entre eles, embora os valores médios tenham sido mais elevados na modalidade Angola. A variedade Montalegre apresentou valores significativamente inferiores às demais variedades.

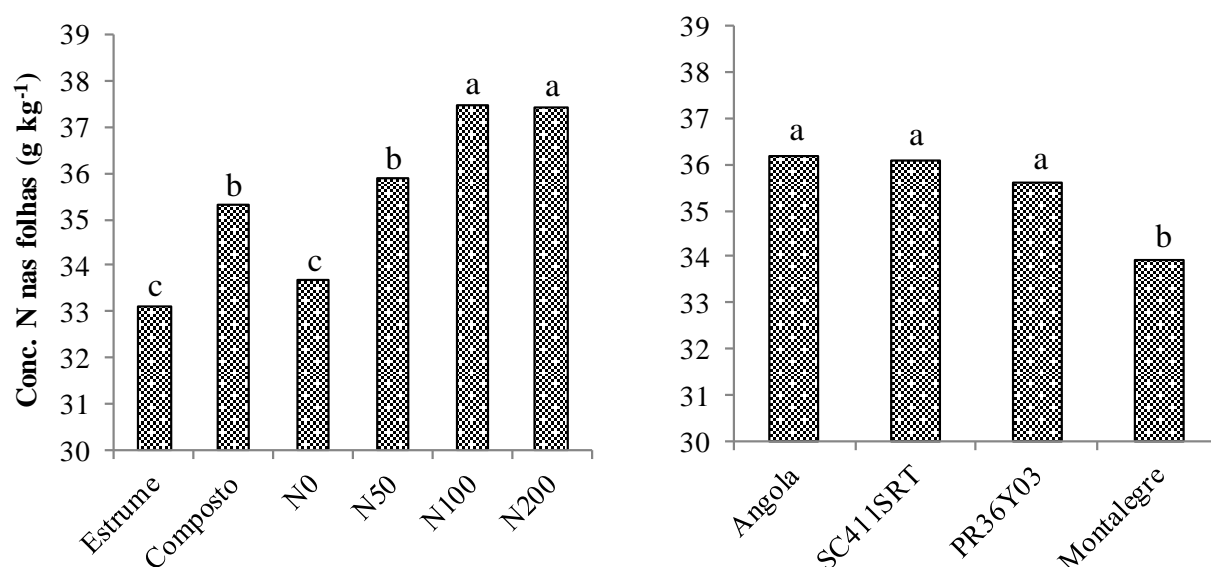


Figura 6. Concentração de azoto nas folhas antes da adubação de cobertura em 30 de junho de 2016. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

Apesar de nos estádios iniciais de crescimento da planta esta necessitar de menor quantidade de nutrientes, algumas pesquisas revelaram que muitas das vezes a existência de elevadas concentrações de azoto na zona radicular são benéficas para a promoção do rápido

crescimento inicial da planta e para o aumento da produtividade (Mendonça, 2015). Estas pesquisas estão de acordo com os resultados obtidos neste trabalho onde se constatou que as doses mais elevadas de azoto (N100 e N200) foram as que apresentaram maiores valores de concentração de azoto nas folhas. De qualquer forma, as folhas foram colhidas antes da adubação de cobertura, significando isto que só ainda tinha sido aplicada metade da dose do azoto nos tratamentos com fertilização mineral. Este aspeto não levanta dificuldades à cultura porque segundo ANPROMIS (2016) a máxima absorção de azoto só ocorre a partir da fase de 10 folhas e até ao escurecimento das barbas. Neste ensaio, as variedades basicamente encontravam-se em transição do estágio V3 (3 folhas desenvolvidas) para V7 (7 folhas desenvolvidas) e V7 (7 folhas desenvolvidas) para V10 (rápido crescimento) para a variedade de Montalegre. Por outro lado, o manejo da adubação azotada deve suprir a demanda da planta nos períodos críticos, maximizar a percentagem de recuperação de azoto e minimizar o impacto no ambiente (Fernandes e Libardi, 2007).

5.3 Estatura e número de espigas por planta

O número de folhas (figura 7) por planta foi avaliado apenas em dois tratamentos fertilizantes extremos, N0 e N200. Mesmo entre as doses de fertilização de 0 e 200 kg N ha⁻¹ não ocorreram diferenças significativas no número de folhas por planta.

Entre variedades, o número de folhas por planta variou de forma significativa. A variedade regional angolana apresentou os valores médios mais elevados (18,22 em N0 e 17,22 em N200), seguida do híbrido SC411SRT com médias de 16,11 e 15,78 folhas por planta, para os tratamentos N0 e N200, respetivamente. PR36Y03 apresentou uma média de 12,86 folhas por planta para N0 e 12,29 para N200. A variedade regional de Montalegre registou os menores valores médios com 9,21 e 9,14 folhas por planta para os tratamentos fertilizantes N0 e N200, respetivamente.

O número de folhas foi decrescendo significativamente da variedade de ciclo mais longo à variedade de ciclo mais curto. Embora as variedades para o número de folhas se tenham mostrado equilibradas e sem sofrerem efeito significativo da adubação azotada, os dados apresentados (maior ciclo/maior número de folhas – menor ciclo/maior número de folhas) vão de encontro aos da pesquisa apresentada por Cruz *et al.* (2008) onde se estudou o comportamento de uma variedade de ciclo precoce e outra de ciclo semiprecoce.

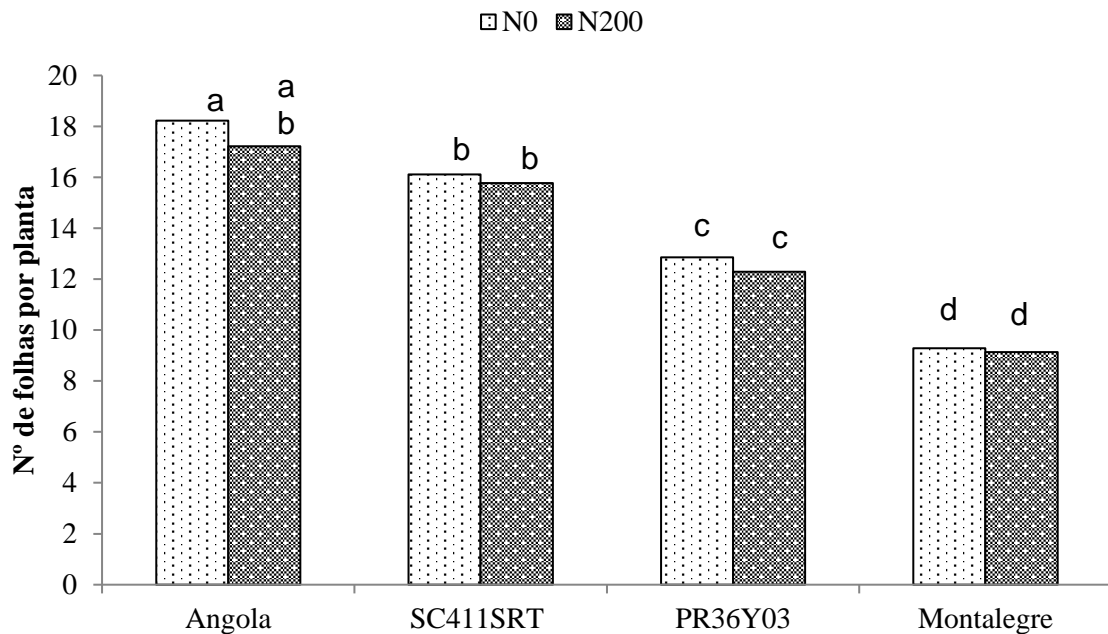


Figura 7. Número médio de folhas por planta registadas no dia 29 de agosto de 2016 em função da dose de azoto e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A altura das plantas foi também determinada para os tratamentos fertilizantes N0 e N200 e para as quatro variedades (Figura 8). O valor mais elevado foi encontrado para a variedade regional Angola quando submetida ao tratamento fertilizante N200 (3,58 m), embora as diferenças não tenham sido significativas para a modalidade N0 (3,36 m) e também para os valores da variedade híbrida SC411SRT (3,48 m em N0 e 3,42 m em N200). Os valores médios mais baixos foram registados para a modalidade regional Montalegre no tratamento fertilizante N0 (2,17 m).

Embora em algumas variedades os valores médios da altura tenham sido ligeiramente superiores com o aumento das doses de azoto essas diferenças não tiveram significado estatístico. A altura esteve relacionada com a duração do ciclo. Borges *et al.* (2011) também verificaram que as cultivares precoces geralmente apresentam menor altura, menor massa vegetativa e menor tamanho das folhas. Estas características morfológicas determinam um

menor sombreamento na cultura, o que possibilita menor espaçamento entre as plantas e melhor aproveitamento de luz para os processos fotossintéticos.

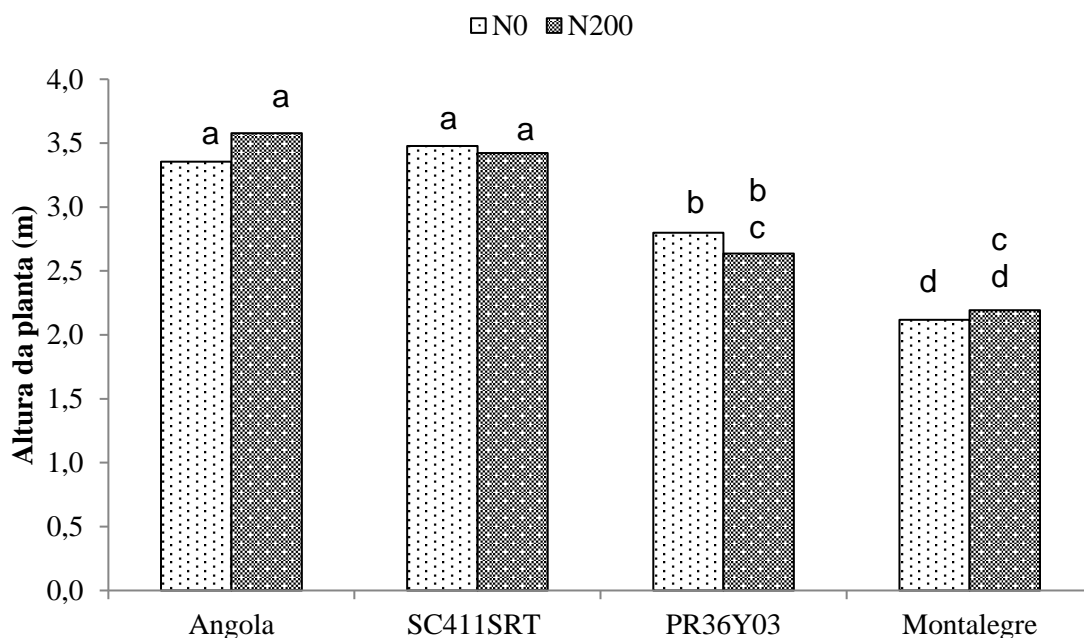


Figura 8. Altura média das plantas estimadas no dia 29 de agosto de 2016 em função da dose de azoto e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

O número de espigas por planta foi um parâmetro muito estável, com reduzida variação entre tratamentos fertilizantes. Contudo, entre variedades ocorreram diferenças significativas (Figura 9). A variedade Angola apresentou os valores médios mais baixos e grande diferença entre amostras. A variedade Montalegre apesar de ser a planta de menor estatura apresentou o maior número médio de espigas por planta.

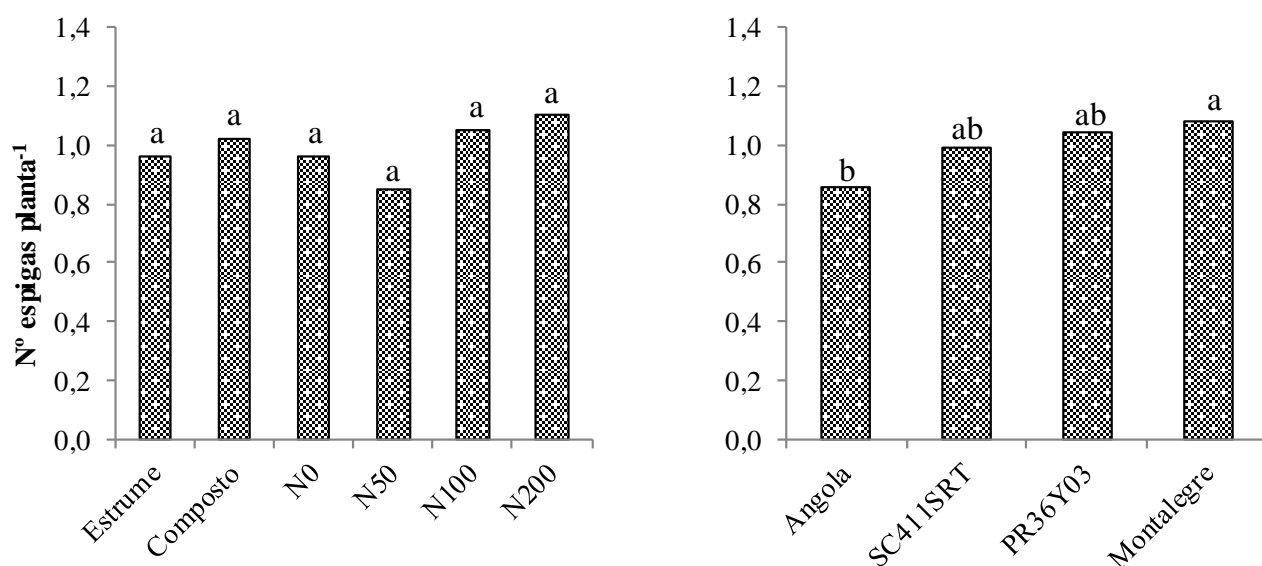


Figura 9. Número de espigas por planta em função da dose de azoto e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

5.4 Produção de biomassa e índice de colheita

A produção de biomassa total da cultura foi avaliada através da determinação da produção de grão e da produção da palha em separado. A produção de grão aumentou de forma significativa com a dose de azoto (Figura 10). O estrume originou resultados equivalentes à testemunha e o composto um pouco mais elevados praticamente ao nível do tratamento N50.

A produção de grão variou também de forma significativa com as variedades. O híbrido SC411SRT apresentou a produção média mais elevada ($9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), seguido do híbrido PR36Y03 ($8,1 \text{ Mg ha}^{-1}$). A variedade Montalegre teve uma produção razoável ($5,7 \text{ Mg ha}^{-1}$), tendo em conta que é de ciclo particularmente curto. A variedade regional Angola originou valores muito baixos ($0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), tendo em conta a biomassa total acumulada na planta.

O rendimento da cultura foi notavelmente influenciado pelo aumento das doses de azoto no solo. Henriques *et al.* (2010) se depararam com resultados similares quando avaliaram diferentes níveis de fertilização azotada (N 0, 50, 100, 200 e 400) com as variedades de

milho (ZM521 e Branco Redondo) nas condições de sequeiro e época chuvosa. Segundo os mesmos autores, o rendimento da cultura na presença de água (época das chuvas) em resposta ao azoto, apresentou um máximo para a dose de N200. De certa forma, a produtividade do milho acaba por ser influenciada por aspetos fisiológicos, fenológicos e pelo manejo da cultura. Particularmente falando do manejo da cultura, tem um aspeto que se destaca bastante que é a adubação azotada. Martin *et al.* (2014) afirmam que quando não se tem outros fatores limitantes, a oferta mineral em quantidades e em estádios responsivos proporciona bons rendimentos. Por outro lado, o excesso de azoto pode prolongar o ciclo vegetativo sem que aumente a produção de grão. Os grãos contêm grandes quantidades de proteína. Durante a produção de sementes, o azoto é translocado das folhas e enviado para os grãos. Se faltar azoto na planta, a produção de sementes é pequena (Braga, 2010).

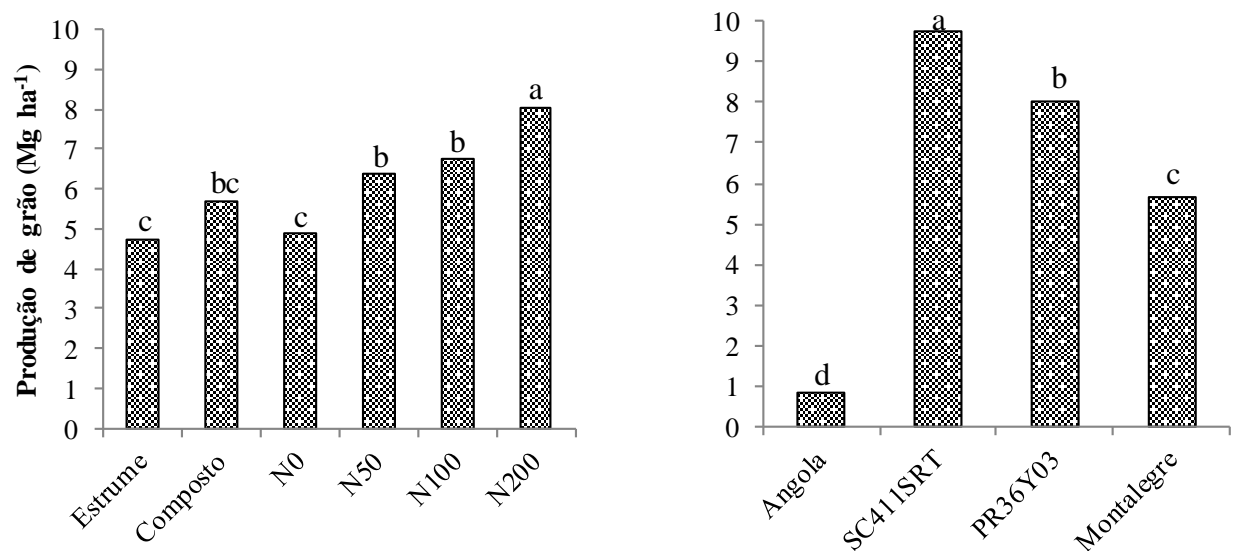


Figura 10. Produção de grão em função do tratamento fertilizante e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A produção de palha aumentou de forma significativa com a dose de azoto aplicado na forma mineral (Figura 11). O composto teve um efeito mais evidente sobre o crescimento das plantas que o estrume de bovino, tendo registado o valor médio mais elevado (22,4 Mg ha⁻¹) entre todas as modalidades fertilizadas. Entre variedades, Angola atingiu os valores médios mais elevados (29,1 Mg ha⁻¹), seguida dos híbridos SC411SRT (20,2 Mg ha⁻¹) e

PR36Y03 (18,1 Mg ha⁻¹). A variedade Montalegre apresentou valores de produção de palha particularmente baixos (8,2 Mg ha⁻¹).

Os valores obtidos em quantidade de palha, devem-se muito à fenologia que cada variedade apresenta. Sendo que uma variedade de ciclo mais longo vai extrair maior quantidade de azoto do solo, fazer mais fotossíntese e, conseqüentemente, vai produzir mais palha.

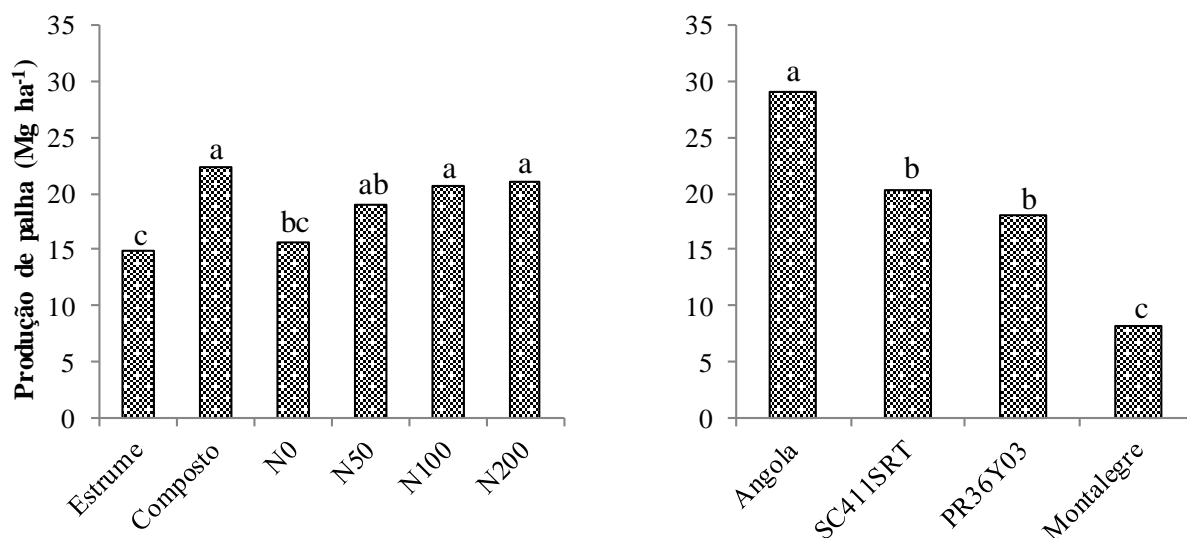


Figura 11. Produção de palha em função do tratamento fertilizante e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

O aumento da fertilização azotada parece ter melhorado o índice de colheita, sendo que o composto apresentou os valores médios mais baixos (0,23). Os tratamentos N100 e N200 apresentaram os maiores índices de colheita. A variedade Montalegre apresentou os valores médios mais elevados (0,41) entre variedades, estando o milho Angola na posição oposta, com o valor mais baixo (0,03) (Figura 12). Os híbridos comerciais SC411SRT e PR36Y03 apresentaram resultados similares entre si.

A intensidade com que a cultura do milho expressa o seu potencial genético é determinada por sua interação com o regime de radiação solar, temperatura do ar, déficit de

pressão de vapor, velocidade do vento e características físico-hídricas do solo (Silva *et al.*, 2006). No período de enchimento dos grãos, a temperatura é o elemento do ambiente que mais afeta o seu rendimento, devido ao efeito dela na taxa de acúmulo de massa seca nos grãos (Silva *et al.*, 2006). A produtividade do milho pode ser reduzida, bem como a composição proteica do grão pode ser alterada, em decorrência das temperaturas acima de 35°C. Contudo, tendo em conta que todos os tratamentos estiveram sujeitos às mesmas variáveis ambientais, com exceção da disponibilidade de azoto no solo, fica demonstrado que também esta variável influencia o índice de colheita, para além do efeito mais importante que é o das variedades, ou seja o efeito genético.

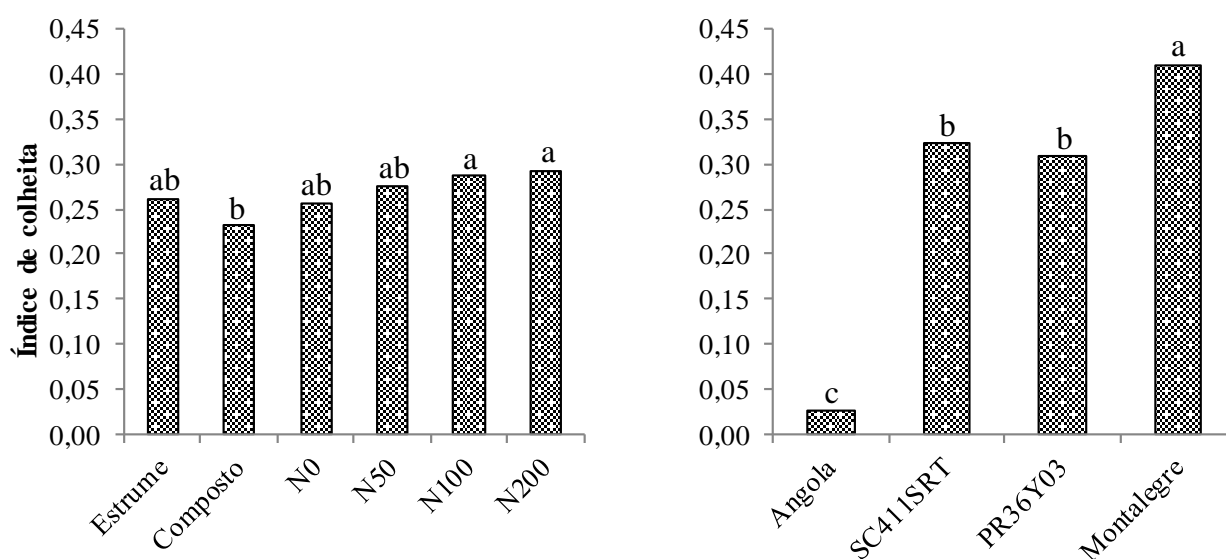


Figura 12. Índice de colheita em função do tratamento fertilizante e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

5.5 Concentração de azoto nos tecidos e azoto recuperado

A concentração de azoto no grão mostrou diferenças significativas entre tratamentos fertilizantes (Figura 13). As concentrações médias mais elevadas foram registadas na modalidade N 200 (18,4 g kg⁻¹) e as mais baixas na modalidade N0 (13,8 g kg⁻¹). Grande parte do azoto contido nas folhas é remobilizado para o grão durante a produção de sementes (Braga, 2010). Isto significa que quando há elevada quantidade de azoto nas folhas mais

tarde ele aparece no grão. O tratamento composto apresentou concentrações de azoto no grão ligeiramente superiores ao estrume e posicionadas entre as dos tratamentos N50 e N100.

A variedade Angola que produziu pouquíssimo grão, mas registou os valores mais elevados de concentração de azoto no grão. A variedade SC411SRT que produziu maior quantidade de grão, apresentou valores de concentração de azoto significativamente mais baixos que as restantes variedades. Isto mostra um efeito de diluição, uma vez que nas variedades mais produtivas o azoto na palha é distribuído por maior massa de grão.

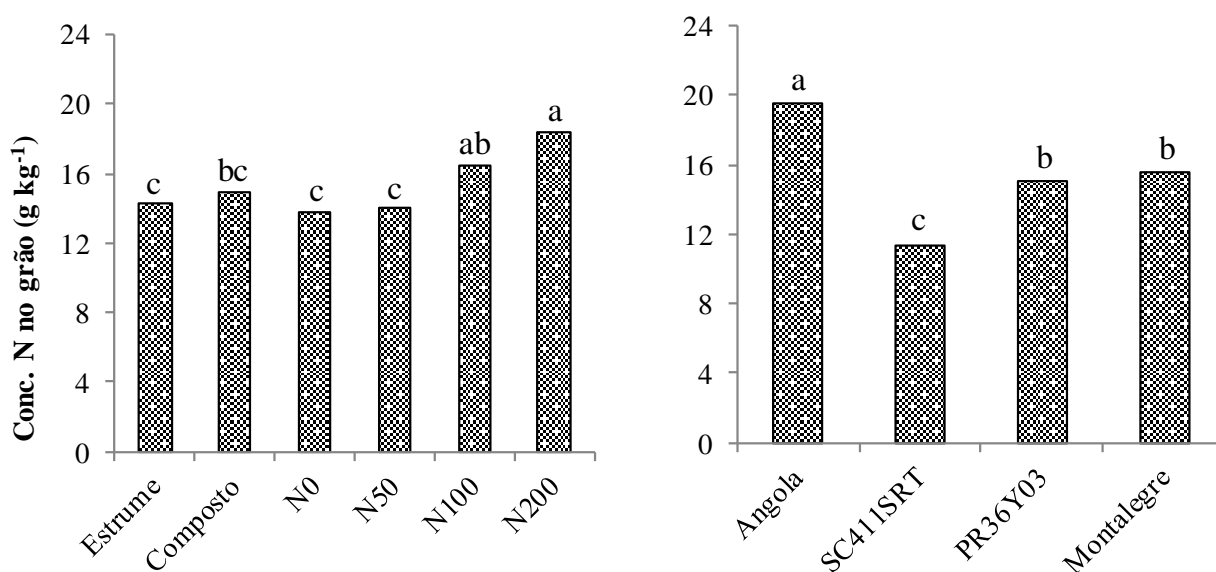


Figura 13. Concentração de azoto no grão em função do tratamento fertilizante e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

A concentração de azoto na palha variou significativamente com os tratamentos fertilizantes. Registou-se um aumento da concentração de azoto na palha com o aumento da dose de azoto aplicada na forma mineral. Este resultado era esperado, pelo facto de as variedades estarem a responder de forma positiva ao aumento das doses de azoto, demonstrando uma maior extração nas doses mais elevadas de azoto. Os fertilizantes orgânicos apresentaram valores médios mais baixos que os minerais, inclusive que a modalidade testemunha, em particular a modalidade com estrume (Figura 14).

As variedades regionais Angola e Montalegre mostraram teores de azoto na palha significativamente mais elevados que as variedades híbridas (Figura 14).

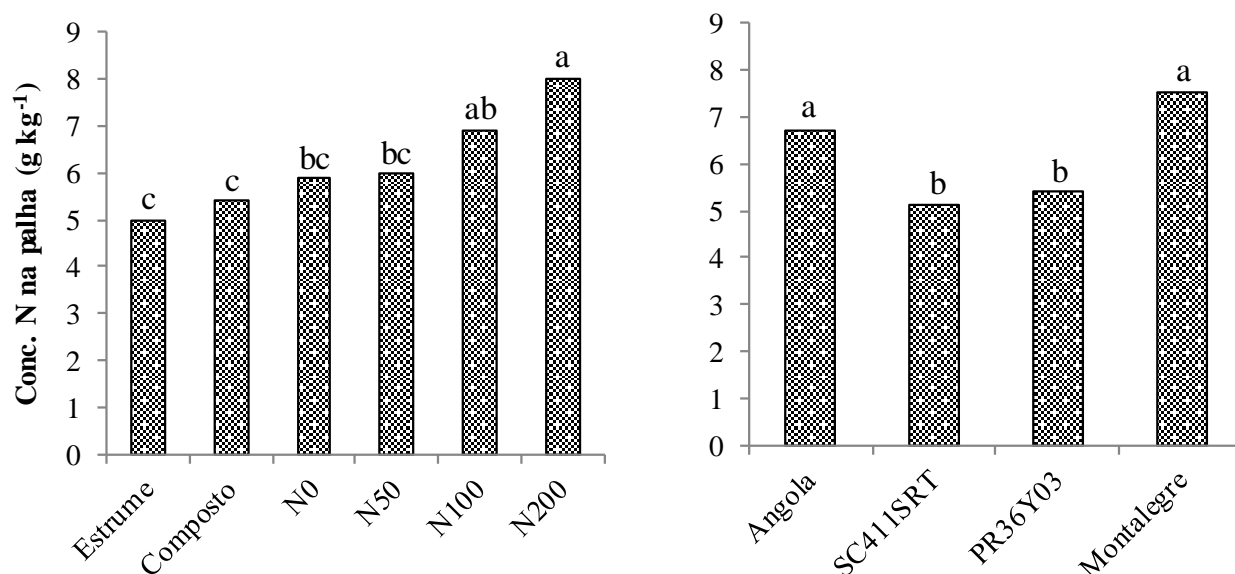


Figura 14. Concentração de azoto na palha em função do tratamento fertilizante e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

O azoto recuperado no grão é função da produção de grão e da sua concentração em azoto. O azoto recuperado no grão variou de forma significativa com os tratamentos fertilizantes, tendo os valores mais elevados sido registados na modalidade N200 (128,4 kg ha⁻¹) seguidos da dose N100 (97,2 kg ha⁻¹) (Figura 15). Os tratamentos estrume e N0 foram os que apresentaram os valores mais baixos de azoto recuperado no grão, não apresentando diferenças significativas entre si.

As variedades híbridas recuperaram significativamente mais azoto que as variedades regionais (Figura 15). O híbrido PR36Y03 registou os valores médios mais elevados (122,6 kg ha⁻¹) e a variedade regional Angola os valores médios mais baixos (15,6 kg ha⁻¹), esta devido aos valores muito baixos de produção de grão. Por ser uma variedade regional de Angola e muito adaptada as regiões tropicais, a mesma apresenta um ciclo vegetativo bastante longo, sendo insuficiente a duração da estação de crescimento em Bragança, o que levou a mesma a não conseguir alcançar o fim de ciclo e o seu máximo potencial produtivo.

Segundo Nova *et al.* (1972) a quantidade de energia exigida por uma cultura tem sido expressa em graus-dia, ou unidades térmicas de desenvolvimento, ou exigência térmica, ou calórica, ou unidade de calor. O conhecimento das exigências térmicas, desde a emergência ao ponto de maturidade fisiológica, é fundamental para a previsão da duração do ciclo da cultura em função do ambiente. Essas informações, associadas ao conhecimento da fenologia da cultura, podem ser utilizadas no planejamento para definição da época de sementeira, da utilização de insumos (fertilizantes, inseticidas, fungicidas e herbicidas, principalmente), da época de colheita (colheita de grãos ou momento de corte de milho para silagem) (Gadioli *et al.*, 2000). A cultura do milho, segundo Garcia (1993), Fancelli e Neto (2000) e Berlato *et al.* (1984) apresenta as seguintes exigências térmicas em graus-dia, da emergência à maturação fisiológica: a) híbridos tardios: graus-dia superior a 890; b) híbridos precoces: graus-dia superior a 831 e inferior a 890; c) híbridos super precoces, graus-dia inferior a 830.

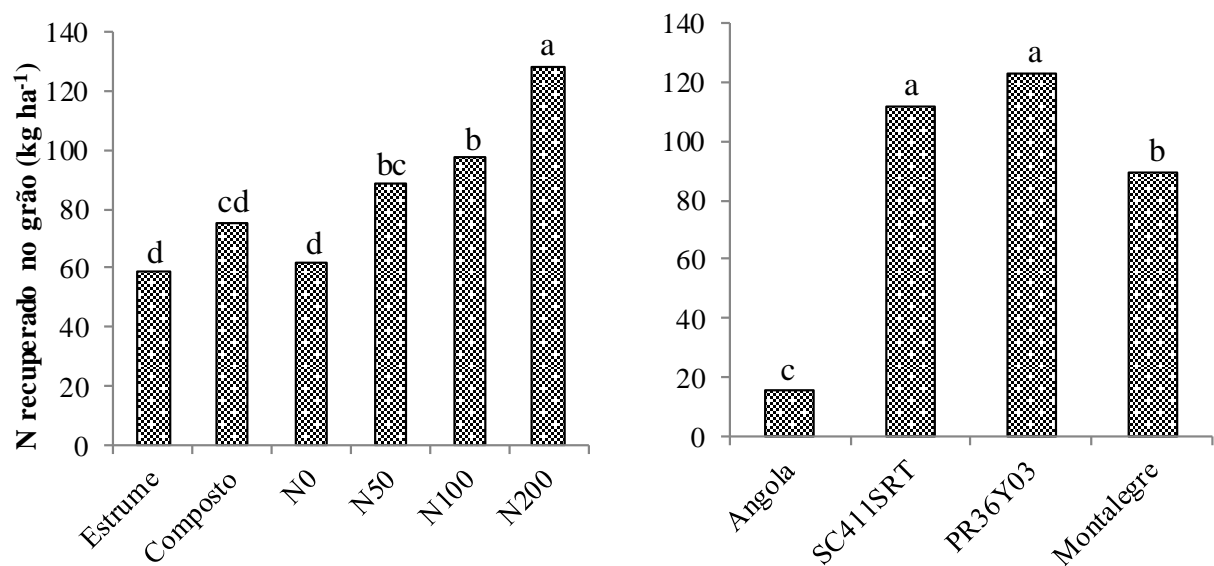


Figura 15. Azoto recuperado no grão em função do tratamento fertilizante e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

O padrão de azoto recuperado na palha foi idêntico ao registado no grão. O tratamento fertilizante N200 apresentou os valores mais elevados (Figura 16). O tratamento estrume foi o que apresentou valores mais baixos de azoto recuperado na palha. O composto apresentou valores médios acima da modalidade N50 e abaixo da modalidade N100.

A variedade Angola, contrariamente ao observado para o grão, registou os valores mais altos de azoto recuperado na palha, tendo-se aproximado de 200 kg N ha⁻¹. Os híbridos apresentaram valores sem diferenças significativas entre si e a variedade Montalegre apresentou os menores valores, com diferenças significativas para as restantes variedades.

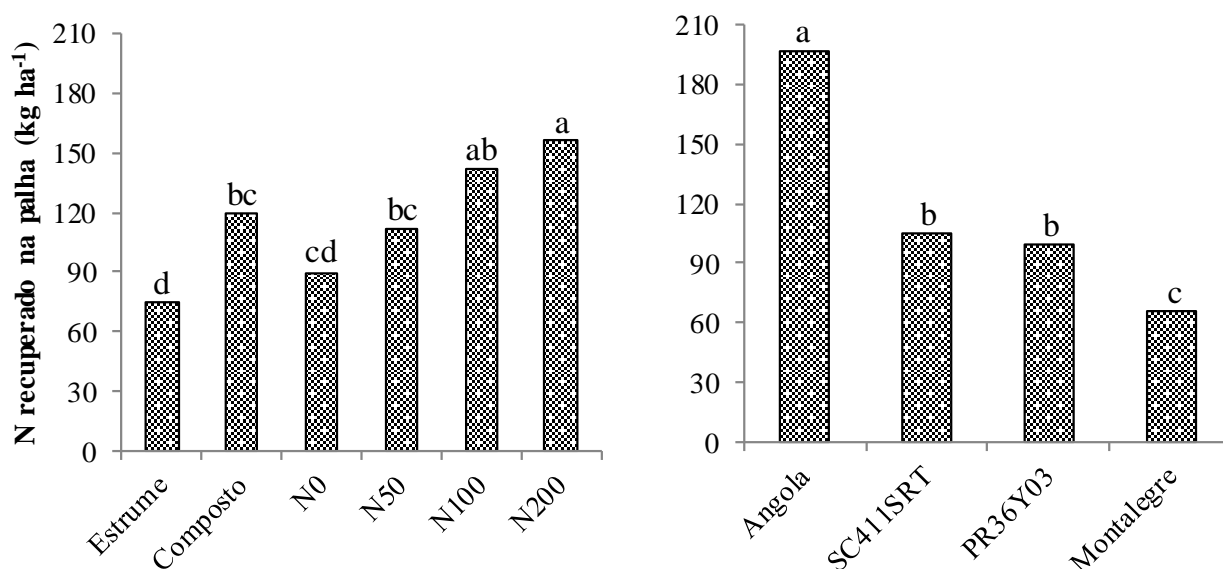


Figura 16. Azoto recuperado na palha em função do tratamento fertilizante e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

O azoto recuperado na totalidade da planta mostrou diferenças significativas entre os diferentes tratamentos fertilizantes. A dose N200 registou os resultados mais elevados (Figura 17). Viegas (2017) constatou em seu experimento com milho que o azoto recuperado na biomassa aérea do milho foi maior onde se incorporou trevo encarnado e trevo-subterrâneo, isto porque a disponibilidade em azoto para a cultura foi aumentada. Os tratamentos N0 e estrume foram os que apresentaram valores mais baixos de azoto recuperado na planta, não apresentando diferença significativa entre si, fazendo-nos acreditar que o tempo que levou a matéria orgânica a se decompor e tornar o azoto mais disponível para as plantas foi insuficiente.

Entre variedades, Montalegre registou valores significativamente mais baixos que as restantes. Entre os híbridos e a variedade de polinização livre Angola não ocorreram diferenças significativas.

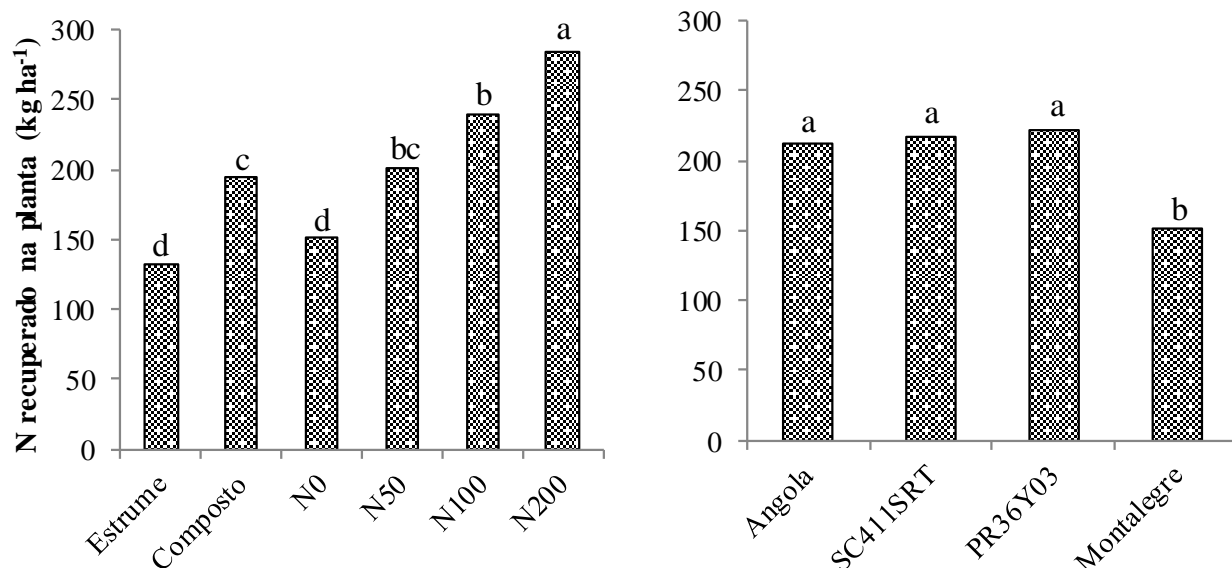


Figura 17. Azoto recuperado na totalidade da planta em função do tratamento fertilizante e da variedade. Letras iguais sobre as barras indicam não haver diferenças significativas entre tratamentos pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0,05$).

5.6. Evolução fenológica das plantas

No estado fenológico das plantas verificaram-se diferenças acentuadas entre as diferentes variedades de milho (Quadro 2). O milho Montalegre mostrou ser uma variedade de ciclo particularmente curto. O milho Angola foi o que apresentou um ciclo mais tardio relativamente às outras variedades. Entre híbridos, PR36Y03 mostrou ter um ciclo mais curto que SC411SRT.

Quadro 2. Estado fenológico das plantas ao longo da estação de crescimento.

| Variedades | Datas | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 24/05 | 21/06 | 02/07 | 28/07 | 01/08 | 11/08 | 29/08 | 23/09 |
| Montalegre | VE | V7 | V10 | R1 | R3 | R4 | R6 | _____ |
| PR36Y03 | VE | V3 | V7 | VT | R1 | R2 | R4 | R6 |
| SC411SRT | VE | V3 | V7 | V10 | V10 | VT | R3 | R5 |
| Angola | VE | V3 | V7 | V10 | V10 | VT | R2 | R5 |

Na proteína, o principal elemento é o azoto; quando há um suprimento adequado deste nutriente, as plantas crescem rapidamente; ao contrário, quando há deficiência, o crescimento é lento. Para além das características fenológicas que a variedade regional de Angola apresenta, adiciona-se o facto de que a presença de azoto em excesso influenciar o prolongamento do ciclo vegetativo. Braga (2010) corrobora com a afirmação anterior quando afirma que o excesso de azoto nas plantas pode ter um duplo efeito, tanto no aumento do ciclo vegetativo como na baixa produção de frutos e grãos.

6. Conclusões

De uma maneira geral, as plantas responderam ao aumento do azoto disponível no solo, com aumento de azoto exportado na planta e produção de grão. A modalidade mais produtiva foi assim a N200.

Entre variedades, a produção de grão foi mais elevada na variedade híbrida proveniente de Angola (SC411SRT), devido à elevada duração do seu ciclo cultural. A variedade de Montalegre, teve produção aceitável, tendo em conta o reduzido vigor e a reduzida duração de ciclo. A variedade regional de Angola produziu muito pouco apesar da elevada duração de ciclo, provavelmente por ser uma planta muito alta e ter sido semeada numa densidade elevada o que originou plantas com espigas pouco desenvolvidas e pouca ou quase nenhuma produção em grão.

Os resultados deste trabalho levam-nos a refletir sobre a importância da escolha correta de uma variedade em função do solo e clima que determinada região nos apresenta quando pretendemos instalar uma cultura em campo.

Como cada uma das variedades de milho disponíveis no mercado apresentam vantagens e desvantagens, a escolha da mesma deve ser feita com critérios, pois cada uma se comporta de forma diferente de acordo principalmente com o clima, solo e tratos culturais. A escolha correta da variedade a ser utilizada irá refletir diretamente nos ganhos de produtividade e, conseqüentemente, aumentar a receita do produtor rural.

7. Referências bibliográficas

AFONSO, N., & ARROBAS, M (2009). Contribuição para Elaboração da carta de Solos da Cidade de Bragança. In qualidade do ambiente Urbano: Novos Desafios, 137-142.

ALCARDE, J. C., GUIDOLIN, J. A., & LOPES, A. S. (1998). Os adubos e a eficiência das adubações. São Paulo: ANDA.

ANPROMIS (2016). O milho. Última atualização 2015. Disponível em: <http://www.anpromis.pt>. Consulta efetuada em 10 de agosto de 2016

ARGENTA, G. (2001). Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 112p. (Tese de doutorado)

ARGENTA, G., SILVA, P.R.F., & BORTOLINI, C.G. (2001a). Teor de clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. *Ciência Rural*, 31(4):715-722.

ARGENTA, G., SILVA, P.R.F., BORTOLINI, C.G., FORSTHOFER, E.L., & STRIEDER, M.L. (2001b). Relação entre teor de clorofila extraível e leitura do clorofilômetro na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13:1101-1106.

ARGENTA, G., SILVA, P.R.F., MIELNICZUK, J., & BORTOLINI, C.G. (2001c). Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(4):519- 527.

ARROBAS, M., CLARO, A. M., FERREIRA, I. Q., & RODRIGUES, M. A. (2013). Pastagens temporárias na rotação como forma de promover a fertilidade do solo. *Pastagens e Forragens*, 32/33: 143-156.

BARROS, J. F. C., & CALADO, J. G. (2014). A Cultura de Milho. Universidade de Évora. Departamento de Fitotecnia. Consulta a 6 de setembro de 2016

BASSO, C. J., & CARETTA, C. A. (2000). Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*. 24:905-915.

BERLATO, M.A., MATZENAUER, R., & SUTILI, VR. (1984). Relação entre temperatura e o aparecimento de fases fenológicas do milho (*Zea mays* L.). *Agronomia Sulriograndense*, 20: 111-132.

BORGES, A. C. M. R., KATO, O. R., PINHEIRO, H. A., SHIMIZU, M. K., RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T., & OLIVEIRA JÚNIOR, M. C. M. (2011). Crescimento e produção de fitomassa de variedades de milho em diferentes manejos da capoeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(2): 143-151.

BRAGA, G. N. M. (2010). As funções do nitrogénio para as plantas. Na sala com gismonti – Assuntos sobre agronomia. Recuperado de <http://agronomiacomgismonti.blogspot.pt/>.

CLESCERL, L., GREENBERG, A.E., & EATON, A.D. (1998). *Standard Methods for Examination of Water & Wastewater (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater)* (20 ed.). APHA, AWWA, WEF.

COELHO, A. M., & FRANÇA, G. D. (1995). *Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação*. 2. ed. aum. *Informações Agronomicas*, Piracicaba, n.71, p.1-9, set.

COELHO, A. M., FRANÇA, G. E., PITTA, G. V., ALVES, V.M., & HERNANI, L. C. (2000). Embrapa. Obtido de Embrapa: <http://www.cnpms.embrapa.br>. Consultado a 03 de novembro de 2016.

CRUZ, J. C., KARAM, D., MONTEIRO, M. A. R., & MAGALHÃES, P. C. (2008). *A cultura do milho*. Sete Lagoas, Brazil: Embrapa Milho e Sorgo.

CRUZ, J. C., PEREIRA FILHO, I. A., ALVARENGA, R., CONTIJO NETO, M. M., VIANA, J. H. M., OLIVEIRA, M. D., & SANTANA, D. P. (2006a). Manejo da cultura do milho em sistema plantio direto. *Informe agropecuário*, 27 (233).

CRUZ, J. C., KONZEN, E. A., PEREIRA FILHO, I. A., MARRIEL, I. E., CRUZ, I., DUARTE, J. D. O., & ALVARENGA, R. C. (2006b). Produção de milho orgânico na agricultura familiar. Embrapa Milho e Sorgo.

DEL RE, F., & MINICHIELLO, M. (S.D). *Culturas Arvenses*. Italconsult Editora. 1ª série. Roma-Itália.

- DIEHL, R. (1989). Agricultura Geral. Técnica Agrária, 3, Clássica. Lisboa.
- DONIZETI CARLOS, J. A., COSTA, J. D., & COSTA, M. D. (2006). Adubação verde: do conceito à prática. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq).
- DWYER, L.M., ANDERSON, A.M., MA, B.L., STEWART, D.W., TOLLENAAR, M., & GREGORICH, E. (1995). Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. Canadian Journal of Plant Science, 75(1):179-182.
- ERNANI, P. R. (2003). Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira. 1. ed. Lages: Graphel. v. 1. 76p.
- FANCELLI, A. L., & NETO, D. D. (2000). Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 18: 1- 360.
- FAOSTAT (2016). Food and agriculture data: Crops [citado 2016-12-01]. Disponível em <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>.
- FERNANDES, F. C. F., & LIBARDI, P. L. (2007). Percentagem de recuperação de nitrogênio pelo milho, para diferentes doses e parcelamentos do fertilizante nitrogenado. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 6: 285-296.
- FERREIRA, I. A. (2008). Adaptação de e Inverno de colza às condições ecológicas de Trás-os-Montes. Tese de Mestrado, IPB, Bragança.
- GADIOLI, J. L., NETO, D. D., GARCIA, A. G., & BASANTA, M. D. V. (2000). Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. Scientia Agricola, 57(3): 377-383.
- GARCIA, B.I.L. (1993). Determinação de temperatura base e influência de variáveis climáticas na duração do ciclo e na produção do milho (Zea mays L.). Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GODOY, L. J. G., SOUTO, L. S., FERNANDES, D. M., & VILLAS BÔAS, R. L. (2007). Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de Brachiaria decumbens. Ciência Rural, 37(1), 38-44.

GOMES, J. M., SILVA, A. D., & BARBOSA, J. (2004). Os substratos e sua influência na qualidade de mudas. Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato. Viçosa: UFV, 190-225.

HENRIQUES, I. D. C., MOREIRA, I., & MONTEIRO, A. (2010). Efeito da fertilização azotada na cultura do milho na província do Huambo (Angola). *Revista de Ciências Agrárias*, 33(2): 255-262.

IPMA. (2016). Boletim Climatológico Mensal: Portugal continental, novembro de 2016. Lisboa: instituto português do mar e da atmosfera.

KIEHL, E. J. (2010). Novos fertilizantes orgânicos. Piracicaba: 1ª edição do autor.

LLACA, V., CAMPBELL, M. A., & DESCHAMPS, S. (2011). Genome diversity in maize. *Journal of Botany*, 2011:1 -12.

LQARS. (2006). Manual de fertilização das culturas. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e Pescas, Instituto Nacional de Investigação Agrária e das Pescas.

MARQUARD, R.D., & TIPTON, J.L. (1987). Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. *Horticulture Science*, 22(6):1327.

MARSCHNER, P. (2011). Mineral Nutrition of Higher Plants, Third Edition. Academic Press.

MARTIN, T. N., CUNHA, V. S., & BULCÃO, F. P. (2014). Manejo da adubação nitrogenada no milho. *Grandes culturas – Cultivar*, 173:36-38.

MENDONÇA, R. S. (2015). Fontes de fertilizantes nitrogenados para a cultura do milho. (Trabalho de conclusão de curso/UFSJ).

NOVA, N. A. V., JÚNIOR, M. J. P., PEREIRA, A. R., & OMETTO, J. C. (1972). Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base em função das temperaturas máxima e mínima. São Paulo: Universidade de São Paulo- Instituto de Geografia. 8p. (Caderno de Ciências da Terra, 30).

PAES, V. M. T. B. (2012). Análise da variabilidade espaço-temporal da produtividade de milho numa parcela na região da Golegã (Doctoral dissertation, ISA/UTL).

PEREIRA, A., RODRIGUES, M. Â., & ARROBAS, M. (2009). Avaliação da libertação de azoto a partir de corretivos orgânicos utilizando membranas de troca aniónicas e um medidor de clorofila SPAD-502. I & II Congresso Ibérico da Ciência do Solo. Lisboa., 31 (1): 1-44.

PEREIRA FILHO, I. A. (2010). Cultivo do milho. J. C. C. Cruz (Ed.). Embrapa Milho e Sorgo.

PRIMAVESI, A. (2002). Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. NBL Editora.

RODRIGUES, M.A. (2000). Gestão do azoto na cultura da batata: estabelecimento de indicadores do estado nutritivo das plantas e da disponibilidade de azoto no solo. Tese de Doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro Vila Real, Portugal.

SANTOS, J. Q. (1996). Fertilização: fundamentos da utilização dos adubos e corretivos. Coleção Euroagro, Publicações Europa-América, Mem Martins.

SILVA, M. V. (1982). Adubos e Adubações. Livraria Clássica Editora, Lisboa:.

SILVA, W. J., SANS, L. M. A., MAGALHÃES, P. C., & DURÃES, F. (2006). Exigências climáticas do milho em sistema plantio direto. Informe Agropecuário, 27: 14-25.

SMEAL, D., & ZHANG, H. (1994). Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. Communications in Soil Science e Plant Analysis, 25:1495-1503.

VARENNE, A. (2003). Produtividade dos solos e ambiente. Escolar Editora, Lisboa.

VERSIANI, V.L. (2009) – O milho nosso de cada dia. Thesaurus Editora. Brasília.

VIEGAS, R. I. F. (2017). Valor fertilizante de leguminosas herbáceas nos ecossistemas agrícolas. Tese de Mestrado, IPB, Bragança.

WEISMANN, M. (2008). Fases de desenvolvimento da cultura do milho. Tecnologias e produção: Milho safrinha e culturas de inverno. Maracaju: Fundação MS, p. 31-38.

WIKIPEDIA (2016). Milho [citado 2016-12-01]. Disponível em <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Milho>>.

YADAVA, U.L. (1986). A rapid and non destrutive method to determine chlorophyll in intact leaves. Horticulture Science, 21(6):1449-1450.