

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

MODIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS AGROMETEOROLÓGICAS DO SORGO PELA ADUBAÇÃO AZOTADA

TESE APRESENTADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR NO
RAMO DE ENGENHARIA AGRONÓMICA

Orientador: Doutor Francisco Manuel Souto Gonçalves de Abreu

JÚRI

Presidente: Reitor da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais - Doutor Manuel Armando Valeriano Madeira, professor catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutor Vicente de Seixas e Sousa, professor associado da Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro;

Doutor Francisco Manuel Souto Gonçalves de Abreu, professor associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutora Ana Carla de Andrade Madeira, professora associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

Doutor José Alexandre Varanda Andrade, professor auxiliar da Universidade de Évora;

Doutor Dionísio Afonso Gonçalves, na qualidade de especialista.

Luís de Sousa Costa

Lisboa

2008

RESUMO

O presente estudo pretende contribuir para a avaliação da influência de diferentes níveis de adubação azotada nas características agrometeorológicas de desenvolvimento e crescimento do sorgo forrageiro de regadio, nas condições edafo-climáticas do Nordeste Transmontano. Analisou-se o efeito de quatro níveis de azoto no solo na forma como o crescimento e desenvolvimento do sorgo respondem à temperatura e à radiação solar, nomeadamente em termos de crescimento em altura, evolução do número de folhas, índice de área foliar, produção de biomassa, e extracção de azoto. Esta avaliação é feita em termos dos tempos térmicos de desenvolvimento, da eficiência de utilização da radiação para a produção de matéria seca e da eficiência de utilização do azoto.

O estudo decorreu na Quinta de Sta. Apolónia, em Bragança, durante 1997, 1998 e 1999, com a variedade de sorgo híbrido forrageiro Sweet Sioux IV.

A aplicação de azoto aumentou as áreas foliares, a intercepção da radiação e a produção de biomassa. Contudo, aplicações de N superiores a 400 kg ha^{-1} não devem ser ultrapassados porque não aportam um aumento significativo de produtividade nem um aumento importante de eficiência de utilização da radiação solar, e reduzem as eficiências de recuperação e de utilização do azoto.

Palavras-chave: Sorgo, azoto, temperatura, radiação, germinação, área foliar, produtividade, intercepção da radiação, eficiência de utilização da radiação, eficiência de utilização do azoto.

ABSTRACT

MODIFICATION OF SORGHUM AGROMETEOROLOGICAL CHARACTERISTICS BY DIFFERENT NITROGEN FERTILIZATION RATES

The aim of this work is to evaluate the influence of distinct levels of soil nitrogen fertilization on the agrometeorological characteristics of development and growth of irrigated fodder sorghum in the Nordeste Transmontano (Northeastern Portugal). The effects of four levels of soil nitrogen fertilization on the responses of sorghum development and to temperature and solar radiation were analysed, namely crop height, leaf number, leaf area, biomass and nitrogen uptake. This assessment is based on the thermal time for development, on the radiation use efficiency for dry matter production and on the efficiency of nitrogen utilization.

The experiments were carried out in Quinta de Sta. Apolónia, Bragança, in 1997, 1998 and 1999, with the hybrid fodder sorghum variety Sweet Sioux IV.

Nitrogen fertilization increased leaf area, radiation interception and biomass production. However, nitrogen fertilization rates above 400 kg ha⁻¹ should not be used because they do not lead to a significant increases of both yield and radiation use efficiency, and they reduce the efficiencies of nitrogen recovery and utilization.

Key-Words: sorghum, nitrogen, temperature, radiation, germination, leaf area, yield, radiation interception, radiation use efficiency, nitrogen use efficiency

AGRADECIMENTOS

Terminado este trabalho, sinto a necessidade de expressar por palavras – tarefa difícil – a enorme gratidão pelo que devo a todos quantos me levaram à sua conclusão. Assim, e com a consciência profunda do valor da sua participação, é meu dever referir em especial:

O Professor Doutor Francisco Gonçalves Abreu, pela orientação científica cuidada e atenta dos trabalhos e tese de doutoramento e sobretudo pelo apoio, incentivo e amizade demonstrados ao longo de todos estes anos.

O Professor Doutor Dionísio Afonso Gonçalves, pela amizade, incentivo e ajuda que sempre me disponibilizou.

O Professor Doutor Manuel Armando Valeriano Madeira, pela crítica e ajuda em partes deste trabalho assim como pelo seu apoio e amizade.

O Professor Doutor Jorge Cadima, pela ajuda no tratamento estatístico dos dados, disponibilidade e amizade.

O Professor Doutor José Alexandre Varanda Andrade, pela sua ajuda, apoio e disponibilidade sobretudo na fase final do trabalho.

A colega Doutora Ana Mafalda Ferreira, pela sua amizade e imprescindível ajuda e conselho durante a elaboração da tese.

O Professor Doutor Luís Frolen Ribeiro pela sua amizade, incentivo e ajuda durante todos estes anos.

Os colegas e amigos Felícia Fonseca, José Rodrigues, Tomás D' Aquino, Ramiro Valentim e Manuel Ângelo Rodrigues pela ajuda e incentivo prestados.

O Eng^o José Luís Peixe, pela inestimável ajuda prestada, incentivo e amizade.

Os meus queridos Pais e irmãos, para os quais não existem palavras suficientes de agradecimento pelo apoio efectivo e constante durante estes anos.

O Instituto Politécnico de Bragança e o Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, pelos meios e facilidades postos à minha disposição durante os trabalhos de investigação e elaboração da dissertação.

Todos os que, de uma forma ou outra, me ajudaram durante este longo caminho a levar a bom porto este trabalho e que aqui não nomeei.

Muito obrigado.

CAPÍTULO I	1
INTRODUÇÃO	1
1. A cultura do sorgo	1
2. Influência do clima na vegetação	2
3. Temperatura e desenvolvimento vegetal	3
4. Radiação solar e crescimento das culturas	4
5. O azoto e o crescimento do sorgo	6
6. Eficiência de recuperação e de utilização do azoto	7
7. Objectivos do trabalho	8
8. Estrutura da tese	8
CAPÍTULO II	9
MATERIAIS E MÉTODOS	9
1. Caracterização do local experimental.	9
1.1. Clima	9
1.2. Solos	11
2. Esquema experimental.	14
3. Medições realizadas	16
3.1. Medições meteorológicas	16
3.1.1. Radiação solar transmitida e interceptada	17
3.1.2. Construção e calibração de tubos solarímetros	18
3.1.3. Construção de tubos solarímetros	18
3.1.4. Calibração de tubos solarímetros	19
3.1.5. Temperatura do solo	20
3.2. Medições Biológicas	20
3.2.1. Germinação na placa de gradiente térmico	20
3.2.2. Emergência	21
3.2.3. Densidade populacional	21
3.2.4. Número de folhas e área foliar	21
3.2.5. Altura das plantas	22
3.2.6. Matéria seca	22
3.2.7. Eficiência de recuperação e de utilização do azoto	22
3.2.8. Métodos de análise estatística	23
CAPÍTULO III	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
1. Comportamento dos elementos meteorológicos nos anos de ensaio	24

2. Desenvolvimento do sorgo	26
2.1. Germinação e temperatura	26
2.2. Taxa de germinação e temperatura	26
2.3. Duração cronológica das fases de desenvolvimento do sorgo e sua duração térmica	30
2.4. Crescimento em altura das plantas	32
2.4.1. Crescimento em altura das plantas e temperatura	34
2.5. Número de Folhas	37
2.5.1. Número de Folhas e temperatura	40
2.5.2. Distribuição vertical da densidade média do numero de folhas por planta	43
2.6. Área foliar por planta	47
2.6.1. Índice de área foliar	49
2.6.2. Evolução da área foliar em função do tempo cronológico e da temperatura acumulada	52
2.6.3. Distribuição vertical da densidade da área foliar	55
3. Intercepção de radiação e produção de biomassa pela cultura do sorgo	59
3.1. Fração total de radiação interceptada	59
3. 2. Distribuição vertical da fracção de radiação interceptada	61
3.3. Radiação interceptada, índice de área foliar e extinção da radiação	63
3.4. Extinção diária da radiação solar ao longo do coberto	66
3.5. Produção de matéria seca	69
3.5.1. Produção total de matéria seca	69
3.5.2. Partição da MS ao longo do ciclo vegetativo do sorgo	71
3.6. Eficiência de utilização da radiação	76
4. O azoto no sorgo	79
4.1. Evolução dos teores de azoto total ao longo do ciclo vegetativo do sorgo	79
4.2. Eficiência aparente de recuperação e eficiência de utilização do azoto	85
CAPÍTULO IV	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
Referências bibliográficas	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Valores médios mensais da temperatura máxima e mínima diária do ar no período 1951-1980, em Bragança	10
Figura 2.2 Precipitação média mensal e evaporação potencial mensal (método Penman) em Bragança (normais de 1951 – 1980)	11
Figura 2.3 – Análise química do solo referente ao ano de 1999	15
Figura 2.4 - Vista geral da estação meteorológica montada no ensaio de 1999	16
Figura 2.5 – Verificação e calibração de tubos solarímetros no ano de 1998	19
Figura 3.1 - Curvas de Germinação acumulada (em % das sementes utilizadas) em função do tempo cronológico após sementeira, às temperaturas indicadas	28
Figura 3.2 - Relação entre a taxa de germinação para 50% da germinação final e temperatura, e respectivas regressões lineares	29
Figura 3.3 - Relação entre a taxa de germinação para 80% da germinação final e temperatura, e respectivas regressões lineares	29
Figura 3.4 Crescimento em altura do sorgo ao longo do tempo para os 4 níveis de adubação azotada, em 1997	33
Figura 3.5 Crescimento em altura do sorgo ao longo do tempo para os 4 níveis de adubação azotada, em 1998	33
Figura 3.6 Crescimento em altura do sorgo ao longo do tempo para os 4 níveis de adubação azotada, em 1999	33
Figura 3.7 - Crescimento em altura do sorgo em função da temperatura acumulada em 1997 para os quatro níveis de adubação azotada	35
Figura 3.8 - Crescimento em altura do sorgo em função da temperatura acumulada em 1998 para os quatro níveis de adubação azotada	35
Figura 3.9 - Crescimento em altura do sorgo em função da temperatura acumulada em 1999 para os quatro níveis de adubação azotada	36
Figura 3.10 - Evolução do nº total de folhas por planta de sorgo ao longo do tempo em 1997, para os quatro níveis de adubação azotada	38
Figura 3.11 - Evolução do nº total de folhas por planta de sorgo ao longo do tempo em 1998, para os quatro níveis de adubação azotada	38
Figura 3.12 - Evolução do nº total de folhas por planta de sorgo ao longo do tempo em 1999, para os quatro níveis de adubação azotada	39
Figura 3.13 - Relação entre o número de folhas por planta e a temperatura acumulada ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1997, para os 4 níveis de adubação azotada	41

Figura 3.14 - Relação entre o número de folhas por planta e a temperatura acumulada ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1998, para os 4 níveis de adubação azotada	41
Figura 3.15 - Relação entre o número de folhas por planta e a temperatura acumulada ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1999, para os 4 níveis de adubação azotada	42
Figura 3.16 - Distribuição vertical ao longo da planta do número de folhas por planta, ao longo do período vegetativo nos tratamentos N0 e N2, no ano de 1998	45
Figura 3.17 - Distribuição vertical ao longo da planta do número de folhas por planta, ao longo do período vegetativo nos tratamentos N1 e N3, no ano de 1999	46
Figura 3.18 - Evolução temporal da área foliar por planta (AFP) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1997, para os quatro níveis de adubação azotada	48
Figura 3.19 - Evolução temporal da área foliar por planta (AFP) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1998, para os quatro níveis de adubação azotada	48
Figura 3.20 - Evolução temporal da área foliar por planta (AFP) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1999, para os quatro níveis de adubação azotada	49
Figura 3.21 Variação ao longo do tempo do índice de área foliar (IAF) 1997, nos quatro tratamentos	51
Figura 3.22 Variação ao longo do tempo do índice de área foliar (IAF) 1998, nos quatro tratamentos	51
Figura 3.23 Variação ao longo do tempo do índice de área foliar (IAF) 1999, nos quatro tratamentos	51
Figura 3.24 Evolução do índice de área foliar (IAF) do sorgo em função da temperatura acumulada em 1997, nos quatro tratamentos. As linhas são logísticas ajustadas aos dados, linha a cheio, N1; tracejado curto, N2; tracejado longo N3.	53
Figura 3.25 Evolução do índice de área foliar (IAF) do sorgo em função da temperatura acumulada em 1998, nos quatro tratamentos. As linhas são logísticas ajustadas aos dados, linha a cheio, N1; tracejado longo N3.	54
Figura 3.26 Evolução do índice de área foliar (IAF) do sorgo em função da temperatura acumulada em 1999, nos quatro tratamentos. As linhas são logísticas ajustadas aos dados, linha a cheio, N1; tracejado curto, N2; tracejado longo N3.	54
Figura 3.27 - Distribuição vertical da densidade da área foliar por unidade de comprimento da planta nos tratamentos N0 e N2 no ano de 1998	57
Figura 3.28 - Distribuição vertical da densidade da área foliar por unidade de comprimento da planta nos tratamentos N1 e N3 no ano de 1999	58
Figura 3.29 - Variação ao longo do tempo da fracção total da radiação solar interceptada (f) pelo sorgo, para 4 níveis de adubação azotada, em 1997	60
Figura 3.30 - Variação ao longo do tempo da fracção total da radiação solar interceptada (f) pelo sorgo, para 4 níveis de adubação azotada, em 1998	60

- Figura 3.31** - Variação ao longo do tempo da fracção total da radiação solar interceptada (f) pelo sorgo, para 4 níveis de adubação azotada, em 1999 61
- Figura 3.32** - Distribuição da fracção de radiação interceptada (f) ao longo da altura do sorgo no tratamento N0 em 1998 62
- Figura 3.33** - Distribuição da fracção de radiação interceptada (f) ao longo da altura do sorgo no tratamento N2 em 1998 62
- Figura 3.34** - Distribuição da fracção de radiação interceptada (f) ao longo da altura do sorgo no tratamento N1 em 1999 62
- Figura 3.35** - Distribuição da fracção de radiação interceptada (f) ao longo da altura do sorgo no tratamento N3 em 1999 63
- Figura 3.36** - Relação entre a fracção total de radiação solar interceptada (f) pelo coberto vegetal do sorgo e o índice de área foliar (IAF), para 4 níveis de adubação azotada, em 1997. A curva a cheio representa a equação $f = 1 - \exp^{-K \text{ IAF}}$ ajustada aos dados de; indica-se também a significância do ajuste. 64
- Figura 3.37** - Relação entre a fracção total de radiação solar interceptada (f) pelo coberto vegetal do sorgo e o índice de área foliar (IAF), para 4 níveis de adubação azotada, em 1998. A curva a cheio representa a equação $f = 1 - \exp^{-K \text{ IAF}}$ ajustada aos dados; indica-se também a significância do ajuste. 65
- Figura 3.38** - Relação entre a fracção total de radiação solar interceptada (f) pelo coberto vegetal do sorgo e o índice de área foliar (IAF), para 4 níveis de adubação azotada, em 1999. A curva a cheio representa a equação $f = 1 - \exp^{-K \text{ IAF}}$ ajustada aos dados; indica-se também a significância do ajuste. 65
- Figura 3.39** - Relação entre a fracção total de radiação solar interceptada (f) pelo coberto vegetal do sorgo e o índice de área foliar (IAF), para 4 níveis de adubação azotada, no conjunto dos três anos (1997, 1998 e 1999). A curva a cheio representa a equação $f = 1 - \exp^{-K \text{ IAF}}$ ajustada aos dados; indica-se também a significância do ajuste. 66
- Figura 3.40** Evolução dos valores diários do coeficiente de extinção da radiação (K) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo para os tratamentos N0 e N2 em 1998 e curva ajustada aos dados. 68
- Figura 3.41** Evolução dos valores diários do coeficiente de extinção da radiação (K) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo para os tratamentos N1 e N3 em 1999 e curva ajustada aos dados 68
- Figura 3.42** Evolução temporal da matéria seca total acumulada (MS) pelo sorgo a quatro níveis de adubação azotada, em 1997 70
- Figura 3.43** Evolução temporal da matéria seca total acumulada (MS) pelo sorgo a quatro níveis de adubação azotada, em 1998 70
- Figura 3.44** Evolução temporal da matéria seca total acumulada (MS) pelo sorgo a quatro níveis de adubação azotada, em 1999 71
- Figura 3.45 a)** - Evolução temporal da partição da matéria seca (MS) pelos órgãos vegetativos do sorgo, para os tratamentos N0, N1, N2 e N3, em 1997 73

Figura 3.45 b) - Evolução temporal da partição da matéria seca (MS) pelos órgãos vegetativos do sorgo, para os tratamentos N0, N1, N2 e N3, em 1998	74
Figura 3.45 c) - Evolução temporal da partição da matéria seca (MS) pelos órgãos vegetativos do sorgo, para os tratamentos N0, N1, N2 e N3, em 1999	75
Figura 3.46 Variação da matéria seca acumulada (MS) em função da radiação interceptada acumulada nos três anos experimentais e no tratamento N0, e respectiva regressão linear.	76
Figura 3.47 Variação da matéria seca acumulada (MS) em função da radiação interceptada acumulada nos três anos experimentais e no tratamento N1 e respectiva regressão linear.	77
Figura 3.48 Variação da matéria seca acumulada (MS) em função da radiação interceptada acumulada nos três anos experimentais e no tratamento N2 e respectiva regressão linear.	77
Figura 3.49 Variação da matéria seca acumulada (MS) em função da radiação interceptada acumulada nos três anos experimentais e no tratamento N3 e respectiva regressão linear.	78
Figura 3.50 Evolução temporal do teor em azoto total (% da MS) no sorgo em 1997	80
Figura 3.51 Evolução temporal do teor em azoto total (% da MS) no sorgo em 1998	80
Figura 3.52 Evolução temporal do teor em azoto total (% da MS) no sorgo em 1999	81
Figura 3.53 a) - Evolução dos teores em azoto (% da MS) nos caules e folhas nos quatro tratamentos, no ano de 1997	82
Figura 3.53 b) - Evolução dos teores em azoto (% da MS) nos caules, folhas e panículas nos quatro tratamentos, no ano de 1998	83
Figura 3.53 c) - Evolução dos teores em azoto (% da MS) nos caules, folhas e panículas nos quatro tratamentos, no ano de 1999	84
Figura 3.54 Eficiência aparente de recuperação do azoto (EAR) em 1997, nos três tratamentos com aplicação de azoto	85
Figura 3.55 Eficiência aparente de recuperação do azoto (EAR) em 1998, nos três tratamentos com aplicação de azoto	86
Figura 3.56 Eficiência aparente de recuperação do azoto (EAR) em 1999, nos três tratamentos com aplicação de azoto	86
Figura 3.57 Eficiência de utilização do azoto (EUA) em 1997, nos três tratamentos com aplicação de azoto	88
Figura 3.58 Eficiência de utilização do azoto (EUA) em 1998, nos três tratamentos com aplicação de azoto	88
Figura 3.59 Eficiência de utilização do azoto (EUA) em 1999, nos três tratamentos com aplicação de azoto	89

INDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Valores médios mensais da temperatura média diária do ar (T), da radiação solar global diária incidente (S_{\downarrow}), da Humidade relativa (HR) e da Precipitação total (R) em Bragança, no período 1951 a 1980	10
Quadro 2.2 – Caracterização do perfil de solo representativo da área de estudo	13
Quadro 2.3 – Normas de adubação utilizadas na adubação de fundo Kg.ha-1	14
Quadro 3.1. Pluviosidade (mm) e T médias mensais do ar ($^{\circ}$C) medidos na Estação Meteorológica de Bragança no ano médio e nos anos experimentais de 1997, 1998 e 1999	24
Quadro 3.2 – Valores quinzenais da temperatura média diária do ar, temperatura média diária do solo a 5cm de profundidade, humidade relativa média diária do ar, radiação global média diária e pluviosidade total medidos no local dos ensaios e durante a duração dos mesmos nos anos de 1997, 1998 e 1999	25
Quadro 3.3 - Temperaturas cardinais para 50% e 80% de sementes de sorgo germinadas e respectivas durações térmicas para temperaturas inferiores à óptima.	29
Quadro 3.4 - Duração cronológica (DAS) e térmica ($^{\circ}$C dia), temperatura média do solo a 5 cm (T_{Solo}) temperatura média do ar (T_{Ar}) e radiação solar global (S_g), das várias fases vegetativas para os quatro tratamentos (NO, N1, N2 e N3) do sorgo, durante os períodos culturais de 1997, 1998 e 1999.	31
Quadro 3.5 – Parâmetros das regressões lineares ($y= ax + b$) e valores do coeficiente de determinação (R^2) da relação entre o crescimento em altura (y, cm) e correspondentes durações térmicas (x, $^{\circ}$Cd) do sorgo nos três anos experimentais	36
Quadro 3.6 Número total de folhas por planta para os quatro níveis de adubação azotada e datas do fim aparente de emissão de folhas nos anos de 1997, 1998 e 1999	39
Quadro 3.7 Declive (folhas /$^{\circ}$Cd) das regressões lineares entre o nº de folhas produzido pelo sorgo nos quatro tratamentos e a temperatura acumulada; R^2 é o coeficiente de determinação de cada regressão. O filocrão é o inverso do declive da regressão ($^{\circ}$C /folha).	42
Quadro 3.8 – Parâmetros das regressões logísticas entre o índice de área foliar e a temperatura acumulada nos vários tratamentos com azoto em 1997, 1998 e 1999.	55
Quadro 3.9 - Parâmetros da regressão linear entre $\ln [(1-f)x100]$ e índice de área foliar (IAF), nos dias indicados, nos tratamentos N0 e N2 em 1998 e N1 e N3 em 1999. Valores estimados do coeficiente de extinção diário (K) e coeficiente de determinação (R^2)	67

Quadro 3.10 – Valores médios da eficiência de utilização da radiação (ϵ) e coeficientes de determinação (R^2) das regressões respectivas para cada tratamento no conjunto dos três anos e para os dois tratamentos N2 e N3 no conjunto dos três anos. 78

Quadro 3.11 Eficiência aparente de recuperação de azoto (EAR, %) em dois dias no final do ciclo vegetativo do sorgo, nos tratamentos N1, N2 e N3, nos anos de 1997, 1998 e 1999 87

Quadro 3.12 Eficiência de utilização de azoto (EUA, kg kg^{-1}) em dois dias no final do ciclo vegetativo do sorgo, nos tratamentos N1, N2 e N3, nos anos de 1997, 1998 e 1999 89

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a produção de biomassa das culturas são largamente dependentes das condições meteorológicas e da natureza e qualidade do solo, podendo, contudo, a resposta das culturas ao ambiente ser modificada pela adubação, designadamente a dos cereais forrageiros (Gallagher & Biscoe, 1978). A produtividade das culturas é governada em parte, pela sua maior ou menor capacidade de absorção e utilização da radiação fotossinteticamente activa (PAR), (Graham *et al.*, 1988; Daughtry *et al.*, 1983). A superfície foliar, habitualmente expressa como índice de área foliar (IAF), é o componente determinante para a absorção da radiação solar (Flesch & Dale, 1988; Ottman & Welch, 1989).

A produção de fotoassimilados, necessários para os processos de crescimento, depende de IAF e da eficiência com que o aparelho fotossintético utiliza a radiação solar na produção de biomassa. O azoto, embora possa afectar a eficiência fotossintética, exerce um efeito muito marcado na fotossíntese total, devido à sua grande influência na área foliar (Marschner, 1986; Sinclair, Muchow & Monteith, 1997; Rodrigues & Coutinho, 2000). Por isso, a adubação azotada do solo aumenta a produção de matéria seca através do aumento da área foliar que intercepta radiação (Squire, 1990; Major *et al.*, 1991), mas é pouco clara a sua influência em ϵ (Wiegand & Richardson, 1984; Rosenthal *et al.*, 1993; Flénet *et al.*, 1996; Colin & Chin, 2000).

Este trabalho pretende analisar a influência de diferentes níveis de adubação azotada do solo no desenvolvimento e produção de biomassa do sorgo forrageiro, cultivado em regadio, nas condições agroclimatológicas do Nordeste Transmontano, procurando contribuir para um melhor conhecimento da cultura e para a implementação futura de modelos de crescimento e produção da mesma nas condições transmontanas.

1. A cultura do sorgo

O sorgo forrageiro é uma cultura muito semelhante à do milho, exigente em calor e muito sensível às geadas. Pertence à família das *Poaceas*, género das *Andropogonae* e espécie *Sorghum*. As espécies “*Sorghum vulgare*” e “*Sorghum Vulgare Var Sudanensis*” vão dos sorgos normais e “doces” à erva do Sudão, incluindo ainda os híbridos entre Sorgos X erva do Sudão e erva do Sudão X erva do Sudão (Isakov, 1982).

Trata-se de uma cultura muito importante para algumas regiões de Trás-os-Montes (Terra Quente, Douro Superior e Planalto Mirandês) por ser resistente à seca e uma forragem excelente, da

qual o criador de gado pode lançar mão para alimentar os seus rebanhos em época estival de escassez de pasto verde. Sabe-se que, em algumas zonas, esta é uma época crítica para a alimentação do gado, sendo que o único pasto que o gado encontra no campo são os restolhos de cereais, o pousio (já seco) e o monte. Por vezes o único alimento verde fornecido aos animais é a folha de freixo.

A área semeada de sorgo em Trás-os-Montes, segundo dados da Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo (ANPROMIS, 2006), teve uma progressão de 132 ha no ano de 2000 para 358 ha no ano de 2004. Tendo em conta o aumento de temperatura na Primavera que se tem verificado em Portugal desde 1975 (Miranda *et al.*, 2006) e a conseqüente redução do período de geadas, é de esperar que a importância da cultura continue a aumentar. Além disso, tentando dar seguimento em Portugal à implementação da reforma da PAC 2003, na sua vertente de produção de biocombustíveis, têm sido implementados uma série de incentivos à produção de culturas energéticas, entre as quais se encontra o sorgo, sendo de esperar por isso um rápido incremento na expansão da área de cultivo desta cultura, sobretudo em regadio, onde pode atingir produções de 100 toneladas de biomassa por hectare (Monteiro, 2007).

Na ontogénese do sorgo, como característica biológica, distinguem-se as seguintes fases: germinação, formação da 3ª folha, afilhamento, lançamento da panícula, floração, maturação (leitosa, cerosa e completa). Nas regiões de clima temperado a emergência do sorgo acontece ao 6º - 7º dia após a sementeira. Consoante a precocidade e as condições de cultivo, o lançamento da panícula começa pelas 6 – 12 semanas depois do afilhamento e dura 2 a 6 semanas (Ustimenko & Bakumovski, 1982).

O sorgo é semeado em linhas ou lanço, aconselhando-se em regadio a sementeira em linhas para facilitar as operações culturais, a irrigação e o corte para fornecer em verde, silagem ou feno. A sementeira em Portugal ocorre de meados de Abril a meados de Junho. É comum, em regadio e com sementeira a lanço, utilizar-se uma densidade de sementeira na ordem dos 30 - 40 kg/ha. Em linhas, convém utilizar 20 - 30 kg/ha de semente. Esta densidade é aconselhada também em regime de sequeiro (Ripado, 1995). Em regadio, o sorgo forrageiro pode atingir 2 a 3 m de altura, proporcionando 3 a 5 cortes durante o ciclo vegetativo.

2. Influência do clima na vegetação

O desenvolvimento e crescimento da vegetação, nomeadamente a evolução do índice de área foliar, a fracção de cobertura vegetal do solo, a densidade de biomassa e a sua estrutura geométrica, dependem directamente da relação estabelecida entre a planta e o clima.

Na tentativa de simplificação do estudo das interacções planta-clima, Monteith (1977) enunciou dois conceitos fundamentais, hoje universalmente aceites e aplicados (Black e Ong, 2000): (1) a acumulação de matéria seca está linearmente relacionada com a radiação interceptada acumulada e (2) o ritmo de desenvolvimento das plantas está, na grande maioria das culturas, relacionado com a temperatura acumulada, sendo por isso a radiação solar e a temperatura os

elementos de clima mais determinantes no desenvolvimento e crescimento das culturas, em condições hídricas não limitantes.

3. Temperatura e desenvolvimento vegetal

As durações térmicas necessárias a determinada espécie, para atingir determinado estágio do seu ciclo de desenvolvimento, podem ser obtidas a partir do conceito de tempo térmico de Monteith (1997), o qual demonstra que, para uma fase específica de desenvolvimento i , a taxa de desenvolvimento (R_i , em d^{-1}) é função linear da temperatura (T , em $^{\circ}C$) acima da temperatura base (T_b). Abaixo de T_b o desenvolvimento da planta é interrompido ou extremamente reduzido. A equação 1 apresenta a relação entre taxa e temperatura na forma:

$$\left\{ \begin{array}{ll} R_i = \frac{1}{t_i} = \frac{1}{\theta_1} (T - T_b) & , \quad T_b < T \leq T_0 \\ R_i = \frac{1}{t_i} = \frac{1}{\theta_2} (T_m - T) & , \quad T_0 \leq T < T_m \\ R_i = 0 & , \quad T \leq T_b \text{ e } T \geq T_m \end{array} \right. \quad (1)$$

onde t_i é o tempo cronológico (dias) de duração da fase i e θ_1 e θ_2 são os tempos térmicos ou durações térmicas da mesma fase, em unidades de graus-dia ($^{\circ}C$ dia) quando $T < T_0$ e $T > T_0$, respectivamente. T_m é a temperatura máxima, para a qual a taxa de desenvolvimento volta a ser nula, e T_0 é a temperatura ótima à qual a taxa é máxima e t_i é mínima. Repare-se que a temperatura acumulada em $^{\circ}C$ dia durante o tempo t_i é dada pelo integral de $(T - T_b)$ ao longo do tempo cronológico, onde T é a temperatura média durante t_i .

Este tipo de relação foi confirmado em diferentes estudos de germinação de culturas tropicais e de climas temperados como por exemplo em milho painço (Garcia-Huidobro *et al.*, 1982) e em amendoim (Mohamed *et al.*, 1988). Para a maioria das espécies vegetais tropicais existe consenso que a gama de valores de T_b a T_0 se situam no intervalo de 9-13 e 27 – 32 $^{\circ}C$, respectivamente (Angus & Moncur, 1985). O conceito de tempo térmico tem vindo a ser usado na interpretação das respostas fenológicas à temperatura por parte das culturas, com especial ênfase na determinação das taxas de progresso de estádios críticos de desenvolvimento das plantas como a floração e maturação (Ong & Monteith, 1985; Roberts & Summerfield, 1987) e na análise das respostas das culturas às modificações microclimáticas. Por exemplo, Corlett *et al.* (1992a), em ensaios de milho painço na Índia, calcularam atrasos de 2-3 dias na floração do milho cujas entrelinhas tivessem temperaturas abaixo de T_0 e que o ensombramento só seria eficaz se a temperatura nas partes a ensombrar fosse superior a T_0 .

No sorgo, autores aplicando o conceito térmico de Monteith determinaram ou utilizaram para múltiplas variedades de sorgo e em estudos de vários aspectos de desenvolvimento do mesmo, temperaturas base que oscilam entre os 8 e os 13 $^{\circ}C$. Por exemplo, Braar *et al.* (1992) em ensaios

de germinação em placa de gradiente térmico na Austrália, determinaram para o sorgo uma temperatura base de 8,8 °C; Kaitaniemi *et al.* (2000), no seu modelo de crescimento e desenvolvimento do sorgo, utilizaram 11 °C como temperatura base; Lawlor *et al.* (1990), em ensaios com seis variedades de sorgo, determinaram em placa de gradiente térmico temperaturas base de 8,6 a 11,0 °C.

O tempo térmico permite separar o efeito da temperatura do ar e ou do solo de outros factores tais como o fotoperíodo ou teor de água no solo e pode ser usado para comparar o comportamento de diferentes culturas em termos de desenvolvimento ou, para cada cultura, a duração cronológica de uma fase específica em diferentes climas ou locais, (Ferreira, 2007), tendo sido quantificado para diversas culturas e integrado em modelos de simulação de desenvolvimento vegetal.

4. Radiação solar e crescimento das culturas

A radiação compreendida entre os 400 e 700 µm é conhecida como radiação fotossinteticamente activa. Esta radiação é a fonte de energia para as plantas realizarem a fotossíntese. A produção de matéria seca das culturas agrícolas é directamente proporcional à radiação fotossinteticamente activa absorvida pelo copado (Gallagher e Biscoe, 1978, Monteith, 1977, Steven *et al.*, 1986, Andrade *et al.*, 1993). Contudo, como esta radiação tende a ter, ao fim do dia, uma proporção relativamente constante (cerca de 50%) da radiação solar global, a produção diária de matéria seca é também proporcional à radiação solar global diária.

A relação entre a matéria seca (MS) acumulada ao longo do tempo (t, em dias) e a radiação solar interceptada (Si em MJ m⁻² d⁻¹) pelo coberto vegetal e acumulada durante o mesmo período de tempo é do tipo:

$$\int MS.dt = \varepsilon \int Sidt \quad (2)$$

onde MS (g m⁻² d⁻¹) é a taxa diária de produção de matéria seca e ε (g MJ⁻¹) é a constante de proporcionalidade definida como a eficiência de utilização da radiação para a produção da biomassa (Monteith 1977, Connor & Sadras, 1992; Gimenes *et al.*, 1994; Kiniry *et al.*, 1998) apresenta a eficiência de utilização da radiação como um parâmetro independente e teoricamente adequado para descrever o desempenho das culturas e destacar limitações na produtividade e conclui que a maioria das culturas acumula 1,4 g de matéria seca por MJ. Para o milho e sorgo, Silva (2004) faz referência a uma acumulação de 1,75 g de matéria seca por MJ.

A eficiência de utilização da radiação para a produção de biomassa é influenciada sobretudo pela capacidade fotossintética das folhas, podendo as diferenças de ε encontradas entre espécies e locais serem atribuídas a diferenças na actividade fotossintética (Sinclair & Muchow, 1999). Em fitotecnia é relevante o interesse em saber se há grandes diferenças de ε entre génotipos da mesma espécie. A evidência não é sempre muito clara porque os diferentes génotipos têm diferentes

características que podem afectar ε indirectamente. Por exemplo Hughes *et al.* (1987) encontraram diferenças de ε entre variedades de grão-de-bico, mas umas com folhas erectas e outras com folhas prostradas. Bonhomme *et al.* (1982) encontraram diferenças entre três genótipos diferentes de milho, embora os erros padrão tivessem sido relativamente grandes. Por outro lado, Heath & Hebblethwaite (1985) depararam com diferenças de ε em diferentes variedades de ervilha (*Pisum sativum*), mas com diferentes fenótipos de folhas e em diferentes condições de stress hídrico. Entre espécies, o valor de ε pode depender das interações entre o genótipo e o ambiente e ser afectado por processos como a fotossíntese e a transpiração ou a estrutura do coberto; esta última afecta a quantidade de radiação que penetra no mesmo, atingindo ou não as folhas inferiores.

A radiação solar interceptada pela cultura é a diferença entre a radiação solar incidente (S) sobre a vegetação e a radiação solar transmitida (St) através da área foliar até ao solo (Squire, 1990). Este parâmetro é determinado em cada instante pelas dimensões do coberto vegetal (número de folhas, área das folhas), pela sua estrutura geométrica (morfologia das folhas, ângulo de orientação foliar) e pelas propriedades radiativas das folhas individuais. A fracção da radiação interceptada (f) é definida como:

$$f = \frac{S - St}{S} = \frac{Si}{S} \quad (3)$$

Por analogia com a lei de Beer-Bouguer da transmissão de radiação através de camadas homogéneas da atmosfera (Peixoto & Oort, 1984) a fracção de radiação que não é transmitida (por ser extinta ou interceptada) pelos cobertos vegetais pode ser expressa como função do índice de área foliar (IAF, m² de folhas por m² de terreno) na forma:

$$f = 1 - e^{-K \cdot \text{IAF}} \quad (4)$$

onde K é o coeficiente de extinção ou de atenuação da radiação incidente pelo coberto vegetal (Squire, 1990, Ferreira, 2007). A relação entre a densidade média do fluxo de radiação sob o coberto e o correspondente valor acima do mesmo é a fracção de radiação transmitida pelo coberto (t), sendo a interceptação do coberto frequentemente estimada como;

$$f = 1 - t \quad (5)$$

Repare-se que (1-t) é a soma das fracções absorvidas e reflectidas (Hipps, Asrar & Kanemasu, 1983), sendo que a primeira fornece energia aos processos que ocorrem no coberto e a segunda representa uma perda de energia do sistema.

Nalguns casos f pode ser manipulado através das práticas culturais. Por exemplo, em cereais com folhas erectas pode-se aumentar a sua produtividade, aumentando a densidade populacional, (Ustimenko & Bakumovski, 1982), de forma a interceptar mais radiação solar próximo do meio-dia solar, quando o fluxo radiativo é mais intenso.

O IAF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) é a área foliar por unidade de área de terreno (Watson, 1947) e representa a capacidade com que a parte aérea da planta ocupa a área de solo. Numa cultura, o IAF depende da área foliar por planta e do número de plantas por unidade de área, sendo importante para a produtividade da cultura. Embora o aumento de produtividade esteja associado ao aumento de área foliar, valores demasiado altos desta podem reduzir a produção, em razão do auto sombreamento entre folhas. À medida que a área foliar cresce, o índice de área foliar também aumenta, até atingir um valor no qual o auto sombreamento passa a ser prejudicial, aumentando o número de folhas (ou superfície foliar) que são mantidas sob iluminação precária, o que diminui a sua eficiência fotossintética (Benincasa, 1986). Em muitos casos, é possível detectar-se o índice de área foliar óptimo, isto é, aquele que define o máximo de fotossíntese e de produtividade. Geralmente, o índice de área foliar óptimo ocorre quando o auto sombreamento é ainda pequeno. Por exemplo Rosenthal *et al.* (1993), verificaram que o milho e sorgo com um índice de área foliar de cerca de 1 interceptavam cerca de 50% da radiação, enquanto que com um índice de área foliar de aproximadamente $3 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$, inferior ao IAF máximo, quase 90% da radiação era interceptada pelo copado; em ambas as culturas o índice de área foliar óptimo ocorria próximo da floração e era cerca de $5 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$.

O coeficiente de extinção de radiação K depende essencialmente da geometria do coberto vegetal e é razoavelmente estável para determinado genótipo dentro de uma variada gama de condições (Squire, 1990). O K de uma comunidade de plantas atinge valores de 0,5 a 0,8, à medida em que a luz penetra do topo em direcção à base das plantas (Monsi & Saeki, 1953). Na presença de IAF reduzido, o coeficiente de extinção tem valores baixos e mais radiação é interceptada pelas folhas da base das plantas (Moss & Loomis, 1952).

5. O azoto e o crescimento do sorgo

De acordo com a equação 2, o efeito da disponibilidade de azoto na produção de biomassa pelas culturas pode ser analisado através de vários parâmetros como a interceptação de radiação, a eficiência de uso da radiação o índice de área foliar e a duração de área foliar (Novoa & Loomis, 1981, Lemcoff & Loomis, 1986; Muchow & Davis, 1988; Sinclair & Horie, 1989; Connor *et al.*, 1993; Andrade & Uhart, 1993a,b). Na maioria das culturas, o azoto provoca incrementos na área foliar, pois as plantas apresentam um aumento do número mas sobretudo do tamanho das folhas (McCullough *et al.*, 1994). Plantas bem nutridas com azoto interceptam maior quantidade de radiação, devido ao maior índice de área foliar e duração da mesma, resultando em maior produção de biomassa (Muchow & Davis, 1988).

A deficiência de azoto no milho e sorgo reduz o índice de área foliar, a duração da área foliar e a taxa fotossintética da cultura, resultando numa menor interceptação e diminuição da eficiência de uso da radiação (Uhart & Andrade, 1995a; Lemcoff & Loomis, 1986; Novoa & Loomis, 1981, Sinclair & Horie, 1989, Connor *et al.*, 1993). A deficiência em azoto causa maior redução na expansão das folhas do que na taxa de emissão de folhas (Muchow & Davis, 1988). A duração da área foliar é maior em plantas bem nutridas com azoto, porque este retarda a perda de clorofila e assim tem-se maior duração da actividade fotossintética (Novoa & Loomis, 1981).

A eficiência de uso da radiação está relacionada com a distribuição do azoto foliar dentro do copado (Sinclair & Shiraiwa, 1993, Muchow & Davis, 1988). Do topo para a base do copado, as folhas individuais requerem progressivamente menos azoto para maximizar a assimilação de carbono, contribuindo para que uma menor quantidade de azoto seja necessária para maximizar a fotossíntese foliar com pouca intensidade luminosa (Gastal & Lemaire, 2002). O efeito do azoto sobre o crescimento da cultura é predominantemente examinado através da eficiência de uso da radiação (Sinclair & Horie, 1989). Assim, a relação entre provimento de azoto, distribuição de azoto nas folhas e fotossíntese do copado promovem a base para a eficiência de uso da radiação da cultura (Muchow & Davis, 1988; Sinclair & Horie, 1989; Belanger et al., 1992; Muchow & Sinclair, 1994; Belanger & Richards, 1997; Plénet & Lemaire, 1999). O efeito do azoto sobre o crescimento faz-se sentir, geralmente, sobre a fotossíntese foliar e sobre a interceptação de radiação via crescimento da folha. Uma parte do azoto é alocada para manutenção do azoto na folha que fará a fotossíntese foliar, e outra parte do azoto é alocada para o desenvolvimento adicional de área foliar (Sinclair & Horie, 1989).

6. Eficiência de recuperação e de utilização do azoto

O efeito do azoto sobre o crescimento da cultura é predominantemente examinado através da sua eficiência de utilização. Em geral, a eficiência expressa a relação entre a produção obtida e nutrientes aplicados; isto significa que a eficiência nutricional é a quantidade de matéria seca ou grãos produzida por unidade de nutriente aplicado (Fageria, 1998). No entanto a eficiência nutricional é definida de várias maneiras. Graham (1984) define esta eficiência como a produção relativa de um genótipo em solo deficiente em comparação com a sua produção no nível óptimo de nutrientes. Cooke (1987) define a eficiência nutricional como o aumento de produtividade por unidade de nutriente aplicado. De acordo com Israel & Rufty Júnior (1988) a eficiência nutricional é a relação entre a biomassa total e a quantidade de nutriente absorvido.

Baligar *et al.* (2001) descreveram as várias formas de calcular a eficiência nutricional. No presente trabalho foi utilizada a eficiência aparente de recuperação do azoto descrita por (Baligar *et al.*, 2001) :

$$EAR = \frac{\text{Azoto nas plantas em F, Kg} - \text{Azoto nas plantas em C, Kg}}{\text{Quantidade de nutriente aplicado em F, Kg}} \times 100 \quad (6)$$

onde EAR (%) é a eficiência aparente de recuperação de azoto, F o tratamento com adubação e C o tratamento control. A eficiência de utilização de azoto (EUA, kg kg⁻¹) foi calculada de acordo com a equação (Baligar *et al.*, 2001):

$$EUA = \frac{\text{MS nas plantas em F, Kg} - \text{MS nas plantas em C, Kg}}{\text{Quantidade de N aplicado em F, Kg}} \quad (7)$$

7. Objectivos do trabalho

O presente trabalho pretende contribuir para a avaliação da influência de diferentes níveis de adubação azotada na modificação das características agroclimatológicas do desenvolvimento e crescimento do sorgo forrageiro de regadio, nas condições edafo-climáticas do Nordeste Transmontano e tem como principais objectivos:

a) Estudar a influência de diferentes níveis de adubação azotada na forma como elementos do microclima afectam o crescimento e desenvolvimento do sorgo nomeadamente em termos de crescimento em altura, evolução do número de folhas, índice de área foliar, produção de biomassa, e extracção de azoto. Esta avaliação é feita em termos dos tempos térmicos de desenvolvimento, da eficiência de utilização da radiação para a produção de matéria seca e eficiência de recuperação do azoto, em condições hídricas não limitantes.

b) Analisar a existência de parâmetros agrometeorológicos da cultura do sorgo que se mantenham constantes e independentes das doses de azoto aplicadas, em condições hídricas não limitantes.

c) Contribuir para o estudo da cultura do sorgo e sua divulgação, nas condições edafo-climáticas específicas do Nordeste Transmontano.

8. Estrutura da tese

Este trabalho é constituído por quatro capítulos. O presente capítulo consiste numa introdução na qual são descritos os conceitos gerais que determinam, controlam e contribuem para a compreensão do tema abordado e se apresenta a possível contribuição do estudo para o conhecimento actual. O segundo capítulo apresenta as características do sistema estudado e a descrição do dispositivo experimental, bem como os métodos usados. No terceiro capítulo são apresentados e discutidos os resultados e no quarto são apresentadas as considerações finais do trabalho.

CAPÍTULO II

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Caracterização do local experimental.

As experiências de campo com a cultura do sorgo decorreram nas instalações da Escola Superior Agrária de Bragança, Quinta de Santa Apolónia, Bragança (41° 47' 48" N, 6° 45' 58" W e 660 m de altitude). Todo o restante trabalho laboratorial teve lugar nos Laboratórios de Agroclimatologia e de Solos da Escola Superior Agrária de Bragança. As experiências sobre a influência da temperatura no comportamento germinativo da variedade de sorgo utilizada, assim como a construção de parte do equipamento necessário (tubos solarímetros) decorreram no Laboratório de Agrometeorologia do Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

1.1. Clima

A região enquadra-se na Terra Fria Transmontana, zona de clima mediterrâneo, de transição devido à influência do regime atlântico e mostrando já alguma continentalidade.

A caracterização climática da região foi feita com base na análise da variação ao longo do ano dos valores mensais da temperatura média do ar, humidade relativa, insolação e precipitação. Os dados utilizados são os da Estação Meteorológica de Bragança (41° 48' N e 6° 44' W), situada a cerca de 800 m do local experimental, publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG, 1991) e cobrindo um período de 30 anos, de 1951 a 1980.

A radiação solar média anual é de 16,5 MJ m⁻², verificando-se que os meses de Maio a Agosto apresentam uma radiação global diária superior a 20 MJ m⁻².

Junho, Julho Agosto e Setembro são os meses mais quentes (Quadro 2.1), com temperaturas médias do ar acima dos 17 °C, enquanto que Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março, são os meses mais frios, com temperaturas médias do ar inferiores a 8 °C. A temperatura média anual em Bragança é de 11,9 °C. As temperaturas médias mensais variam entre 4,5 °C em Janeiro e 20,7 °C em Julho. As temperaturas médias máximas mensais variam entre 27,9 °C em Julho e 8,0 °C em Janeiro enquanto que as temperaturas médias mínimas mensais variam entre 0,9 °C em Janeiro e 13, 5°C em Julho (Figura 2.1). No que diz respeito a geadas, em Bragança só os meses de Junho, Julho e Agosto são livres de perigo das mesmas.

Quadro 2.1 - Valores médios mensais da temperatura média diária do ar (T), da radiação solar global diária incidente (S_{\downarrow}), da Humidade relativa (HR) e da Precipitação total (R) em Bragança, no período 1951 a 1980

Meses	S_{\downarrow} ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	HR (%)	R (mm)
Janeiro	8.8	4,5	85	105,4
Fevereiro	9.7	5,6	78	99,2
Março	13.8	7,9	71	81,5
Abril	19.8	10,1	66	54,5
Mai	23.9	13,6	64	53,0
Junho	26.3	17,5	60	41,4
Julho	28.6	20,7	52	15,6
Agosto	24.6	20,4	53	14,4
Setembro	17.9	17,7	60	32,9
Outubro	11.7	12,8	73	65,6
Novembro	7.6	7,8	79	87,1
Dezembro	5.2	4,7	85	90,5
Ano	16.5	11,9	69	741,1

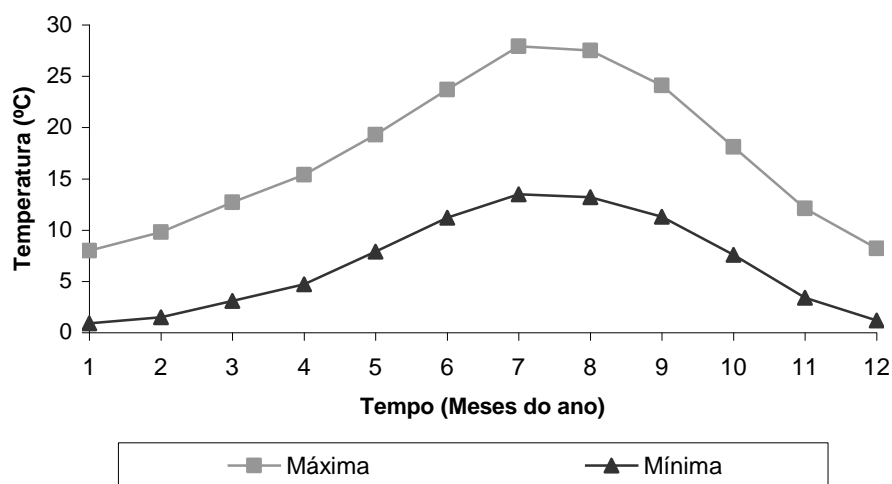


Figura 2.1 Valores médios mensais da temperatura máxima e mínima diária do ar no período 1951-1980, em Bragança

A precipitação média mensal e a evapotranspiração potencial média mensal (ETP) calculada pelo método de Penman / Montheith (Kassam, 1981), são apresentadas na Figura 2.2. A precipitação anual na região é de 741,1 mm (Quadro 2.1), com cerca de 71% da precipitação concentrada nos meses de Inverno entre Outubro e Março. Janeiro é o mês de maior pluviosidade (105,4 mm), e Julho e Agosto os meses mais secos (15,6 mm e 14,4 mm, respectivamente). A ETP excede a precipitação entre Fevereiro e Outubro (meses secos). Do ponto de vista agronómico, o período seco é definido como $R_{\text{mensal}} \leq 0.5 \text{ ETP}_{\text{mensal}}$ (Barry e Charley, 1976) e ocorre entre Junho e Setembro.

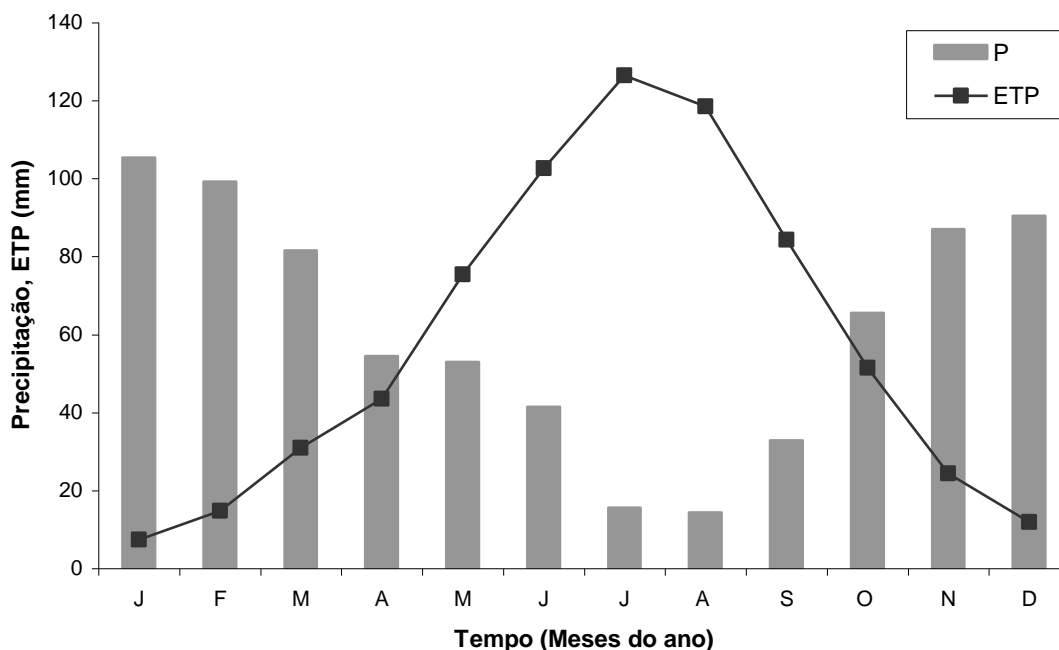


Figura 2.2 Precipitação média mensal e evapotranspiração potencial mensal (método Penman) em Bragança (normais de 1951 – 1980)

Segundo a Classificação Climática de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948), o clima desta região é do tipo B1 B'1 s2 b'4 (húmido, mesotérmico, com grande deficiência de água no Verão, com moderada concentração da eficiência térmica na estação quente) e segundo a Classificação de Köppen (Ahrens, 2003) é do tipo Csb (Mesotérmico húmido, com estação seca no Verão, Verão longo e fresco).

1.2. Solos

Os solos da área experimental foram observados e caracterizados aquando dos trabalhos efectuados com vista à cartografia dos solos da Quinta de Santa Apolónia¹. O Quadro 2.2 mostra resultados analíticos relativos ao perfil 31/84, representativo dos perfis então observados naquela área.

São solos derivados de rochas básicas, com perfil Ap-Bw-C-R. A sua camada superficial (0 a 30 cm) apresenta cor parda 7,5YR 5/4 e parda-avermelhada 5YR 4/4 (justificativa do sufixo qualificador do grupo de referência) enquanto que a textura é franca a franco-argilo-arenosa, com algum saibro e cascalho e alguma pedra miúda; a agregação é anisoforme angulosa fina, muito fina e média-forte e a compactidade média a grande; o teor em matéria orgânica é baixo, o grau de

¹ Realizaram os trabalhos, nunca formalmente publicados, os Professores António Réfega (UNL) e Afonso Martins (UTAD), em 1984.

saturação em bases é ligeiramente superior a 50% (V varia entre 50 e 55%) e a reacção da solução do solo é neutra (ou ligeiramente ácida). Em profundidade, a cor varia entre vermelho-amarelado 5YR 4/6 (até cerca de 70 cm) e pardo forte 7,5YR 5/6 (entre 70 cm e 110 cm), há um aumento do teor em argila (a textura é franco-argilosa) e do grau de saturação em bases, pelo que a reacção do solo tende a ser neutra a ligeiramente alcalina. Em profundidade há também um aumento da pedregosidade, sendo esta composta por fragmentos de rochas básicas (cloritoxistos, peridotitos e serpentinitos). Este substrato litológico é suficientemente compacto e são para constituir fundo de cova cerca dos 160-200 cm de profundidade.

O solo apresenta elevada capacidade de armazenamento de água (C.M.A. entre 0,43 e 0,56 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) com uma permeabilidade lenta até aos 115 cm (C.H. igual ou inferior a $0.01 \text{ cm hora}^{-1}$) lenta; os teores em P_2O_5 e K_2O extraíveis são elevados (superiores a 100 mg Kg^{-1} , em qualquer dos casos) e o teor em matéria orgânica baixo.

De acordo com a última versão do sistema WRB (IUSS Working Group WRB 2006), os solos da área estudada podem classificar-se como Cambissolos háplicos crómicos – solos com desenvolvimento moderado e que apresentam um horizonte de diagnóstico do tipo Câmbico, subsuperficial.

Quadro 2.2 – Caracterização do perfil de solo representativo da área de estudo

Caracterização do perfil de solo representativo da área de estudo

Profundidade cm	Granulometria					MVA g cm ⁻³	PT %	CMA m ³ m ⁻³	Humidade m ³ m ⁻³			CH cm h ⁻¹	pH		C g kg ⁻¹	N mg kg ⁻¹	Extraíveis	
	> 2mm	AG	AF	LI	AR				pF				H2O	KCL			P ₂ O ₅	K ₂ O
	g kg ⁻¹								2.0	2.7	4.2						mg kg ⁻¹	
00 - 15	215,1	260	446	189	105	1,48	43,56	0,45	0,24	0,17	0,08	0,00	6,3	5,1	9,1	1,4	181	166
15 - 30	222,8	214	475	183	128	1,50	43,05	0,44	0,26	0,18	0,09	0,00	7,0	5,3	11,8	1,4	112	128
40 - 70	181,3	191	460	182	167	1,47	46,45	0,56	0,24	0,16	0,08	0,00	7,3	5,3	6,7	nd	27	80
90 - 115	149,2	182	445	175	198	1,43	48,55	0,53	0,27	0,17	0,09	0,01	7,4	5,3	nd	nd	nd	nd
130 - 160	460,4	410	379	106	105	1,55	41,69	0,43	0,18	0,12	0,06	0,08	7,5	5,3	nd	nd	nd	nd
195 - 210	17,3	30	394	235	341	1,27	56,58	0,53	0,43	0,33	0,21	0,00	7,5	5,2	nd	nd	nd	nd

AG – Areia grossa, AF – Areia fina, LI – Limo, AR – Argila, MVA – Massa volúmica aparente, PT – Porosidade total, CMA – Capacidade Máxima para a água, CH – Condutividade hidráulica, C – Carbono, N - Azoto

2. Esquema experimental.

Em 1997, 1998 e 1999 semeou-se uma área total continua de 3600 m² dividida em 4 talhões contíguos de 900 m² cada. Os dados climáticos mostram que em Bragança a cultura do sorgo pode ser semeada com alguma segurança a partir da 2^a quinzena de Maio, quando já é muito reduzido o perigo de geadas tardias, e a temperatura média mensal do ar é superior a 12 °C. O período vegetativo da cultura poderá prolongar-se até finais de Setembro.

Nos três anos de ensaios foi utilizada a variedade de sorgo híbrido forrageiro de ciclo curto Sweet Sioux IV (sorgo x erva do Sudão), adquirido todos os anos à firma Gonçalves e Fonseca.

O sorgo foi semeado após a preparação do terreno, que incluiu uma lavoura, adubação de fundo e gradagem. Foi semeado com semeador de sementeira directa para cereais UNIDRILL, a uma profundidade de 2 a 5 cm, tendo-se fechado um tubo alternadamente, o que proporcionou entrelinhas de 27 centímetros e uma densidade de sementeira de cerca de 80 plantas por metro quadrado.

Em 1997 o sorgo foi semeado em 17/06 e colhido em 25/08, em 1998 foi semeado em 09/06 e colhido em 24/08 e em 1999 foi semeado em 14/06 e colhido em 30/08.

Em cada um dos anos foram previamente feitas análises químicas aos 20 cm superficiais do solo, no Laboratório de Solos da ESAB, para determinação dos teores de azoto, fósforo e potássio existentes. A Figura 2.3 apresenta um exemplo dessas análises, para o ano de 1999. No primeiro ano calculou-se através das normas de recomendação de adubação do Laboratório de Solos, que o teor de N no solo para a cultura do sorgo era de 400 kg ha⁻¹, o de fósforo era de 150 kg ha⁻¹ e o de potássio era de 300 kg ha⁻¹.

Em cada um dos quatro talhões experimentais foi utilizado um teor de azoto diferente. Num talhão não se aplicou azoto (N0), noutro (N1) adubou-se para o nível de azoto recomendado e nos outros dois talhões adubou-se para níveis de azoto correspondentes ao dobro (N2) e ao triplo (N3) da dose recomendada (Quadro 2.3). Em todos os talhões adubou-se para os níveis recomendados de fósforo e potássio.

Os adubos foram aplicados ao solo numa única adubação de fundo, antes da sementeira, com azoto (Nitromagnésio 20.5%), fósforo (Super Fosfato 18%) e potássio (Cloreto de Potássio 60%).

Quadro 2.3 – Normas de adubação utilizadas na adubação de fundo Kg.ha-1

Talhão	N	P	K
N0	0	150	300
N1	400	150	300
N2	800	150	300
N3	1200	150	300

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA
LABORATÓRIO DE SOLOS
(Tel: 073-3303241)

TÉCNICO: _____
BRIGADA CONCELHIA: _____
PROPRIETÁRIO: EN6^º LUIS COSTA
MORADA: RUA DE STA APOLONIA
RESULTADOS DAS ANÁLISES ÀS AMOSTRAS ENVIADAS EM _____

Nº da AMOSTRA	Prof. (cm)	LOCALIZAÇÃO	AZOTO TEXTURA	% M.O.	pH		Fósforo (ppm de P ₂ O ₅)	Potássio (ppm de K ₂ O)
					H ₂ O	KCl		
7318	0-20	PARTE ALTA	0,109	1,91	6,3	5,1	117 A	129 A
7319		PARTE BAIXA	0,106	1,7	6,4	5,2	86 M	105 A

MB - Muito Baixo; B - Baixo; M - Médio; A - Alto; MA - Muito Alto
Textura: Grosseira - arenosa; areno-franco; franco-arenosa
Média - franca; franco-limosa
Fina - franco-argilosa; argilo-arenosa; argilo-limosa; argilosa

RECOMENDAÇÃO

Nº AMOSTRA	CULTURA	CALCÁRIO	ESTRUME				
7318							
7319							

Observações:

Da próxima vez que envie amostras destas parcelas, indique a fertilização realmente efectuada, as produções obtidas e qualquer outro elemento que julgue útil sobre a cultura. Quando se tratar de culturas arbóreas não se esqueça de indicar a sua idade.

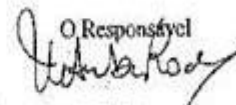
O Responsável


Figura 2.3 – Análise química do solo referente ao ano de 1999

Para que a água não constituísse factor limitante, foi instalado um sistema de rega de três linhas por aspersão e, em cada talhão, 4 tensiómetros a 30 cm de profundidade e 3 tubos de acesso à sonda de neutrões que permitiram medir a humidade do solo até aos 150 cm de profundidade. Foram feitas leituras do teor de água no solo de 2 em 2 dias nos tensiómetros e duas leituras semanais com a sonda de neutrões. Quando o teor de água a 30 cm fosse inferior a 80% da capacidade de campo no dia seguinte regava-se para repor o teor de água acima dos 90% da capacidade de campo. Assim foi possível manter o nível da água no solo sempre acima dos 80% da capacidade de campo evitando-se o stress hídrico (Pereira, 2004).

3. Medições realizadas

3.1. Medições meteorológicas

Em cada ano, no vértice comum os quatro talhões foi montada uma torre meteorológica, para medição das temperaturas do solo, velocidade do vento, radiação solar, precipitação, humidade e temperatura do ar (Figura 2.4).



Figura 2.4 - Vista geral da estação meteorológica montada no ensaio de 1999

Na torre, o sistema automático de aquisição e armazenamento de dados era um data-logger modelo Delta-T com 30 canais, onde foram ligados os seguintes sensores:

- Um anemómetro de copos A100R, da Vector Instruments, para medição da velocidade do vento a 2 metros de altura.
- Um Piranómetro OMC 604, da Obsermet, para medição da radiação global, a 3,5 metros de altura.
- Um udómetro OMC 200, da Obsermet, para medição da precipitação, a 2 metros de altura.
- Dois termohigrógrafos RHA 1, da Vector Instruments, para medição da humidade relativa e temperatura do ar, um a 2 metros de altura e outro a 3 metros de altura.
- Quatro termopares de cobre-constantan, de construção própria, 1 por cada tratamento para medição da temperatura do solo a 5 centímetros de profundidade.
- Um tubo solarímetro de referência posto fora do copado a 200 cm de altura.
- Oito tubos solarímetros a 10 cm de altura, à razão de dois por cada talhão experimental.
- Dez a doze tubos solarímetros postos em dois talhões, às diferentes alturas estudadas (10, 20, 50, 120 e 210 cm).

Os sensores de radiação solar eram lidos todos os 10 segundos e registadas as médias de 10 em 10 minutos. Os restantes sensores eram lidos todos os 5 minutos e registadas as médias horárias e diárias, ou os totais horários e diários no caso da precipitação.

3.1.1. Radiação solar transmitida e interceptada

Como foi apresentado no capítulo 1, a radiação interceptada pelo índice de área foliar IAF de um coberto é a diferença entre a radiação solar incidente no topo de IAF e a transmitida através de IAF. Para todo o coberto, será a diferença entre a radiação solar incidente e a medida ao nível do solo.

Um dos métodos mais comuns para a medição da transmissão de radiação numa cultura consiste em instalar em cima e em baixo do coberto tubos solarímetros que integram a radiação numa área representativa de cerca de 2 x 90 cm (Szeicz *et al.*, 1964).

Idealmente a radiação transmitida deve ser medida usando tubos solarímetros que permanecem durante todo o período vegetativo da cultura. Há erros sistemáticos que podem ser induzidos se a proporção de radiação absorvida for significativamente afectada pela variação diurna da elevação solar ou pelo grau de nebulosidade. Contudo estes erros são pequenos e o método funciona bem quando são comparados tratamentos dum mesmo local e quando a radiação transmitida é calculada na base de um longo período de observações.

No presente trabalho a radiação solar transmitida (St) foi medida através de vários tubos solarímetros previamente construídos para o efeito. Estes tubos foram colocados a vários níveis dentro do coberto, na diagonal das entrelinhas, de modo a que as suas extremidades ficassem nas linhas de sementeira. A disposição dos tubos permitiu a integração de toda a radiação dos espaços nas entrelinhas.

Em 1997 os tubos solarímetros, foram colocados em todos os talhões a 10 cm de altura (nível do solo). Em 1998 (nos tratamentos N0 e N2) e 1999 (nos tratamentos N1 e N3) foram colocados a diferentes níveis: a 10cm do solo (nível 1); a 20 cm do solo (nível 2); a 50 cm do solo (nível 3); a 120 cm do solo (nível 4) e a 210 cm (nível 5). O perfil vertical de radiação transmitida e interceptada assim determinado, associado à área foliar, permitiu estimar o coeficiente de extinção da radiação.

3.1.2. Construção e calibração de tubos solarímetros

Um dos primeiros tubos solarímetros referenciados na literatura foi desenvolvido por Szeicz *et al.* (1964). O seu funcionamento baseia-se no desenvolvimento de uma tensão, provocada por diferenças de temperatura entre junções quentes de termopares, pintadas de preto e absorventes da radiação solar e junções frias, pintadas de branco e reflectoras da radiação solar. Essa tensão é proporcional à diferença de temperatura entre junções.

Métodos de construção mais simples, baseados no mesmo princípio de funcionamento que o de Szeicz *et al.* (1964), têm sido desenvolvidos por outros autores (Lancashire, 1981; Green & Deuchar, 1985) com o intuito de tornar a construção destes instrumentos mais simples, menos morosa e de custos mais baixos.

3.1.3. Construção de tubos solarímetros

Para a construção dos tubos solarímetros utilizados no presente trabalho, seguiu-se o método desenvolvido por Green & Deuchar (1985), o qual se baseia no uso de placas de circuito impresso (PCI). Foram construídos 20 tubos solarímetros com sensores de 80 cm de comprimento e 2,3 cm de largura cada.

Os sensores foram fixos com fita adesiva dupla, sobre um varão de cortinado. A cada extremidade do circuito soldou-se o fio condutor, para permitir a ligação ao sistema de colheita e armazenamento de dados. Fixou-se um nível de bolha numa das extremidades do varão para que a superfície das placas aquando das medições ficasse na horizontal. Em seguida, aplicaram-se várias camadas de tinta branca opaca e reflectora, de forma a serem preenchidos os espaços entre fios e ser obtida uma superfície lisa e homogénea. Após a secagem desta tinta, pintaram-se segmentos alternados nas placas com tinta preta de forma a criar-se as “junções quentes”. Este procedimento permite que a diferença média de temperatura entre superfícies brancas e pretas não seja afectada quando a radiação incide mais sobre um dos lados do tubo (Szeicz *et al.*, 1964).

A pilha térmica foi inserida num tubo de vidro “Pyrex” apropriado, de um metro de comprimento e de 2,6 cm de diâmetro interno. Inseriu-se também em cada extremidade um pequeno saco com sílica gel de forma a criar uma atmosfera seca. As extremidades do tubo foram fechadas com rolhas de borracha trespassadas por um tubo de plástico e adaptadas a caixas com sílica gel. O

tubo de vidro utilizado é transparente para a radiação solar entre 0,4 e 2,0 μm , que constitui praticamente o total de radiação solar à superfície do globo.

Os tubos solarímetros foram construídos no Laboratório de Agrometeorologia do Instituto Superior de Agronomia.

3.1.4. Calibração de tubos solarímetros

A calibração dos tubos solarímetros foi feita por comparação dos seus valores (milivolts) com os valores (w m^{-2}) de um instrumento de sensibilidade conhecida (Piranómetro OMC 604).

As medições foram efectuadas na Escola Superior Agrária de Bragança, durante vários dias e em local não sombreado (Figura 2.6). Os tubos solarímetros foram orientados na direcção Norte – Sul e ligados juntamente com o Piranómetro a um sistema de aquisição automático de dados (Data-logger), modelo Delta – T, o qual executou medições de 10 em 10 segundos, fazendo e registando automaticamente as médias de hora a hora.

Para a determinação da constante de calibração de cada tubo, utilizou-se uma regressão linear através da origem.



Figura 2.5 – Verificação e calibração de tubos solarímetros no ano de 1998

3.1.5. Temperatura do solo

Em cada um dos tratamentos, a temperatura do solo foi medida com termopares de Cobre-Constantan (Tipo T), instalados à profundidade de 5 cm. Os quatro termopares foram ligados a uma caixa de junção que funcionou como interface com o Data-Logger. Na caixa de junção foi instalado um termopar do mesmo tipo para medição da temperatura de referência das junções dentro da caixa.

A soldadura de medição dos termopares foi protegida por uma manga de borracha, que permite uma elevada protecção à corrosão da soldadura e isolamento a sinais eléctricos estranhos.

Andrade (2001), citando outros autores, refere que “os termopares são sensores de precisão aceitável, com resposta térmica rápida, adaptáveis a uma gama apreciável de temperaturas, têm um custo relativamente baixo e são compatíveis com a maior parte dos sistemas de registo e medição. Tendo em conta os erros máximos referentes à medição da temperatura de referência ($\pm 0,3^{\circ}\text{C}$), ao tipo de termopar ($\pm 0,225^{\circ}\text{C}$), à medição da voltagem ($\pm 0,05^{\circ}\text{C}$) e a sua conversão em unidades de temperatura ($\pm 0,001^{\circ}\text{C}$), o erro total máximo será inferior a $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$.”

Os termopares utilizados no ensaio foram construídos no Laboratório de Agrometeorologia do Instituto Superior de Agronomia e tinham um output de $40 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

3.2. Medições Biológicas

3.2.1. Germinação na placa de gradiente térmico

Os estudos sobre o efeito da temperatura na germinação das sementes do sorgo Sweet Sioux IV, foram efectuados no ano de 1997, na placa de gradiente térmico construída no Laboratório de Agrometeorologia do Instituto Superior de Agronomia (Ferrão e Abreu, 1999; Andrade, 2001) e já utilizada em vários outros trabalhos.

A placa foi programada para 12 temperaturas diferentes numa gama de 10 a 41°C . Esta gama térmica foi escolhida pelo conhecimento prévio da cultura do sorgo nesta placa de gradiente térmico (Ferrão e Abreu, 1999).

O equipamento foi ligado com a antecedência suficiente para que, no momento da colocação das sementes nas unidades de germinação (discos de Petri), a gama de temperaturas pretendidas ao longo da placa estivesse definitivamente estabilizada. Estas unidades foram internamente forradas com folhas de papel de filtro e embebidas em água destilada. Sempre que necessário, foi adicionada água destilada até ao fim da experiência.

Foram colocadas 30 sementes em cada disco de Petri por cada faixa transversal, no total de 150 sementes por temperatura. Em cada faixa foi colocado um termopar de controlo num dos cinco discos. A contagem das sementes germinadas realizou-se inicialmente de 2 em 2 horas, evoluindo

depois para periodicidades maiores. Considerou-se que as sementes tinham germinado quando a protusão da radícula era de cerca de 2 mm (Andrade, 2001). As sementes germinadas foram retiradas dos discos em cada contagem. O fim da experiência foi determinado pela não observação de qualquer semente germinada durante 48 horas a qualquer das temperaturas.

A dimensão da germinação foi avaliada pela Germinação final. A Germinação final (G_f , em %) a cada temperatura é a fracção de sementes germinadas relativamente ao total de sementes postas a germinar a essa temperatura.

Por interpolação das curvas de germinação acumulada (expressas como percentagem de G_f) em função do tempo cronológico, foi possível estimar o tempo necessário à germinação da fracção correspondente a 50% ($0,5 G_f$) e a 80% ($0,8 G_f$) da germinação final.

A taxa ou velocidade de um processo ou de uma fase específica de desenvolvimento (R) é o inverso da sua duração cronológica (t , em horas ou dias) como descrito na equação 1. A taxa de germinação R (G) foi calculada para as fracções $G = 0,5 G_f$ e $G = 0,8 G_f$. As T_{base} e $T_{máx}$ foram estimadas a partir da equação (1), igualando a zero os valores de R , enquanto que as T_{opt} foram estimadas a partir da intersecção das rectas definidas pela mesma equação (Andrade, 2001).

3.2.2. Emergência

A partir do 5º dia após a sementeira foram feitas contagens diárias do nº de plantas emergidas em 4 x 1 m de linha de sementeira não contínuos e não adjacentes, em cada talhão experimental. Considerou-se uma planta emergida quando à superfície do solo foram visíveis o primeiro par de folhas (Dospexov, 1985).

As contagens foram terminadas quando ao fim de três dias consecutivos não se verificou qualquer emergência.

3.2.3. Densidade populacional

A densidade populacional foi medida uma vez por semana desde a emergência até à colheita. Foram contadas todas as plantas em 2 x 1 metros lineares não adjacentes por talhão, e posteriormente calculado o n.º de plantas por unidade de superfície.

3.2.4. Número de folhas e área foliar

Em todos os talhões foram feitas análises destrutivas para a determinação da superfície foliar. Semanalmente e durante todo o período vegetativo, em cada tratamento foram colhidas manualmente todas as plantas de dois metros lineares não adjacentes e transportadas para o Laboratório de Agroclimatologia da ESAB. As plantas foram cortadas o mais possível junto ao solo. No laboratório as folhas foram separadas dos caules, contadas, e medida as respectivas áreas da face superior, com um medidor de área foliar CI – 200 da CID Inc.

A área foliar (AFP) total por planta foi calculada somando as áreas da face superior das folhas individuais de cada planta. O Índice de área foliar (IAF), definido como a área das folhas por unidade de área de terreno, foi calculado como o produto de AFP pela respectiva densidade populacional.

O medidor de área foliar foi calibrado no início do período experimental, em cada ano, correlacionando as áreas reais de modelos de folhas em papel com as medidas pelo instrumento.

3.2.5. Altura das plantas

A altura das plantas foi medida semanalmente, no campo, em 20 plantas escolhidas aleatoriamente em cada tratamento. As plantas foram medidas com uma régua desde a superfície do solo até ao topo. Depois do lançamento da panícula, as plantas foram medidas da superfície do solo à altura maior da panícula.

3.2.6. Matéria seca

A produção de biomassa da parte aérea das plantas foi avaliada pela quantificação do seu peso seco, nas plantas colhidas para a medição da área foliar. As folhas, caules e mais tarde panículas de cada planta foram separadas, cuidadosamente retalhadas e postas a secar numa estufa de ventilação forçada, em tabuleiros devidamente tarados, à temperatura de 80°C até peso constante. O tempo de permanência das amostras na estufa variou entre cinco e nove dias. Depois de completamente secas as plantas foram pesadas numa balança electrónica de precisão (0,01 g).

Assim, determinou-se semanalmente a matéria seca total (MST) e a sua partição pela matéria seca das folhas (MSF), pela matéria seca dos caules (MSC) e pela matéria seca das panículas (MSP).

Sendo conhecido o número de plantas colhidas nos dois metros lineares e conhecendo a densidade populacional em cada toma, determinou-se a quantidade de MS por unidade de área de terreno.

3.2.7. Eficiência de recuperação e de utilização do azoto

Para a determinação do teor em azoto nas plantas, foram feitas todos os anos, no Laboratório de Nutrição Animal da ESAB, análises bromotológicas do sorgo (folhas caules e panículas).

As amostras, previamente utilizadas na determinação da matéria seca, foram moídas em moinho de martelos com crivo de 1mm e utilizadas na determinação do azoto pelo método Kjeldhal (macro-Kjeldhal). Todas as determinações foram realizadas em duplicado.

Foram calculados para os tratamentos N1 (N 400 Kg.Ha⁻¹), N2 (N 800 Kg.Ha⁻¹) e N3 (N 1200 Kg.Ha⁻¹) a eficiência de recuperação e a de utilização do azoto, ao longo do ciclo vegetativo e nos

anos de 1997, 1998 e 1999, através das equações 6 e 7 para a avaliação da capacidade das plantas na absorção e utilização de azoto do solo.

3.2.8. Métodos de análise estatística

A análise estatística dos resultados foi efectuada com os programas de estatística Estatística, SPSS e Excel.

Para a comparação múltipla entre os valores médios utilizou-se a análise de variância (ANOVA) de classificação simples, tendo-se considerado significativas as diferenças a $p \leq 0,05$.

A avaliação das inter-relações entre certos parâmetros foi efectuada através de regressão linear simples. Os níveis de significância das regressões lineares foram avaliadas através do teste de F. Para a comparação entre regressões lineares simples, designadamente para avaliar o significado estatístico das diferenças entre duas regressões simples, foi utilizada a regressão múltipla.

CAPÍTULO III

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Comportamento dos elementos meteorológicos nos anos de ensaio

Utilizando os dados da Estação Meteorológica de Bragança comparou-se o comportamento da temperatura média do ar e da precipitação dos anos experimentais de 1997, 1998 e 1999 com o ano médio. Em 1997 há falhas nos valores mensais da precipitação e temperatura, pelo que os valores anuais não foram possíveis de calcular (Quadro 3.1).

Quadro 3.1. Pluviosidade (mm) e T médias mensais do ar (°C) medidos na Estação Meteorológica de Bragança no ano médio e nos anos experimentais de 1997, 1998 e 1999

Meses	Ano Médio		1997		1998		1999	
	R mm	Tmedia °C	R mm	Tmedia °C	R mm	Tmedia °C	R mm	Tmedia °C
Janeiro	105,4	4,5	*	*	85	6,6	75,8	4,7
Fevereiro	99,2	5,6	2,7	8,3	34,1	8,6	11,8	5,8
Março	81,5	7,9	0	12,8	36	11,3	66,3	8,6
Abril	54,5	10,1	29,9	14,3	100,9	8,9	66,2	11
Maió	53	13,6	98,1	14	74,4	14,1	117,3	14,4
Junho	41,4	17,5	69,8	15,3	49,1	17,8	17,5	18,5
Julho	15,6	20,7	52,4	20,5	7,4	22,3	7,7	23
Agosto	14,4	20,4	33,9	21,9	32,2	24	52,2	20,7
Setembro	32,9	17,7	*	8,5	83,2	18,3	149	17,3
Outubro	65,6	12,8	132,5	14,9	16	12,5	173,9	12,7
Novembro	87,1	7,8	*	14,4	15	8,1	12,4	6,7
Dezembro	90,5	4,7	*	5,4	42,7	3,6	76,7	5,2
	741,1	11,9			576	13	826,8	12,4

* Sem dados

Os valores do Quadro 3.1 mostram que em 1997, nos meses de Maio a Agosto, correspondentes ao período vegetativo das culturas de Verão na região, a precipitação foi mais elevada que a do ano médio em 129,8 mm. A temperatura média em 1997 no período de Maio a Agosto foi praticamente igual à do ano médio.

No ano de 1998 a precipitação total em Bragança foi de 576 mm, menos 165,1 mm que o ano médio, sendo responsáveis por esta diminuição os meses de Outubro a Março; em contrapartida, de Abril a Setembro a pluviosidade foi mais elevada que o ano médio, à excepção do mês de Junho. A temperatura média anual em 1998 foi em média mais elevada 1,1 °C que a do ano médio. Neste ano, só os meses de Abril, Outubro e Dezembro apresentaram temperaturas médias mensais um pouco mais baixas, em 1,2 °C, 0,3 °C e 1,1 °C que as do ano médio. No período vegetativo de Verão a precipitação foi superior em 38,7 mm e a temperatura média do ar em 1,5 °C aos valores do ano médio.

No ano de 1999 a pluviosidade total anual foi em 85,7 mm superior à do ano médio, sendo que se verificou, como no ano de 1998, uma diminuição acentuada de quedas pluviométricas nos meses de Inverno e um aumento nos meses de Abril, Maio, Agosto, Setembro e Outubro. A temperatura média anual em 1999 foi 0,5 °C mais elevada que a do ano médio. As temperaturas médias mensais foram mais baixas que as do ano médio no mês de Setembro (0,4 °C), no mês de Outubro (0,1 °C) e no mês de Novembro (1,1 °C). No período de Maio a Agosto a precipitação foi em 70,3 mm superior e a temperatura média do ar em 1,1 °C superior aos valores do ano médio.

Os elementos meteorológicos medidos no campo de ensaios durante o período experimental em cada um dos anos são apresentados no Quadro 3.2 em termos de médias ou totais quinzenais; nomeadamente, a radiação solar média diária, temperatura média diária do ar, humidade relativa média diária do ar, temperatura média diária do solo a 5 cm e precipitação total.

Quadro 3.2 – Valores quinzenais da temperatura média diária do ar, temperatura média diária do solo a 5cm de profundidade, humidade relativa média diária do ar, radiação global média diária e pluviosidade total medidos no local dos ensaios e durante a duração dos mesmos nos anos de 1997, 1998 e 1999

Ano	S _{global} (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	T _{med.ar} (°C)	HR (%)	T _{med.solo} (°C)	R (mm)
1997					
18/06/97 - 30/06/97	21,7	14,7	58,3	20,6	4,3
01/07/97 - 15/07/97	19,5	18,2	61,0	17,9	7,5
16/07/97 - 31/07/97	21,5	22,0	61,9	23,2	36,0
01/08/97 - 15/08/97	16,8	21,3	63,9	21,7	4,5
16/08/97 - 31/08/97	14,8	19,7	68,8	18,7	30,5
Período do ensaio	18,9	19,2	62,8	20,3	82,8
1998					
15/06/98 - 30/06/98	24,1	20,3	60,9	25,1	0,0
01/07/98 - 15/07/98	20,9	19,7	63,9	26,3	8,0
16/07/98 - 31/07/98	23,8	22,3	52,5	25,7	1,0
01/08/98 - 15/08/98	19,4	21,9	56,7	20,5	30,8
16/08/98 - 24/08/98	19,3	22,4	59,6	19,8	4,5
Período do ensaio	21,5	21,3	58,7	23,5	44,3
1999					
16/06/99 - 30/06/99	18,7	19,6	58,6	24,2	0,0
01/07/99 - 15/07/99	20,4	21,9	64,1	23,3	0,0
16/07/99 - 31/07/99	23,7	22,6	59,6	24,3	24,7
01/08/99 - 15/08/99	18,1	19,1	67,3	18,7	47,5
16/08/99 - 30/08/99	18,7	20,5	60,1	18,4	0,0
Período do ensaio	19,9	20,8	61,9	21,8	72,2

Nos três anos de ensaios e durante os períodos vegetativos do sorgo (cerca de 65 dias) e tomando como referência o ano de 1997, a temperatura média do ar foi mais elevada no ano de 1998 em 2,1°C e 1,6°C em 1999. A temperatura média do solo medida a 5 cm de profundidade, foi mais elevada em 3,2 °C no ano de 1998 e 1,5 °C em 1999 que em 1997. A humidade relativa do ar foi em 4,1% mais baixa em 1998 e 0,9% em 1999, que no ano de 1997. A radiação global média acumulada durante o período de ensaios foi 2,6 MJ m⁻² dia⁻¹ superior em 1998 e 1,0 MJ m⁻² dia⁻¹ superior em 1999 que em 1997. A precipitação total foi inferior em 38,5 mm em 1998 e 10,6 mm em 1999 que em 1997. O ano de 1998 foi pois o mais seco e quente durante o período experimental e o de 1997 o mais fresco e húmido. Contudo, não é de esperar que os diferentes regimes hídricos entre anos tenham influenciado de forma diferente o desenvolvimento do sorgo devido à aplicação da rega.

2. Desenvolvimento do sorgo

2.1. Germinação e temperatura

Apresentamos aqui os resultados das medições de germinação a temperaturas constantes, na placa de gradiente térmico. As experiências tiveram início no dia 9 de Abril de 1997.

A figura 3.1 apresenta a evolução temporal da germinação acumulada (expressa em percentagem de sementes utilizadas) do sorgo Sweet Sioux IV, para uma gama de 12 temperaturas, entre 11,9 °C e 40,7°C. A cada temperatura, a evolução da curva de germinação acumulada mostra que a germinação final foi de 100 %, indicando um bom comportamento de germinação a todas as temperaturas. As sementes da amostra não germinaram em simultâneo: a germinação da população de sementes, foi mais lenta na fase inicial de germinação, mais rápida nas fracções intermédias e de novo mais lenta para o conjunto das últimas sementes germinadas, até à germinação final. Foi na faixa de temperaturas entre os 17,2 °C e os 23,1 °C que as primeiras sementes germinaram mais cedo. O atraso no início da germinação aumentou para as temperaturas mais baixas e sobretudo para as mais altas, acima de 26,6 °C, sendo esse atraso de 44 h a 40,7 °C. Foi também naquela faixa de temperaturas que a velocidade a que decorreu a germinação foi maior. Para atingir os 50 % de sementes germinadas foram necessárias 72 h a 11,9 °C, 17,5 h a 19,8 °C, 30 h a 29,1 °C, 80 h a 37,6 °C e 146 h a 40,7 °C. A diferença no tempo gasto entre a germinação das primeiras e das últimas sementes no intervalo de temperaturas entre os 17,2 °C e os 23,1 °C, foi pequeno de 12,2 horas; esta diferença foi substancialmente maior a temperaturas mais baixas e sobretudo, nas mais altas.

2.2. Taxa de germinação e temperatura

Para as fracções de germinação de 50 % da germinação final (0,5 G_t) e de 80 % (0,8 G_t), foi analisada a taxa ou velocidade de germinação em função da temperatura. As figuras 3.2 e 3.3

mostram que a variação da taxa de germinação de qualquer das fracções com a temperatura permite definir duas gamas térmicas distintas: uma, em que a taxa aumentou com a temperatura e outra em que a taxa diminuiu com o aumento da temperatura. Para cada uma das gamas térmicas referidas foram estabelecidas regressões lineares entre as taxas de germinação relativas a 0,5 G_f e 0,8 G_f e as temperaturas correspondentes. As regressões e os respectivos coeficientes de correlação são indicados nas Figuras 3.2 e 3.3. Pode-se concluir que a taxa de germinação das sementes de sorgo variou linearmente com a temperatura, nas duas gamas de temperatura, pois as regressões foram significativas a um nível de significância de 95 %.

As temperaturas cardinais foram estimadas de acordo com a equação (1) e são apresentadas no Quadro 3.3. Para 50 % de sementes germinadas do Sorgo Seet Sioux IV, a t_{base} determinada foi de 8,3 °C, a t_{opt} foi de 20,1 °C, a t_{max} de 42°C e θ para temperaturas inferiores à óptima foi de 7,8 °C d. Para 80 % de sementes germinadas, a t_{base} foi de 9,8 °C, a t_{opt} de 21,1 °C, a t_{max} de 42,3 °C e θ de 10,9 °C d. Como a fracção de germinação de 80 % é a agronomicamente aceitável, as exigências térmicas desta fracção, nomeadamente a T_b , serão utilizados em cálculos subconsequentes deste trabalho, quando necessário.

As temperaturas cardinais estimadas encontram-se dentro do intervalo determinado por outros autores na mesma placa de gradiente térmico e para o sorgo. Assim, Ferrão *et al.*, (1996) e Andrade (2001) determinaram para o sorgo Oásis as t_{base} para 80% de sementes germinadas de, respectivamente, 7,9°C e de 7,7°C, para t_{opt} 34,4°C e para t_{max} 48°C. Assim o sorgo Oásis inicia a germinação a temperaturas mais baixas que o Seet Sioux IV, e germina numa gama térmica mais ampla.

Outros autores como Anda & Pinter (1994), em estudos sobre efeitos da temperatura do solo na emergência do sorgo e nas suas fases vegetativas, na Hungria, trabalharam com temperaturas base de 10°C. Lawlor *et al.* (1990) analisaram seis híbridos diferentes de sorgo e determinaram em placa de gradiente térmico temperaturas base de 9,7 °C a 10,6 °C, consoante os híbridos estudados. Kaitaniemi *et al.* (2000), utilizaram a T_{base} de 11°C num modelo de crescimento do sorgo. Duarte *et al.* (2000), em estudos sobre o efeito das condições climáticas no sorgo para fibra, em Portugal, utilizaram a T_{base} de 9,3°C. Podemos pois concluir que a T_{base} de 9,8 °C determinada para o sorgo Sweet Siox IV está dentro das gamas de temperaturas base referenciadas e utilizadas por outros autores para várias cultivares de sorgo.

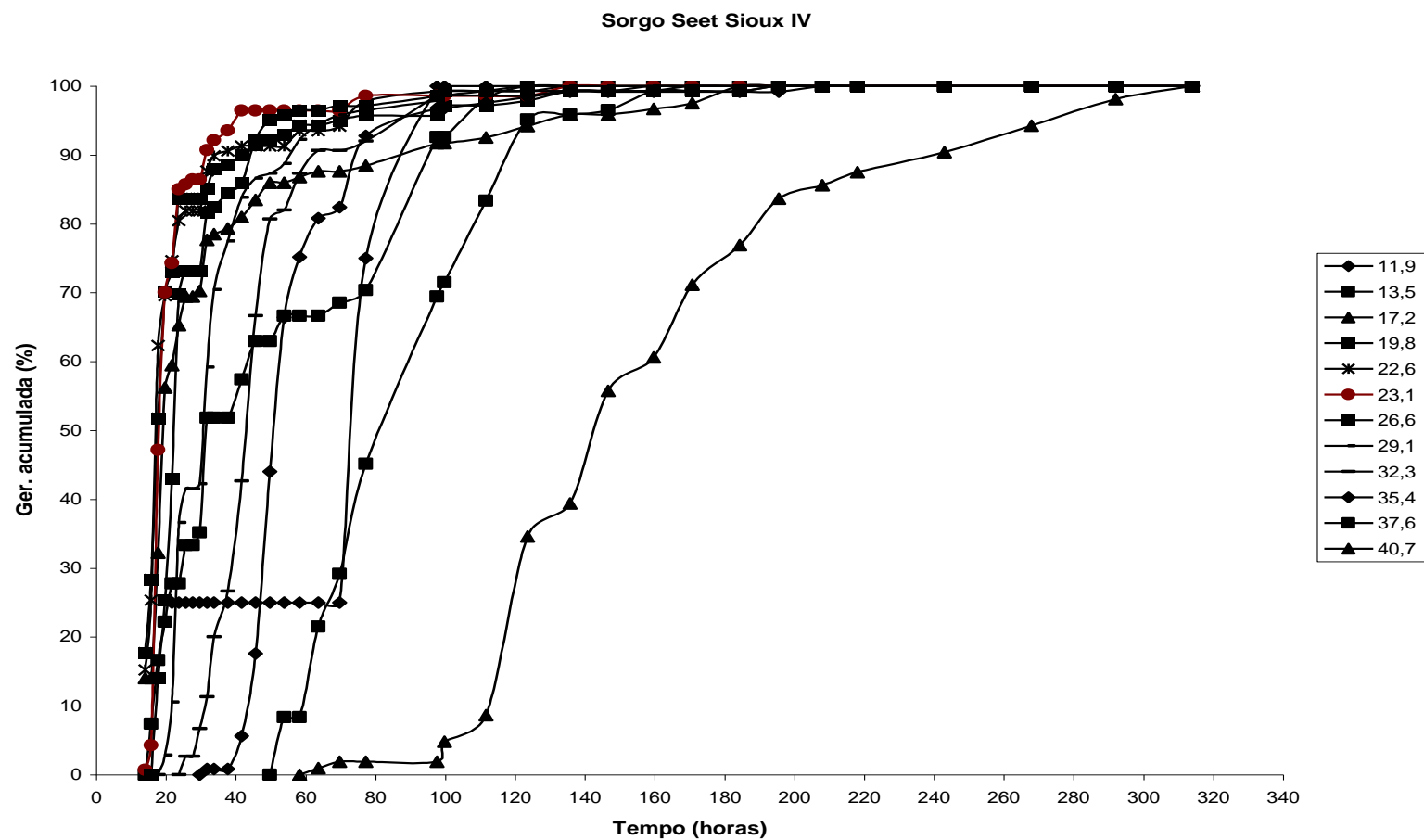


Figura. 3.1 - Curvas de Germinação acumulada (em % das sementes utilizadas) em função do tempo cronológico após sementeira, às temperaturas indicadas

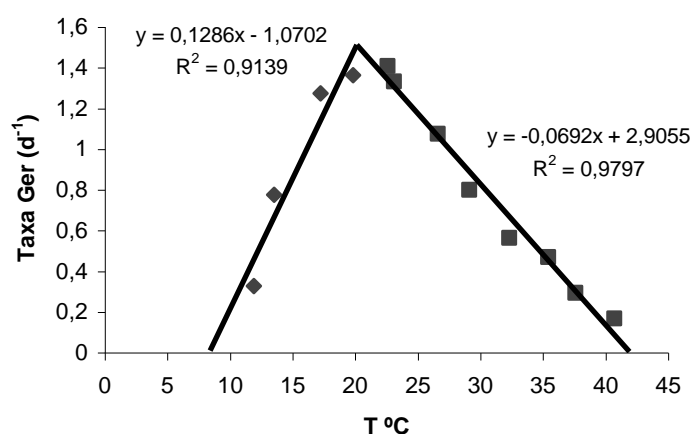


Figura 3.2 - Relação entre a taxa de germinação para 50% da germinação final e a temperatura, e respectivas regressões lineares

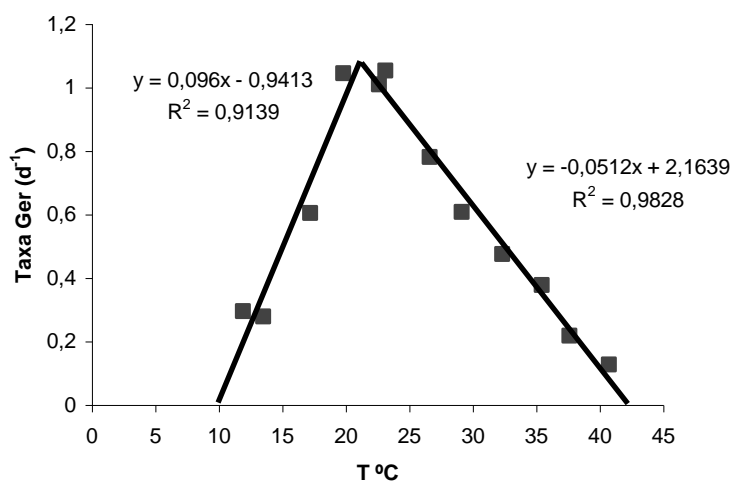


Figura 3.3 - Relação entre a taxa de germinação para 80% da germinação final e a temperatura, e respectivas regressões lineares

Quadro 3.3 - Temperaturas cardinais para 50% e 80% de sementes de sorgo germinadas e respectivas durações térmicas para temperaturas inferiores à óptima.

	50 %	80 %
=	7,8 °Cd	10,9 °Cd
base	8,3 °C	9,8 °C
opt	20,1 °C	21,1 °C
max	42,0 °C	42,3 °C

2.3. Duração cronológica das fases de desenvolvimento do sorgo e sua duração térmica

No Quadro 3.4 são apresentadas as durações cronológicas (em dias após sementeira, DAS) e térmicas (em °C dia), das principais fases vegetativas do sorgo nos anos dos ensaios, a temperatura média do ar e a radiação solar global média diária para cada fase. As medições e cálculos das durações térmicas em graus-dia para os diferentes estados fenológicos do sorgo, foram efectuadas com a soma das temperaturas médias diárias do solo (5 cm de profundidade) até à fase de lançamento da panícula e, posteriormente, com a soma das temperaturas médias diárias do ar (Andrade, 2001), acumuladas acima da temperatura base de 9,8 °C por nós calculada no capítulo anterior.

Não se verificaram diferenças significativas nos três anos quanto ao número de dias necessários para a emergência, embora o tratamento sem azoto (N0) tenha emergido em média dois dias mais cedo que os outros tratamentos.

No tempo necessário para atingir a fase de 7-8 folhas o sorgo apresentou nos três anos de ensaio diferenças significativas de 15 dias entre os tratamentos N0 e N2 em 1997, de 11 dias entre os tratamentos N0 e N3 em 1998, e de 24 dias entre os tratamentos N0 e N3 em 1999. Em média dos três anos o tratamento N0 precisou de mais 7 dias para atingir a fase de 7-8 folhas que os restantes tratamentos.

Entre anos, só foram encontradas diferenças significativas ($P < 0,05$) no número de dias necessário para alcançar a fase 7-8 folhas, entre 1998 e 1999. Esta diferença é devida aos maiores períodos de tempo necessários em 1999 para atingir a fase de 7-8 folhas nos tratamentos N0, N1 e N2, que no ano de 1998. No ano de 1999 os tratamentos necessitaram em média de mais 10 dias para atingirem esta fase de que nos outros anos.

Nas durações cronológicas necessárias para atingir a fase de lançamento da panícula e a fase leitosa pastosa do grão, não se verificaram diferenças significativas entre tratamentos e entre anos. Contudo, no tratamento N0 em 1999 não houve lançamento de panícula e por conseguinte, formação de grão. A duração do ciclo vegetativo variou entre os 68 e os 69 DAS no ano de 1997, entre 69 DAS no tratamento N0 e os 73 DAS nos tratamentos N1 e N2 no ano de 1998 e entre os 79 e 80 DAS no ano de 1999.

Ustimenko & Bakumovski (1982) fazem referência que o sorgo mesmo em condições de severa deficiência de nutrientes, mas desde que não exista deficit hídrico, só muito ligeiramente modifica o seu período vegetativo e a duração cronológica das respectivas fases. Rice & Eastin (1986) referem que as baixas temperaturas e o stress hídrico no sorgo conduzem a um alargamento dos tempos necessários sobretudo para a formação das panículas e à diminuição do número de grãos nas mesmas.

Quadro 3.4 - Duração cronológica (DAS) e térmica (°C dia), temperatura média do solo a 5 cm (T_{Solo}) temperatura média do ar (T_{Ar}) e radiação solar global (Sg), das várias fases vegetativas para os quatro tratamentos (NO, N1, N2 e N3) do sorgo, durante os períodos culturais de 1997, 1998 e 1999.

Ano	Fases		Emergência				Fase de 7-8 Folhas				
	Tratamento	DAS	T _{Solo} (°C)	T _{Ar} (°C)	°C dia	Sg (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	DAS	T _{Solo} (°C)	T _{Ar} (°C)	°C dia	Sg (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
1997	N0	8	21,0	15,9	89,8	21,8	48	22,2	19,6	587,6	22,8
	N1	10	21,1	15,5	112,6	22,6	41	18,6	18,5	392,4	21,8
	N2	13	17,2	14,7	96,8	22,0	33	17,9	18,1	266,7	21,3
	N3	13	17,4	14,7	98,4	22,0	35	18,4	18,4	296,5	21,4
1998	N0	9	24,6	18,0	59,1	24,1	30	26,4	19,9	405,1	21,7
	N1	12	28,8	20,1	113,7	24,0	34	28,5	20,1	522,9	20,2
	N2	13	25,5	20,1	109,5	24,0	30	26,2	19,4	386,8	21,7
	N3	14	26,7	20,3	135,2	24,1	41	26,0	20,7	572,4	24,2
1999	N0	9	26,8	21,0	135,9	23,1	63	20,4	21,2	695,8	20,2
	N1	11	25,7	21,0	131,7	23,4	49	23,7	22,0	650,1	21,1
	N2	12	24,8	20,5	157,4	23,3	52	23,3	21,9	672,8	20,7
	N3	13	24,7	20,0	178,4	22,5	39	24,4	21,9	548,2	20,4

Ano	Fases		Lançamento da Panicula				Fase Leitosa – Pastosa do Grão				
	Tratamento	DAS	T _{Solo} (°C)	T _{Ar} (°C)	°C dia	Sg (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	DAS	T _{Solo} (°C)	T _{Ar} (°C)	°C dia	Sg (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
1997	N0	61	19,4	20,1	711,2	20,9	69	18,5	22,0	821,4	21,4
	N1	59	22,7	21,7	619,6	21,0	68	20,8	22,4	729,5	20,8
	N2	62	21,7	21,6	610,8	20,9	69	17,9	22,2	675,9	21,4
	N3	57	22,8	21,7	586,3	21,1	68	19,7	22,2	705	20,8
1998	N0	60	23,6	21,8	815,9	21,4	69	21,2	22,5	943,3	17,8
	N1	62	22,9	21,9	885,4	21,4	73	19,8	21,9	1030,7	19,0
	N2	62	22,9	22,1	801,9	21,0	73	19,2	21,9	947,2	19,0
	N3	61	20,8	21,5	787,6	21,9	72	19,7	22,1	935,4	18,1
1999	N0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	N1	66	18,6	18,8	805,3	18,0	80	18,5	20,7	965,3	19,3
	N2	68	17,6	18,6	806,5	17,2	79	18,4	21,1	940,1	19,4
	N3	65	20,7	20,2	836,6	19,2	80	18,2	20,5	1004,6	19,3

No que se refere à acumulação térmica necessária para a ocorrência dos diferentes estados fenológicos nos três anos de ensaios (Quadro 3.4), não apresentam diferenças estatisticamente significativas a $P \leq 0,05$, tanto entre os quatro tratamentos como entre os três anos. Estes resultados suportam o conceito de tempo térmico, ou seja, a forma como as plantas sentem a passagem do tempo cronológico é modificada pela temperatura, mantendo-se constante a duração térmica de cada fase de desenvolvimento.

No ano de 1997 a duração térmica média para o período entre a sementeira e a colheita foi de 724 °C dia, no ano de 1998 de 964 °C dia e de 970 °C dia no ano de 1999. A menor acumulação térmica no ano de 1997 deveu-se às temperaturas mais baixas do solo e ar feitas sentir nesse ano nas fases iniciais de desenvolvimento até cerca dos 50 DAS.

Pode-se pois considerar que diferentes doses de adubação azotada não tiveram influência significativa não só nas durações das diversas fases vegetativas do sorgo como, também, na acumulação dos tempos térmicos para o completar dessas mesmas fases. O mesmo efeito é descrito por Squire (1990), que na base de trabalhos de múltiplos autores, de diferentes partes do globo, chega à conclusão que o efeito do deficit de nutrientes em culturas como o sorgo e o milho, na duração dos períodos vegetativos como nas durações térmicas, normalmente é pequeno ou muito moderado quando comparado por exemplo com a aveia e outras culturas. Muchow (1998), Sinclair *et al.* (1997) e Oosterom *et al.* (2001), em diferentes estudos sobre o sorgo, fazem referência a modificações pouco significativas nas durações das fases vegetativas do sorgo em consequência de diferentes doses de adubação azotada.

2.4. Crescimento em altura das plantas

Nas figuras 3.4, 3.5 e 3.6 apresenta-se a evolução da altura total média das plantas em função dos dias após sementeira, para os quatro tratamentos e os três anos de ensaios. No ano de 1997 as medições da altura foram efectuadas a partir dos 30 DAS, no ano de 1998 a partir dos 14 DAS e no ano de 1999 a partir dos 9 DAS. A altura evoluiu de uma forma aproximadamente sinusoidal e as plantas atingiram a sua altura máxima à colheita (floração - fase leitosa pastosa do grão). A altura média final no ano de 1997 foi de 244,0 cm, em 1998 de 236,7 cm e em 1999 de 193,3 cm. Nos três anos verificou-se que o sorgo apresentou uma taxa de crescimento inicial lenta, com um crescimento mais rápido entre cerca de 35 DAS e 60 DAS e diminuindo de novo a partir daí.

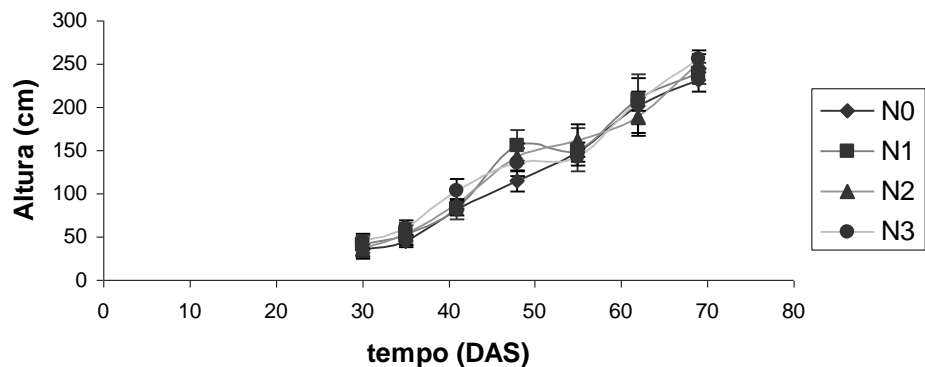


Figura 3.6 Crescimento em altura do sorgo ao longo do tempo para os 4 níveis de adubação azotada, em 1997

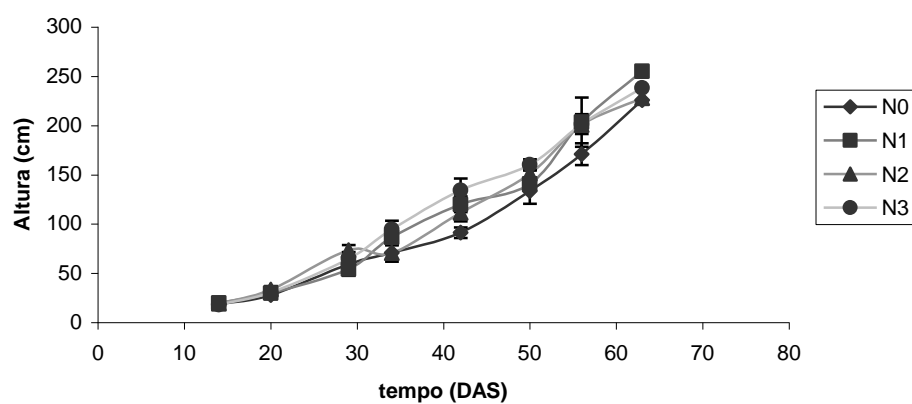


Figura 3.5 Crescimento em altura do sorgo ao longo do tempo para os 4 níveis de adubação azotada, em 1998

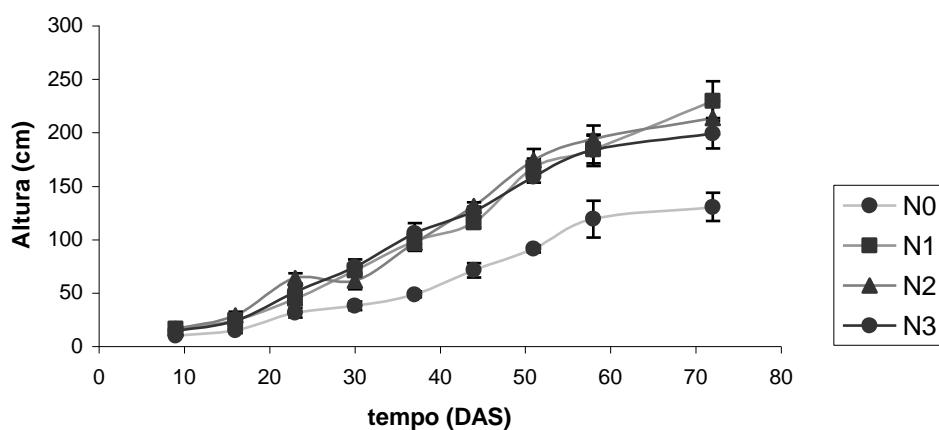


Figura 3.6 Crescimento em altura do sorgo ao longo do tempo para os 4 níveis de adubação azotada, em 1999

O crescimento em altura do sorgo nos anos de 1997 e 1998 foi sensivelmente semelhante, mas no ano de 1999 apresentou em todos os períodos analisados alturas médias significativamente menores (de 10 a 50 cm) que nos outros anos, embora mantendo as tendências de comportamentos entre os tratamentos.

Entre os quatro tratamentos, nos três anos e no período inicial de crescimento em altura, o sorgo até aos 40 DAS, não apresentou diferenças significativas de altura entre tratamentos, à excepção do tratamento sem azoto no ano de 1999 que aos 30 DAS já apresentava uma diferença significativa para os outros tratamentos de cerca de menos 30 cm. Duarte *et al.* (2000), em ensaios de sorgo em Setúbal também observaram no ano de 1999 um crescimento em altura do sorgo mel significativamente inferior ao ocorrido no ano de 1998, atribuindo o facto às diferentes condições meteorológicas verificadas nos dois anos ou às diferentes datas de sementeira.

Cerca dos 45 DAS só o tratamento NO apresentou diferenças em altura média significativamente inferiores (a $P \leq 0,05$) aos outros tratamentos, com menos 40 cm em 1997, 42 cm em 1998 e 59 cm em 1999.

No fim do período vegetativo aos 69 DAS, o tratamento N0 apresentava uma média de alturas significativamente menor que os outros tratamentos. Os tratamentos N1, N2 e N3 ao longo de todo o ciclo vegetativo apresentaram no que ao crescimento em altura diz respeito, comportamentos muito semelhantes não estatisticamente diferentes a $P \leq 0,05$.

As diferentes aplicações de azoto parecem não terem tido influência significativa no crescimento em altura do sorgo. Só o tratamento sem azoto (N0) teve um comportamento diferente dos outros três tratamentos, com plantas mais pequenas, chegando mesmo a apresentar diferenças de altura da ordem de 90 cm. Durante os três anos de ensaios, o crescimento em altura do tratamento sem azoto foi sempre menor que nos outros tratamentos. Estes dados contrariam os obtidos por Duarte *et al.* (2000), que nos seus ensaios com sorgo mel determinaram que quanto mais elevadas as doses de azoto, maior a altura média do mesmo.

Habyarimana & Laureti (2004) compararam o crescimento de várias variedades de sorgo submetidas a diferentes níveis de stress hídrico sob clima Mediterrâneo e referem que o factor mais limitante para o crescimento do sorgo é a água disponível no solo e que só em casos de deficit extremo de nutrientes as plantas se podem ressentir em termos de crescimento. Silva (2004) testou 21 doses diferentes de adubação azotada em sorgo para grão no Brasil e não encontrou diferenças significativas entre os tratamentos nas alturas médias das plantas.

2.4.1. Crescimento em altura das plantas e temperatura

Para avaliar o possível efeito da temperatura no crescimento em altura do sorgo, foi feita uma análise do crescimento em função das temperaturas acumuladas (ou duração térmica) dia a dia, desde a sementeira até à colheita. A relação entre o crescimento em altura do sorgo e a acumulação de temperatura é apresentada nas Figuras 3.7, 3.8 e 3.9 para os anos de 1997, 1998 e 1999 respectivamente, onde se pode observar que em qualquer dos anos a relação em todos os tratamentos segue um padrão muito próximo do linear desde a sementeira até à colheita, com diferenças pouco marcadas entre si, à excepção do tratamento N0 no ano de 1999 que tem um ritmo de crescimento mais lento.

Por isso foram ajustadas aos dados de cada tratamento rectas de regressão do tipo $Y=ax+b$ e posteriormente feita uma análise de regressão múltipla de comparação dos declives das rectas entre tratamentos e entre anos.

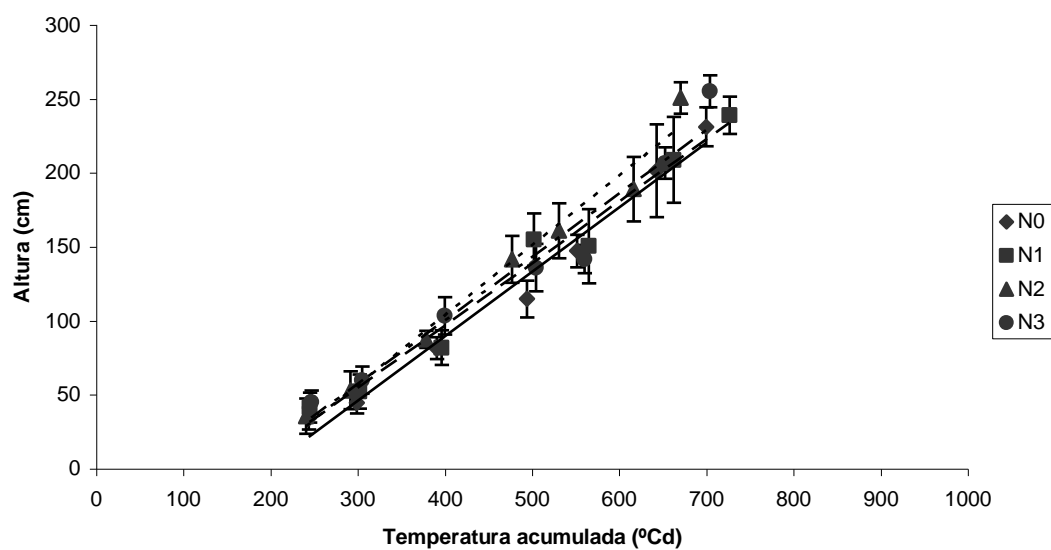


Figura 3.7 - Crescimento em altura do sorgo em função da temperatura acumulada em 1997 para os quatro níveis de adubação azotada

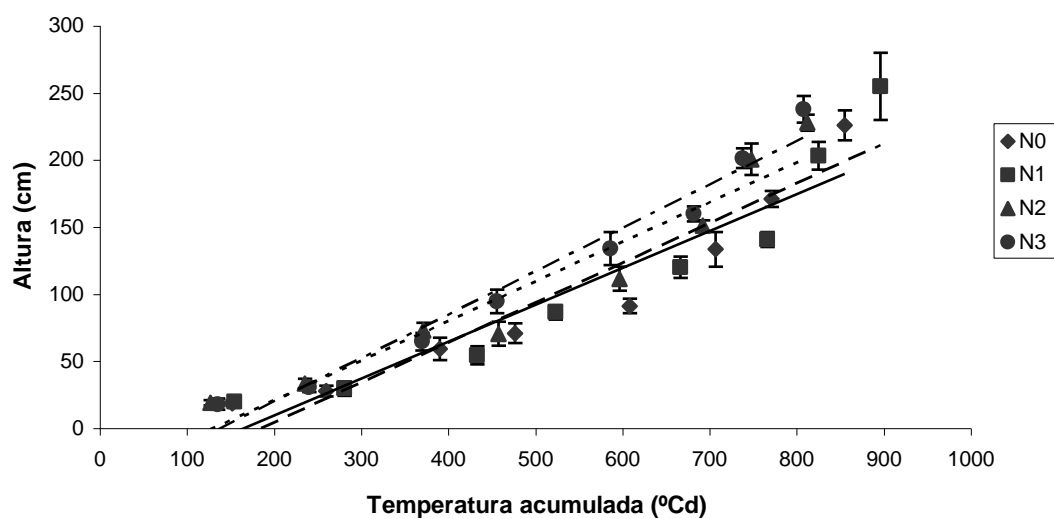


Figura 3.8 - Crescimento em altura do sorgo em função da temperatura acumulada em 1998 para os quatro níveis de adubação azotada

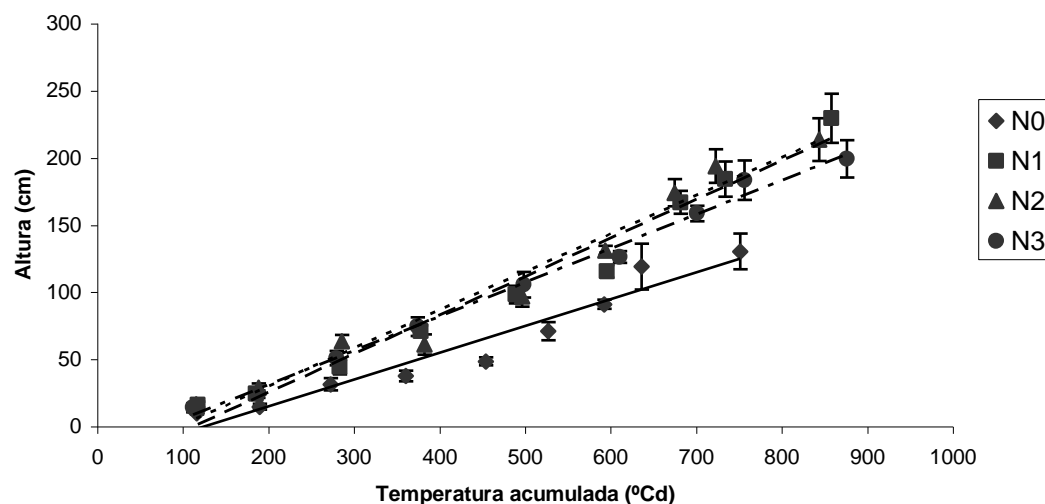


Figura 3.9 - Crescimento em altura do sorgo em função da temperatura acumulada em 1999 para os quatro níveis de adubação azotada

No Quadro 3.5 apresentam-se os valores dos declives das rectas de regressão (a , $\text{cm}/^{\circ}\text{Cd}$) determinados para os diferentes tratamentos e anos, os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e valores de $1/a$ ($^{\circ}\text{Cd cm}^{-1}$). Os elevados valores de R^2 em todos os casos mostram que as rectas são significativas e que o modelo linear é aceitável.

Quadro 3.5 – Parâmetros das regressões lineares ($y= ax + b$) e valores do coeficiente de determinação (R^2) da relação entre o crescimento em altura (y , cm) e correspondentes durações térmicas (x , $^{\circ}\text{Cd}$) do sorgo nos três anos experimentais

ANO	Tratamento	a ($\text{cm}/^{\circ}\text{Cd}$)	b	R^2	$^{\circ}\text{Cd cm}^{-1}$
1997 (n=7)	N0	$0,44 \pm 0,027$	-84,84	0,97	2,14
	N1	$0,42 \pm 0,028$	-68,87	0,97	2,40
	N2	$0,47 \pm 0,031$	-81,81	0,98	2,13
	N3	$0,43 \pm 0,041$	-66,51	0,95	2,35
1998 (n=8)	N0	$0,27 \pm 0,035$	-45,22	0,91	3,64
	N1	$0,30 \pm 0,041$	-55,06	0,90	3,36
	N2	$0,30 \pm 0,034$	-38,33	0,93	3,38
	N3	$0,32 \pm 0,024$	-26,96	0,97	3,09
1999 (n=9)	N0	$0,20 \pm 0,019$	-24,56	0,94	5,03
	N1	$0,29 \pm 0,018$	-32,32	0,97	3,48
	N2	$0,28 \pm 0,020$	-26,96	0,97	3,52
	N3	$0,25 \pm 0,008$	-19,66	0,99	3,94

As taxas de crescimento em altura das plantas no ano de 1997 variaram entre $0,42 \text{ cm}/^{\circ}\text{C}$ no tratamento N1 e $0,47 \text{ cm}/^{\circ}\text{Cd}$ no tratamento N2. Nos anos de 1988 e 1999 os valores de a foram

mais baixos que os verificados no ano de 1997, tendo variado entre os 0,20 cm/°Cd no tratamento N0 em 1999 e 0,32 cm/°Cd no tratamento N3 em 1998.

Nos anos de 1997 e 1998 os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si. No ano de 1999 só o tratamento N0 foi significativamente mais lento ($p < 0,05$) do que os tratamentos com a aplicação de azoto.

Na comparação entre os três anos, o ano de 1997, com uma média de 0,44 cm/°Cd foi significativamente diferente dos anos de 1998 e 1999 com, respectivamente, 0,30 e 0,27 cm/°Cd. Esta diferença poderá ter como explicação as temperaturas do ar e do solo mais baixas em cerca de 5°C verificadas no ano de 1997 durante o período inicial logo após a sementeira que os verificados nos anos de 1998 e 1999, o que levou a uma menor acumulação de temperatura em 1997.

Em relação ao inverso do declive, ou seja, à acumulação térmica necessária para o crescimento em 1 cm de altura ($^{\circ}\text{Cd cm}^{-1}$), verificou-se que no ano de 1997 o sorgo necessitou em média de 2,2 $^{\circ}\text{Cd cm}^{-1}$ para crescer 1 cm, em 1998 de 3,3 $^{\circ}\text{Cd cm}^{-1}$ e em 1999 de 3,64 $^{\circ}\text{Cd cm}^{-1}$. No ano de 1999 o tratamento N0 necessitou de mais 1,39 $^{\circ}\text{Cd cm}^{-1}$ que a média dos outros tratamentos.

2.5. Número de Folhas

A evolução ao longo do ciclo vegetativo do número médio de folhas por planta deu-se de forma aparentemente semelhante nos quatro tratamentos e nos três anos de ensaios com o máximo de folhas, aumentando ao longo do tempo até ao fim da produção de folhas (Figuras 3.10, 3.11 e 3.12), coincidente com o lançamento da panícula. As contagens do número de folhas, em cada ano, foram efectuadas nos mesmos dias das determinações da área foliar.

O tratamento N0 em todos os anos, até cerca dos 40 DAS teve um comportamento pouco diferenciado em relação aos outros tratamentos. A partir dos 40 DAS a falta de azoto influenciou significativamente o desenvolvimento de novas folhas, tendo o tratamento N0 praticamente estabilizado a partir dessa data o seu número médio de folhas até à colheita.

A dose de azoto mais elevada também parece ter influenciado o comportamento do sorgo, no que diz respeito ao número de folhas produzidas ao longo do ciclo vegetativo após os 40 DAS. Podemos verificar pelas figuras 3.10 e 3.12 que o tratamento N3 a partir dos 40 DAS tem um desenvolvimento do número médio de folhas por planta superior aos outros tratamentos em 3 – 4 folhas produzidas. Excepção foi o ano de 1998 como se pode observar pela figura 3.11, onde o tratamento N3 apresentou um desenvolvimento do número de folhas mais moderado que os outros tratamentos, só os tendo superado no fim do período vegetativo.

O número máximo de folhas produzido pelas plantas no ano de 1997 foi de 8,3 aos 69 DAS no tratamento N0, de 14,9 e 15,3 nos tratamentos N1 e N2 aos cerca de 62 DAS e de 15,8 folhas por planta aos 69 DAS no tratamento N3, (Quadro 3.6). No ano de 1998 o número máximo de folhas por planta variou de 12,1 no tratamento N0 a 12,7 no tratamento N1 aos 55 DAS, com excepção do tratamento N3 que atingiu o máximo (12,5 folhas) aos 76 DAS. No ano de 1999, os tratamentos N0,

N1 e N2 atingiram o número máximo de folhas por planta aos 55 DAS, com respectivamente 8,4, 16,7 e 16,3 folhas por planta e o tratamento N3 aos 63 DAS com 17,9 folhas.

Em todos os tratamentos as datas de fim aparente de emissão de folhas, nos três anos, coincidiram praticamente com as datas de lançamento das panículas. De estudos realizados sobre a fisiologia e fenologia das gramíneas em geral e do sorgo em particular (Ustimenko e Bakumovsky, 1982; Muchow, 1998; Alagarswamy *et al.*, 1997, Habyariman *et al.*, 2003), sabe-se que os processos de crescimento sobretudo dos colmos cessam na altura da formação e desenvolvimento dos órgãos reprodutores da planta, por haver uma translocação de fotoassimilados dos caules e folhas para os órgãos florais da planta.

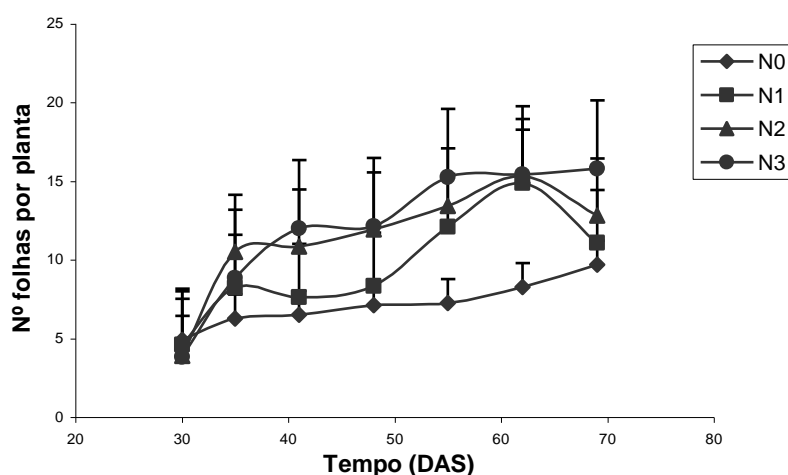


Figura 3.10 - Evolução do nº total de folhas por planta de sorgo ao longo do tempo em 1997, para os quatro níveis de adubação azotada

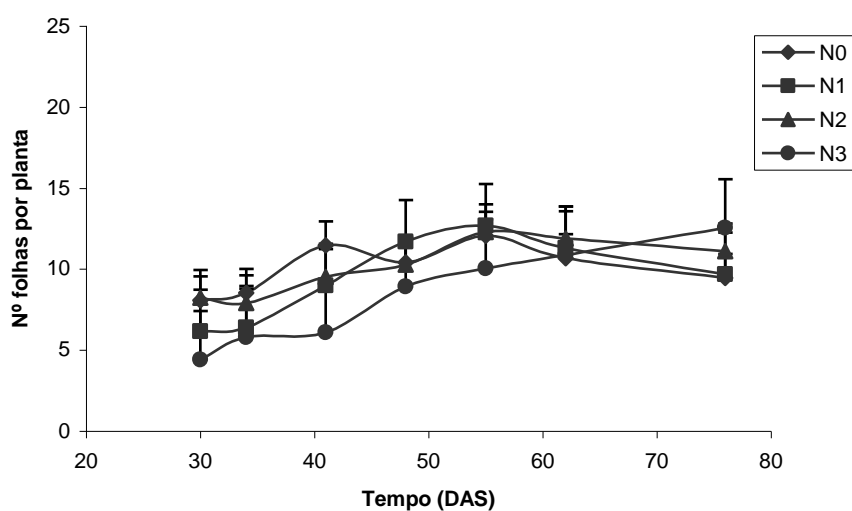


Figura 3.11 - Evolução do nº total de folhas por planta de sorgo ao longo do tempo em 1998, para os quatro níveis de adubação azotada

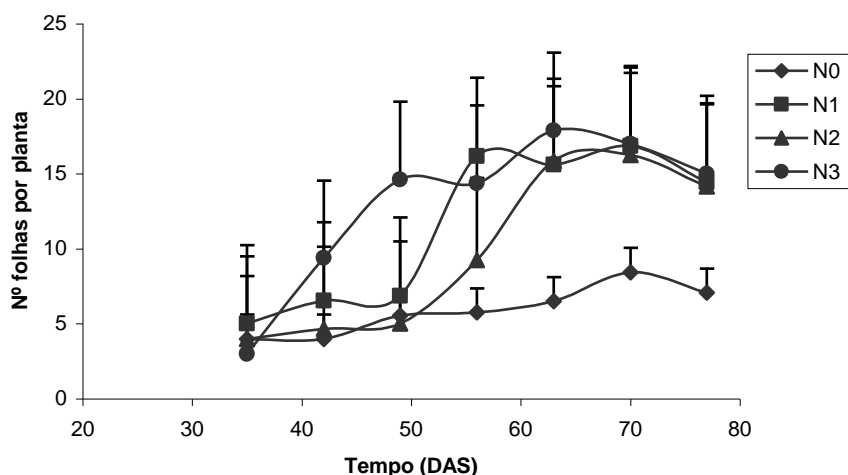


Figura 3.12 - Evolução do nº total de folhas por planta de sorgo ao longo do tempo em 1999, para os quatro níveis de adubação azotada

Quadro 3.6 Número total de folhas por planta para os quatro níveis de adubação azotada e datas do fim aparente de emissão de folhas nos anos de 1997, 1998 e 1999

Ano	Tratamento	Número máximo de folhas por planta	Data aparente do fim de emissão de folhas (DAS)
1997	N0	8,3 ± 1,5	62
	N1	14,9 ± 3,4	62
	N2	15,3 ± 3,6	62
	N3	15,8 ± 4,3	62
1998	N0	12,1 ± 1,5	55
	N1	12,7 ± 2,6	55
	N2	12,3 ± 1,7	55
	N3	12,5 ± 3,0	62
1999	N0	8,4 ± 1,6	70
	N1	16,7 ± 5,2	70
	N2	16,3 ± 5,5	70
	N3	17,9 ± 5,1	63

Englobando tratamentos e anos, N0 foi estatisticamente diferente ao longo de todo o período vegetativo e dos três anos. Os resultados da análise estatística dão como não significativas as diferenças de comportamento do sorgo quanto ao número médio de folhas produzidas durante o período vegetativo, entre os tratamentos N1, N2, e N3.

Através da análise das médias do número total de folhas produzidas (ANOVA, comparação de número de folhas entre tratamentos e anos), foram encontradas diferenças significativas entre o tratamento N0 e os tratamentos com aplicação de azoto nos anos de 1997 e 1999. Na análise entre

os três anos o ano de 1998 foi estatisticamente diferente dos anos de 1997 e 1999 com menos cerca de 3 folhas produzidas por tratamento.

Pode-se, portanto, concluir que doses de azoto no solo de 400, 800 e 1200 Kg ha⁻¹ não aportaram diferenças significativas no número de folhas produzidas ao longo do período vegetativo, embora pareça haver uma influência na taxa de lançamento das mesmas, ou seja quanto mais elevadas as normas de adubação azotada mais precoce é o lançamento de novas folhas. Por outro lado, a não aplicação de azoto parece ser um factor de inibição da produção de folhas. Flesch & Dale (1988), em estudos sobre diferentes doses de azoto no milho, abordam a possibilidade de as diferenças verificadas nas superfícies foliares serem em parte devidas aos tempos de lançamento das folhas ao longo do ciclo vegetativo, provocados pelas diferentes disponibilidades de azoto no solo. Também segundo Wien (1982) e Sinclair & Horie (1989), o azoto tem efeito na durabilidade das folhas produzidas. A falta de azoto parece levar a uma produção de folhas mais lenta e em menor número do que quando existe azoto disponível.

2.5.1. Número de Folhas e temperatura

Para os quatro tratamentos foi analisada a influência da temperatura na taxa de produção de folhas através da relação entre número de folhas e as durações térmicas necessárias para a produção das mesmas. As durações térmicas foram calculadas com a temperatura do solo medida em cada talhão experimental até à fase de lançamento da panícula e depois com a temperatura do ar.

Nas Figuras 3.13, 3.14, e 3.15 mostra-se a relação entre o numero de folhas e a temperatura acumulada desde a emergência até ao número máximo de folhas para os quatro tratamentos e os três anos de ensaios. O número de folhas por planta em função da temperatura acumulada revelou o mesmo padrão em todos os tratamentos, aumentando de uma forma aproximadamente linear até ao fim da emissão de folhas por parte das plantas, nos tratamentos onde houve essa quebra de emissão de folhas. A partir dessa data, como por exemplo nos tratamentos N1 e N2 em 1997 e 1998, o aumento da temperatura acumulada não levou ao aumento de produção foliar razão pela qual esses dados não são apresentados nas figuras.

Para cada tratamento foi calculado o filocrão ou o tempo térmico necessário para a produção de uma folha. Para isso foram ajustadas regressões lineares aos dados das Figuras 3.15, 3.16 e 3.17. O declive de cada recta de regressão é a taxa térmica de produção foliar em folhas/°Cd⁻¹; o inverso do declive é o filocrão (°Cd/folha). Os resultados são apresentados no quadro 3.7. Os ajustamentos obtidos foram significativos, com valores de R² que oscilaram entre 0,42 no tratamento N2 no ano de 1999 e 0,91 no tratamento N1 no ano de 1998.

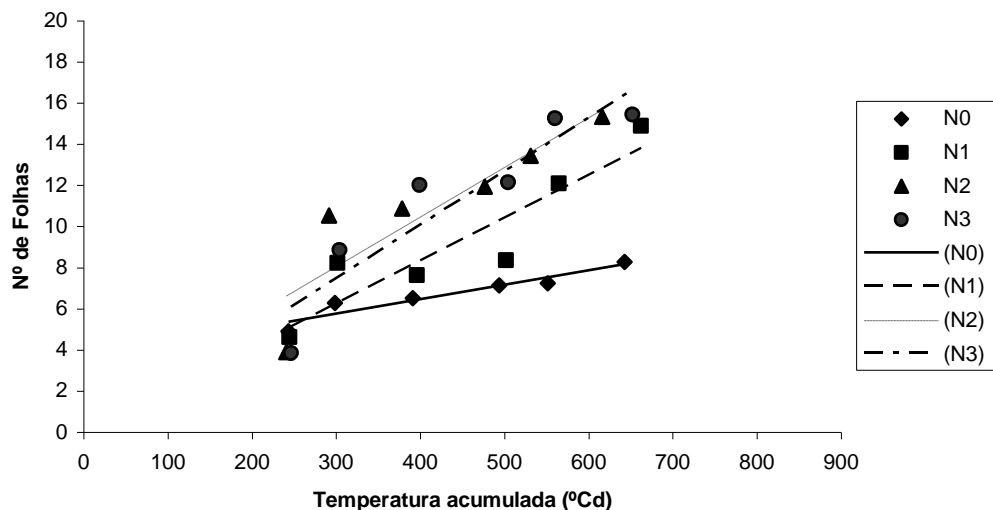


Figura 3.13 - Relação entre o número de folhas por planta e a temperatura acumulada ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1997, para os 4 níveis de adubação azotada

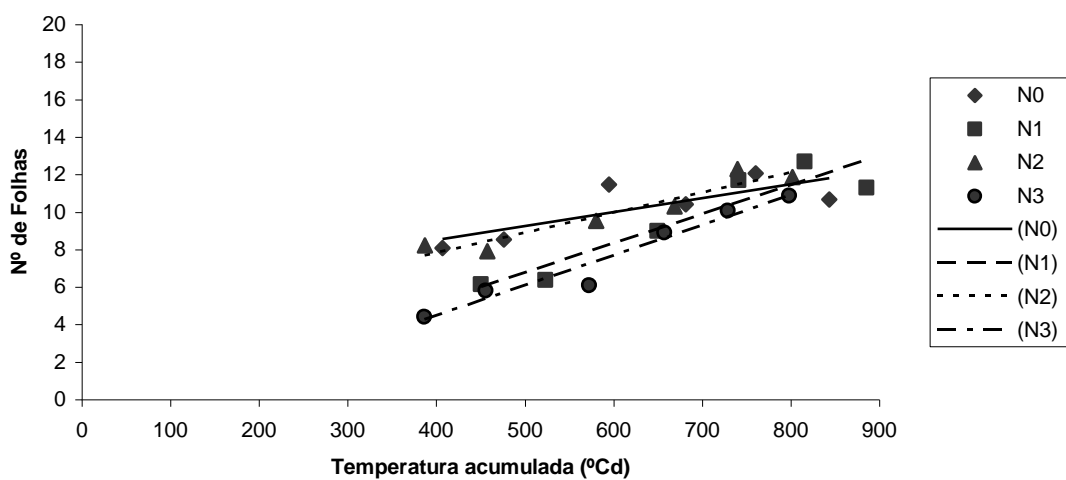


Figura 3.14 - Relação entre o número de folhas por planta e a temperatura acumulada ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1998, para os 4 níveis de adubação azotada

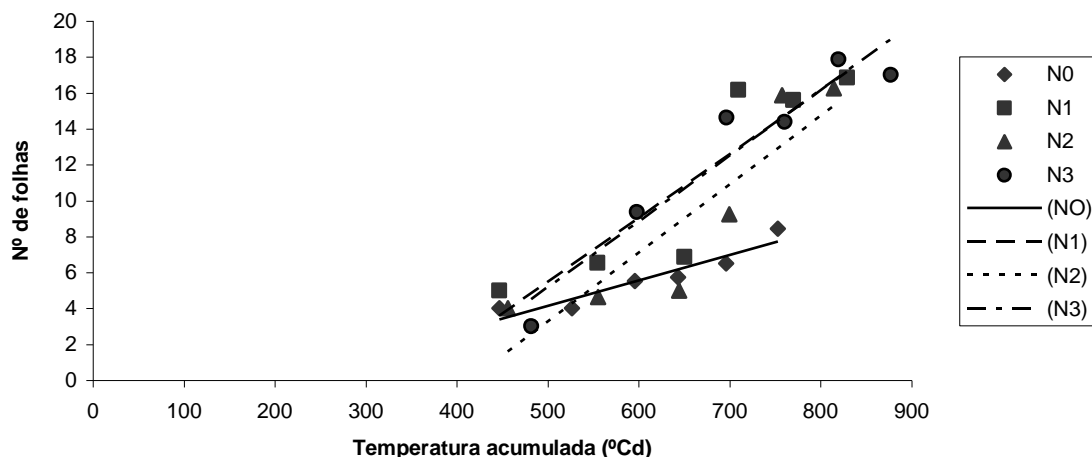


Figura 3.15 - Relação entre o número de folhas por planta e a temperatura acumulada ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1999, para os 4 níveis de adubação azotada

Quadro 3.7 Declive (folhas / $^{\circ}$ Cd) das regressões lineares entre o nº de folhas produzido pelo sorgo nos quatro tratamentos e a temperatura acumulada; R^2 é o coeficiente de determinação de cada regressão. O filocrão é o inverso do declive da regressão ($^{\circ}$ C /folha).

Ano	Tratamento	a folha ($^{\circ}$ Cd) $^{-1}$	R^2	Filocrão $^{\circ}$ Cd folha $^{-1}$
1997	N0	0,012 \pm 0,001	0,57	82,0
	N1	0,021 \pm 0,004	0,85	47,8
	N2	0,026 \pm 0,006	0,78	38,5
	N3	0,026 \pm 0,004	0,87	38,9
1998	N0	0,017 \pm 0,003	0,56	58,8
	N1	0,015 \pm 0,003	0,91	68,0
	N2	0,017 \pm 0,002	0,67	59,9
	N3	0,013 \pm 0,001	0,88	78,1
1999	N0	0,009 \pm 0,002	0,88	112,4
	N1	0,017 \pm 0,005	0,52	59,9
	N2	0,013 \pm 0,006	0,42	76,3
	N3	0,018 \pm 0,006	0,64	54,3

Na análise de regressão múltipla para comparação de declives de rectas entre tratamentos em cada ano e entre anos, verificou-se que os três anos foram significativamente diferentes entre si.

No ano de 1997 as temperaturas foram no período até à fase de 7-8 folhas em média cerca de 4° C mais baixas e a radiação solar em cerca $1,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ que nos outros anos devido sobretudo à maior quantidade de precipitação havida nos meses de Junho e Julho. No ano de 1999,

na fase de lançamento da panícula a radiação solar foi cerca de $3 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ mais baixa que em igual período nos outros anos. Provavelmente estas diferenças, sobretudo as radiativas, terão afectado a taxa de produção de folhas.

Analisando os efeitos entre tratamentos em cada ano verifica-se que o tratamento N0 nos anos de 1997 e 1999 foi significativamente diferente dos tratamentos com azoto, apresentando um filocrão de cerca do dobro da média dos restantes tratamentos. Isto deve-se sobretudo ao menor número de folhas produzidas durante o seu ciclo vegetativo causado pela falta de azoto disponível. Estranhamente, no ano de 1998 o tratamento N3 apresentou um filocrão de $78,1 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$, significativamente superior ao dos outros tratamentos com azoto e no ano de 1999 o tratamento N2 apresentou um valor de filocrão de $76,3 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$ também significativamente superior ao dos outros tratamentos com azoto. Se excluir-mos os tratamentos que foram estatisticamente diferentes obtemos, nos tratamentos com aplicação de azoto, um valor de filocrão médio de $41,7 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$ em 1997, $64,9 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$ em 1998 e $57,1 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$ em 1999.

A relativa homogeneidade dos valores obtidos para o filocrão nos tratamentos com aplicação de azoto em cada ano, demonstra que a taxa de lançamento de folhas foi controlada pela temperatura quando existe azoto disponível. Oosterom *et al.* (2001), nos seus trabalhos com diferentes doses de adubação azotada, verificaram que, excepto em situações de deficiência marcada de azoto, o número de folhas parece não variar no sorgo, sendo o factor temperatura o determinante para a produção, desenvolvimento e durabilidade das folhas. A taxa de produção de folhas e a duração do período de produção de folhas dependem da temperatura (Gallagher & Biscoe, 1978), sendo que um aumento da temperatura leva a um aumento da taxa de produção de folhas, mas também leva a um encurtamento do período de produção das mesmas com a consequente diminuição do número de folhas produzidas (Hammer & Vanderlip, 1989).

Os valores de filocrão aqui obtidos são consistentes com os apresentados por outros autores como Andrade (2001), que refere para o sorgo valores de filocrão entre 51 e $71,9 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$ para as primeiras seis oito folhas, Birch *et al.* (1998), em ensaios com sorgo com e sem sombreamento, na Holanda e Estados Unidos, utilizando uma temperatura base de $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, encontraram valores de filocrão de 45 a $56 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$ ao sol e de $67 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$ à sombra. Kaitaniemi *et al.* (2000), no seu modelo de simulação morfogenética do sorgo adoptaram a temperatura base de 11°C e um filocrão de $46 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$. Craufurd & Aiming (2001), em resultado de ensaios efectuados na Nigéria sobre a adaptação do sorgo às condições de savana, utilizando uma temperatura base de 10°C determinaram um filocrão médio de $65 \text{ }^{\circ}\text{Cd}/\text{folha}$.

2.5.2. Distribuição vertical da densidade média do número de folhas por planta

Para a compreensão dos mecanismos da intercepção da radiação por um dado copado, uns dos parâmetros a ter presente é a distribuição da densidade do número médio de folhas ao longo dos caules durante todo o processo de crescimento do mesmo. Este parâmetro ajuda-nos a definir a forma do copado e onde, a que níveis, possivelmente acontece a maior ou menor intercepção da

radiação solar. A distribuição vertical da densidade do número de folhas, conjugada com a distribuição vertical da densidade da área foliar, dá-nos uma perspectiva tridimensional do copado.

Para o cálculo da distribuição vertical do número de folhas, as plantas foram divididas em secções de 0,5 m desde o solo até aos 2,5 m e foi contabilizado, centrado a cada nível onde foram dispostos os tubos solarímetros, a densidade média do número de folhas (n° de folhas m^{-1}) por planta. As determinações foram efectuadas no ano de 1998 nos tratamentos N0 e N2 e no ano de 1999 nos tratamentos N1 e N3. No ano de 1997 foi efectuada somente a determinação do número total de folhas por planta.

As Figuras 3.16 e 3.17 mostram, para os anos de 1998 e 1999, a evolução da distribuição da densidade do número médio de folhas para quatro DAS ao longo do ciclo vegetativo do sorgo. Em 1998 e nos tratamentos N0 e N2, no início do período vegetativo, aos 30 DAS, o sorgo apresentava maior densidade foliar entre os 10 e 20 cm de altura. Acompanhando o crescimento em altura dos caules, aos 48 DAS a maior densidade de número de folhas situava-se no nível de 50 – 120 cm de altura do solo. No pleno estabelecimento da cultura, aos 62 DAS, os tratamentos N0 e N2 apresentavam uma maior densidade de n° de folhas ao nível de 50 – 120 cm seguida da ao nível de 120 – 210 cm. À colheita, aos 76 DAS, o tratamento N0 apresentava a mesma configuração que aos 62 DAS mas o tratamento N2 apresentava uma densidade do número de folhas mais elevada na fracção 120 – 210 cm acima do solo. No ano de 1998 não houve diferenças significativas a $P \leq 0,05$ entre o número de folhas nos diversos níveis de altura do sorgo entre os tratamentos N0 e N2 durante todo o período de observação.

No ano de 1999 (Figura 3.17), aos 42 DAS o tratamento N1 apresentava maior número de folhas na secção de 20 – 50 cm e o tratamento N3 na dos de 0 – 10 cm. Aos 56 DAS, os dois tratamentos nos 20 – 50 cm não apresentaram diferenças; no nível de 50 – 120 cm de altura do solo, o tratamento N3 distinguiu-se do tratamento N1 por apresentar aí a sua maior concentração de folhas com mais cerca de 3 folhas m^{-1} produzidas a este nível. No pleno estabelecimento da cultura, aos 70 DAS, ambos os tratamentos apresentam configurações muito próximas sendo a secção 50 - 120 cm aquela onde se observou a mais elevada densidade de folhas, seguida da secção 20 – 50 cm acima do solo. À colheita, aos 77 DAS, a cultura apresentou a mesma configuração que aos 70 DAS, com uma ligeiramente maior concentração de folhas por parte do tratamento N1 na secção de 50 – 120 cm acima do solo.

No ano de 1999 e entre os tratamentos N1 e N3, também não foram encontradas diferenças estatisticamente diferentes a $P \leq 0,05$ entre o comportamento destes dois tratamentos. Analisando os quatro tratamentos e os dois anos em conjunto, verifica-se que não houve diferenças estatisticamente significativas a $P \leq 0,05$ no comportamento dos mesmos.

Concluindo nos períodos iniciais de crescimento do sorgo até cerca de 50 DAS, a maior densidade de folhas ocorre na secção da planta dos 0 aos 50 cm. Depois dos 50 DAS e até à colheita, a maior concentração de folhas verificou-se ao nível de 50 a 120 cm.

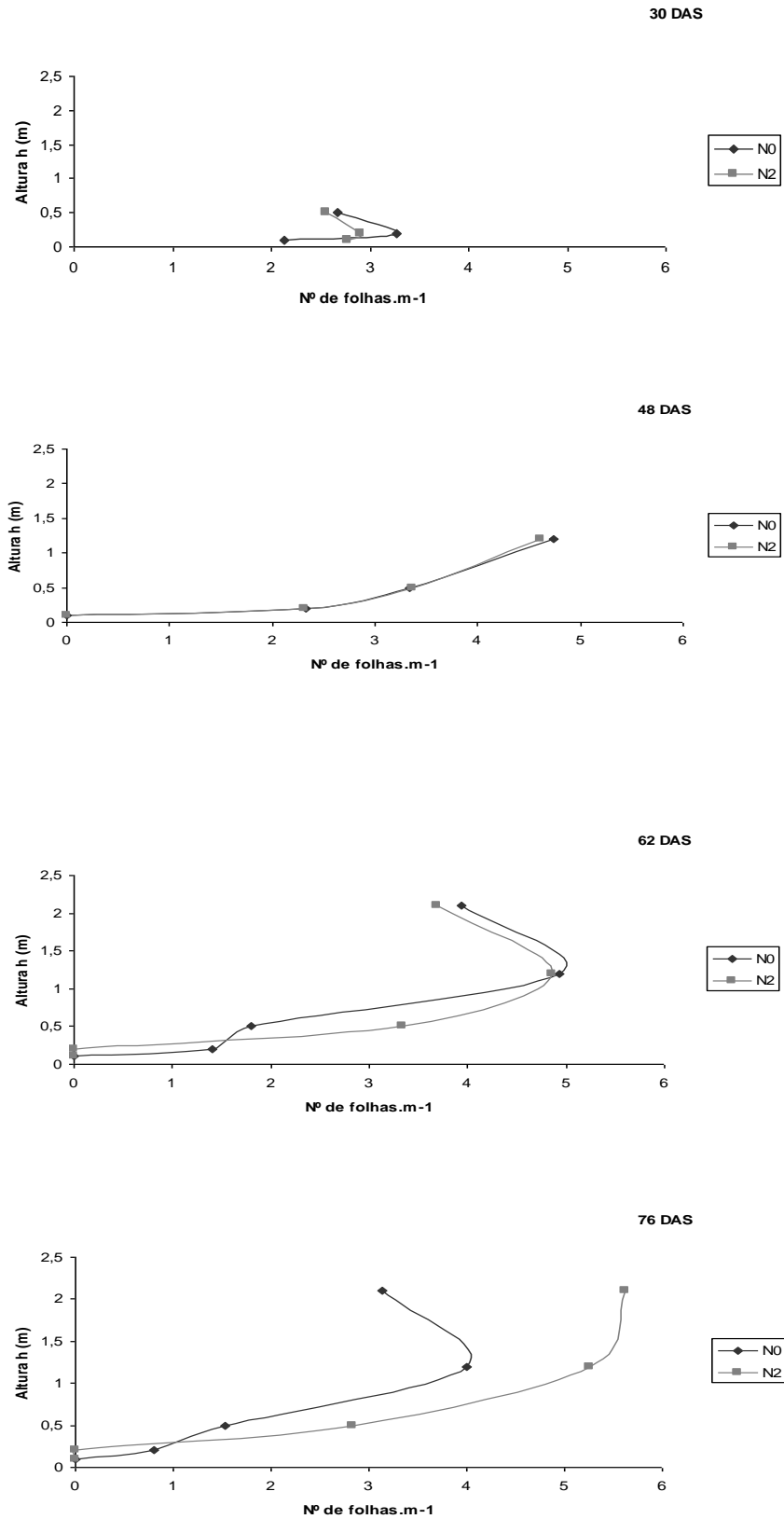


Figura 3.16 – Distribuição vertical ao longo da planta do número de folhas por planta, ao longo do período vegetativo nos tratamentos N0 e N2, no ano de 1998

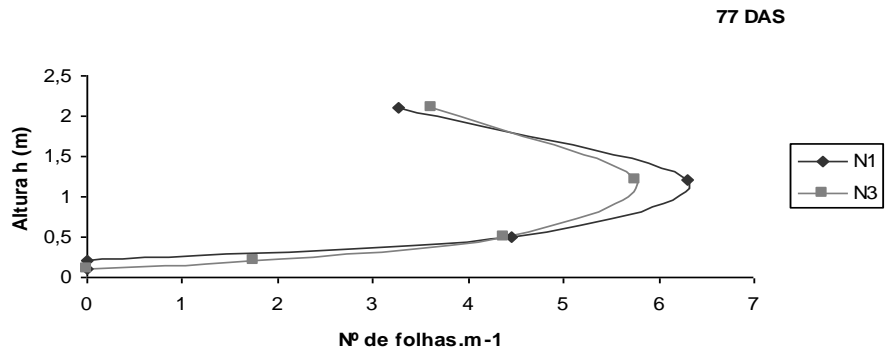
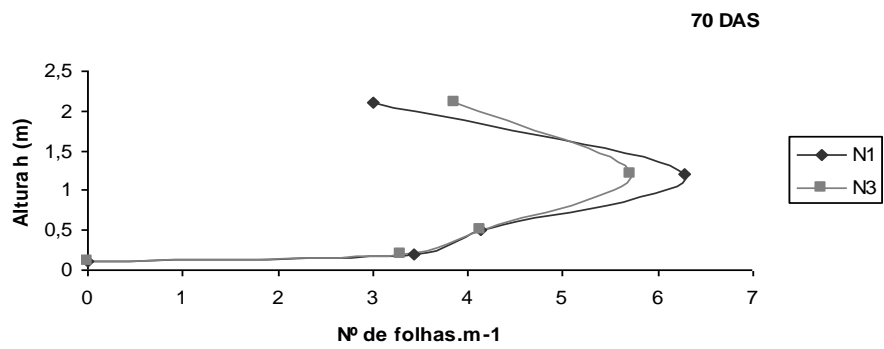
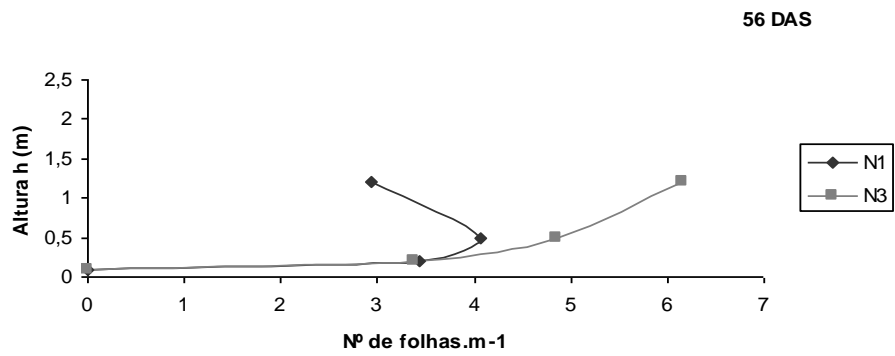
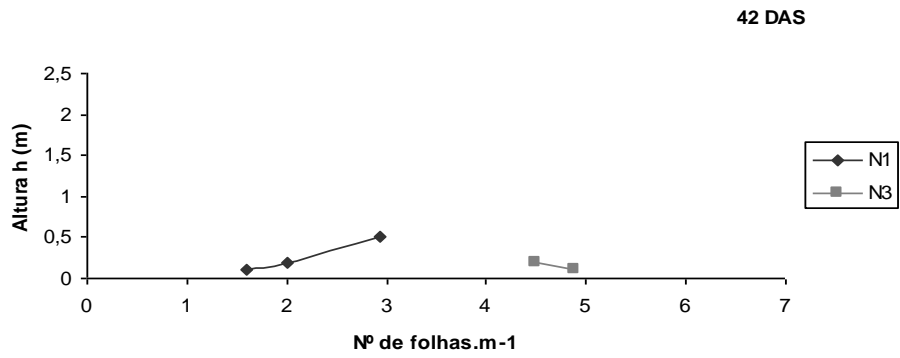


Figura 3.17 – Distribuição vertical ao longo da planta do número de folhas por planta, ao longo do período vegetativo nos tratamentos N1 e N3, no ano de 1999

2.6. Área foliar por planta

A evolução da área foliar por planta (AFP) em função dos dias após sementeira (DAS) nos quatro tratamentos e nos anos de 1997, 1998 e 1999, pode ser observada nas Figuras 3.18, 3.19 e 3.20. Verifica-se que nos três anos de ensaios a área foliar por planta de sorgo aumentou de uma forma aproximadamente sigmoidal até ao lançamento das panículas, altura em que atingiu o seu máximo. Na fase inicial de crescimento até cerca dos 35 - 40 DAS a superfície foliar do sorgo apresentou um desenvolvimento muito semelhante em todos os tratamentos em cada ano, mas diferente entre anos. O crescimento da área foliar do sorgo em 1999 foi inicialmente muito mais lenta que nos outros dois anos. A partir dos 40 - 50 DAS, a superfície foliar por planta apresenta diferenças significativas a $P \leq 0,05$ entre vários tratamentos em cada ano, pois o tratamento N0 apresentou a partir dos 35 DAS sempre um desenvolvimento de superfície foliar significativamente inferior ao dos outros tratamentos. A partir de cerca dos 55 DAS, as superfícies foliares por planta dos tratamentos N1, N2 e N3 não apresentaram em cada ano diferenças significativas até à colheita.

No ano de 1997 os valores máximos das áreas foliares por planta, na altura do lançamento da panícula, variaram de $0,0894 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ no tratamento N0 e $0,2689 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ no tratamento N2. No ano de 1998 variaram entre $0,2024 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ no tratamento N0 e $0,3158 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ no tratamento N1. Em 1999 variaram entre $0,0795 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ no tratamento N0 e $0,254 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ no tratamento N3. Estes valores são semelhantes aos da literatura; por exemplo, Hammer & Vanderlip (1989), em dois híbridos de sorgo cultivados em estufa e sob dois regimes diferentes de temperatura, determinaram áreas foliares de $0,200 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ a $0,270 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$.

Em todos os anos, a partir do lançamento da panícula é visível uma estabilização (em 1998) e mesmo uma redução de cerca de 15% da área foliar por planta, em 1997 e 1999. De facto a partir deste estado fenológico a cultura deixou de produzir novas folhas, e o aumento de superfície foliar das folhas mais novas não compensou a senescência das mais velhas.

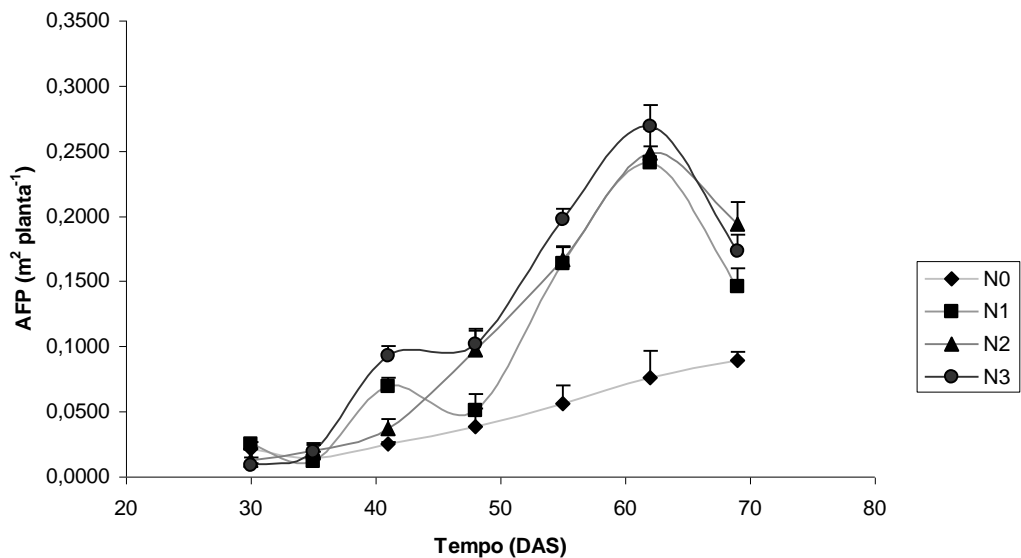


Figura 3.18 - Evolução temporal da área foliar por planta (AFP) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1997, para os quatro níveis de adubação azotada

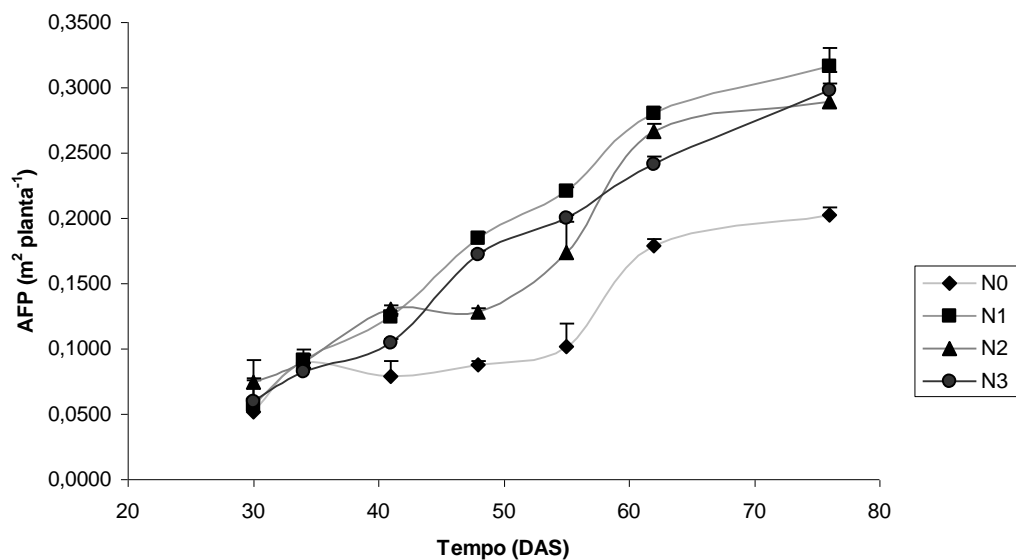


Figura 3.19 - Evolução temporal da área foliar por planta (AFP) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1998, para os quatro níveis de adubação azotada

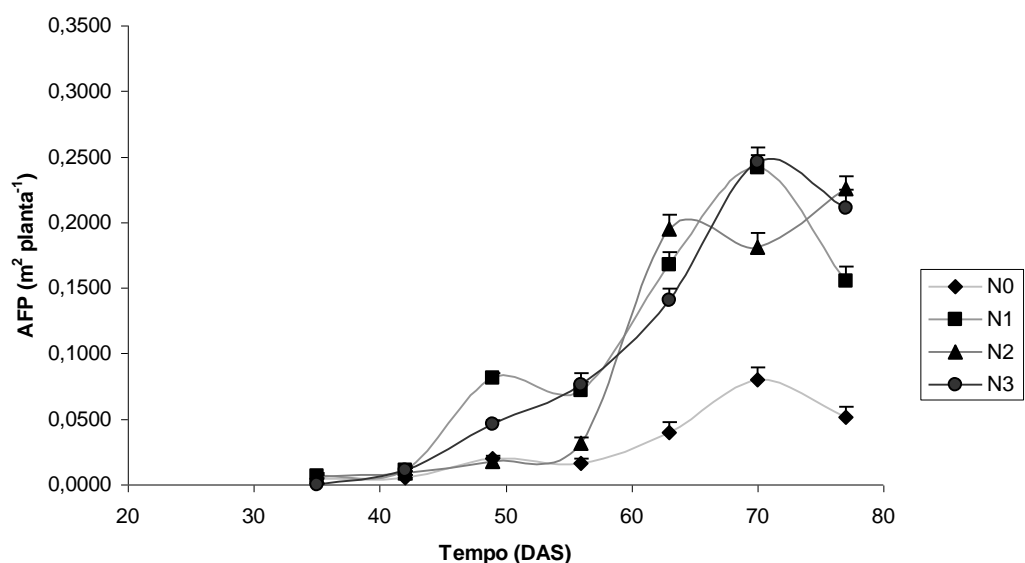


Figura 3.20 - Evolução temporal da área foliar por planta (AFP) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo em 1999, para os quatro níveis de adubação azotada

Portanto, as diferentes doses de adubação azotada tiveram influência no desenvolvimento da superfície foliar por planta e acompanharam as mesmas tendências que foram descritas na secção anterior sobre o número de folhas por planta. O tratamento N0, se até cerca dos 40 DAS não fez reflectir a carência em azoto, a partir dessa data e até à colheita ressentiu-se com uma produção de área foliar por planta de apenas 30 a 60% da dos outros tratamentos com azoto, que não apresentaram diferenças significativas entre si.

Oosterom *et al.* (2001), em resultado de vários ensaios sobre o efeito do azoto no desenvolvimento da superfície foliar do sorgo na Austrália, onde testaram onze variedades de sorgo com diferentes doses de azoto (de 0 a 240 kg/há) em regadio e sequeiro, referem que foram encontradas diferenças no número de folhas e na superfície foliar entre os tratamentos com doses de azoto inferiores a 60 kg/há e os com doses superiores a esta, sendo o número de folhas e área foliar finais inferiores em cerca de 4% nos tratamentos com menos azoto.

2.6.1. Índice de área foliar

Em 1997, 1998 e 1999 foram determinados os índices de área foliar (IAF), como descrito no capítulo 2. Apresentamos de seguida os resultados obtidos, nos três anos ao longo de todo o ciclo vegetativo do sorgo. Como mostram as Figuras 3.21, 3.22 e 3.23 a superfície foliar do sorgo teve um desenvolvimento crescente e aproximadamente sigmoideal ao longo do tempo.

No ano de 1997 (Figura 3.21) e até aos 41DAS não foram encontradas diferenças significativas entre o índice de área foliar dos quatro tratamentos. Aos 48 DAS os tratamentos N0 e N2 apresentavam valores significativamente inferiores em relação aos tratamentos N1 e N3. A partir daí, só o tratamento N0 apresentou valores significativamente inferiores aos dos outros três

tratamentos. Neste ano os valores máximos de IAF variaram entre os 4,30 m² m⁻² no tratamento N0 (aos 70 DAS), os 8,27 m² m⁻² no tratamento N2 (aos 62 DAS), e os 8,03 m² m⁻² no tratamento N1 (aos 62 DAS) e 7,05 m² m⁻² no tratamento N3 (aos 70 DAS). No ano de 1998 (Figura 3.22), o índice de área foliar foi semelhante nos quatro tratamentos nas fazes iniciais de crescimento, até aos 41 DAS. A partir dessa data a produção de superfície foliar do tratamento N0 foi significativamente inferior a todos os outros tratamentos. Os tratamentos N1, N2 e N3 não apresentaram diferenças significativas entre si ao longo de todo o período vegetativo. Neste ano, todos os tratamentos aumentaram a sua superfície foliar até à colheita. À colheita as plantas tinham uma superfície foliar de 5,62 m² m⁻² no tratamento N0, 7,60 m² m⁻² no tratamento N1, 7,70 m² m⁻² no tratamento N2 e 7,61 m² m⁻² no tratamento N3. No ano de 1999 (Figura 3.23), e tal como nos anos anteriores, só a partir dos 42 DAS se observaram diferenças significativas entre tratamentos. Aos 49 e 56 DAS os tratamentos N1 e N3 apresentavam valores de IAF significativamente superiores aos dos tratamentos N0 e N2. Dos 62 DAS até à colheita o tratamento N0 apresentou sempre índices de área foliar menores que o dos outros tratamentos. Também neste ano o valor de IAF cresceu até à colheita e variou entre 3,02 m² m⁻² no tratamento N0, 6,32 m² m⁻² no tratamento N1, 5,84 m² m⁻² no tratamento N2 e 6,24 m² m⁻² no tratamento N3. Nos três anos de ensaios só o ano de 1998 foi estatisticamente diferente a P≤0,05 dos anos de 1997 e 1999.

A adubação azotada, nos três anos de ensaios, teve grande influência no desenvolvimento da superfície foliar ao longo do período vegetativo do sorgo. Assim, o índice de área foliar nos tratamentos com aplicação de azoto foi substancialmente superior ao tratamento sem adubação. À data da colheita, os tratamentos com azoto (N1, N2 e N3) não apresentaram diferenças significativas entre si. Durante o período vegetativo, nos três anos, o IAF do tratamento sem azoto (N0) foi estatisticamente diferente e menor a P≤0,05 que o dos outros tratamentos com azoto.

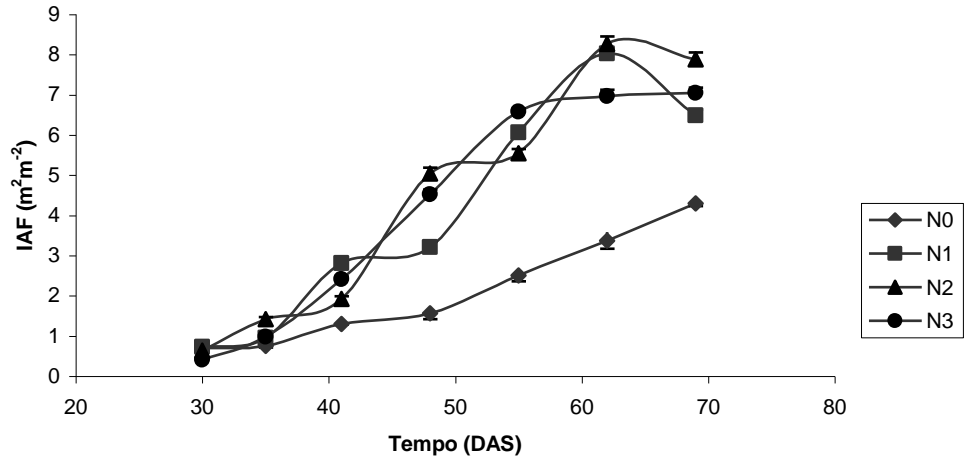


Figura 3.21 Variação ao longo do tempo do índice de área foliar (IAF) 1997, nos quatro tratamentos

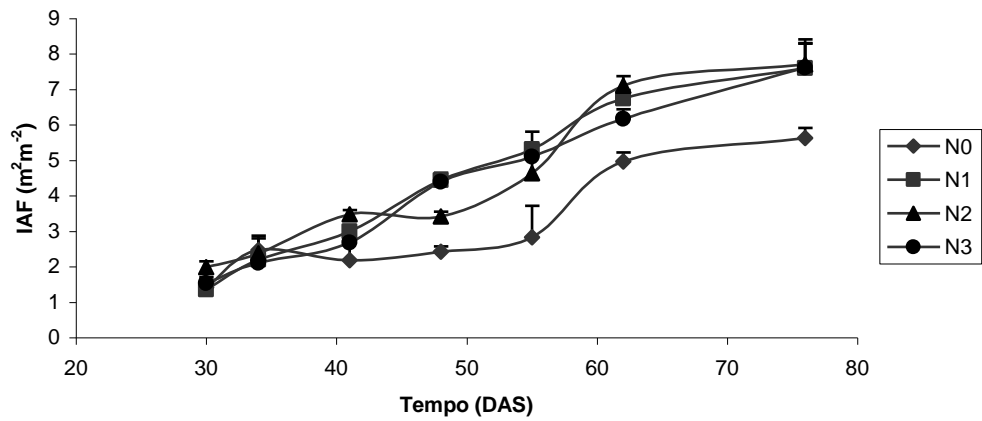


Figura 3.22 Variação ao longo do tempo do índice de área foliar (IAF) 1998, nos quatro tratamentos

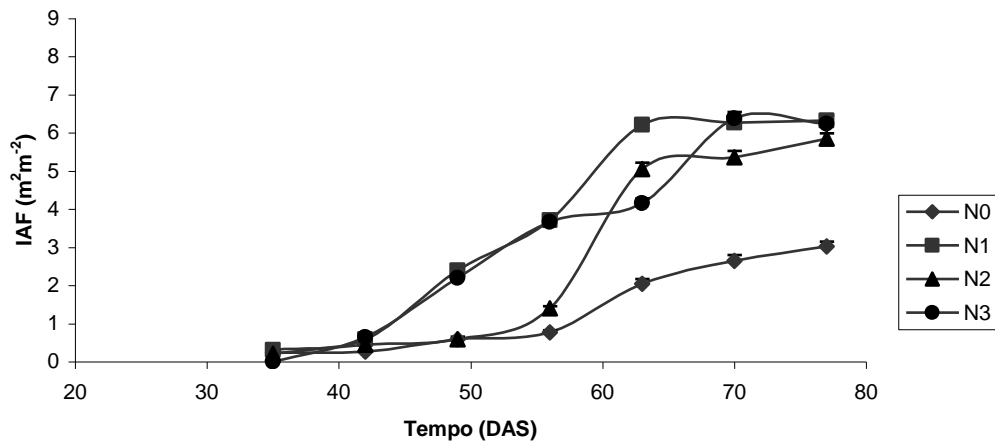


Figura 3.23 Variação ao longo do tempo do índice de área foliar (IAF) 1999, nos quatro tratamentos

Os valores de IAF aqui obtidos são semelhantes aos referidos na literatura. Por exemplo, Silva (2004) determinou valores de IAF que variaram entre 4,5 e 8,5 m² m⁻² em experiências onde analisou a resposta do crescimento do sorgo a 21 doses de aplicação de azoto (entre 50 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹). Também Flesch & Dale (1988) observaram um aumento de IAF no sorgo com a aplicação de azoto, utilizando densidades populacionais semelhantes às deste trabalho. Contudo, tanto no caso de Silva (2004) como no de Flesch & Dale (1988), o aumento do IAF foi proporcional ao aumento das doses de azoto aplicado, enquanto que no presente trabalho o IAF do sorgo parece não aumentar com aumentos da dose aplicada de 100 kg ha⁻¹ até 300 kg ha⁻¹.

Provavelmente, nas condições edafo-climáticas do Nordeste Transmontano uma dose de 100 kg ha⁻¹ é suficientemente elevada para que a cultura não reaja a doses superiores. De facto, Massantini (1990), em estudos sobre a intercepção da radiação solar e o crescimento do sorgo mel em Itália na dependência de crescentes doses de azoto, verificou que a partir de 150 kg ha⁻¹ de azoto as diferenças de IAF foram insignificantes. Oosterom *et al.* (2001), no trabalho já referido na Austrália, também verificaram que a partir de níveis de azoto de 60 Kg ha⁻¹ as diferenças de IAF foram insignificantes.

2.6.2. Evolução da área foliar em função do tempo cronológico e da temperatura acumulada

Como o índice de área foliar depende da área foliar por planta, ou seja, da área de cada folha, da duração da sua expansão e do número de folhas e estando estes dependentes da temperatura espera-se que a relação entre IAF e temperatura acumulada seja mais marcada que entre IAF e DAS. Nas Figuras 3.24, 3.25 e 3.26 são apresentados os resultados da análise da influência das temperaturas acumuladas na formação da superfície foliar do sorgo ao longo do seu período vegetativo, nos quatro tratamentos e três anos de ensaios. Nos três anos a relação entre o IAF e a temperatura acumulada evoluiu de uma forma aproximadamente sigmoideal até ao lançamento das panículas, altura em que a expansão foliar termina. No ano de 1997 (Figura 3.24), entre os tratamentos com aplicação de azoto não foram encontradas diferenças significativas. O tratamento N0 apresentou nesse ano desde os 30 DAS e até à colheita um comportamento diferente dos outros tratamentos, necessitando de mais temperatura acumulada para a produção de uma superfície foliar bastante inferior. Para a expansão foliar máxima o tratamento N0 necessitou de quase o dobro da temperatura acumulada no tratamento N2 para a produção de apenas 54,5% de índice de área foliar desse tratamento. Entre os tratamentos com azoto não foram verificadas diferenças significativas. O tratamento N1 produziu 8,03 m² m⁻² de área foliar aos 658 °Cd, o tratamento N2 8,3 m² m⁻² aos 610,8 °Cd e o tratamento N3 7 m² m⁻² aos 644 °Cd.

No ano de 1998 (Figura 3.25), até cerca de 600 °Cd não houve diferenças significativas entre os tratamentos. A partir dessa altura e até à colheita só o tratamento N0 teve um comportamento significativamente diferente de todos os outros, produzindo área foliar a um ritmo mais lento. À expansão foliar máxima o tratamento N0 tinha 4,9 m² m⁻² de área foliar aos 843,4 °Cd, o N1 tinha 6,7 m² m⁻² aos 885 °Cd, o N2 tinha 7,1 m² m⁻² aos 801,9 °Cd e o N3 tinha 6,2 m² m⁻² aos 798 °Cd.

No ano de 1999, só a partir de cerca de 650 °Cd houve diferenças significativas entre os tratamentos. Desde aí e até à colheita o tratamento N0 teve um comportamento significativamente diferente dos tratamentos com azoto tal como nos anos anteriores. À data de maior expansão foliar (70 DAS) o tratamento N0 necessitou de menos 11% de temperatura acumulada para a produção de menos 50,6% de superfície foliar que o tratamento N2. Aos 70 DAS o tratamento N1 tinha produzido 6,3 m² m⁻² de área foliar necessitando de 838 °Cd, o tratamento N2 tinha produzido 5,4 m² m⁻² de área foliar necessitando de 824 °Cd e o tratamento N3 6,4 m² m⁻² com 858 °Cd.

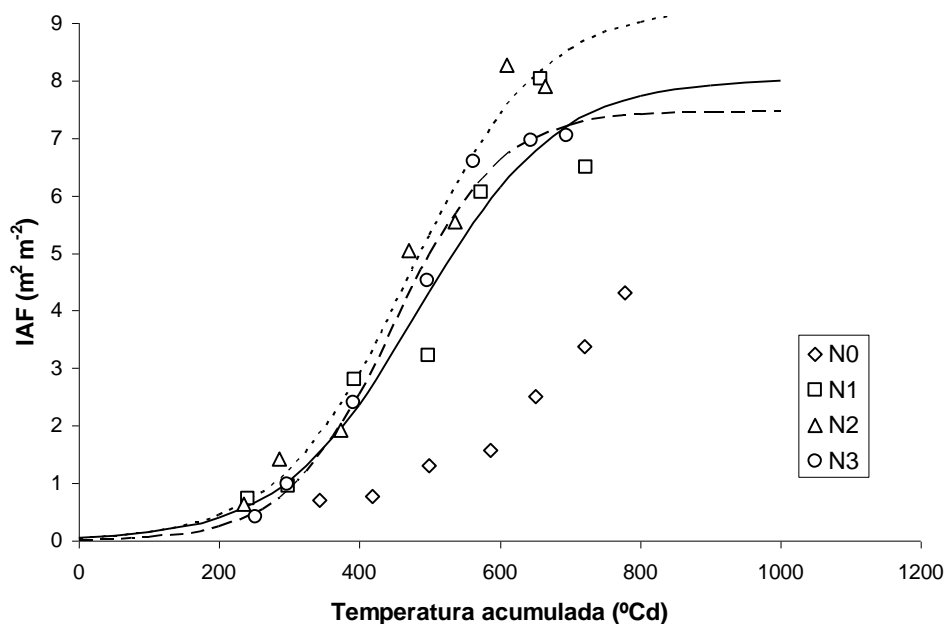


Figura 3.24 Evolução do índice de área foliar (IAF) do sorgo em função da temperatura acumulada em 1997, nos quatro tratamentos. As linhas são logísticas ajustadas aos dados, linha a cheio, N1; tracejado curto, N2; tracejado longo N3.

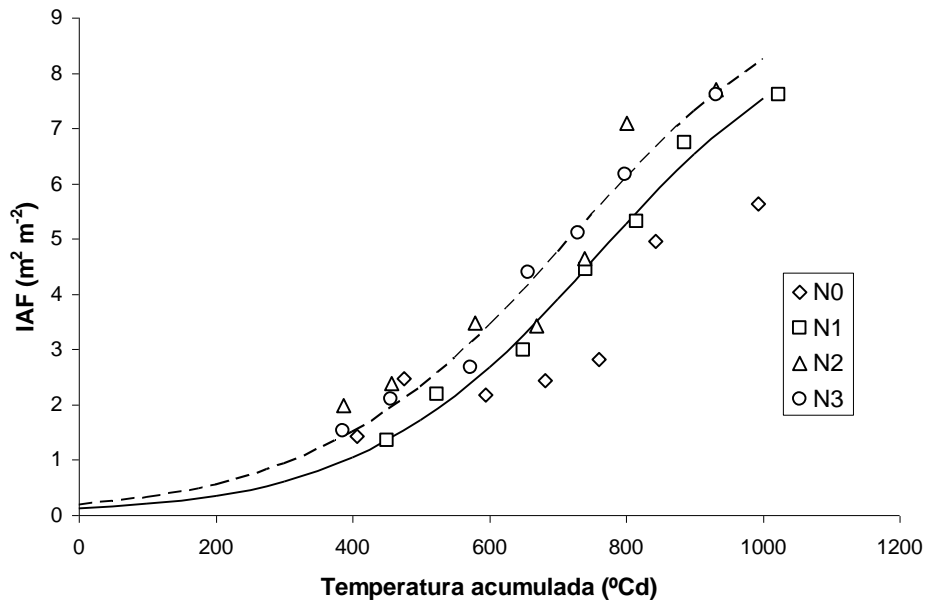


Figura 3.25 Evolução do índice de área foliar (IAF) do sorgo em função da temperatura acumulada em 1998, nos quatro tratamentos. As linhas são logísticas ajustadas aos dados, linha a cheio, N1; tracejado longo N3.

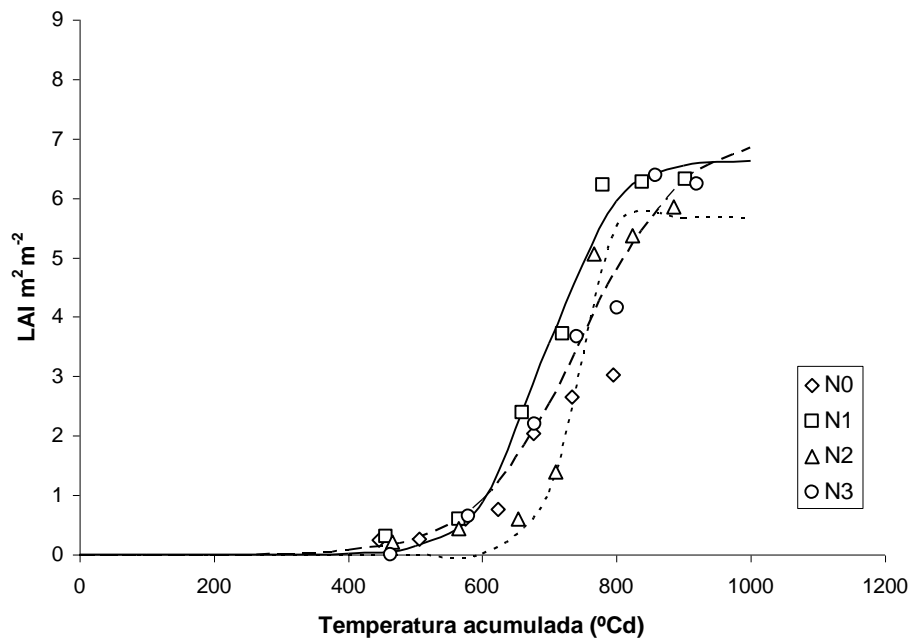


Figura 3.26 Evolução do índice de área foliar (IAF) do sorgo em função da temperatura acumulada em 1999, nos quatro tratamentos. As linhas são logísticas ajustadas aos dados, linha a cheio, N1; tracejado curto, N2; tracejado longo N3.

A evolução de IAF em função da temperatura acumulada parece poder ser descrita por uma regressão logística. Assim, foi ajustada aos dados de cada tratamento em cada ano uma regressão deste tipo, utilizada também por Chapman *et al.* (1993), na forma:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-b(x-c)}} \quad (8)$$

Onde y é IAF; x a temperatura acumulada desde a emergência ($^{\circ}\text{C dia}$); a é o valor máximo de IAF para o qual a curva tende assintoticamente; b determina o declive da curva e c a temperatura acumulada requerida para que y atinja 50% de a . Os resultados da regressão entre IAF e a temperatura acumulada desde a emergência são apresentados no Quadro 3.8. Aos valores de N0 em qualquer dos três anos, e aos de N2 em 1998 e N3 em 1999, não foi possível ajustar a regressão.

Quadro 3.8 – Parâmetros das regressões logísticas entre o índice de área foliar e a temperatura acumulada nos vários tratamentos com azoto em 1997, 1998 e 1999.

Ano	Tratamento	n	a (m ²)	b ($^{\circ}\text{C dia}$) ⁻¹	c ($^{\circ}\text{C dia}$)	R ²
1997	N0					
	N1	7	8,0	0,010	485,2	0,96
	N2	7	9,3	0,011	472,9	0,98
	N3	7	7,5	0,014	449,0	0,99
1998	N0					
	N1	7	9,4	0,006	756,9	0,99
	N2					
	N3	7	10,1	0,005	720,2	0,99
1999	N0					
	N1	7	6,6	0,020	693,0	0,99
	N2	7	5,7	0,050	729,6	0,99
	N3					

Os ajustes das regressões logísticas são muito significativas com valores de R² entre 0,96 e 0,99. O coeficiente c da equação (8), relacionado com o tempo térmico para se completar a expansão foliar, foi sensivelmente semelhante entre os tratamentos com aplicação de azoto em cada ano, embora diferente de ano para ano.

2.6.3. Distribuição vertical da densidade da área foliar

A distribuição vertical da densidade do índice de área foliar dá-nos uma perspectiva tridimensional do desenvolvimento do coberto vegetal ao longo do ciclo vegetativo e é importante na análise da intercepção de radiação solar pelo coberto.

Nas Figuras 3.27 e 3.28 apresentam-se a distribuição vertical do índice de área foliar por unidade de comprimento de planta, referidos a cada nível onde foram instalados os tubos solarímetros para medição da radiação transmitida, em quatro distintos DAS nos anos de 1998 e 1999. Os dados apresentados são referentes aos anos de 1998, para os tratamentos N0 e N2 e 1999 para os tratamentos N1 e N3, anos em que foram medidas as superfícies foliares a vários níveis de altura das plantas ao longo de todo o ciclo vegetativo do sorgo.

Ao longo do ciclo vegetativo o desenvolvimento e concentração da superfície foliar acompanharam o crescimento em altura do sorgo. Pelas Figuras é possível verificar que até cerca dos 42 DAS, a maior concentração de área foliar ocorre no nível de 0,35 m (entre 0,2 e 0,5 m) de altura do solo. A partir dos 48 – 49 DAS, com o crescimento das plantas e lançamento de novas folhas o nível de maior concentração de folhas e área foliar desloca-se para o nível de 0,85 m de altura. Até à colheita é a este nível que ocorre a maior densidade de superfície foliar em quase todos os tratamentos. Depois dos 55 DAS, no nível de 1,65 m verifica-se um substancial aumento de concentração de superfície foliar, que á data da colheita era inferior em todos os tratamentos à do nível de 0,85 m.

Este comportamento é coerente com o já anteriormente exposto no estudo da distribuição vertical da densidade do numero de folhas médio por planta, onde foi verificado que a maior densidade de folhas ocorreu após o pleno estabelecimento da cultura ao nível de 0,85 m acima do solo.

Em síntese, a aplicação de N não parece ter afectado a variação vertical de densidade de área foliar no coberto vegetal. As maiores diferenças entre tratamentos são devidas aos maiores valores de IAF nos tratamentos com azoto, comparados com o N0.

Ozier-Lafontaine *et al.* (1997), num estudo comparativo de milho e sorgo (var. Charamaguas III), sobre balanços radiativos dos dois copados, em três datas diferentes (42, 53 e 61 DAS), apresentam perfis verticais de densidade foliar para o sorgo semelhantes aos aqui apresentados, com maiores densidades a 0,6 m de altura aos 42 e 53 DAS e a 0,9 m aos 61 DAS. Também Ross *et al.* (2000), nos seus estudos de modelação de superfícies foliares e sua distribuição vertical para várias culturas, entre as quais o sorgo, apresentam distribuições de densidade foliar em que o nível de maior densidade foliar se desloca desde os 0,5 m de altura no inicio do período vegetativo para cerca de 0,9 m no fim do período.

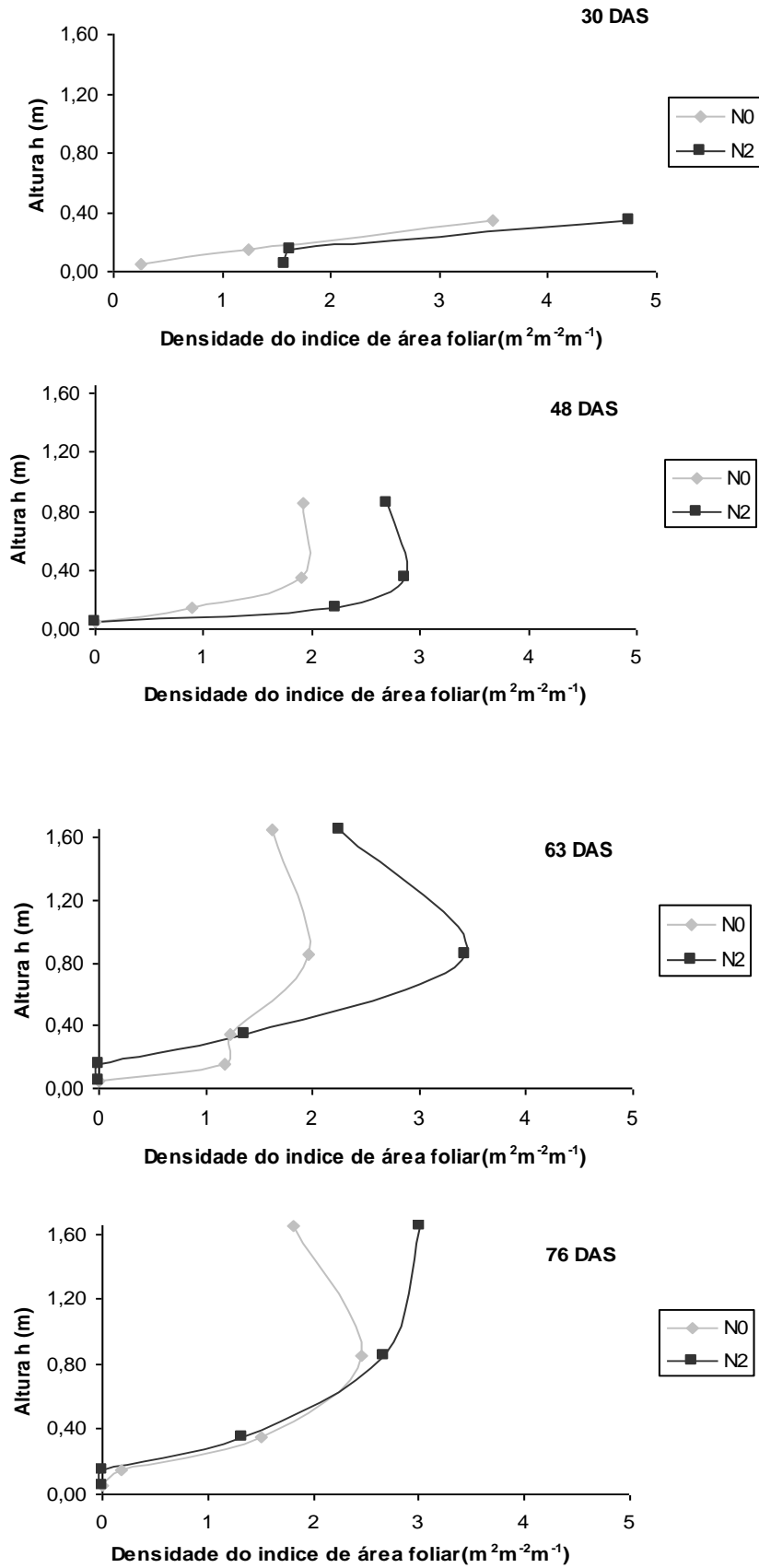


Figura 3.27 - Distribuição vertical da densidade da área foliar por unidade de comprimento da planta nos tratamentos N0 e N2 no ano de 1998

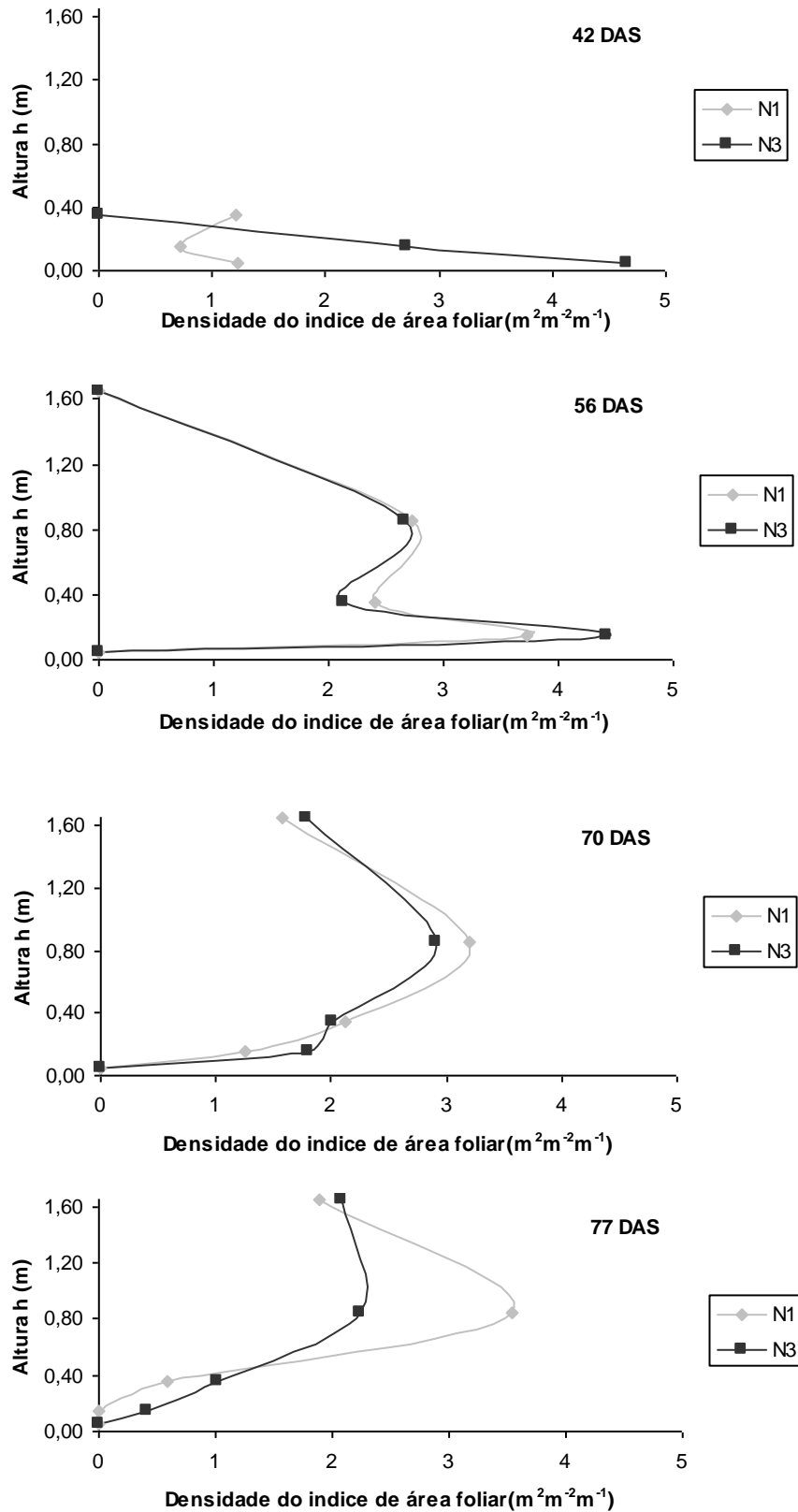


Figura 3.28 - Distribuição vertical da densidade da área foliar por unidade de comprimento da planta nos tratamentos N1 e N3 no ano de 1999

3. Intercepção de radiação e produção de biomassa pela cultura do sorgo

3.1. Fracção total de radiação interceptada

Nas Figuras 3.29, 3.30 e 3.31 apresentam-se a variação da fracção total da radiação solar interceptada (f) por todo o coberto vegetal, determinada a partir da radiação transmitida até aos 10 cm acima do solo, em função dos dias após sementeira DAS (ao longo do ciclo vegetativo do sorgo), para os quatro tratamentos (N0, N1, N2, N3) e para os anos de 1997, 1998 e 1999. No ano de 1998, até aos 30 DAS e nos anos de 1997 e 1999 até aos 35 DAS, existe uma falta de informação acerca da fracção total de radiação interceptada. Durante este período de tempo foram obtidos dados de S_t iguais e superiores a S , não tendo portanto sido possível determinar f . Neste período de tempo as folhas eram ainda bastante pequenas, não cobrindo ainda os tubos solarímetros, podendo ter existido reflexão de radiação solar incidente por parte das folhas que foi contabilizada pelos tubos como radiação transmitida.

A análise dos dados das Figuras mostra que nos três anos, acompanhando o crescimento da superfície foliar, existiu um período até cerca de 50 a 60 DAS, de rápido incremento de intercepção da radiação total, estabilizando a partir daí até à colheita. A intercepção de radiação solar durante o período vegetativo do sorgo diferiu entre tratamentos em cada um dos anos de 1997, 1998 e 1999. Em 1997 o f de N0 foi sistematicamente inferior ao dos outros tratamentos. Nos outros anos a diferença entre tratamentos foi mais variável ao longo do ciclo vegetativo. Por exemplo no ano de 1999, aos 35 DAS e 42 DAS, os tratamentos N0 e N1 interceptaram substancialmente mais radiação solar que os tratamentos N2 e N3, mas aos 49 e 56 DAS a diferença entre tratamentos era pequena.

Em geral, a intercepção máxima em todos os tratamentos e anos manteve-se desde os 60 DAS até à colheita com valores de f da ordem dos 70 – 90 %. Portanto, a senescência das folhas mais velhas que, como se viu atrás, começou com o lançamento da panícula, não se reflectiu na intercepção da radiação. Nesta altura, a maioria da área foliar estava concentrada no topo da cultura, interceptando aí a maioria da radiação, pelo que a senescência das folhas mais velhas na base das plantas não influenciou f .

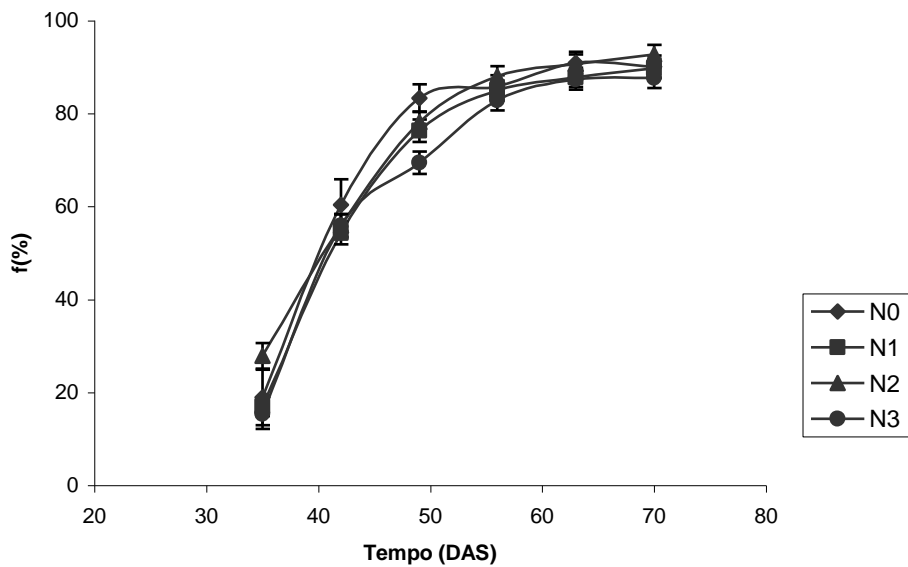


Figura 3.29 - Variação ao longo do tempo da fracção total da radiação solar interceptada (f) pelo sorgo, para 4 níveis de adubação azotada, em 1997

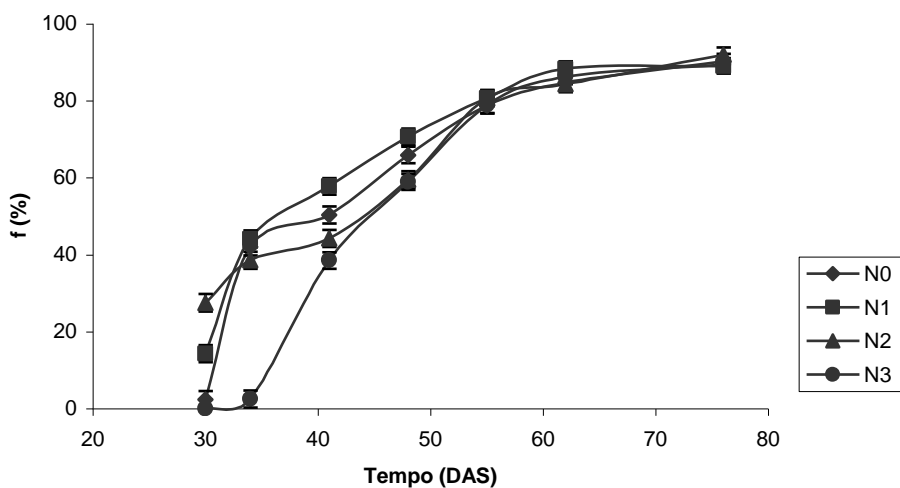


Figura 3.30 - Variação ao longo do tempo da fracção total da radiação solar interceptada (f) pelo sorgo, para 4 níveis de adubação azotada, em 1998

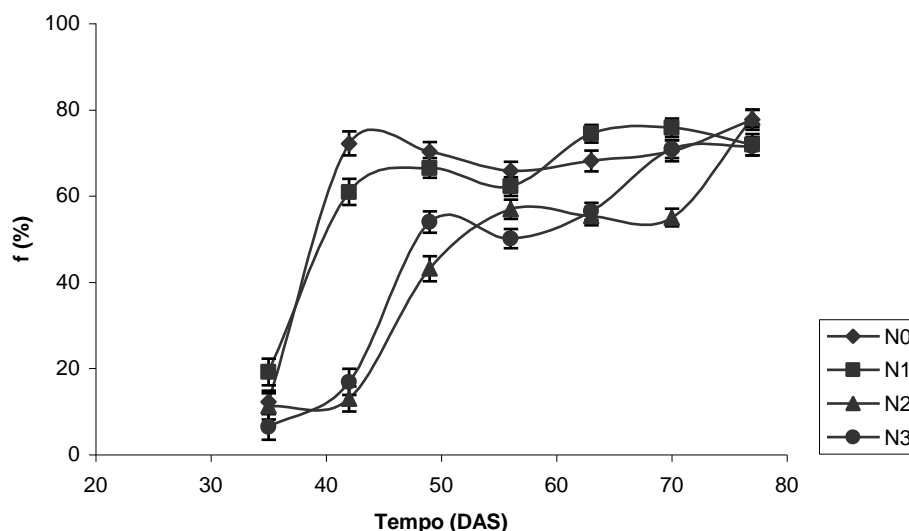


Figura 3.31 - Variação ao longo do tempo da fracção total da radiação solar interceptada (f) pelo sorgo, para 4 níveis de adubação azotada, em 1999

RusseL *et al.* (1990), referem que diferenças na nutrição normalmente fazem variar a estrutura do copado, o crescimento da IAF e por conseguinte a quantidade e qualidade da radiação interceptada por determinado coberto vegetal. Black & Ong (2000), chamam a atenção para o facto de as diferenças de intercepção de radiação que possam existir entre cobertos nas etapas iniciais do seu desenvolvimento, se esbaterem à medida que as culturas crescem e os cobertos fecham as entrelinhas.

3. 2. Distribuição vertical da fracção de radiação interceptada

Apresentam-se nas Figuras 3.32 a 3.35 para os quatro tratamentos as fracções de radiação interceptada a cinco níveis de altura do solo (10, 20, 50, 120 e 210 cm). A radiação transmitida foi medida a esses níveis nos tratamentos N0 e N2 em 1998 e, no ano de 1999, nos tratamentos N1 e N3.

Como se pode observar, em todos os tratamentos a variação de f ao longo do coberto segue a variação da densidade do índice de área foliar. Até cerca de 50 DAS a maior proporção de intercepção da radiação ocorreu nos níveis de 10 e 20 cm de altura. Depois, com o aumento da concentração do número de folhas e da área foliar a níveis superiores, a radiação passa a ser interceptada em grande parte entre os 50 a 120 cm e entre os 120 e 210 cm. Por exemplo, no tratamento N0, o nível 50 cm apresenta em relação ao nível de 20 cm, diferenças de f de 40 % aos 50 DAS e de apenas 20 % aos 75 DAS. No tratamento N2, o nível 120 cm, aos 55 DAS, apresenta uma diferença de f em relação aos níveis de 10 e 20 cm de 50% e 29% aos 62 DAS e de 3% aos 76 DAS.

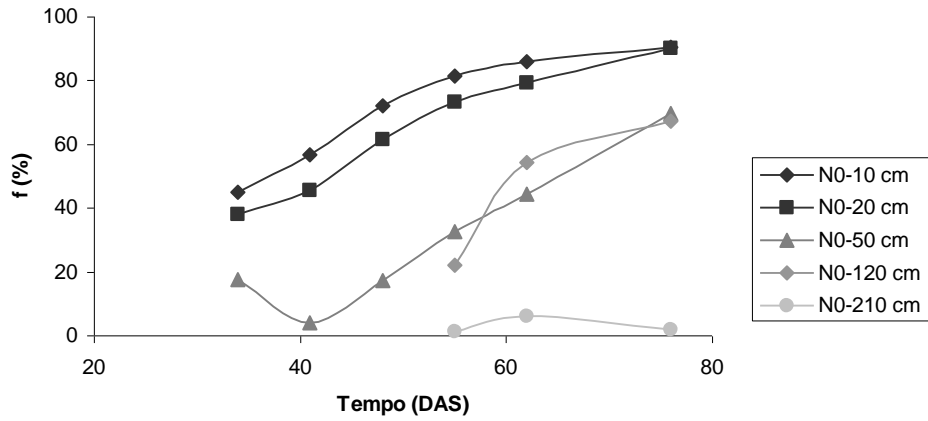


Figura 3.32 - Distribuição da fracção de radiação interceptada (f) ao longo da altura do sorgo no tratamento N0 em 1998

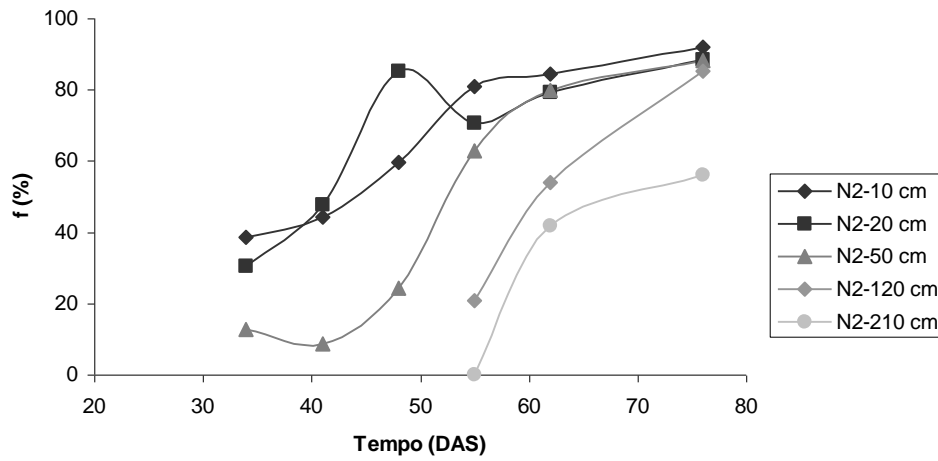


Figura 3.33 - Distribuição da fracção de radiação interceptada (f) ao longo da altura do sorgo no tratamento N2 em 1998

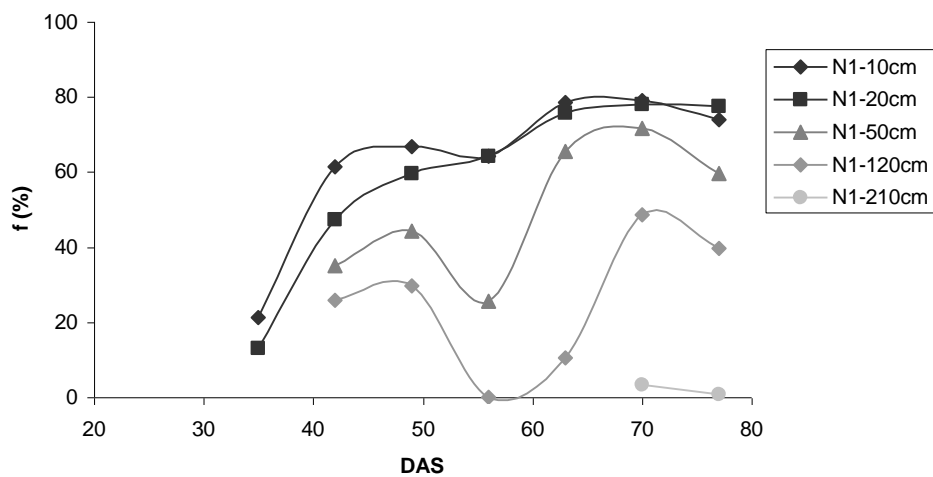


Figura 3.34 - Distribuição da fracção de radiação interceptada (f) ao longo da altura do sorgo no tratamento N1 em 1999

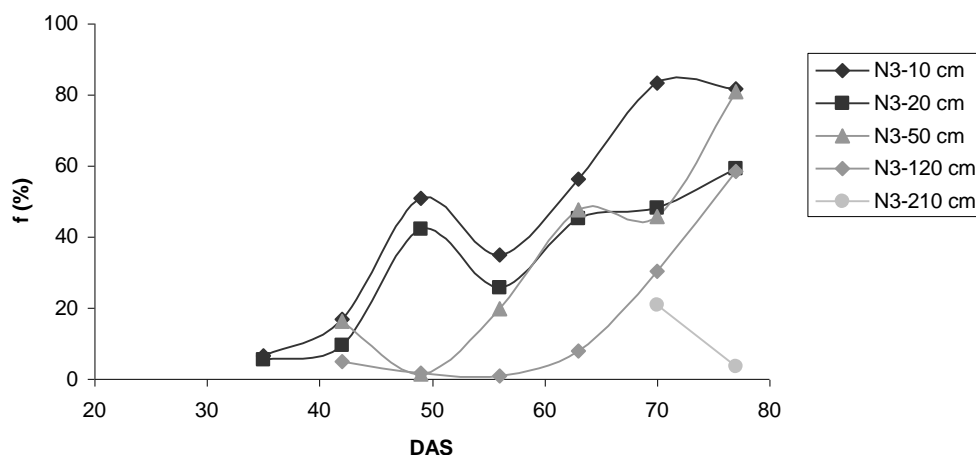


Figura 3.35 - Distribuição da fração de radiação interceptada (f) ao longo da altura do sorgo no tratamento N3 em 1999

As diferentes normas de adubação azotada podem influenciar a forma como o copado intercepta a radiação. Com o aumento das doses de azoto maior e mais temporã parece ter sido a participação na interceptação de radiação dos níveis superiores do copado, sobretudo os níveis 50 e 120 cm de altura. O azoto ao estimular o crescimento do sorgo em altura e a formação de folhas, faz variar a capacidade de interceptação de radiação pela cultura e os níveis em que ela se processa. Vários autores, como por exemplo Ong & Monteith (1985), Major *et al.* (1991), que descrevem modelos de interceptação por parte de copados vegetais, fazem referência a este tipo de comportamento por parte das plantas quando sujeitas a efeitos de stress ou abundância de factores de crescimento.

3.3. Radiação interceptada, índice de área foliar e extinção da radiação

No presente trabalho, a adubação azotada afectou o índice de área foliar (IAF) e por isso, afectou a fracção total de radiação interceptada (f). Para avaliar este aspecto, a dependência de f relativamente a IAF é ilustrada nas Figuras 3.36, 3.37 e 3.38, uma para cada ano, englobando os quatro tratamentos anuais. Em cada ano e cada tratamento a fracção de radiação interceptada tende a aumentar com o desenvolvimento da área foliar e a aproximar-se de um valor máximo da ordem dos 90% em 97 e 98 e dos 70% em 1999. Neste último ano, o f foi superior ao dos outros anos para valores de IAF inferiores a 2. Além disso, em cada ano parece existir uma relação única entre f e IAF para os quatro tratamentos. Nesse pressuposto, ajustou-se ao conjunto de todos os dados em cada ano a equação (4) que melhor descreveu a relação e permitiu também a obtenção dos valores dos coeficientes de extinção de radiação (k) sazonais de 0,29 nos anos de 1997 e 1999 e 0,26 no ano de 1998, com níveis de significância elevados.

As diferenças de f entre tratamentos são globalmente devidas às diferenças de IAF entre eles, pelo que os níveis de adubação azotada afectaram f através do IAF. Efeitos similares são descritos por Muchow (1998), nos seus estudos sobre a eficiência de utilização do azoto no milho e

sorgo grão. Segundo este autor, diferentes disponibilidades de azoto afectam a produção de superfície foliar e consequentemente a capacidade e qualidade de interceptação da radiação.

Nos três anos, o máximo de interceptação de radiação foi atingido aos 5 – 6 m² m⁻² de superfície foliar. Para valores de IAF superiores, a fracção de interceptação de radiação variou de forma insignificante. Assim, os tratamentos N1, N2 e N3 produziram em qualquer dos anos, mas sobretudo em 1997 e 1998, mais área foliar do que a necessária para interceptar o máximo de radiação. Como indica Massantini *et al.* (1990), as culturas podem produzir mais área foliar que a requerida para a interceptação máxima da radiação. Segundo os mesmos autores, em ensaios com sorgo mel e diferentes doses de azoto, só foram encontradas diferenças na fracção de radiação interceptada pelo sorgo nos tratamentos com doses de azoto abaixo dos 125 kg/ha.

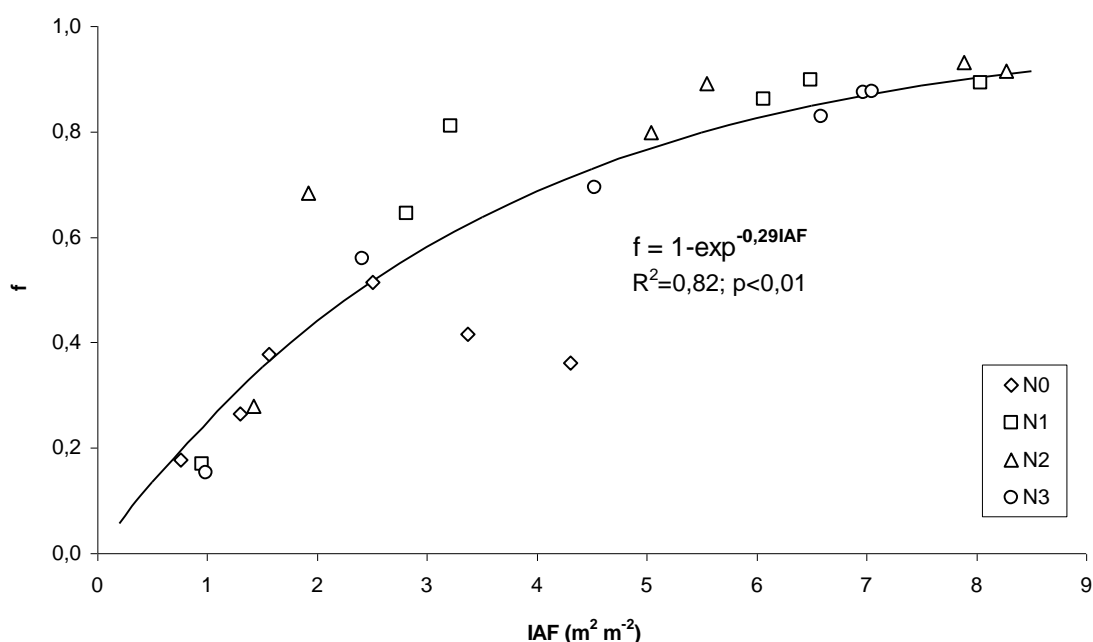


Figura 3.36 - Relação entre a fracção total de radiação solar interceptada (f) pelo coberto vegetal do sorgo e o índice de área foliar (IAF), para 4 níveis de adubação azotada, em 1997. A curva a cheio representa a equação $f = 1 - \exp^{-k IAF}$ ajustada aos dados de; indica-se também a significância do ajuste.

Como as relações entre f e IAF são aparentemente semelhantes entre anos, englobaram-se todos os dados dos vários tratamentos e anos na Figura 3.39. Uma relação única explica a dependência de f relativamente a IAF em todos os anos e tratamentos. A relação é muito significativa e confirma que diferenças de IAF entre tratamentos e anos afectam a fracção de radiação interceptada de forma semelhante. O coeficiente de extinção de radiação sazonal é de 0,27, e explica adequadamente a extinção de radiação através do coberto vegetativo do sorgo ao longo do ciclo vegetativo, nos três tratamentos com azoto e nos três anos experimentais. Como sustenta

Squire (1990), K é razoavelmente estável para determinado genótipo, sob uma variada gama de condições.

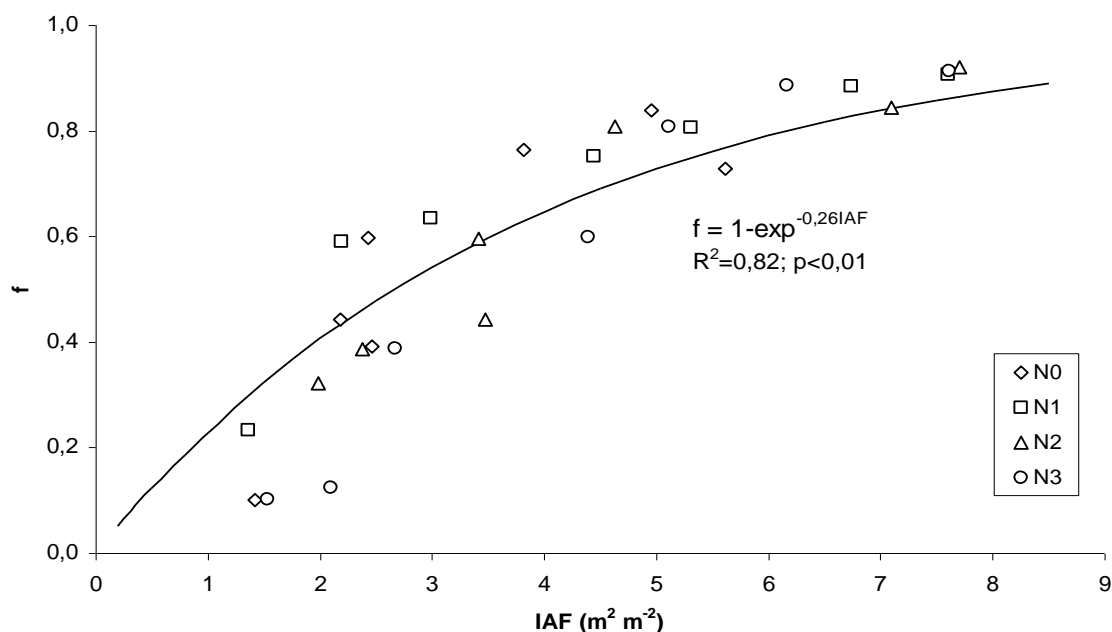


Figura 3.37 - Relação entre a fracção total de radiação solar interceptada (f) pelo coberto vegetal do sorgo e o índice de área foliar (IAF), para 4 níveis de adubação azotada, em 1998. A curva a cheio representa a equação $f = 1 - \exp^{-K IAF}$ ajustada aos dados; indica-se também a significância do ajuste.

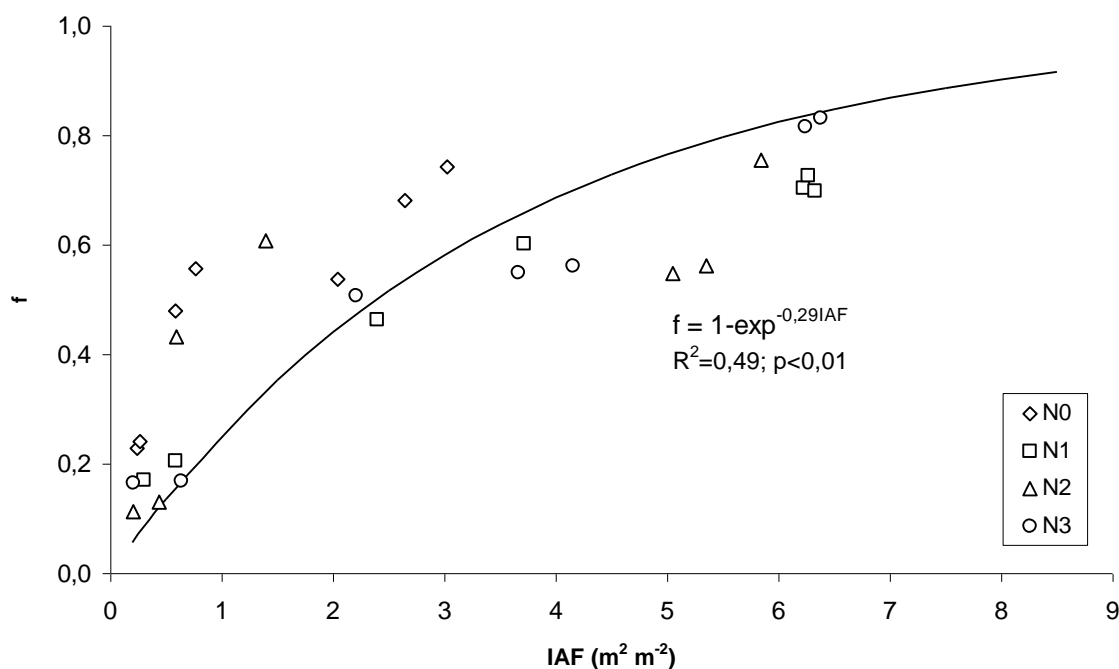


Figura 3.38 - Relação entre a fracção total de radiação solar interceptada (f) pelo coberto vegetal do sorgo e o índice de área foliar (IAF), para 4 níveis de adubação azotada, em 1999. A curva a cheio representa a equação $f = 1 - \exp^{-K IAF}$ ajustada aos dados; indica-se também a significância do ajuste.

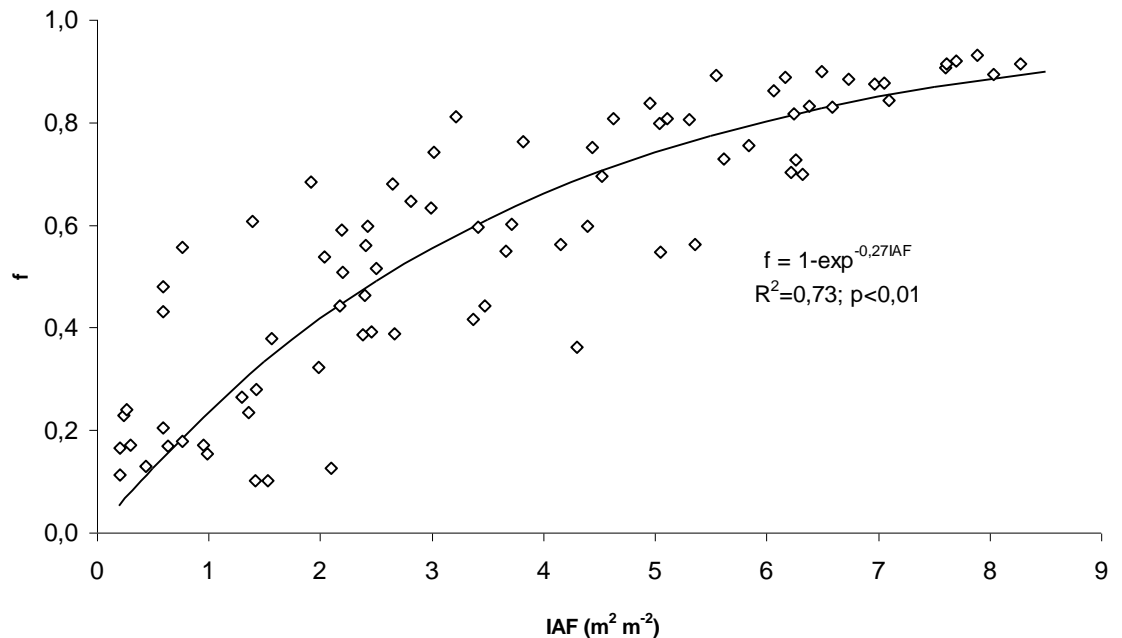


Figura 3.39 - Relação entre a fração total de radiação solar interceptada (f) pelo coberto vegetal do sorgo e o índice de área foliar (IAF), para 4 níveis de adubação azotada, no conjunto dos três anos (1997, 1998 e 1999). A curva a cheio representa a equação $f = 1 - \exp^{-K \text{ IAF}}$ ajustada aos dados; indica-se também a significância do ajuste.

3.4. Extinção diária da radiação solar ao longo do coberto

Os coeficientes de extinção sazonais para todo o ciclo vegetativo foram estimados na secção anterior. Aqui analisa-se a evolução dos valores de K diários através do coberto do sorgo ao longo do ciclo vegetativo. Os coeficientes de extinção (K) de radiação foram calculados somente para os anos de 1998 e 1999, pois no ano de 1997 não foi feita a determinação da superfície foliar para os diferentes níveis de altura, nem foi efectuada a medição de f a vários níveis.

A extinção diária da radiação foi calculada através da equação 4, que permite obter o coeficiente de extinção (k). Os valores de IAF e f utilizados foram os obtidos aos 30, 34, 41, 48, 55, 62, e 76 DAS no ano de 1998 nos tratamentos N0 e N2 e aos 42, 49, 56, 63, 70 e 77 DAS no ano de 1999 nos tratamentos N1 e N3. No Quadro 3.8 são apresentados os valores de K calculados para cada tratamento, datas em que foram estimados e os coeficientes de determinação das regressões lineares correspondentes.

Para uma melhor visualização, os dados de K do Quadro 3.8 são também apresentados nas Figuras 3.40 a 3.41. Os valores de K variaram ao longo do ciclo vegetativo, acompanhando o crescimento da cultura. Em 1998 os tratamentos N0 e N2 aos 30 DAS e com 2 - 3 folhas por planta e

cerca de 60 cm de altura apresentavam um K de cerca 0,77. Aos 34 DAS tendo as plantas cerca de quatro folhas e 70 cm de altura apresenta um valor de K de cerca 1,5. Estes valores correspondem ao período inicial de estabelecimento da cultura. Dos 34 DAS aos 48 as plantas cresceram em altura em média cerca de 65 cm e formaram mais cerca de seis folhas por planta, havendo por essa razão uma reestruturação do coberto vegetal, com caules e folhas em pleno desenvolvimento e aparente quebra na capacidade de extinção da radiação. Aos 55 - 60 DAS a cultura tinha a superfície foliar máxima e terminado os processos de crescimento que mais podem interferir na estrutura do copado e a extinção de radiação era de novo elevada. A partir dos 55 DAS com o lançamento das panículas cessa a produção de folhas e começa a senescência das mesmas com a perda de capacidade crescente de extinção da radiação. No ano de 1999 e nos tratamentos N1 e N3 o comportamento foi muito semelhante ao observado em 1998, mas com o período vegetativo mais longo em cerca de dez dias. De facto, tendo em conta a variação de K, foi efectuada uma análise estatística (ANOVA), aos valores do Quadro 3.8 e não foram encontradas diferenças significativas ($P \leq 0,05$) nos e entre tratamentos.

Além disso, nos vários tratamentos em ambos os anos as Figuras 3.40 e 3.41 mostram que os valores diários de K tendem a diminuir à medida que a cultura cresce, aproximando-se dos valores sazonais para todo o ciclo referidos na secção anterior.

Quadro 3.9 - Parâmetros da regressão linear entre $\ln [(1-f) \times 100]$ e índice de área foliar (IAF), nos dias indicados, nos tratamentos N0 e N2 em 1998 e N1 e N3 em 1999. Valores estimados do coeficiente de extinção diário (K) e coeficiente de determinação (R^2)

DAS	1998		1999	
	N0	N2	N1	N3
30	K = 0,77	K = 0,68		
	R2 = 0,39	R2 = 0,20		
34	K = 1,39	K = 1,72		
	R2 = 0,91	R2 = 0,94		
41	k = 0,36	K = 0,26	K = 1,86	K = 1,49
	R2 = 0,48	R2 = 0,53	R2 = 0,99	R2 = 1
48	K = 1,37	K = 0,9	K = 0,49	K = 1,18
	R2 = 0,68	R2 = 0,99	R2 = 0,82	R2 = 0,85
55	K = 0,79	K = 0,37	K = 0,46	K = 0,19
	R2 = 0,84	R2 = 0,94	R2 = 1	R2 = 0,05
62	K = 0,5	K = 0,52	K = 1,49	K = 0,76
	R2 = 1	R2 = 0,89	R2 = 0,99	R2 = 0,97
70			K = 0,39	K = 0,33
			R2 = 0,89	R2 = 0,99
76	K = 0,43	K = 0,85	K = 0,27	K = 0,69
	R2 = 1	R2 = 0,97	R2 = 0,44	R2 = 0,93

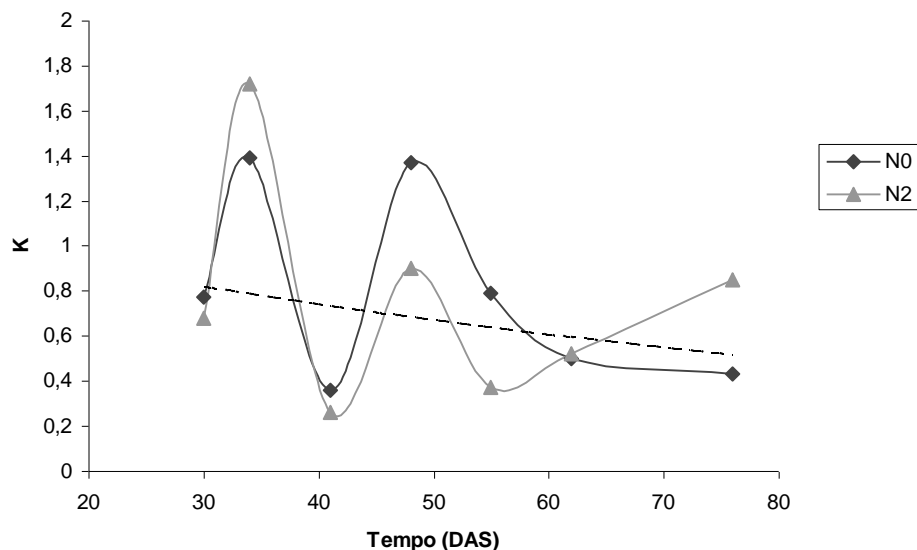


Figura 3.40 Evolução dos valores diários do coeficiente de extinção da radiação (K) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo para os tratamentos N0 e N2 em 1998 e curva ajustada aos dados.

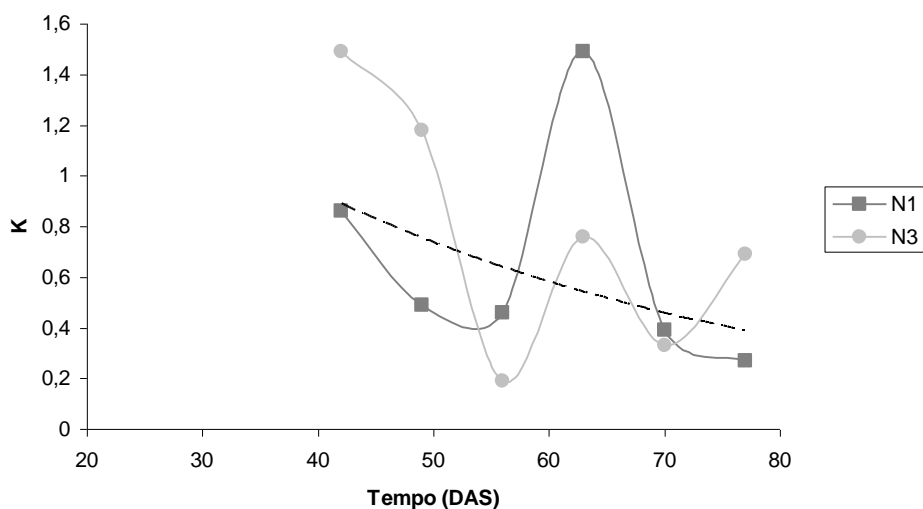


Figura 3.41 Evolução dos valores diários do coeficiente de extinção da radiação (K) ao longo do ciclo vegetativo do sorgo para os tratamentos N1 e N3 em 1999 e curva ajustada aos dados.

Portanto, pelo acima exposto podemos dizer que as diferentes normas de adubação azotada não tiveram influência evidente na extinção da radiação por parte do copado de sorgo.

Os valores médios diários de K no presente trabalho foram de $K_{N0}=0,80$, $K_{N1}=0,62$, $K_{N2}=0,76$ e $K_{N3}=0,77$. Estes valores de K resultam de medições com tubos solarímetros sensíveis a todo o espectro da radiação solar; como alguns autores na determinação de K utilizaram a fração da

radiação fotossinteticamente activa (PAR), podemos converter K obtido através da radiação total, para K a partir da radiação fotossinteticamente activa, através da relação empírica $\ln(1 - f_p) = 1,4 \ln(1 - f_t)$ onde f_p é a fracção da radiação interceptada fotossinteticamente activa e f_t a fracção da radiação total interceptada (Squire, 1990). Assim os coeficientes obtidos para f_p para os quatro tratamentos seriam de $K_{N0}=1,12$, $K_{N1}=0,86$, $K_{N2}=1,06$ e $K_{N3}=1,08$, semelhantes aos encontrados para o sorgo por outros autores, nomeadamente Mailhol *et al.* (1997) que determinaram 1,15 em condições de campo e Daughtry *et al.* (1983) que determinaram nos seus ensaios valores entre 0,56 e 1,5.

Utilizando a mesma conversão, o valor sazonal de k de 0,27 referido na secção anterior corresponderia a 0,31 em termos de PAR. Este valor é inferior ao valor de 0,51 obtido por Rosenthal e tal (1993) e Black & Ong (2000) em modelos de crescimento do sorgo.

3.5. Produção de matéria seca

3.5.1. Produção total de matéria seca

Nas Figuras 3.42, 3.43 e 3.44 são apresentados os resultados das determinações periódicas de matéria seca (MS) feitas nos anos de 1997, 1998 e 1999. As barras verticais indicam os desvios padrão dos valores médios respectivos. A evolução da matéria seca ao longo do tempo foi aproximadamente sigmoideal em todos os tratamentos e anos.

No ano de 1997, aos 30 DAS, a MS foi praticamente igual em todos os tratamentos, com uma diferença máxima de 0,04 kg m⁻² entre tratamentos. A partir dos 35 DAS o tratamento N0 apresentou sistematicamente menos matéria seca que os restantes. À colheita os tratamentos apresentaram os seguintes valores de MS: N0, 1,16 kg m⁻²; N1, 1,50 kg m⁻²; N2, 1,62 kg m⁻²; e N3, 1,76 kg m⁻². No ano de 1998, até aos 48 DAS, as diferenças entre tratamentos foram pequenas, não ultrapassando os 0,10 kg m⁻². A partir dos 55 DAS e até à colheita aos 76 DAS, a produção de MS pelo sorgo foi também sistematicamente menor no tratamento sem adição de azoto. À colheita os tratamentos acumularam MS pela seguinte ordem; N0, 0,69 kg m⁻²; N1, 1,24 kg m⁻²; N2, 1,59 kg m⁻²; e N3, 1,70 kg m⁻². No ano de 1999, a dinâmica de acumulação de MS foi muito semelhante às verificadas para 1997 e 1998. À colheita os tratamentos apresentaram os seguintes teores em MS; N0, 1,04 kg m⁻²; N1, 1,48 kg m⁻²; N2, 1,52 kg m⁻²; e N3, 1,66 kg m⁻².

Estes dados confirmam o exposto por Black & Ong (2000) e Choudhury (2001) que a acumulação de matéria seca está intimamente associada à interceptação da radiação e superfície foliar. Até cerca dos 40 DAS, a acumulação de matéria seca foi relativamente lenta (fase 7-8 folhas), mas dos 40 aos cerca de 60 DAS aumenta de forma mais rápida, acompanhando o período mais intensivo de expansão foliar. Depois dos 65 - 70 DAS, aquando do lançamento da panícula e desenvolvimento dos órgãos florais, quando começa a senescência das folhas, as plantas continuam a acumular matéria seca, mas a um ritmo mais lento. Também Silva (2004) descreve curvas de evolução de acumulação de matéria seca no sorgo muito semelhantes às deste trabalho, com produtividades aos 77 DAS que variaram de 1,4 a 1,8 kg há⁻¹, dependendo da quantidade de azoto.

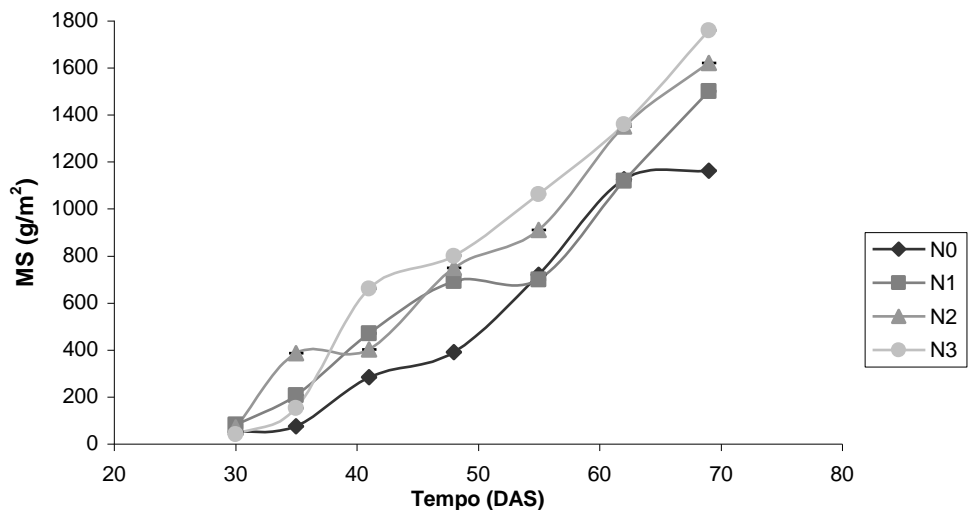


Figura 3.42 Evolução temporal da matéria seca total acumulada (MS) pelo sorgo a quatro níveis de adubação azotada, em 1997

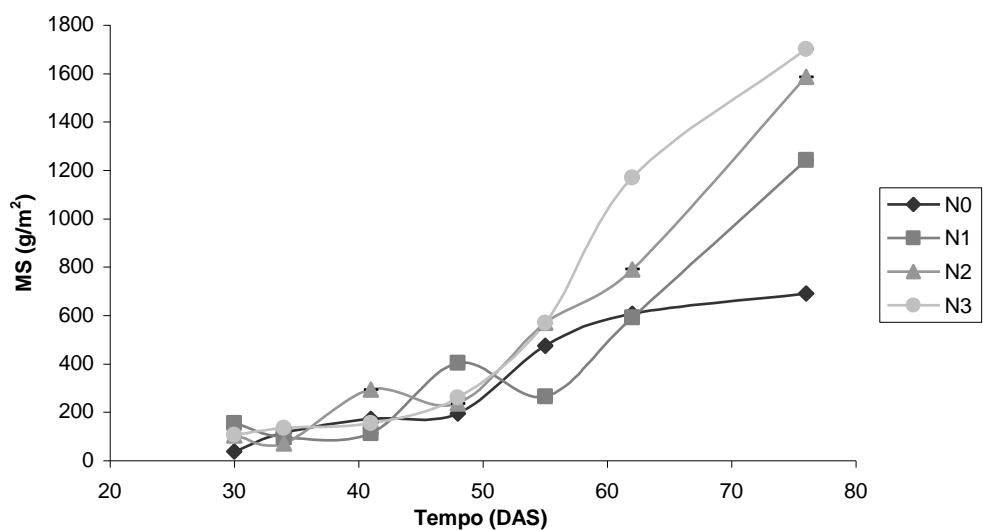


Figura 3.43 Evolução temporal da matéria seca total acumulada (MS) pelo sorgo a quatro níveis de adubação azotada, em 1998

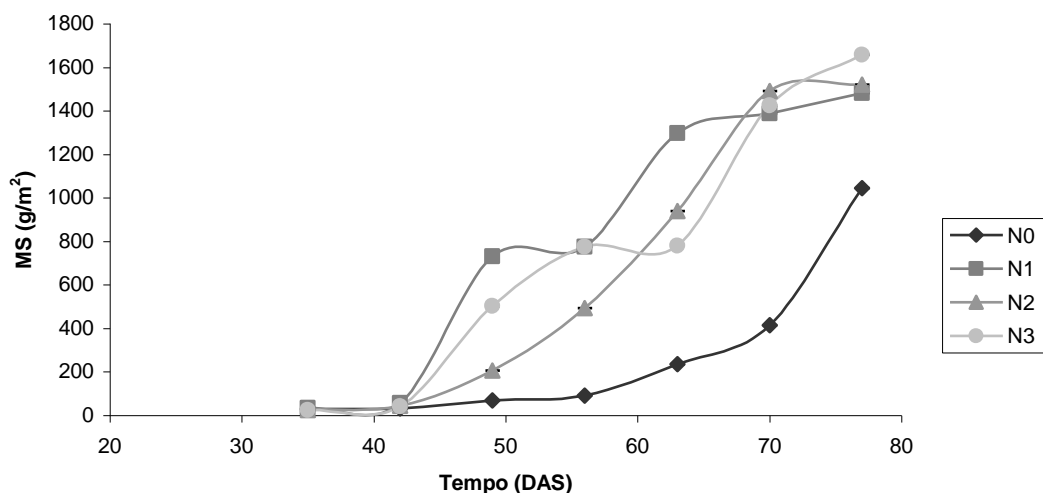


Figura 3.44 Evolução temporal da matéria seca total acumulada (MS) pelo sorgo a quatro níveis de adubação azotada, em 1999

A análise estatística feita (ANOVA e comparação de pares de médias) aos dados obtidos revelou como significativamente ($P \leq 0,05$) diferente o tratamento N0 a partir dos 55 DAS, nos três anos, sem diferenças entre os anos. Quanto aos tratamentos com adição de azoto, não foram encontradas diferenças significativas nem entre os tratamentos, nem entre anos. Assim, a produtividade média (em MS) do tratamento sem azoto foi da ordem das $9,7 \text{ ton ha}^{-1}$, enquanto que a dos tratamentos com adição de azoto foi cerca de $15,6 \text{ ton ha}^{-1}$. Vários autores como Ustimenko & Bakumovski (1982), Isakov (1982), Ripado (1995), referem também colheitas em MS de sorgo para as regiões europeias de 14 a 21 toneladas de MS por hectare.

3.5.2. Partição da MS ao longo do ciclo vegetativo do sorgo

A evolução da partição da matéria seca (MS) pelos órgãos vegetativos e reprodutivos da planta, por tratamento e por ano, para o ciclo vegetativo do sorgo é apresentada nas Figuras 3.45 a), b) e c). No ano de 1997, por erro no processamento das amostras, não foram feitas determinações de matéria seca nem de azoto nas panículas.

No tratamento N0 verificou-se uma acumulação de matéria seca nas folhas até aos 48 DAS, superior em 10 a 20% da acumulada nos caules. Nos anos de 1997 e 1999, aos 55 DAS, esta diferença era de 10%. A partir dos 55 DAS, a acumulação de MS passa a ser feita essencialmente nos caules até à colheita. A diferença de acumulação nos caules e folhas vai aumentando até à colheita, onde os caules apresentam valores de acumulação superiores em 27% aos valores verificados nas folhas. À colheita, as panículas continham cerca de 7,5% do valor total de matéria seca.

No tratamento N1, observaram-se as mesmas tendências na acumulação da MS verificada para o tratamento N0, mas com diferenças entre o acumulado nas folhas e caules mais baixas. Até aos 55 DAS, na média dos três anos, a matéria seca acumulou-se mais 20% nas folhas que nos

caules. A partir do 55 DAS, a acumulação da matéria seca foi em média 15% superior nos caules que nas folhas. As panículas, à colheita, representavam em média no tratamento N1 cerca de 12% da matéria seca total.

No tratamento N2, a matéria seca acumulou-se até aos 62 DAS mais cerca de 27% nas folhas que nos caules. A partir dos 62 DAS há uma translocação na acumulação da MS para os caules, em média 17% mais elevada que nas folhas. Neste tratamento, à colheita, as panículas foram responsáveis por cerca de 10% da matéria seca total.

No tratamento N3, a acumulação de matéria seca foi também inicialmente superior nas folhas que nos caules. A partir dos 55 DAS verifica-se o mesmo que nos outros tratamentos, passando a acumulação a verificar-se em mais de 15% nos caules. As panículas neste tratamento foram responsáveis por cerca de 9% da matéria seca à colheita.

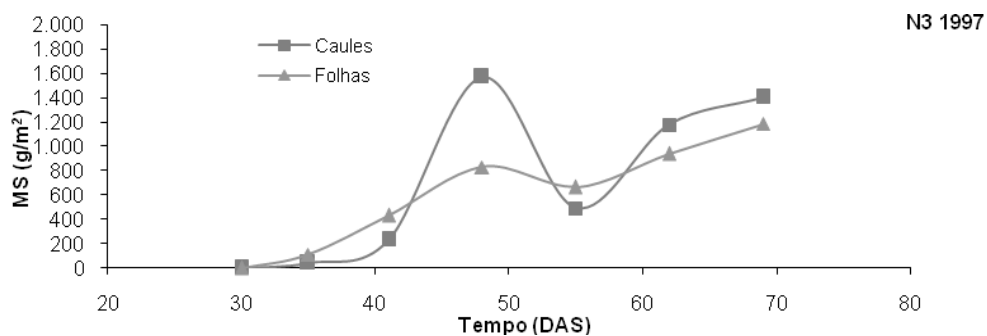
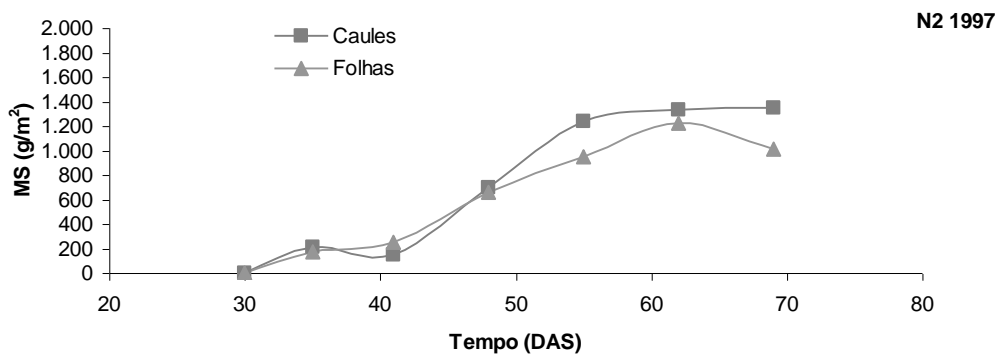
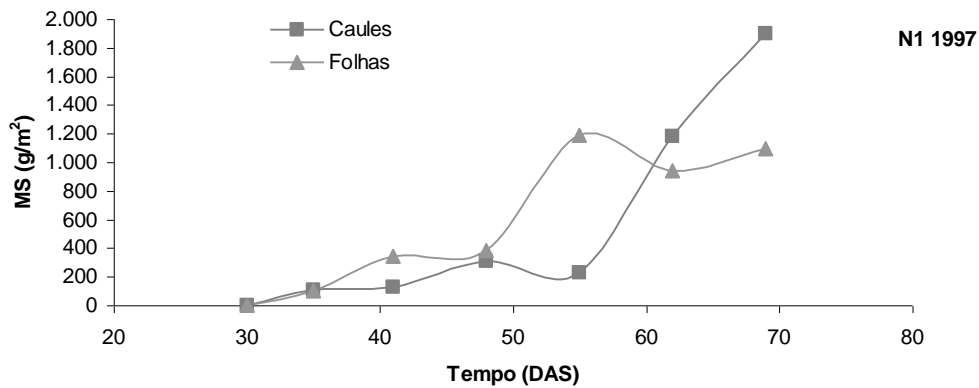
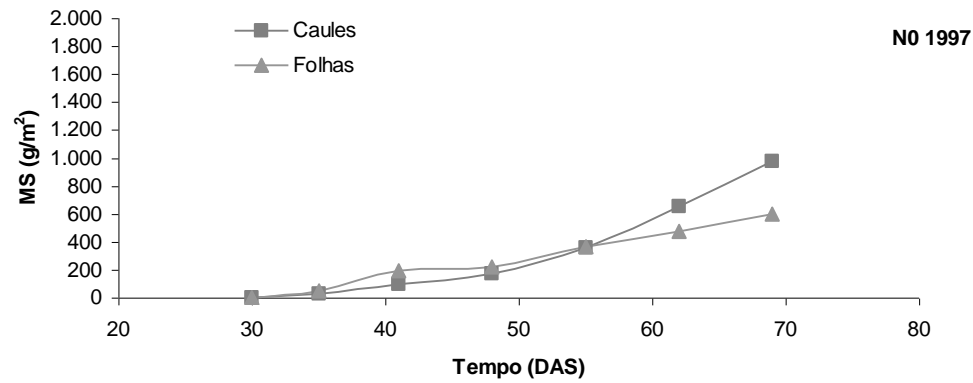


Figura 3.45 a) – Evolução temporal da partição da matéria seca (MS) pelos órgãos vegetativos do sorgo, para os tratamentos N0, N1, N2 e N3, em 1997

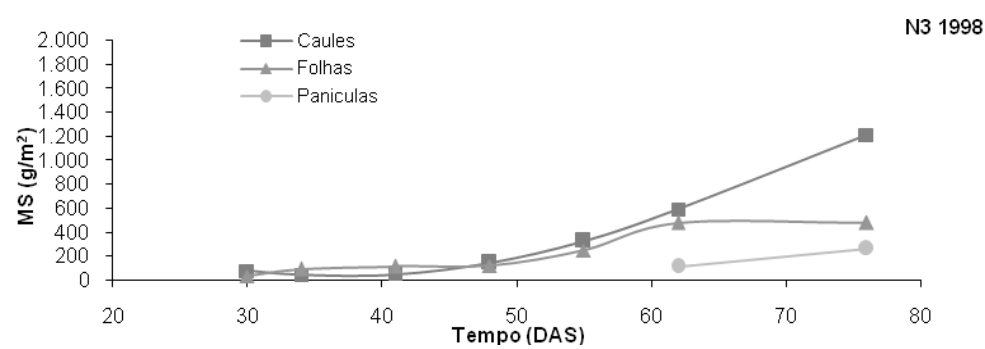
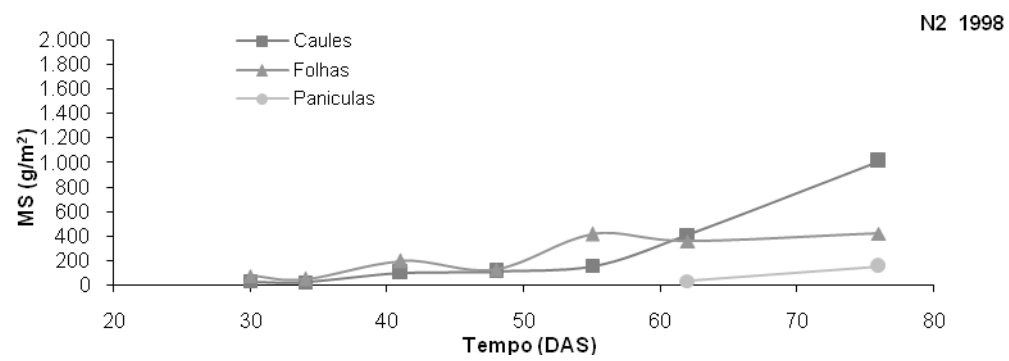
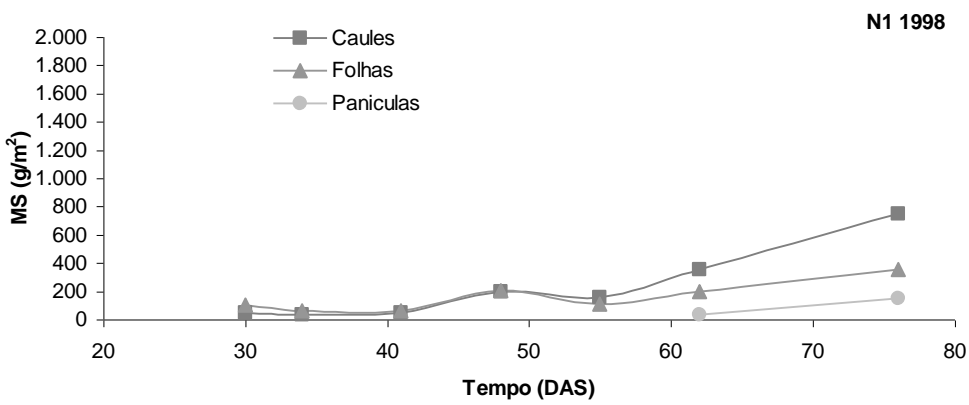
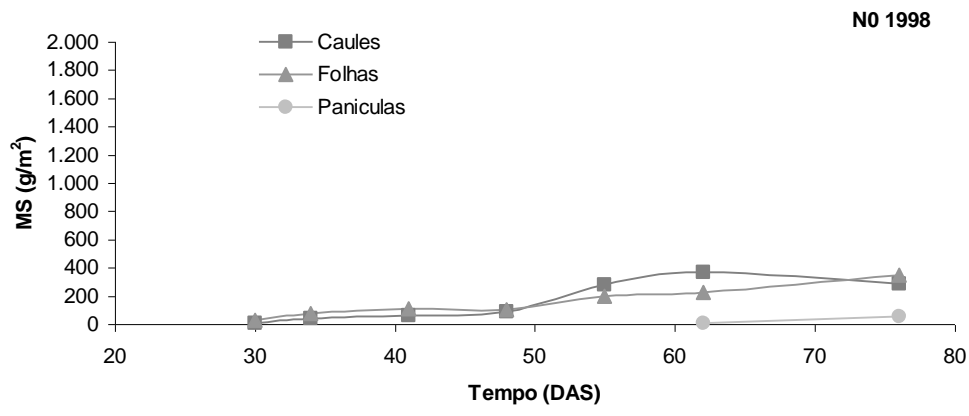


Figura 3.45 b) - Evolução temporal da partição da matéria seca (MS) pelos órgãos vegetativos do sorgo, para os tratamentos N0, N1, N2 e N3, em 1998

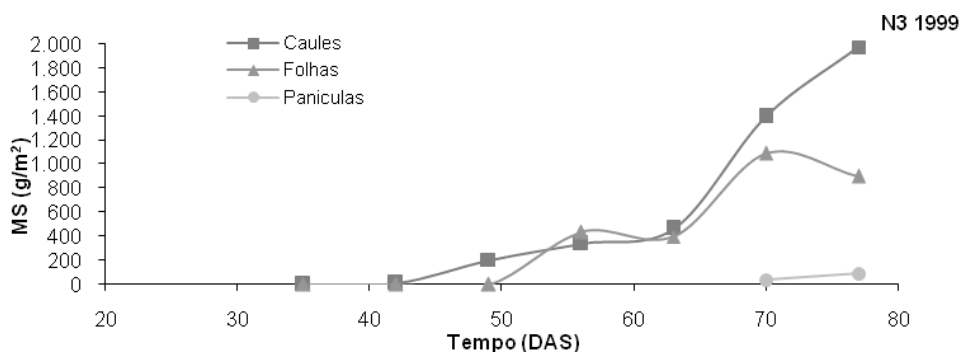
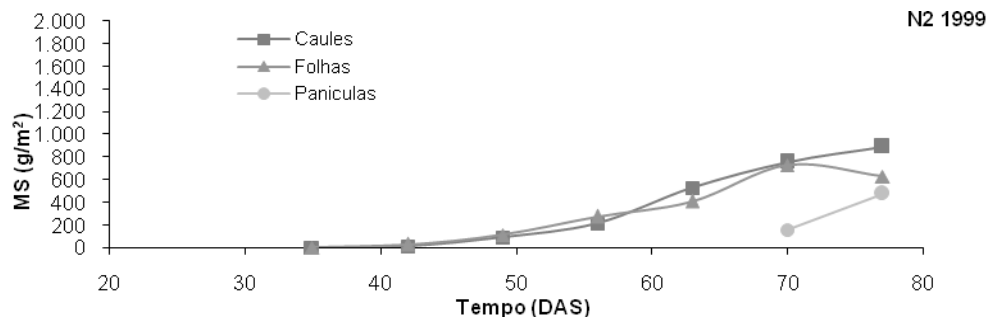
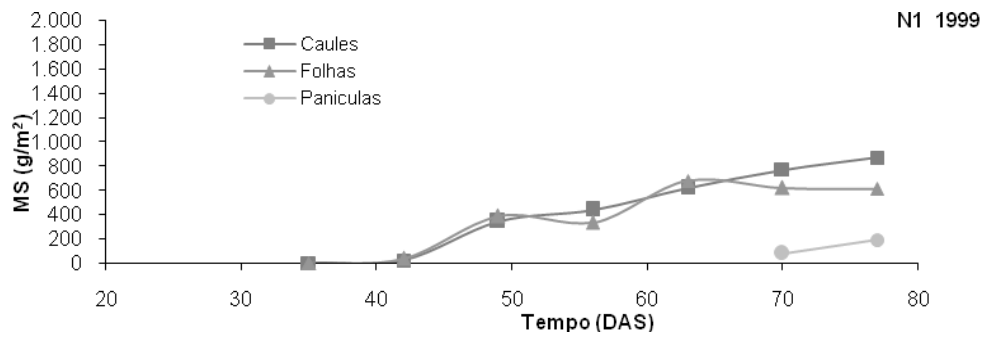
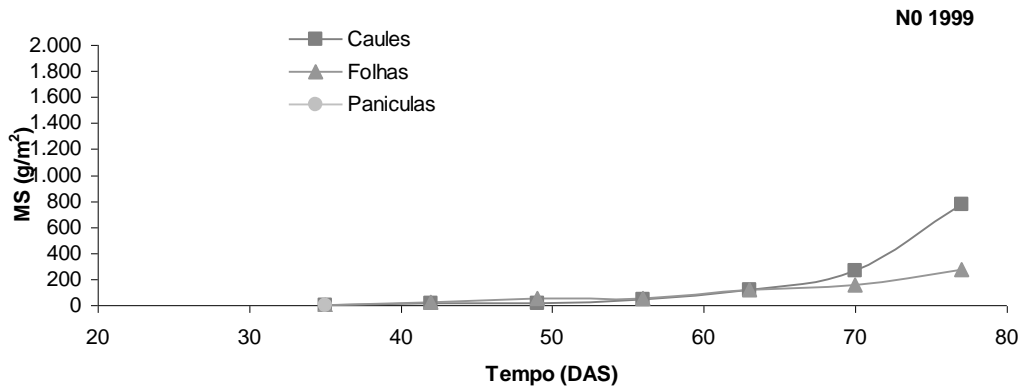


Figura 3.45 c) - Evolução temporal da partição da matéria seca (MS) pelos órgãos vegetativos do sorgo, para os tratamentos N0, N1, N2 e N3, em 1999

Portanto, em todos os tratamentos e anos verifica-se que as folhas acumulam mais matéria seca do que os caules na fase inicial de desenvolvimento. Posteriormente, o peso dos caules torna-se superior ao das folhas, provavelmente porque estas contribuem parcialmente para o crescimento da panícula. Estas conclusões estão de acordo com Ustimenko & Bakumovski (1982) e Isakov (1982), que fazem referência nas suas obras aos mecanismos de acumulação de matéria seca do sorgo e referem que a planta, até à fase do lançamento da panícula, acumula mais MS nas folhas e, depois do início dessa fase, passa a fazê-lo mais intensivamente nos caules e panícula.

3.6. Eficiência de utilização da radiação

De acordo com a equação (2), a eficiência de utilização da radiação (ϵ) para a produção de biomassa pode ser obtida da relação entre a acumulação de matéria seca (MS) e a radiação interceptada acumulada (S_i). Esta relação é apresentada nas Figuras 3.46, 3.47, 3.48 e 3.49, uma para cada um dos quatro tratamentos, considerando os anos como repetições. Em qualquer dos tratamentos a relação entre MS e S_i é aproximadamente linear, tal como descrito pela referida equação. Por isso, a cada tratamento ajustaram-se regressões lineares da forma $MS = \epsilon.S_i$. As regressões foram forçadas a passar na origem e o declive das mesmas é o ϵ correspondente.

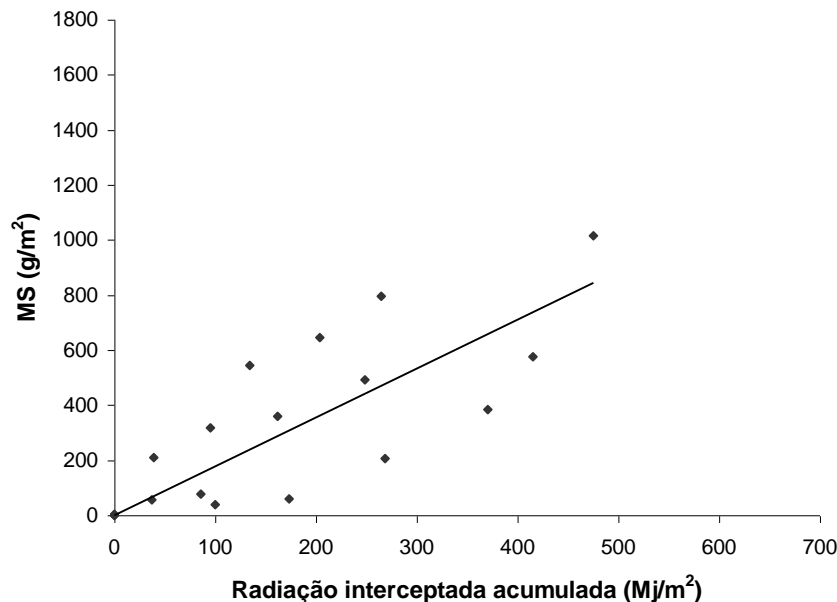


Figura 3.46 Variação da matéria seca acumulada (MS) em função da radiação interceptada acumulada nos três anos experimentais e no tratamento N0, e respectiva regressão linear.

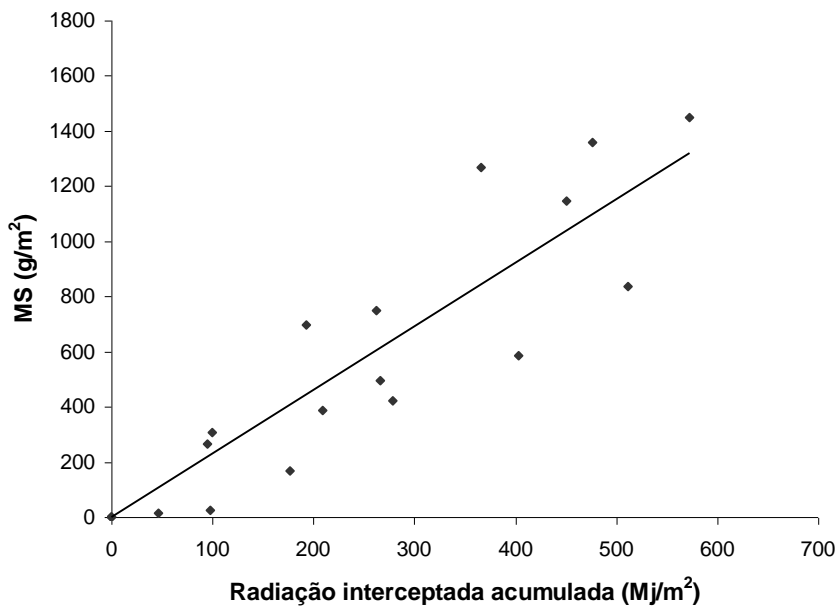


Figura 3.47 Variação da matéria seca acumulada (MS) em função da radiação interceptada acumulada nos três anos experimentais e no tratamento N1, e respectiva regressão linear.

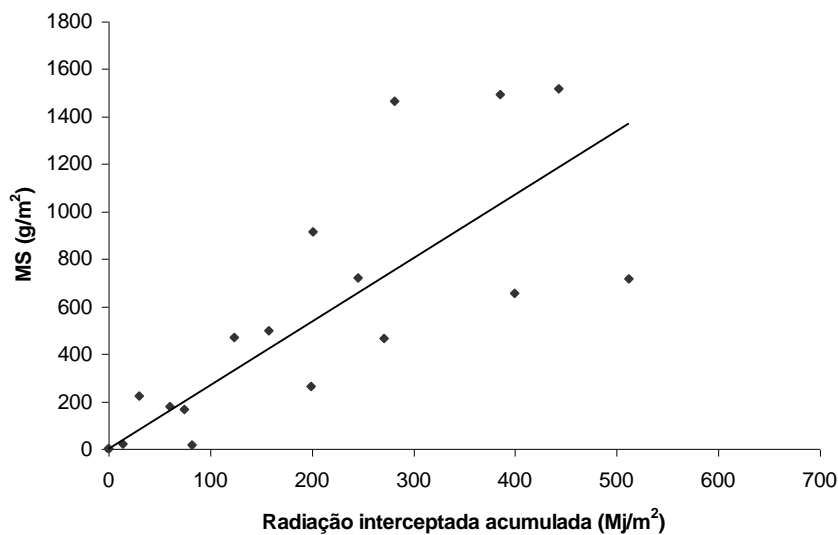


Figura 3.48 Variação da matéria seca acumulada (MS) em função da radiação interceptada acumulada nos três anos experimentais e no tratamento N2, e respectiva regressão linear.

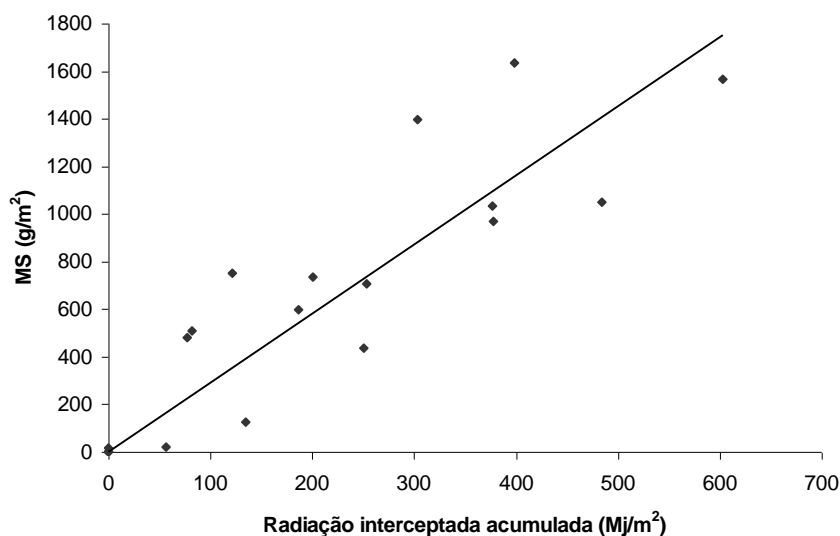


Figura 3.49 Variação da matéria seca acumulada (MS) em função da radiação interceptada acumulada nos três anos experimentais e no tratamento N3, e respectiva regressão linear.

No Quadro 3.9 são apresentados os valores de ϵ (g MJ^{-1}) obtidos e os coeficientes de determinação (R^2) das equações. As rectas ajustadas foram estatisticamente significativas, pelo que os valores de ϵ do Quadro 3.10 são representativos dos valores médios de ϵ , que para os três anos foram de $1,78 \text{ g MJ}^{-1}$ no tratamento N0, de $2,31 \text{ g MJ}^{-1}$ no tratamento N1, de $2,69 \text{ g MJ}^{-1}$ no tratamento N2 e de $2,90 \text{ g MJ}^{-1}$ no tratamento N3. Em termos de valores médios para os três anos, o tratamento N0 apresentou um ϵ 31,5% mais baixo que o ϵ médio dos tratamentos com azoto. É visível que existe uma tendência para que quanto mais altas as doses de azoto maior ser a eficiência de utilização da radiação. De acordo com Furlani *et al.* (1986), a taxa de fotossíntese e o ϵ estão fortemente relacionados com o teor em nutrientes, de tal maneira que quando o teor de nutrientes aumenta, ϵ também aumenta. No entanto, Monti & Venturi (2003), em ensaios no norte de Itália, de comparação de eficiência de uso de energia de sorgo, sorgo – mel e trigo, com doses baixas e elevadas de azoto, não verificaram diferenças significativas na energia necessária para a produção de 1kg de matéria seca entre as doses mais baixas e as mais elevadas de azoto.

Quadro 3.10 – Valores médios da eficiência de utilização da radiação (ϵ) e coeficientes de determinação (R^2) das regressões respectivas para cada tratamento no conjunto dos três anos e para os dois tratamentos N2 e N3 no conjunto dos três anos.

ANO	Tratamento	a (ϵ)	R2
3 ANOS	N0	1,78	0,63
	N1	2,31	0,82
	N2	2,69	0,62
	N3	2,9	0,78
3 ANOS	N2	2,8	0,7
	N3		

A análise estatística dos valores de ϵ de cada tratamento, por comparação de declives através da regressão múltipla, mostrou que o tratamento N0 foi significativamente diferente dos restantes, assim como o N1; o N2 e o N3 foram semelhantes entre si, e no Quadro 3.10 apresenta-se o valor de ϵ de 2,8 g MJ⁻¹ para o conjunto dos tratamentos N2 e N3 nos três anos. Portanto, a aplicação de azoto ao solo aumentou significativamente a eficiência de utilização da radiação solar pelo sorgo, mas só até 800 kg ha⁻¹. Mais do que isso não contribui para aumentar ϵ e representa um desperdício de azoto.

No presente trabalho os valores médios de ϵ dos três anos, calculados com base na radiação total estão dentro do intervalo de valores encontrados por outros autores que utilizaram a radiação solar total na cultura do sorgo.

Segundo Squire (1990) ϵ nos cereais C4 varia de 1,2 a 2,0 g MJ⁻¹, Gallagher & Biscoe (1978) referem um ϵ médio para o sorgo de 1,29 g MJ⁻¹ em termos de radiação fotossinteticamente activa (PAR), Hammer & Vanderlip (1989), para dois híbridos de sorgo, determinaram valores de ϵ que variaram de 1,47 g MJ⁻¹ a 4,89 g MJ⁻¹ para a PAR, dependendo das temperaturas durante o período cultural. Rosenthal *et al.* (1993), apresentam valores de ϵ para o sorgo de 3,46 g MJ⁻¹ e 3,2 g MJ⁻¹ para diferentes densidades de sementeira, calculados para a radiação total. Choudhury (2001), testando um modelo de radiação e utilização de carbono em milho sorgo e arroz, utilizou um ϵ médio de 0,62 g MJ⁻¹ (radiação PAR) para o sorgo.

4. O azoto no sorgo

4.1. Evolução dos teores de azoto total ao longo do ciclo vegetativo do sorgo

As Figuras 3.50, 3.51 e 3.52 apresentam a evolução dos teores de azoto total (em % da matéria seca total) nas plantas ao longo do ciclo vegetativo do sorgo, para os anos de 1997, 1998 e 1999 respectivamente. As diferentes doses de adubação azotada tiveram influência na acumulação de azoto total por parte das plantas de sorgo. Quanto mais elevadas as doses de azoto aplicado maiores em geral são os seus teores na planta, embora as diferenças entre os tratamentos com o dobro da dose (N2) e o com o triplo da dose (N3) sejam praticamente inexistentes.

Nos três anos, o tratamento N0, em todas as fases do crescimento da cultura apresentou valores de azoto na planta muito menores do que os dos outros tratamentos. Na média dos três anos, o teor de azoto nas plantas deste tratamento foi apenas 24,8% do no tratamento N1, 16,9% do no tratamento N2 e 14,6% do no N3. A análise estatística efectuada mostra que nos três anos o tratamento N0 foi significativamente diferente a $P \leq 0,05$ dos tratamentos N1, N2 e N3. No ano de 1998, os tratamentos N1 e N2 também apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si.

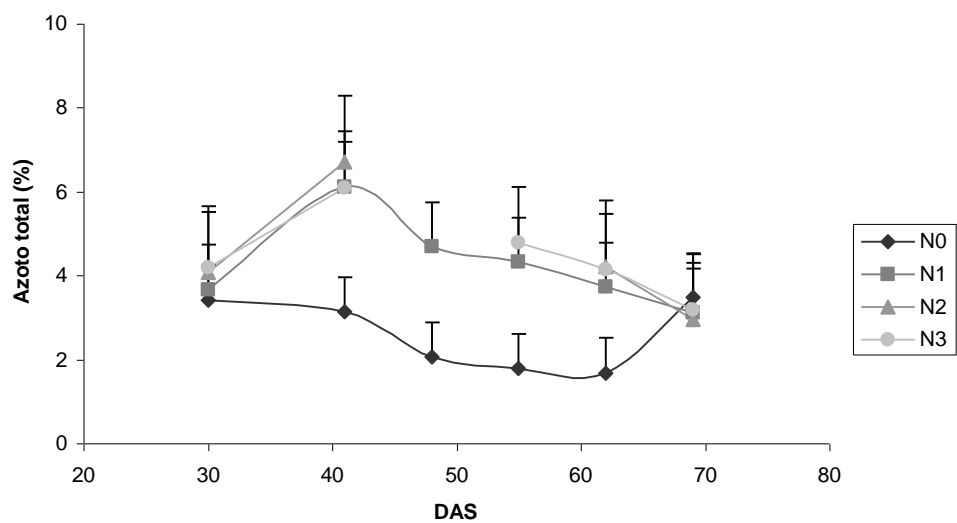


Figura 3.50 Evolução temporal do teor em azoto total (%da MS) no sorgo em 1997

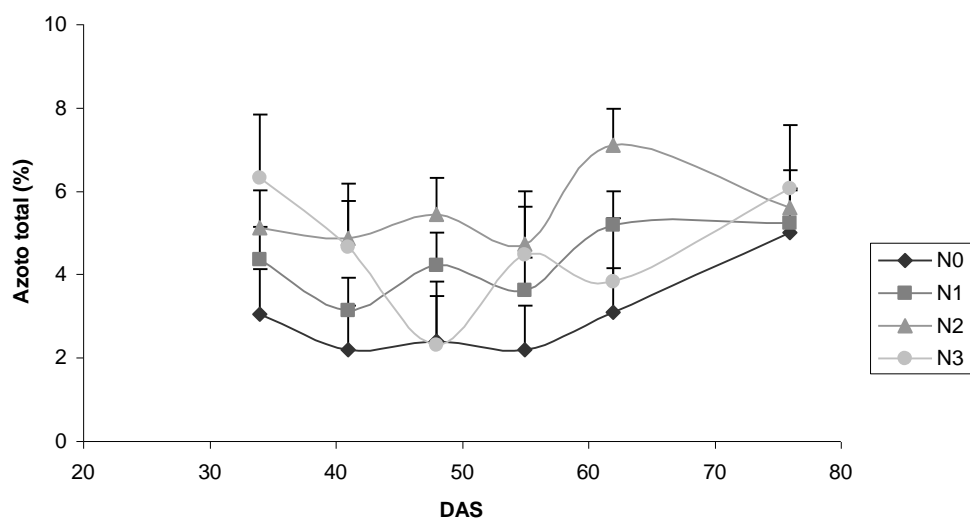


Figura 3.51 Evolução temporal do teor em azoto total (%da MS) no sorgo em 1998

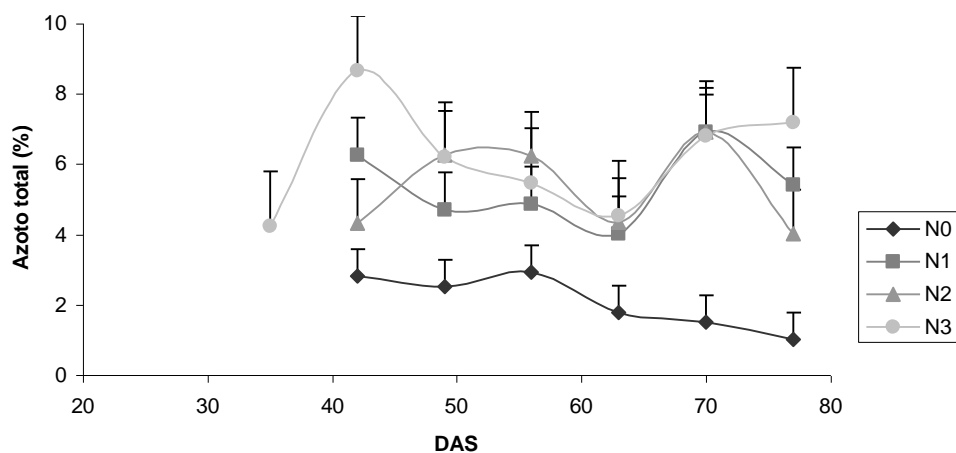
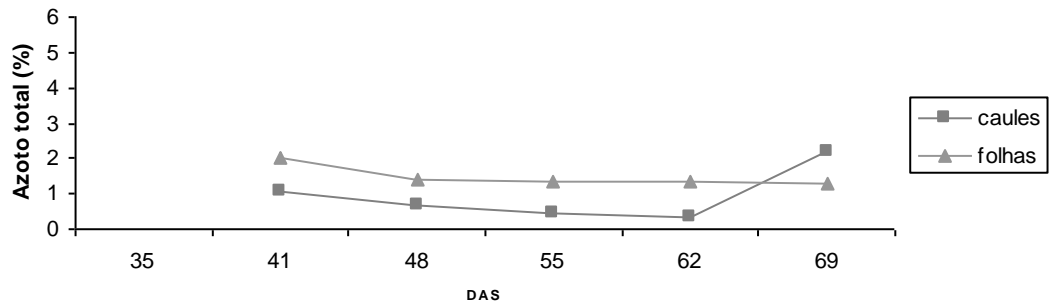


Figura 3.52 Evolução temporal do teor em azoto total (% da MS) no sorgo em 1999

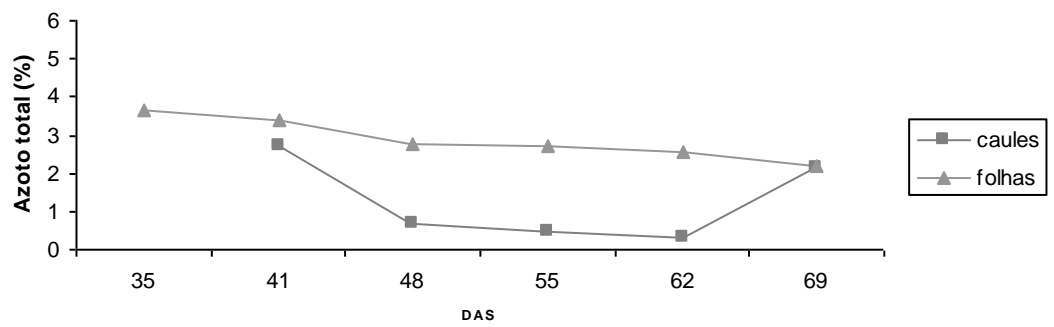
As Figuras 3.53 a), b) e c) mostram a forma como o azoto assimilado pelo sorgo se repartiu pelas folhas, caules e panículas ao longo dos ciclos vegetativos em 1997, 1998 e 1999 nos quatro níveis de adubação azotada. Todos os tratamentos, nos três anos, apresentaram praticamente durante todo o ciclo vegetativo um teor de azoto mais elevado nas folhas que nos caules. As diferenças médias percentuais dos teores de azoto, nos três anos, entre folhas e caules foram de 36,9% para o tratamento N0, 23,1% para o tratamento N1, 24,5% para o tratamento N2 e 17,3% para o tratamento N3.

A aplicação ou não de adubação azotada teve influência na partição do azoto pelas folhas e caules. Quanto maior a quantidade de azoto disponível, menores as diferenças entre as quantidades de azoto nas folhas e nos caules. De facto, na análise estatística da repartição dos teores de azoto pelos órgãos vegetativos das plantas, o tratamento N0 foi significativamente diferente a $P \leq 0,05$ de todos os outros tratamentos. Entre os tratamentos N1, N2 e N3 não foram encontradas diferenças significativas.

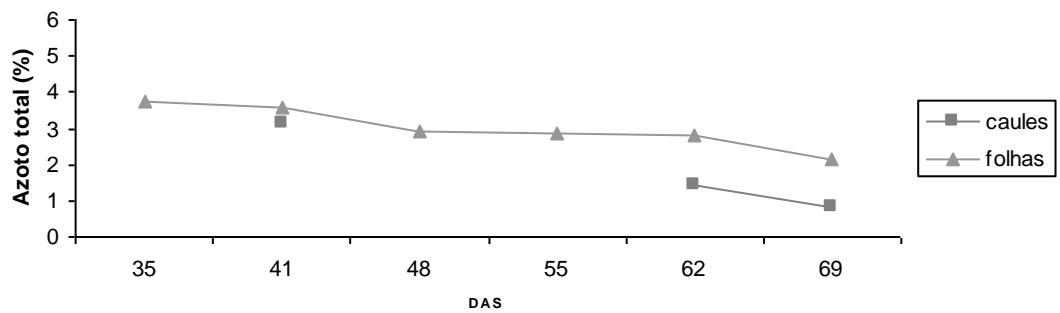
1997 N0



1997 N1



1997 N2



1997 N3

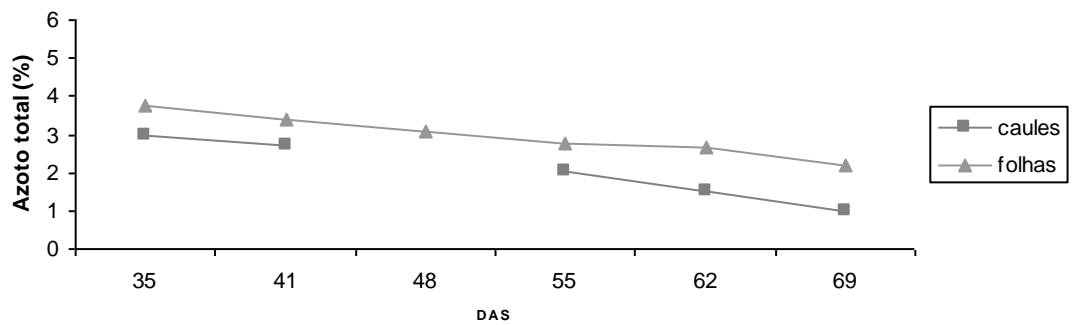
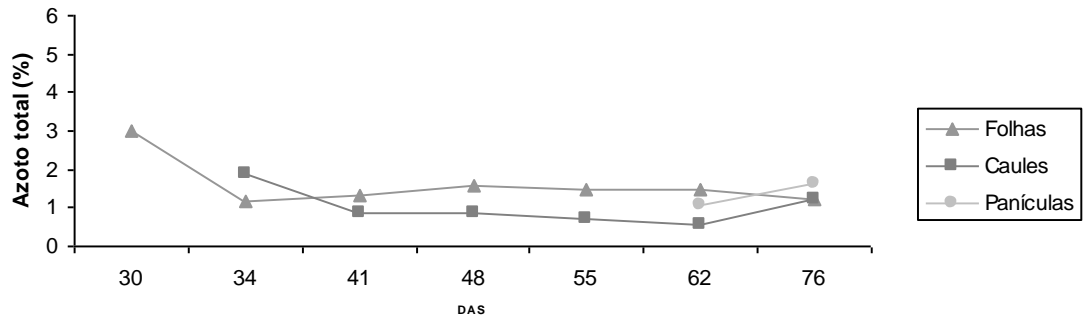
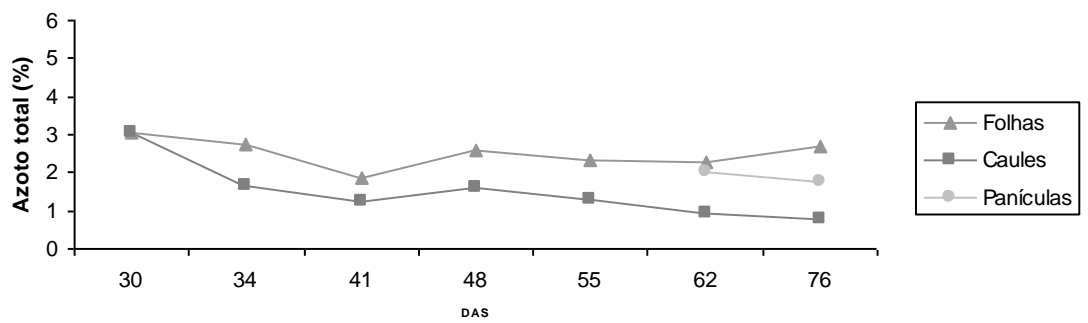


Figura 3.53 a) – Evolução dos teores em azoto (% da MS) nos caules e folhas nos quatro tratamentos, no ano de 1997

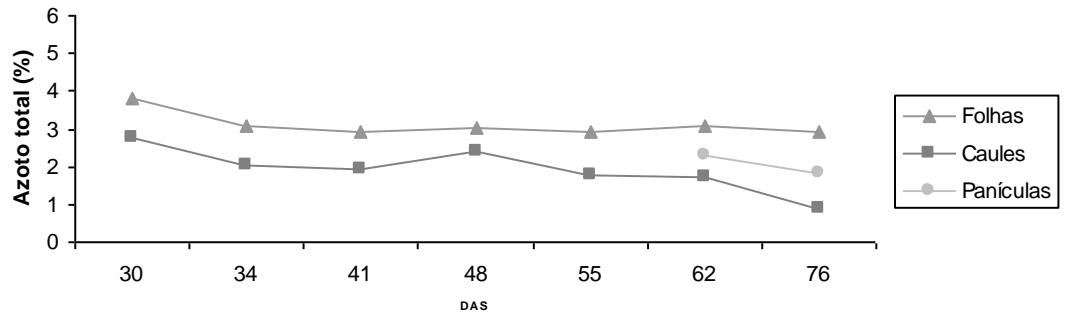
1998 N0



1998 N1



1998 N2



1998 N3

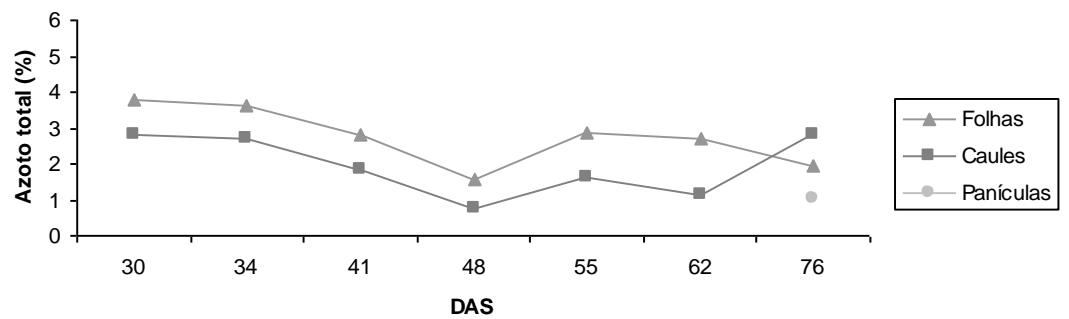


Figura 3.53 b) – Evolução dos teores em azoto (% da MS) nos caules, folhas e panículas nos quatro tratamentos, no ano de 1998

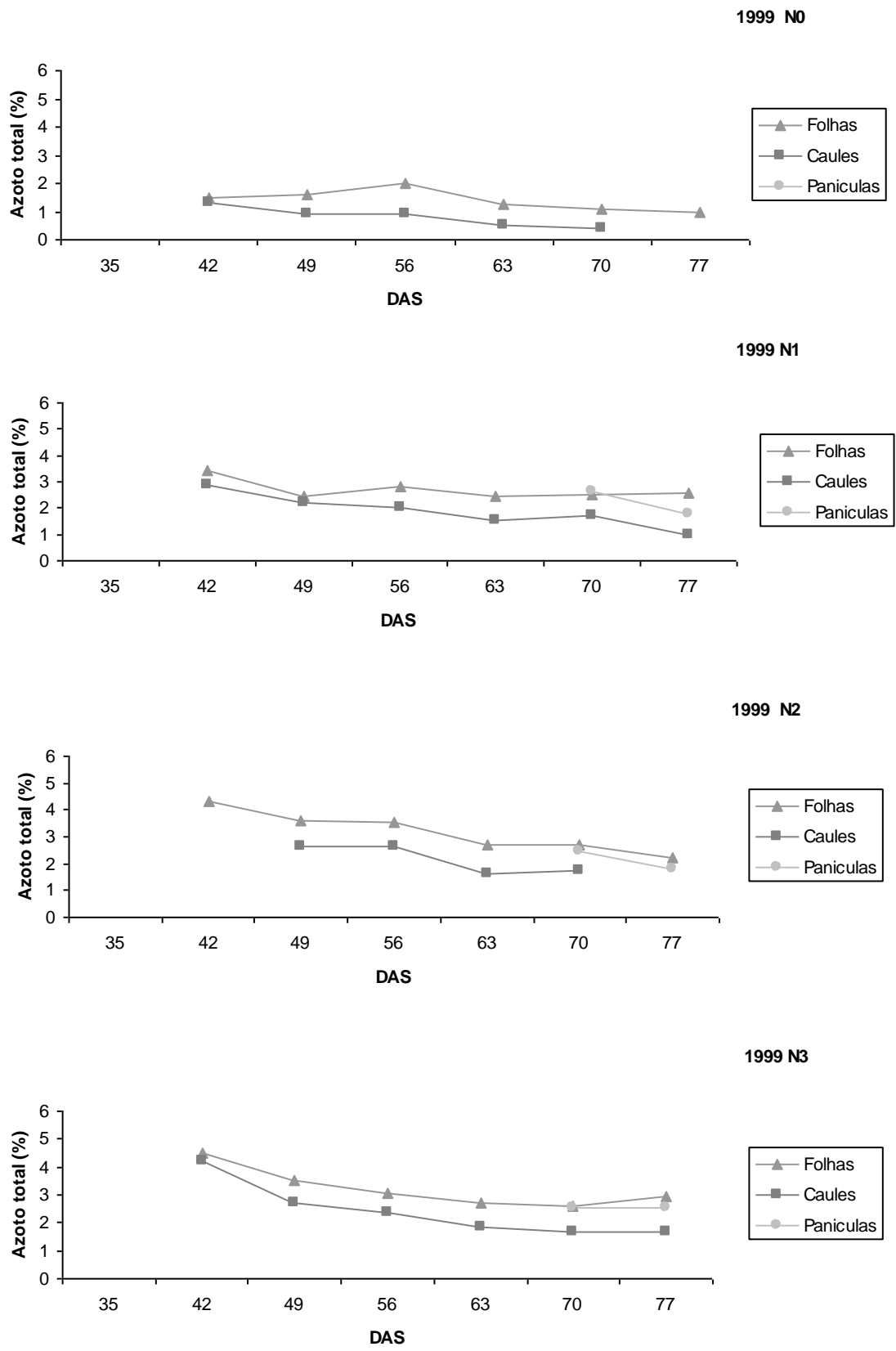


Figura 3.53 c) – Evolução dos teores em azoto (% da MS) nos caules, folhas e panículas nos quatro tratamentos, no ano de 1999

Muchow (1998), Neto *et al.* (2004), Zougmore *et al.* (2004), em estudos sobre diferentes doses de adubação do sorgo, também referem teores de azoto nas folhas maiores do que nos caules, mesmo em situações de grande stress hidrico e na dependência de diferentes normas de adubação.

4.2. Eficiência aparente de recuperação e eficiência de utilização do azoto

A eficiência aparente de recuperação de azoto (EAR, %) é uma medida da capacidade das plantas na absorção de azoto adicionado ao solo. Para cálculo dessa eficiência foi utilizada a equação (6).

Assim foram calculados para os tratamentos N1 (N 400 kg ha⁻¹), N2 (N 800 kg ha⁻¹) e N3 (N 1200 kg ha⁻¹) as EAR, ao longo do ciclo vegetativo e nos anos de 1997, 1998 e 1999, tendo como testemunha o tratamento N0. Em regra, nos três anos foi o tratamento N1 o que mais eficientemente recuperou o azoto desde o inicio ao fim do ciclo (Figuras 3.54, 3.55 e 3.56). Embora apresentando diferenças pouco significativas, também os tratamentos N2 e N3 apresentaram nos três anos diferenças sistemáticas entre si, com valores de EAR em N2 geralmente superiores aos de N3. O ano de 1998 mostrou-se diferente de 1997 e 1999, com valores de eficiência de recuperação em todos os tratamentos mais baixos que os dos outros anos. Os valores mais elevados de eficiência de recuperação foram observados no tratamento N1, 67% aos 55 DAS em 1997, 23% aos 76 DAS em 1988 e 71% aos 70 DAS em 1999.

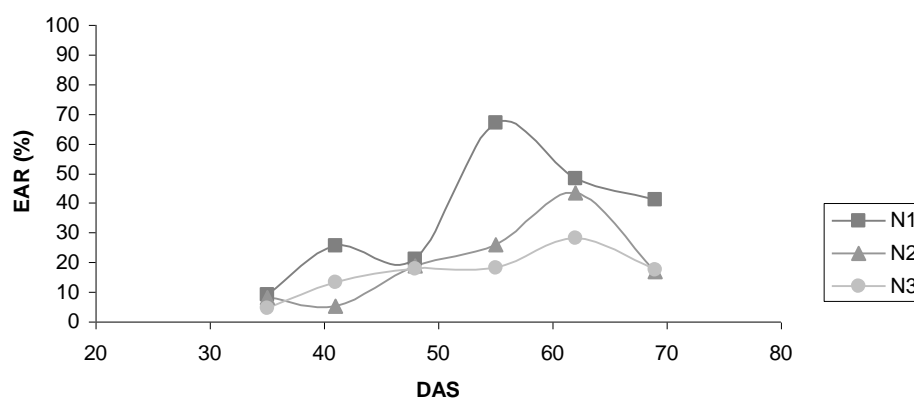


Figura 3.54 Eficiência aparente de recuperação do azoto (EAR) em 1997, nos três tratamentos com aplicação de azoto

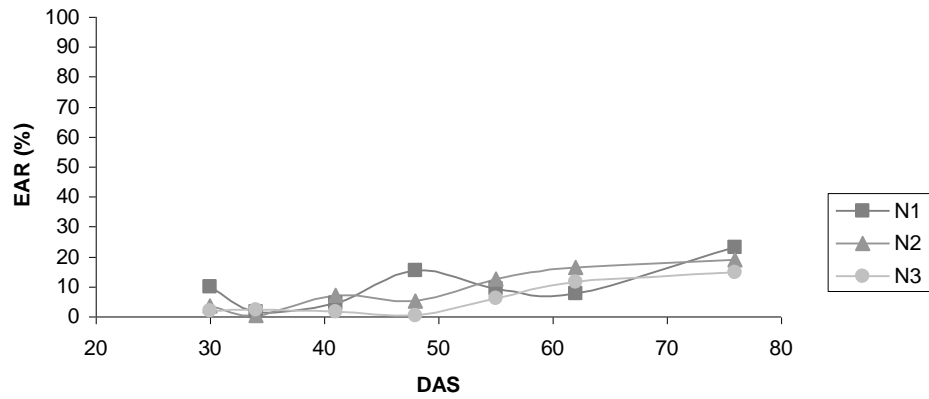


Figura 3.55 Eficiência aparente de recuperação do azoto (EAR) em 1998, nos três tratamentos com aplicação de azoto

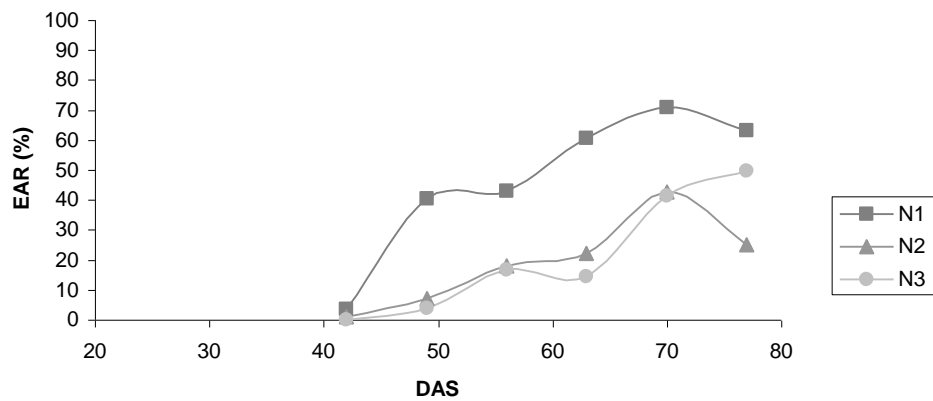


Figura 3.56 Eficiência aparente de recuperação do azoto (EAR) em 1999, nos três tratamentos com aplicação de azoto

No quadro 3.11 são apresentados os valores da eficiência aparente de recuperação de azoto para cada ano e tratamento, em dois dias, um à colheita e outro uma semana antes da colheita. Tal como já tinha sido observado nas figuras, verifica-se que foi o tratamento N1 que apresentou globalmente maiores valores de eficiência, seguido do tratamento N2 e N3.

Quadro 3.11 Eficiência aparente de recuperação de azoto (EAR, %) em dois dias no final do ciclo vegetativo do sorgo, nos tratamentos N1, N2 e N3, nos anos de 1997, 1998 e 1999

Eficiência de Uso de N ou N aparentemente recuperado (%)			
1997			
DAS	N1	N2	N3
62	48,3	43,3	28,2
69	41,1	16,9	17,5
1998			
62	7,8	16,4	11,7
76	23,1	19,0	14,6
1999			
70	70,7	42,6	41,3
77	63,2	24,9	49,6

A análise estatística (comparação de pares de médias) não encontrou diferenças significativas entre os tratamentos N2 e N3, mas diferenças muito significativas entre o tratamento N1 e os tratamentos N2 e N3. Assim, as diferentes doses de azoto tiveram influência na eficiência de recuperação do azoto pelo sorgo. Quanto maiores as disponibilidades de azoto no solo, menores foram as suas eficiências de recuperação, pelo que as doses aplicadas em N2 e N3 representam, de certa forma, um desperdício de azoto.

Traore & Maranville (1999), em experiências com sete variedades de sorgo grão e diferentes doses de azoto, no Nebraska (EUA), verificaram que a eficiência de recuperação de azoto é afectada por factores ambientais e depende do estágio de desenvolvimento da cultura e concluíram que azoto disponível acima do necessário para o crescimento da planta faz diminuir a sua eficiência aparente de recuperação. Beyaert & Robert (2005), em resultado de ensaios com sorgo – erva do Sudão na província de Ontário, Canadá, recomendam aos agricultores a utilização de doses de azoto entre os 50 e os 100 kg/ha, porque doses mais elevadas levam a um decréscimo linear da eficiência aparente de recuperação do azoto.

A eficiência de utilização de azoto (EUA, kg kg⁻¹) é a quantidade de matéria seca obtida por unidade de azoto aplicada. Para cálculo dessa eficiência ao longo dos ciclos vegetativos nos anos de 1997, 1998 e 1999, foi utilizada a equação (7), tendo como testemunha o tratamento N0.

Tal como se verificou com a EAR foi o tratamento N1 que em regra mais eficientemente utilizou o azoto na produção de matéria seca, embora apresentando nos anos de 1997 e 1998 um decréscimo na EUA entre os cerca de 55 e 65 DAS (Figuras 3.57, 3.58 e 3.59). O ano de 1999 mostrou-se diferente dos anos de 1997 e 1998 com valores de EUA mais elevados durante o ciclo vegetativo do sorgo e diferenças mais vincadas entre os tratamentos. Os valores mais elevados de eficiência de utilização de azoto foram observados no tratamento N1, 8,4 kg kg⁻¹ aos 69 DAS em 1997, 13,8 kg kg⁻¹ aos 76 DAS em 1998 e 26,6 kg kg⁻¹ aos 63 DAS em 1999.

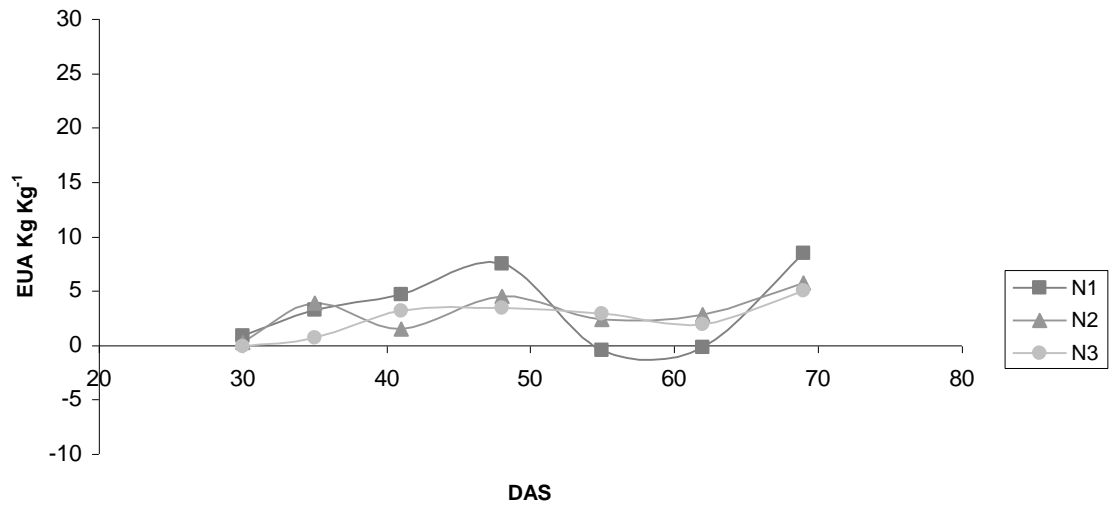


Figura 3.57 Eficiência de utilização do azoto (EUA) em 1997, nos três tratamentos com aplicação de azoto

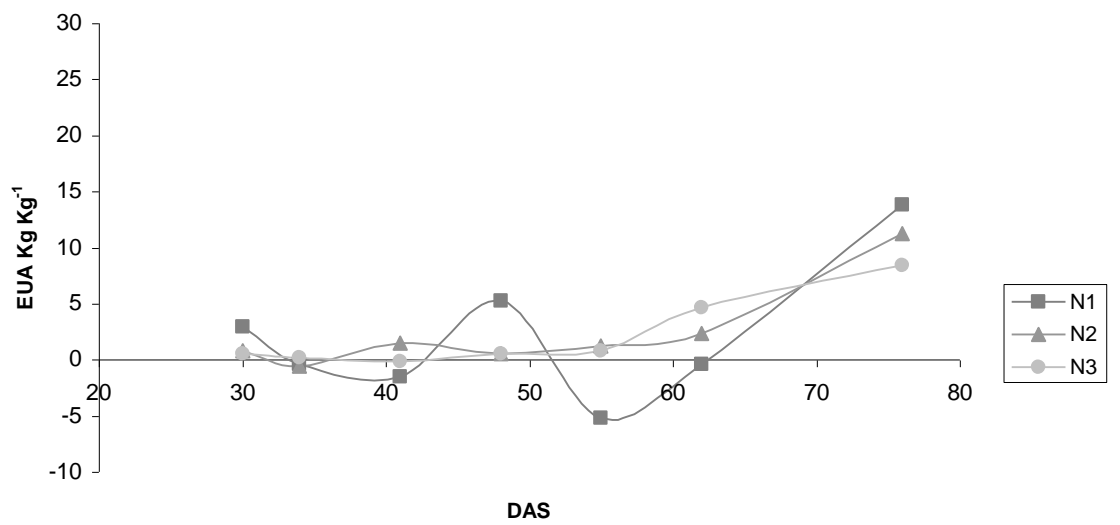


Figura 3.58 Eficiência de utilização do azoto (EUA) em 1998, nos três tratamentos com aplicação de azoto

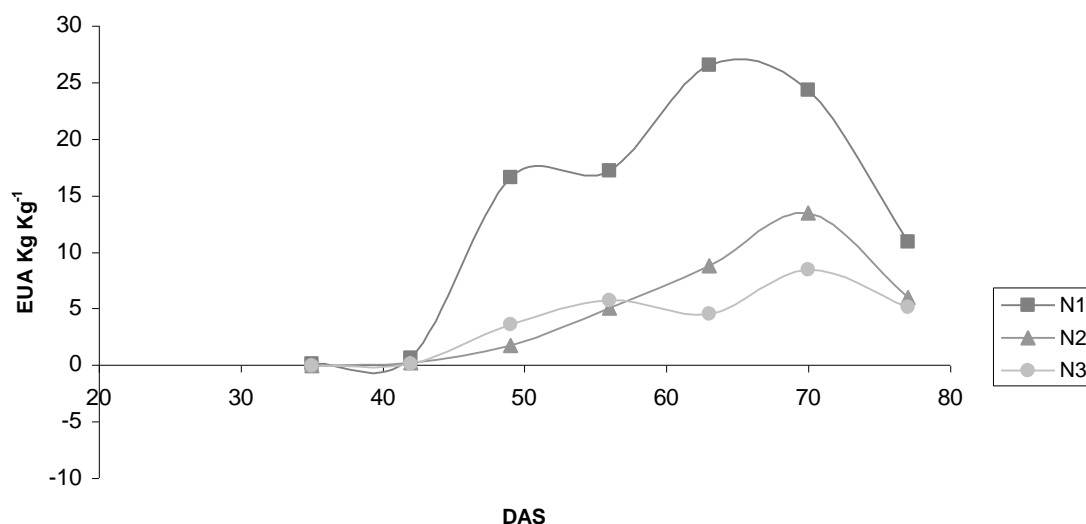


Figura 3.59 Eficiência de utilização do azoto (EUA) em 1999, nos três tratamentos com aplicação de azoto

No Quadro 3.12 são apresentados os valores da eficiência de utilização de azoto para cada ano e tratamento, em dois dias, um à colheita e outro antes da colheita. Como já se tinha observado nas Figuras, N1 foi o tratamento que apresentou globalmente maiores valores de eficiência de utilização de azoto, com diferenças muito significativas dos tratamentos N2 e N3. Não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos N2 e N3, embora o tratamento N2 apresente valores de EUA sistematicamente mais elevados que N3.

Quadro 3.12 Eficiência de utilização de azoto (EUA, kg kg⁻¹) em dois dias no final do ciclo vegetativo do sorgo, nos tratamentos N1, N2 e N3, nos anos de 1997, 1998 e 1999

EUA (kg kg ⁻¹)			
1997			
DAS	N1	N2	N3
62	-0,2	2,8	1,9
69	8,4	5,7	5,0
1998			
62	-0,4	2,3	4,7
76	13,8	11,2	8,4
1999			
70	24,3	13,5	8,4
77	10,9	6,0	5,1

Assim, as diferentes doses de azoto tiveram influência na eficiência de utilização do azoto pelo sorgo. Quanto maiores as disponibilidades de azoto no solo, acima dos 400 kg ha⁻¹, menores foram as eficiências de utilização, pelo que as doses aplicadas em N2 e N3 representam, de certa forma, um desperdício de azoto.

Akdeniz *et al.* (2006), na Turquia, em ensaios de fertilização de sorgo grão com azoto mineral e azoto em biosólidos, encontraram uma dose óptima de adubação em termos de EUA; acima de 80 kg/ha de azoto a eficiência de utilização do mesmo decrescia proporcionalmente ao aumento das doses aplicadas. Por outro lado Rodrigues *et al.* (2006), experimentaram diferentes doses de adubação azotada em milho e triticales e verificaram que crescentes doses de azoto até aos 380 kg ha⁻¹ conduziram a um aumento linear da sua eficiência de utilização.

CAPÍTULO IV

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principais objectivos a avaliação do efeito de três diferentes doses de adubação azotada nas características agrometeorológicas na cultura do sorgo (var. Seet Sioux IV), nas condições edafo-climáticas do Nordeste Transmontano.

Em resultado de experiências efectuadas em placa de gradiente térmico foram determinadas as temperaturas cardinais de germinação de sementes para esta cultivar. Para 80% de sementes germinadas a t_{base} foi de 9,8 °C, t_{opt} de 21,1°C e t_{max} de 42,3 °C.

As diferentes doses de azoto não provocaram diferenças significativas nas durações térmicas dos diferentes estádios fenológicos da cultura, pelo que, a temperatura marcou o ritmo de desenvolvimento da cultura, independentemente do teor de azoto no solo.

A cultura reagiu às diferentes doses de azoto essencialmente através de uma tendência para um aumento de produção de número de folhas, da área foliar e da taxa de crescimento foliar com o aumento de azoto disponível no solo. A aplicação de azoto afectou a forma como a temperatura controlou a taxa de produção de folhas, tendo-se obtido um filocrão médio no tratamento sem azoto de 84 °Cd folha⁻¹ e nos tratamentos com azoto de 54 °Cd folha⁻¹.

Apesar da aplicação de azoto ao solo ter aumentado o índice de área foliar relativamente à situação sem aplicação, doses iguais ou superiores a 400 kg ha⁻¹ tiveram efeitos semelhantes no índice foliar. Embora a intercepção da radiação seja controlada pelo índice de área foliar, verificou-se que uma relação única explica a forma como a cultura intercepta radiação, independentemente do teor de azoto no solo. Isto é, a aplicação de azoto aumenta o índice de área foliar e, em consequência, aumenta a fracção de radiação interceptada, mas não modifica a estrutura geométrica do coberto nem as suas propriedades ópticas e, por isso, o coeficiente de extinção de radiação solar pelo coberto foi único para todos os tratamentos. Este valor único de 0,27 invariante relativamente aos teores de azoto no solo, mas também relativamente às diferentes condições climáticas em cada um dos anos experimentais.

A aplicação de azoto ao solo aumentou a produção de matéria seca relativamente ao tratamento sem azoto, mas doses mais superiores a 400 kg ha⁻¹ não conduzem a aumentos significativos da produção. Assim, a produtividade média de matéria seca nos três anos do tratamento sem azoto foi da ordem das 9,7 ton ha⁻¹, enquanto que a dos tratamentos com adição de azoto (400 kg ha⁻¹, 800 kg ha⁻¹ e 1200 kg ha⁻¹) foi cerca de 15,6 ton ha⁻¹.

Em geral, quanto mais altas as doses de azoto maiores as eficiências de utilização da radiação (ϵ). Os valores médios de eficiência de utilização de radiação foram de 1,78 g MJ⁻¹ no tratamento sem azoto de 2,31 g MJ⁻¹ com 400 kg de azoto por ha, e de 2,8 g MJ⁻¹ nos tratamentos com doses de 800 e 1200 kg ha⁻¹ de azoto. Assim, a aplicação de azoto ao solo aumenta

significativamente a eficiência de utilização da radiação solar pelo sorgo, mas só até 800 kg ha⁻¹. Doses superiores representam, nesta perspectiva, um desperdício de azoto.

As diferentes doses de adubação azotada tiveram influência na acumulação de azoto total por parte das plantas de sorgo. Quanto mais elevadas as doses de azoto aplicado ao solo maiores são os seus teores na planta e menores as diferenças entre as quantidades de azoto nas folhas e nos caules. Contudo, o tratamento com a dose recomendada de azoto (400 kg ha⁻¹) foi o que mais eficientemente extraiu e utilizou o azoto. O aumento das disponibilidades de azoto no solo acima dos 400 kg ha⁻¹ reduziu as eficiências de recuperação e de utilização, representando por isso um desperdício de azoto.

Verifica-se assim, que no sorgo forrageiro cultivado nas condições edafo-climáticas do nordeste transmontano, doses de adubação azotada superiores a 400 kg ha⁻¹ não aportam benefícios em termos produtivos da cultura. Será no entanto necessário a continuação de estudos sobre esta cultura para um melhoramento da sua eficiência em termos agronómicos, tais como o estudo mais detalhado das doses de adubação azotada até aos 400 kg ha⁻¹ e das densidades de sementeira, para uma maximização da eficiência de utilização da radiação e eficiência de utilização dos nutrientes.

Para além disso, tendo em conta a variação actual do clima e em particular a tendência de aquecimento global, perspectiva-se um alargamento do período térmico anual de crescimento vegetativo relativamente à situação actual, permitindo assim a sementeira mais temporã do sorgo e aumentando o seu ciclo cultural. Assim, a cultura do sorgo poderá expandir-se ainda mais rapidamente, com mais cortes por época e aumentos de produtividade mais atractivos para o produtor.

Referências bibliográficas

- Abreu, F.G., Jesus, M.I.F., Abreu, J.P.M. e Mendes, A.G. (1994). Duração térmica e temperatura-base de germinação de várias cultivares de cereais e girassol. *Anais do Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa*. **44**
- Ahrens, C.D. (2003). *Meteorology today. An introduction to weather, climate and the environment* (7ª ed.). Thompson.
- Akdeniz, H., Yilmaz I., Bozkurt M. A., Keskin B. (2006). The Effects of Sewage Sludge and Nitrogen Applications on Grain Sorghum Grown (*Sorghum vulgare* L.) in Van – Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies* Vol. **15**, Nº 1, 19 - 26.
- Alagarswamy, G., Reddy D.M. & Swaminathan, G. (1998). Durations of the photoperiod-sensitive and insensitive phases of time to panicle initiation in sorghum. *Field crops research* **55**:1-10.
- Amaducci, S., Amaducci, M.T., Benati, R., & Ventura G. (2000). Crop yield and quality parameters of four annual fibre crops (hemp, kenaf, maize and sorghum) in the North of Italy. *Industrial Crops and Products* **11**:179-186.
- Anda, A. & Pinter, L. (1994). Sorghum Germination and Development as Influenced by Soil Temperature and Water Content. *Agron. J.* **86**: 621-624.
- Andrade, F. H., Uhart, S.A., Frugone, M. (1993a). Intercepted Radiation and Kernel Number in Maize: Shade Versus Plant Density Effects. *Crop Science*, **v.33**, p.482-485.
- Andrade, F.H. (1995). Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*, **41**, 1-12.
- Andrade, F.H., Uhart, S.A., Cirilo, A.G. (1993b). Temperature effects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.32. p.17-25.
- Andrade, J.A. (2001). *Temperatura do solo (e análise de Fourier), humidade do solo e desenvolvimento inicial de várias culturas em solos Pmg e Cb*. Dissertação para provas de doutoramento. Departamento de Geociências. Universidade de Évora. Évora.
- Angus, J.F. Moncur, M.W. 1985. Models of growth and development of wheat in relation to plant nitrogen. *Aust. J. Agric. Res.* **36**, 537 – 554.
- ANPROMIS, (2000). *Associação Nacional de Produtores de Milho e Sorgo*, Coimbra. Contacto pessoal para a cedência de dados.

- Baligar, V. C., Fageria, N. K. and He, Z. L. (2001). Nutrient Use Efficiency in Plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **32,7**, 921-950.
- Baltasar, L.B., Crespo D.G. (1985), Plano de Ordenamento Cultural da Quinta de Santa Apolónia. *ESAB (Ciclostilado)*. Pp 25.
- Belanger, G., Gastal, F., Lemaire, G. (1992). Growth analysis of a tall fescue sword fertilized with different rates nitrogen. *Crop Science* **v.32** p.1371-1376.
- Belanger, G., Richards, J.E. (1997). Growth analysis of timothy grown with varying N nutrition. *Canadian Journal of Plant Sciences*, **v.77**, p. 373-380.
- Benincasa, M. M. P. (1986). *Análise de Crescimento das Plantas. Noções Básicas*, Jaboticabal, FUNEP. 42 p.
- Berenguer, M.J. & Faci J.M. (2001). Sorghum (*Sorghum Bicolor* L. Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. *European Journal of Agronomy* **15**: 43-55.
- Beyaert, R. P. and Robert C. R. (2005). Influence of Nitrogen Fertilization on Multi-Cut Forage Sorghum – Sudangrass Yield and Nitrogen Use. *Agron. J.* **97**:1493 – 1501.
- Bhagsari, A.S. and Brown R.H. (1986). Leaf Photosynthesis and its Correlation With Leaf Area. *Crop Science J.* **26**. 127-131.
- Birch C.J., Vos J., Kiniry J.R. 1998. Towards a robust method of modelling leaf appearance in plants. www.regional.org.au/au/asa/1998/4/288birch.htm. Acesso em 16-05-2003.
- Bonhomme, R., Ruget, F., Derieux, M & Vincourt, P. (1982). Relations entre production de matière sèche aérienne interceptée chez différents génotypes de maïs. *Compte Rendu de l'Academie des Sciences, Paris*, **294**, 393-8.
- Braar, S.G., Steiner J.L., Unger P.W. and Prihar S.S. (1992), Modeling Sorghum Seedling Establishment from Soil Wetness and Temperature of Drying Seed Zones. *Agron. J.* **84**: 905-910.
- Carberry P.S. and Campbell L.C. (1989). Temperature parameters useful for modeling the germination and emergence of pearl millet. *Crop Science J.* **29**. 220-223.
- Chapman, S.C. Hammer, G.L. & Palta, J.A. (1993). Predicting leaf area development of sunflower. *Field Crops Research*, **34**, 101-112.
- Choudhury, B. J. (2001). Modeling radiation- and carbon-use efficiencies of maize, sorghum, and rice. *Agricultural and Forest Meteorology* **106**, 317-330
- Colin, B., Ong C. (2000). Utilization of light and water in tropical agriculture. *Agr. and*

Forest Meteorology. **104**, 25-27.

Connor, D.J. & Sadras, V.O. (1992). Physiology of yield expression in sunflower. *Field Crop Research*, **30**, 333-389.

CONNOR, D.J., HALL, A.J., SADRAS, V.O. Effect of nitrogen content on the photosynthetic characteristics of sunflower leaves. *Aust. J. Plant Physiol.*, **v.20**, p.251-263, 1993.

Cooke, G. W. (1987). Maximizing fertilizer efficiency by overcoming constraints to crop growth. *Journal of Plant Nutrition* **v.10**, p. 1357 – 1369.

Corlett, J.E., Black, C.R., Ong, C.K. & Monteith, J.L. (1992)b. Above and below-ground interactions in a Leucaena/Millet alley cropping system. II. Light interception and dry matter production. *Agricultural and Forest Meteorology*, **60**, 73-91.

Corlett, J.E., Ong, C.K., Black, C.R. & Monteith, J.L. (1992)a. Above and below-ground interactions in a Leucaena/Millet alley cropping system. I. Experimental design, instrumentation and diurnal trends. *Agricultural and Forest Meteorology*, **60**, 53-72.

Costa, L.S. (1986). *Produtividade do milho para ensilagem em sementeira estreme e em consociação, sem irrigação, no chernozem alcalino do Subcáucaso Ocidental*. Diss. Dout. 159p.

Craufurd, P.Q., Aiming Q.I. (2001). Photothermal adaptation of sorghum (*Sorghum bicolor*) in Nigeria. *Agric. and Forest Meteorology* **108**, 199-211.

Daughtry, C.S.T., Gallo K.P., & Bauer M.E. (1983). Spectral Estimates of Solar Radiation Intercepted by Corn Canopies. *Agron. J.* **75**, 527-531.

Direcção Regional de Agricultura de Trás-os-Montes. (1995). *O Sorgo forrageiro Resultados de Dois Anos de Ensaio. Direcção de Serviços de Valorização do Meio Rural, Divisão de Experimentação*. Pp 9.

Duarte, M.P., Fernando A. I., Guimarães A., Amapro Alves L. & Oliveira J.F.S.I. (2000). Study of sweet and fibre sorghum crops in Portugal: Effect of climatic conditions and sowing date on the final productivity and on the quality of the biomass. *Its World conference on biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain*, pages 361-364.

EMBRAPA. Sorgo BRS 305. Sorgo Granífero para o Rio Grande do Sul <<http://www.cnpms.embrapa.br/brs305.html>>. Acesso em 11 Jan. 2004.

Fageria, N.K. (1998). Optimização da eficiência nutricional na produção das culturas. R. Brás. *Eng. Agric. Ambiental, Campina Grande*, **v.2**, p 6-16.

- Ferrão, A e Abreu, F.G. (1996). Placa de gradiente térmico para estudos de germinação de sementes a temperaturas constantes. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, **45**, 441-454
- Ferrão, A, Andrade J.A. & Abreu F.G. (1996). Sucesso de germinação de tremocilha, girassol e sorgo a temperaturas constantes. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, **45**, 455-471
- Ferreira, A. M. D. R. P. (2007). *Microclima e desenvolvimento do girassol em condições semi-áridas mediterrâneas*. Dissertação para provas de doutoramento. Lisboa.
- Figueiredo, T. A. & Gonçalves D.A. (1993). O regime térmico de um luvisolo na Quinta de Santa Apolónia. *Série Estudos*. **58** pp.
- Flénet, F., Kiniry J.R., Board J.E., Westgate M.E. & Reicosky D.C. (1996). Row Spacing Effects on Light Extinction Coefficients of Corn, Sorghum, Soybean, and Sunflower. *Agron. J.* **88**,185-190.
- Flesch, T.K. & Dale R.F. (1988). Nitrogen Argument for Corn Leaf Area Models. *Agron. J.* **80**, 784-789.
- Gallagher, J.N. & Biscoe, P.V. (1978). Radiation absorption, growth and yield of cereals. *Journal of Agricultural Science*. **91**, 47-60.
- Gallo, K. P., T. Craig S. et al.. (1993). Errors in Measuring Absorbed Radiation and Computing Crop Radiation Use Efficiency. *Agron. J.* **85**, 1222-1228.
- Gallo, K.P. & Daughtry, C.S.T. (1986). Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agronomy Journal*, **78**, 752-6.
- Galvão, M. L. (1993). *Avaliação Nutricional do Feno de Lameiros do Nordeste de Portugal. Possibilidade da utilização de métodos laboratoriais*. Tese de Mestrado, Saragoça. Pp129.
- Garcia-Huidobro, J., Montheith, J.L. e Squire, G.R. (1982). Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. e H). I. Constant Temperature. *Journal of Experimental Botany*, **33**, 288-296.
- Gastal, F., Lemaire, G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, **v.53**, n.370, p.789-799.
- Germán, A. et al.. (1996). Soil Temperature and Planting Date Effects on Corn Yield, Leaf Area, and Plant Development. *Agron. J.* **88**, 385-390.
- Gimenes, C., Connor, D.J. & Rueda, F. (1994). Canopy development, photosynthesis and radiation use efficiency in sunflower in response to nitrogen. *Field Crops Research*, **38**, 15-27.

- Graham, P. L., Steiner J. L. & Wiese A.F. (1988). Light Absorption and Competition in Mixed Sorghum-Pigweed Communities. *Agron. J.* **80**, 415-418.
- Graham, R.D. (1984). Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: Tinker P.B., Lauchi A., ed. *Advances in plant nutrition*. New York: Praeger. p. 57-102.
- Green, C.F., & Deuchar, C.N. (1985.) On improved tube solarimeter construction. *Journal of Experimental Botany*, **36**, 690 – 693.
- Grindlay, D.J.C., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K. (1993). Nitrogen uptake of young vegetative plants in relation to green area. *Journal Sciences Food Agriculture*, **v.63**, p.116.
- Habyarimana, E., Laureti D., Ninno M.De & Lorenzoni C. (2004). Performances of biomass sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under different water regimes in Mediterranean region. *Industrial Crops products* **20**, 23- 28.
- Hammer, G.L. & Vanderlip R.L. (1989). Genotype-by-Environment Interaction in Grain Sorghum. I. Effects of Temperature on Radiation Use Efficiency. *Crop Science J.* **29**, 370-376.
- Heath, M.C. & Hebblethwaite, P.D. (1985). Solar radiation intercepted by leafless, semi-leafless and leafed peas (*Pisum sativum*) under contrasting field conditions. *Annals of Applied Biology*, **107**, 309-18.
- Hipps, L.E., Asrar, G. & Kanemasu, E.J. (1983). Assessing the interception of photosynthetically active radiation in winter wheat. *Agricultural Meteorology*, **28**, 253-9.
- Hughes, G., Keatinge, J.D.H., Cooper, P.J.M. & Dee, N.F. (1987). Solar radiation interception and utilisation by chickpea (*Cicer arietinum* L.) crops in northern Syria. *Journal of Agriculture Science*. **108**, 419-24.
- Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (1991). *Normais climatológicas da região de Trás-os-Montes e Alto Douro e Beira Interior correspondentes a 1951-1980. O Clima de Portugal, Fascículo XLIX, Volume 3 - 3ª Região*. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- Isakov, A. I. (1982). *Sorgo*. Moskva, Rosselxozisdat (Em Russo). Pp. 133.
- Israel, D. W., Ruffy Júnior T. W. (1988). Influence of phosphorus nutrition and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological response in soybean. *Crop Science*. **v. 28**, p. 954 – 960.
- IUSS Working Group WRB (2006) *World reference base for soil resources 2006*. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Roma
- Juscáfresa, B. (1982). *Forragens, Fertilização, Características, Valor Nutritivo*. Litexa – Portugal. Pp 201.

- Kaitaniemi, P. and Hanan J.S. & Room P.M. (2000). Virtual Sorghum: Visualisation of partitioning and morphogenesis. *Computers and Electronics in Agriculture* **28**,195-205.
- Kassam, A.H. (1981). Climate, soil and land resources in North Africa and west Asia. *Plant and Soil*, **58**, 1-29.
- Kiniry, J.R. & Bockholt A.J. (1998). Maize and Sorghum Simulation in Diverse Texas Environments. *Agron. J.* **90**, 682-687.
- Kiniry, J.R. and Landivar et al.. (1998). Radiation-Use efficiency response to vapour pressure deficit for maize and sorghum. *Field Crops Research* **56**, 265-270
- Lafarge, T., Tardieu F. (2002). A model co-ordinating the elongation of all leaves of a sorghum cultivar was applied to both Mediterranean and Sahelian conditions. *Journal of Experimental Botany*, **Vol. 53**, n° 369, 715 – 725.
- Lafitte, H.R., Loomis, R.S. (1988). Growth and composition of grain sorghum with limited nitrogen. *Agronomy Journal*, **v.80**, p.492-498.
- Lancashire, B. (1981). Na Improved Method of Manufacture for Thermopile Tube Solarimeters. *J. agric. Engen. Res.*, **26**, 287 – 289.
- Lawlor, D.J., Kanemasu E.T., Albrecht L.O.C., III & Johnson D.E. (1990). Seed Production Environment Influence on the Base Temperature for Growth of Sorghum Genotypes. *Agron. J.* **82**, 643-647.
- Lemaire, G., Gastal, F., Plenét, D. (1997). Dynamics of uptake and N distribution in plant canopies. Use of crop N status index in crop modeling. In. "Diagnosis procedures for crop N management". G. lemaire and I. Burns (Eds). *INRA- Editions, Paris (France), Serie "Les colloques" n.82*, p.15-29.
- Lemcoff, J.H., Loomis, R.S. (1986). Nitrogen influences on yield determination in maize. *Crop Science*. **v.26**, p.1017-1022.
- Maas, S.J. (1993). Parameterized Model of Gramineous Crop Growth: I. Leaf Area and Dry Mass Simulation. *Agron. J.* **85**, 348-353.
- Maillol, J. C. Ayorinde A. Olufayo, P. R., (1997). Sorghum and sunflower evapotranspiration and yield from simulated leaf area index. *Agricultural Water Management*, **35**, 167-182.
- Major, D.J. Beasley B.W. et al.. (1991). Effect of Maize Maturity on Radiation-Use Efficiency. *Agron. J.* **83**, 895-903.
- Manfred, R., Hartmut S., Christoph A. (1999). A Three-Dimensional Approach to Modeling Light Interception in Heterogeneous Canopies. *Agron. J.* **91**, 1024-1032.

- Marcelis, L. F.M., Heuvelink, E., Goudriaan, J. (1998). Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*. **v.74**, p. 83-111.
- Marschner, H. (1986). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London, 674 p.
- Massantini, F., Masoni A., Volterrani M. (1990). Effect of Nitrogen-Fertilization on the Transmitted Radiation Spectrum of Sweet Sorghum Canopy. *Agr. Med.*, **V. 120**, 417-421.
- Mccullough, D.E., Girardin, Ph., Mihajlovic, M., Aguilera, A., Tollenaar, M. (1994). Influence of N supply on development and dry matter accumulation of on old new maize hybrid. *Can. J. Plant. Sci.* **v.74**, p.471-477.
- Miranda, P.M.A., Valente, M.A., Tomé, A.R., Trigo, R., & Coelho, M.F. (2006). O clima de Portugal nos Séculos XX e XXI. In: F.D. Santos & P. Miranda. *Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação*. Projecto SIAM II. Lisboa: Gradiva.
- Mohamed, H.A., Clarke, J.A. & Ong, C.K. (1988). Genotypic differences in the temperature responses of tropical crops. III. Light interception and dry matter Production of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). *Journal of Experimental Botany*.
- Monsi, M., Saeki, T. (1953). Uber den lynchfactor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung fur die stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* **v.14**, p.22-52.
- Monteith, J.L., (1977). Climate and efficiency of crop production in Britain, *Philosophical Transactions of Royal Society of London, Series B*, **281**, 277-94.
- Monteiro, J. S. T. (2007). *Valorização industrial do sorgo sacarino. Culturas energéticas, biomassa e biocombustíveis*. Seminário, Évora, 6 e 7 Dezembro de 2007. 12 pp.
- Monteith, J.L. (1975). *Vegetation and the Atmosphere*. Vol. I. Academic Press.
- Monteith, J.L. (2000). Fundamental Equations for growth in uniform stands of vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*. **104**, 5-11.
- Monteith, J.L., & Unsworth, M.H. (1990). *Principles of environmental physics*. 2^a Ed. Edward Arnold.
- Monti, A., Venturi G. (2003). Comparison of the energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheath monocultures in northern Italy. *European Journal of Agronomy*, **19**, 35 - 43.
- Moss, R.A., Loomis, W.E. (1952). Absorption Spectra of leaves. I-The visible Spectrum. *Plant Physiol.*, **v.27**, p.370-391.

- Muchow, R.C. (1998). Nitrogen utilization efficiency in maize and grain sorghum. *Field Crops Research* **56**, 209-216.
- Muchow, R.C., Davis, R. (1988). Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II- Radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Res.*, **v.18**, p.17-30.
- Muchow, R.C., Sinclair, T. R. (1994). Nitrogen response of leaf photosynthesis and canopy radiation use efficiency in field grown maize and sorghum. *Crop Science*. **v.34**, p.721-727.
- Neto, M.M.G., Obeid J.A., Pereira O.G., Cecon P.R., Queiroz A.C., Zago C.P., Cândido M.J.D. & Miranda L.F. (2004). Híbridos de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Cultivados sob Níveis Crescentes de Adubação. Características Agronômicas, Carboidratos Solúveis e Estruturais da Planta. R. *Brás. Zootec.*, **V.33**, n.6, p. 1975-1984.(supl.2)
- Novoa, R., Loomis, R.S. (1981). Nitrogen and plant production. *Plant Soil*, **v.58**, p.177-204.
- Ong, C.K. & Monteith J.L. (1985). Response of Pearl Millet to Light and Temperature. *Field Crops Research*. **11**, 141-161.
- Oosterom, E.J., Carberry P.S., Muchow, R.C. (2001). Critical and minimum N contents for development and growth of grain sorghum. *Field Crops Research*. **Vol.70**. pp 55-73.
- Ottman, M.J. & Welch L. F. (1989). Planting Patterns and Radiation Interception, Plant Nutrient Concentration, and Yield in Corn. *Agron. J.* **81**,167-174.
- Ozier-Lafontaine, H., Vercambre G. & Tournebize R. (1997). Radiation and transpiration partitioning in a maize-sorghum intercrop: Test and evaluation of two models. *Field Crop Research* **49**,127-145
- Peixoto, J.P. & Oort A.H. (1984). Physics of Climate. *Review of Modern Physics*. **Vol.56**, nº.3, Julho. pp 365-429
- Penning, de Vries, F.W.T., Brunsting, A.H.M. & van Laar, A.H. (1974). Products requirements and efficiency of biosynthesis, a quantitative approach. *Journal of Theoretical Biology*, **45**, 339-77.
- Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de água e métodos de rega*. Publicações Europa – América, pp. 312.
- Plénet, D., Lemaire, G. (1999). Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil*, **v.216**, p.65-82.

- Prihar, S.S. & Stewart B.A. (1991). Sorghum Harvest Index in Relation to Plant Size, Environment, and Cultivar. *Agron. J.*, **83**: 603-608.
- Rice, J.R. & Eastin J.D. (1986). Grain Sorghum Root Responses to Water and Temperature During Reproductive Development. *Crop Science J.*, **26**. 547-551.
- Ripado, M. F. B. (1995). *O Sorgo – Variedades, Cultura, Produção*. Publicações Europa-América, Lda. Pp.100.
- Roberts, E.H., Summerfield, R.J. (1987). Measurement and prediction of flowering in annual crops. In: Atherton, J.G. (Ed.), *Manipulation of Flowering*. Butterworth, London, pp. 17-50.
- Rodrigues, M.A. & Coutinho J.F. (2000). Eficiência de utilização do azoto pelas plantas. *Série Estudos IPB*, **Nº47**. 48 pp.
- Rodrigues, M.A. et al. (2006). Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. *Europ. J. Agronomy*, **25**, 328 – 335.
- Rosenthal, W.D., Gerik T.J., and Wade L.J. (1993). Radiation-Use Efficiency among Grain Sorghum Cultivars and Plant Densities. *Agron. J.*, **85**, 703-705.
- Ross, J., Ross V. & Koppel A. (2000). Estimation of leaf area and its vertical distribution during growth period. *Agricultural and Forest Meteorology*. **101**: 237-246.
- Russel, G., Jarvis P.G. & Monteith J.L. (1990). Absorption of radiation by canopies and stand growth in: Plant Canopies: Their growth, form and function. *Society for Experimental Biology Seminar. Series*, **31**.
- Santos, F. B. (2001). *Sebenta de Matemáticas Gerais. Estatística*. Plátano Editora. Pp.275.
- Silva, P.C.S. (2004). *Comportamento do sorgo granífero em função do manejo de nitrogénio*. Tese de Doutorado. Santa Maria, RS, Brasil. 137pp.
- Sinclair, T. R., Muchow R. C. & Monteith J. L. (1997). Model Analysis of Sorghum Response to Nitrogen in Subtropical and Tropical Environments. *Agron. J.*, **89**: 201-207.
- Sinclair, T.R. & Muchow, R.C. (1999). Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, **65**, 215-265.
- Sinclair, T.R. and Horie T. (1989). Crop Physiology & Metabolism: Leaf Nitrogen, Photosynthesis, and Crop Radiation Use Efficiency: A Review. *Crop Sci.* **29**, 90-98.
- Sinclair, T.R. Shiraiwa, T. (1993). Soybean radiation use efficiency as influenced by non-uniform specific leaf nitrogen distribution and diffuse radiation. *Crop Science*, **v.33**, p.808-812.

- Squire, G.R. (1986). A Physiological Analysis for Oil Palm Trials. *Palm Oil Research Institute of Malaysia Bulletin*, **12**, 12-31.
- Squire, G.R. (1990). *The Physiology of Tropical Crop Production*. CAB International.
- Squire, G.R., Marshall, B., Terry, A. & c (1984). Response to temperature in a stand of pearl millet. 6. Light interception and dry matter production. *Journal of Experimental Botany*, **35**, 599-610.
- Steven, M.D., Biscoe, P.V., Jaggard, K.W. & Paruntu, J. (1986). Foliage cover and radiation interception. *Field Crops Research*, **13**, 75-87.
- Szeicz, G., Monteith, J.L., & Dos Santos, L. (1964). Tube solarimeter to measure radiation among plants. *Journal of Applied Ecology*, **1**, 169 – 174.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geography Reviews*, **38**, 55-94.
- Traore, A. and Maranville J.W. (1999). Nitrate Reductase Activity of Diverse Grain Sorghum Genotypes and Its Relationship to Nitrogen Use Efficiency. *Agron. J.*, **91**, 863-869.
- Uhart, S. A., Andrade, F.H. (1995). Nitrogen Deficiency in Maize: I- Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. *Crop Science*, v.35, p.1375-1383.
- Ustimenko, G. V., Bakumovski. (1982). *El Cultivo de Plantas Tropicales y Subtropicales*. Editorial Mir, Moscú. Pp.429.
- Vasconcelos, E.P. (1986). *Alguns Aspectos da Adubação no Sorgo*. Universidade Técnica de Lisboa, ISA, Secção de Química. Pp 7.
- Watson, D.J. (1947). Comparative physiological studies on the growth of field crops. *Annals of Botany*, **11**, 41-76.
- Wiegand, C.L. & Richardson A. J. (1984). Leaf Area, Light Interception, and Yield Estimates from Spectral Components Analysis. *Agron. J.*, **76**, 543-548.
- Zougmore, R., Mando A., Steosnijder L & Guillobez S. (2004). Nitrogen flows and balances as affected by water and nutrient management in a sorghum cropping system of semiarid Burkina Faso. *Field Crops Research*, **90**, 235-244.