

Selecção de linhas de grão de bico (*Cicer arietinum* L.) adaptadas ao ambiente Mediterrânico - critérios morfológicos e fisiológicos

Isabel Maria Victoria Duarte Macãs

*Dissertação apresentada à
Universidade de Évora para
obtenção do Grau de Doutor
em Ciências Agrárias*



Orientador: Professora Catedrática Maria Manuela Coelho Cabral Ferreira Chaves
Co-Orientador: Investigador Coordenador Manuel Maria Tavares de Sousa

166 300

**UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ÉVORA, 2003**

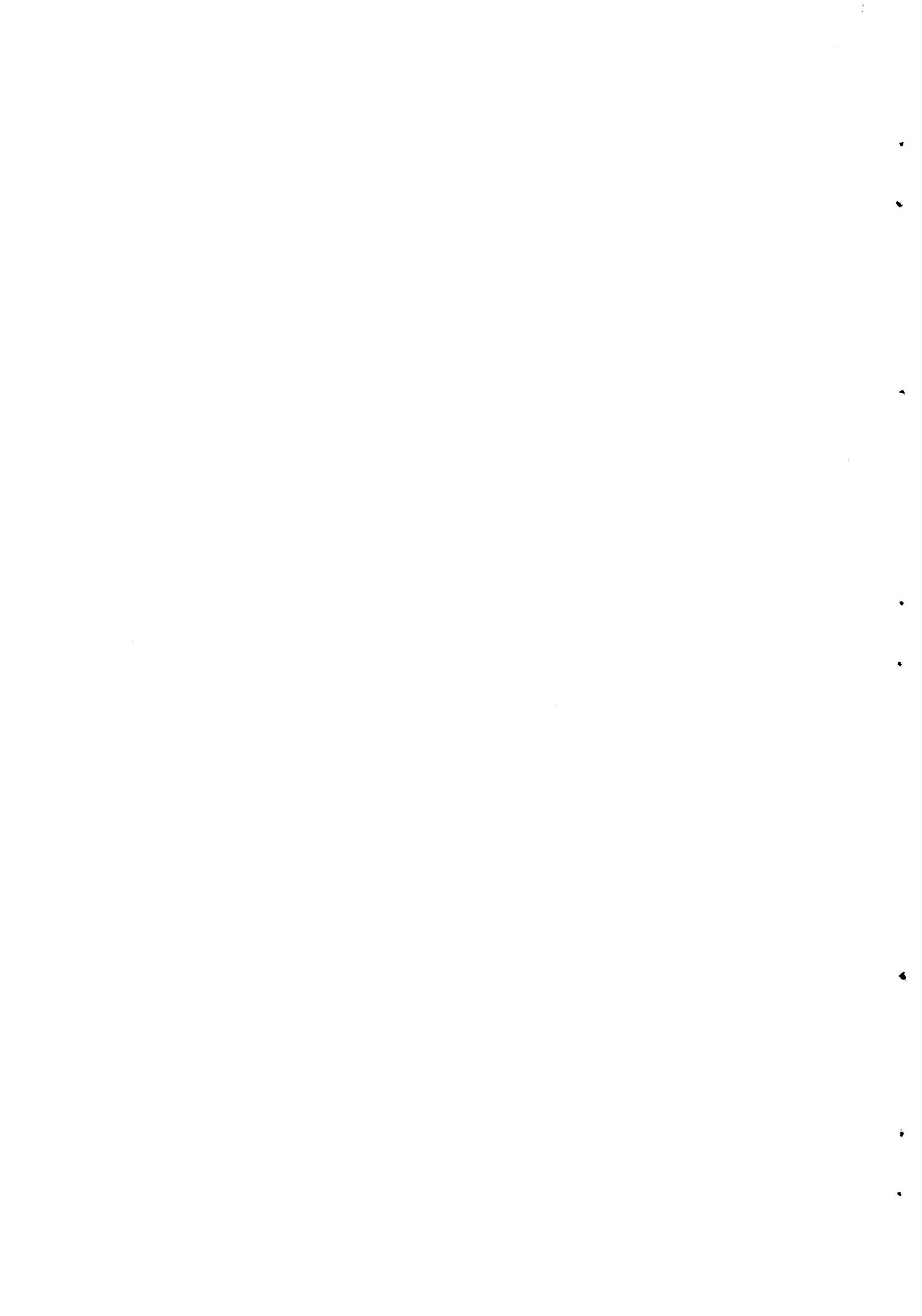
... “o Homem nasce sem dentes, sem cabelo e sem ilusões, e a maioria morre sem dentes, sem cabelo e sem ilusões”, ou levanta galhardamente a bandeira das ilusões e sabe que pode perder tudo menos o entusiasmo...

ÍNDICE

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUÇÃO GERAL	
1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
2. OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
II. SELEÇÃO DE GRÃO DE BICO PARA AMBIENTE MEDITERRÂNICO	
– ESTADO ACTUAL DOS CONHECIMENTOS	
1. O CLIMA MEDITERRÂNICO	7
1.1. INTRODUÇÃO	7
1.2. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE	8
2. RELAÇÕES HÍDRICAS DAS PLANTAS	15
2.1. A ÁGUA NAS PLANTAS	15
2.2. LIMITAÇÕES HÍDRICAS NAS PLANTAS	17
2.2.1. Stress Ambiental, Limitação Hídrica nas Plantas	17
2.2.2. Efeitos Morfológicos e no Rendimento das Plantas	21
2.2.3. Efeitos Fisiológicos nas Plantas	22
- Efeito na fotossíntese e na respiração	22
- Efeitos no metabolismo dos hidratos de carbono	23
2.2.4. Análise do Comportamento das Plantas – Resistência ao stresse	24
A. Escapar à secura	25
B. Tolerar reduzidas disponibilidades hídricas com baixo potencial hídrico	25
- Ajustamento osmótico	25
- Elasticidade dos tecidos	26
- Tolerância à dessecação ou desidratação	27
C. Tolerância à secura com potencial hídrico elevado	27
- Redução das perdas hídricas	27
- Aumento da captação de água	28
3. O GRÃO DE BICO	29
3.1. INTRODUÇÃO	29
3.2. ORIGEM E HISTÓRIA	29
3.3. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA ESPÉCIE <i>Cicer arietinum</i> L.	32
3.4. TÉCNICAS CULTURAIS	33
3.4.1. Inoculação	33
3.4.2. Fertilização	34
3.4.3. Aplicação de Herbicidas	34
3.4.4. Sementeira	35
3.5. FISIOLOGIA DA CULTURA	36
3.6. EXIGÊNCIAS DA CULTURA	39
3.6.1. Solo	39
3.6.2. Clima	40
- Precipitação	40

- Temperatura	41
- Radiação	43
3.7. FACTORES BIÓTICOS PREJUDICIAIS	43
3.7.1. Raiva ou Antracnose	44
3.7.2. Fusariose	45
3.7.3. Mineira da Folha	46
3.7.4. Lagarta da Folha	47
3.8. IMPORTÂNCIA E DISTRIBUIÇÃO	47
3.9. O LUGAR DO GRÃO DE BICO NO MEDITERRÂNEO – SISTEMAS DE AGRICULTURA	51
 4. MELHORAMENTO	 55
4.1. INTRODUÇÃO	55
4.1.1. Métodos de Selecção de Plantas Autogâmicas	59
- "Pedigree"	59
- "Bulk" – "Bulk"/Pedigree	59
- "Single Seed Descend" – SSD	59
- "Backcross/Pedigree"	59
- Mutagénese	60
- Transformação genética / Engenharia Genética	60
4.2. MELHORAMENTO DE GRÃO DE BICO	61
4.3. MELHORAMENTO PARA TOLERÂNCIA À SECURA	63
 III. MATERIAL E MÉTODOS	
1. INTRODUÇÃO	67
2. MATERIAL VEGETAL	67
3. MÉTODOS	70
3.1. FENOLOGIA E MORFOLOGIA	70
3.2. CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS	71
3.2.1. Estado Hídrico da Planta	72
- Potencial hídrico	72
- Teor relativo em água	72
3.2.2. Trocas Gasosas	73
- Condutância estomática	73
- Taxa de fotossíntese líquida	74
3.3. TRATAMENTO ESTATÍSTICO	74
 IV. O COMPORTAMENTO DE DUAS VARIEDADES COMERCIAIS DE GRÃO DE BICO EM SITUAÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO	
1. INTRODUÇÃO	77
2. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	78
2.1. MATERIAL VEGETAL	78
2.2. METODOLOGIA	78
2.3. CLIMA	79
3. RESULTADOS	80
4. DISCUSSÃO	88
4.1. EFEITO DA REGA NA FENOLOGIA DAS PLANTAS	88
4.2. EFEITO DA REGA NOS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS	89
4.3. EFEITO DA REGA NA MORFOLOGIA E RENDIMENTO	91
5. CONCLUSÃO	93

V. ESTUDOS DE FENOLOGIA E FISIOLOGIA EM 29 GENÓTIPOS DE GRÃO DE BICO	
1. INTRODUÇÃO	95
2. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	96
2.1. MATERIAL VEGETAL	96
2.2. METODOLOGIA	96
2.3. CLIMA	97
3. RESULTADOS	99
4. DISCUSSÃO	106
5. CONCLUSÃO	108
VI. ESTUDO DA ESTABILIDADE E ADAPTAÇÃO DE GENÓTIPOS	
1. INTRODUÇÃO	109
PARTE-A: ESTUDO DA ESTABILIDADE E ADAPTAÇÃO DE GENÓTIPOS – ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO	
1. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	110
1.1. CLIMA	112
2. RESULTADOS	115
2.1. RENDIMENTO, COMPONENTES DO RENDIMENTO E OUTROS PARÂMETROS DE INTERESSE AGRONÓMICO	115
2.2. ESTABILIDADE DO RENDIMENTO	120
2.3. CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA	122
3. DISCUSSÃO	126
PARTE-B: ESTUDO DA ESTABILIDADE E ADAPTAÇÃO DE GENÓTIPOS – SELECCÃO PARA O CATÁLOGO NACIONAL DE VARIEDADES	
1. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	130
1.1. MATERIAL VEGETAL	130
1.2. METODOLOGIA	130
1.3. CLIMA	132
2. RESULTADOS	133
2.1. COMPONENTES DO RENDIMENTO, RENDIMENTO E SUSCEPTIBILIDADE À SECURA	133
2.2. CORRELAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES MORFOLÓGICOS, FISIOLÓGICOS ESTUDADOS E O RENDIMENTO	137
2.3. ANÁLISE DO PATH-COEFFICIENT	138
3. DISCUSSÃO	140
4. CONCLUSÃO	142
VII. CONCLUSÃO FINAL	145
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
ANEXOS	161
ANEXO 1	163
ANEXO 2	165
ANEXO 3	167
ANEXO 4	169
AGRADECIMENTOS	171



SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

%Abort	% de abortamento - percentagem do número de vagens que não deram sementes
Ψ	potencial hídrico foliar, MPa
Ψ_π	potencial osmótico, MPa
Ψ_b	potencial hídrico de base ou potencial hídrico ao amanhecer, MPa
Ψ_{md}	potencial hídrico ao meio dia solar, MPa
Ψ_p	potencial de pressão, MPa
A	taxa de fotossíntese aparente, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
A1^avg	altura da primeira vagem - altura desde o solo até à inserção da primeira vagem em centímetros
ABA	ácido abcísico
ABL	<i>Ascochyta rabiei</i>
ADN	ácido desoxirribonucleico
ALAD	Arid Lands Agriculture Development
ANOVA	análise de variância
AT	altura da planta - altura desde o solo até ao topo da planta em centímetros
CIDTN	Chickpea International Drought Tolerance Nursery
CNV	Catálogo Nacional de Variedades
CO₂	dióxido de carbono
DFP&OC	Departamento de Forragens, Pastagens e Outras Cultura
E	data de emergência - número de dias após a sementeira, até 50% da parcela apresentar plantulas
d.s.m.	diferença mínima significativa
EAN	Estação Agronómica Nacional
EEP	Ensaios de Estabilidade de Produção
ENMP	Estação Nacional de Melhoramento de Plantas
EZN	Estação Zootécnica Nacional
F₁..... F_n	gerações
FF	data do fim da floração - número de dias após a sementeira, até à formação da última flor
FM	data da floração média - número de dias após a sementeira, até 50% das plantas da parcela apresentarem mais de uma flor
FrM	data da frutificação média - número de dias após a sementeira, até 5% das plantas da parcela apresentarem mais do que uma vagem
g_s	condutância estomática, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
IAR	Índice de Anomalia Regional
IC	índice de colheita - razão entre a produção da parcela e a biomassa da mesma parcela
ICARDA	International Center for Agricultural Research in the Dry Areas
ICRISAT	International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics
IF	data de início da floração - número de dias após a sementeira, até 5% das plantas da parcela apresentarem botões florais
INIAP	Instituto Nacional de Investigação Agrária e das Pescas
IR	intervalo reprodutivo - diferença entre a altura total da planta e a altura de inserção da 1 ^a vagem em cm
ISA	Instituto Superior de Agronomia

LAI	índice de área foliar
M	data da maturação - número de dias após a sementeira, até 90% das plantas da parcela estarem prontas para colher
MSTAT-C	Microcumputer Statistical Program, Michigan State Universiy, USA
NR	tratamento não regado
NRepr	número de nós reprodutivos - contagem do número de nós com flores
NVgS	número de vagens com semente - valor obtido a partir do número total de vagens com semente, na parcela colhida
P	probabilidade
P100S	peso de 100 sementes em gramas
PAR	radiação fotossinteticamente activa
Pls/m²	número de plantas por m ² - número de plantas por metro quadrado à colheita
PR	período reprodutivo - duração da fase reprodutiva (diferença entre FF e IF)
Prod/m²	produção por m ² - peso das sementes de um metro quadrado (kg)
PST/m²	biomassa total por m ² peso total da parte aérea (caules, folhas, vagens e sementes) por metro quadrado
R	tratamento regado
Rend	rendimento - conversão da produção do talhão ao hectare (kg/ha)
RuBisCO	ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase/oxygenase
RWC	teor relativo em água
S	data de sementeira
S	índice de susceptibilidade à secura
SD	desvio padrão
Sem/m²	número de sementes por m ² - número de sementes por metro quadrado, em função da área semeada
SP	época de sementeira de Primavera
T^a_f	temperatura da folha, °C
Vg/m²	número de vagens por m ² - valor obtido a partir do número total de vagens na parcela colhida. Este parâmetro é também um componente do rendimento
W	época de sementeira de Outono/Inverno
WUE	eficiência do uso de água

RESUMO

O grão de bico (*Cicer arietinum* L.) é a terceira leguminosa para grão mais importante a nível mundial, bem conhecida pela riqueza proteica das suas sementes. Além da proteína esta leguminosa apresenta teores elevados de hidratos de carbono, sendo por isso uma importante fornecedora de energia nas dietas alimentares.

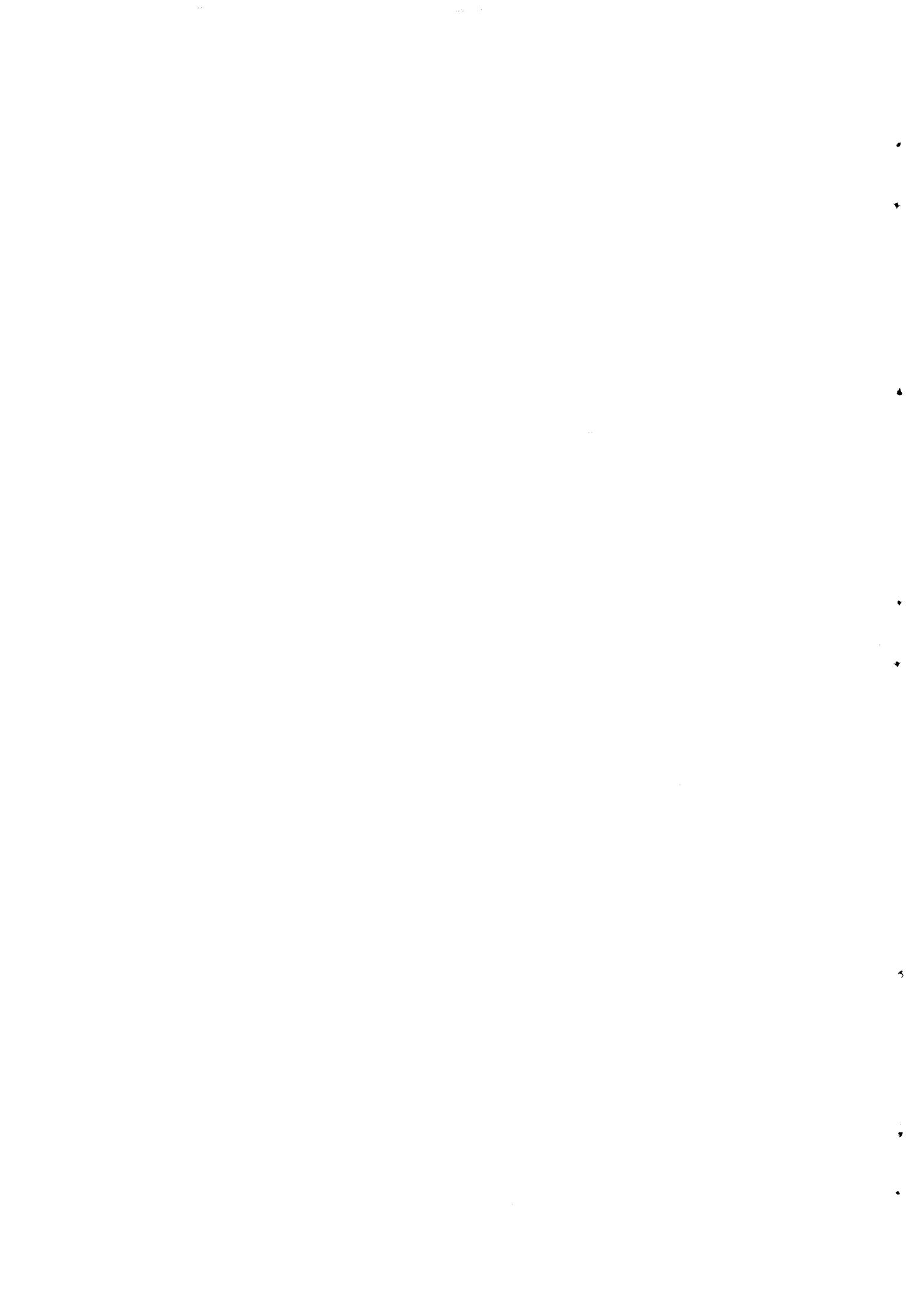
Apesar do grão de bico ser uma cultura tradicional de Primavera sofre quebras acentuadas de rendimento quando sujeito a longos períodos de seca durante o desenvolvimento reprodutivo. As variações climáticas características do clima Mediterrânico impõem novas orientações no programa de melhoramento de grão de bico, que foram adoptadas neste trabalho, que teve como objectivo geral: desenvolver novas linhas de grão de bico resistentes às doenças e adaptadas a diferentes ambientes e sistemas de produção.

Da comparação dos resultados obtidos em sequeiro e regadio, pode referir-se que à medida que o ambiente se torna mais seco, as características que permitem a adaptação dos genótipos tornam-se mais importantes. Os níveis hídricos das plantas ao amanhecer, representativos do potencial hídrico do solo, são fundamentais para determinar os decréscimos de rendimento a partir de determinado limiar. Os genótipos mais tolerantes apresentaram valores mais elevados de potencial hídrico de base (ψ_b), potencial hídrico ao meio dia solar (ψ_{md}) e teor relativo em água (RWC), realizaram mais fotossíntese na última fase do ciclo vegetativo e apresentaram rendimentos superiores.

A análise de correlação múltipla sugere que os componentes do rendimento, parâmetros morfológicos e fisiológicos mais importantes para quantificar o rendimento final são o número de vagens por planta, o número de sementes por planta, o peso de 100 sementes, o intervalo reprodutivo e o potencial hídrico foliar ao amanhecer no fim de floração. Apesar do número de sementes e de vagens serem os componentes mais importantes, a medição do ψ_b é fundamental porque nos indica o estado hídrico do solo a partir do qual se vai observar uma redução do rendimento. Este facto, reforça a necessidade de centrar esforços no estudo pormenorizado da fase reprodutiva e da data de entrada em floração, de modo a maximizar o intervalo reprodutivo (IR), sobretudo nas situações de sequeiro. A rega, como recurso durante os longos períodos secos, mantém as plantas hidratadas (potenciais hídricos elevados) permitindo que estas se mantenham verdes (fotossinteticamente activas) e em crescimento durante mais tempo. Quando o potencial hídrico de base das plantas decresce abaixo de $-0,7\text{ MPa}$ o rendimento final será reduzido. A rega torna-se necessária desde que se atinjam os valores críticos $-0,7\text{ MPa}$ de potencial hídrico de base. A partir deste valor, o ψ_{md} , o RWC, e a condutância estomática (g_s) decrescem.

Os critérios de selecção devem ser múltiplos e complementares, conjugando resistência à secura, elevado potencial produtivo em ambiente favorável, e estabilidade de produção, com o objectivo de produzir variedades adequadas às condições de sequeiro das regiões Mediterrânicas. Para ambientes mais secos, procuram-se genótipos que acelerem o ciclo vegetativo, para escapar ao stress final, de modo a iniciar e a finalizar o período reprodutivo mais cedo e atingir rendimentos mais estáveis em situação de déficit de fim de ciclo.

Deste trabalho resultou a selecção de duas linhas de grão de bico que se encontram em fase de inscrição no Catálogo Nacional de Variedades.



ABSTRACT

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is the third most important pulse crop in the world. This species is characterized not only by a high protein content in the grains, but also as a good source of carbohydrates, both important in human diets.

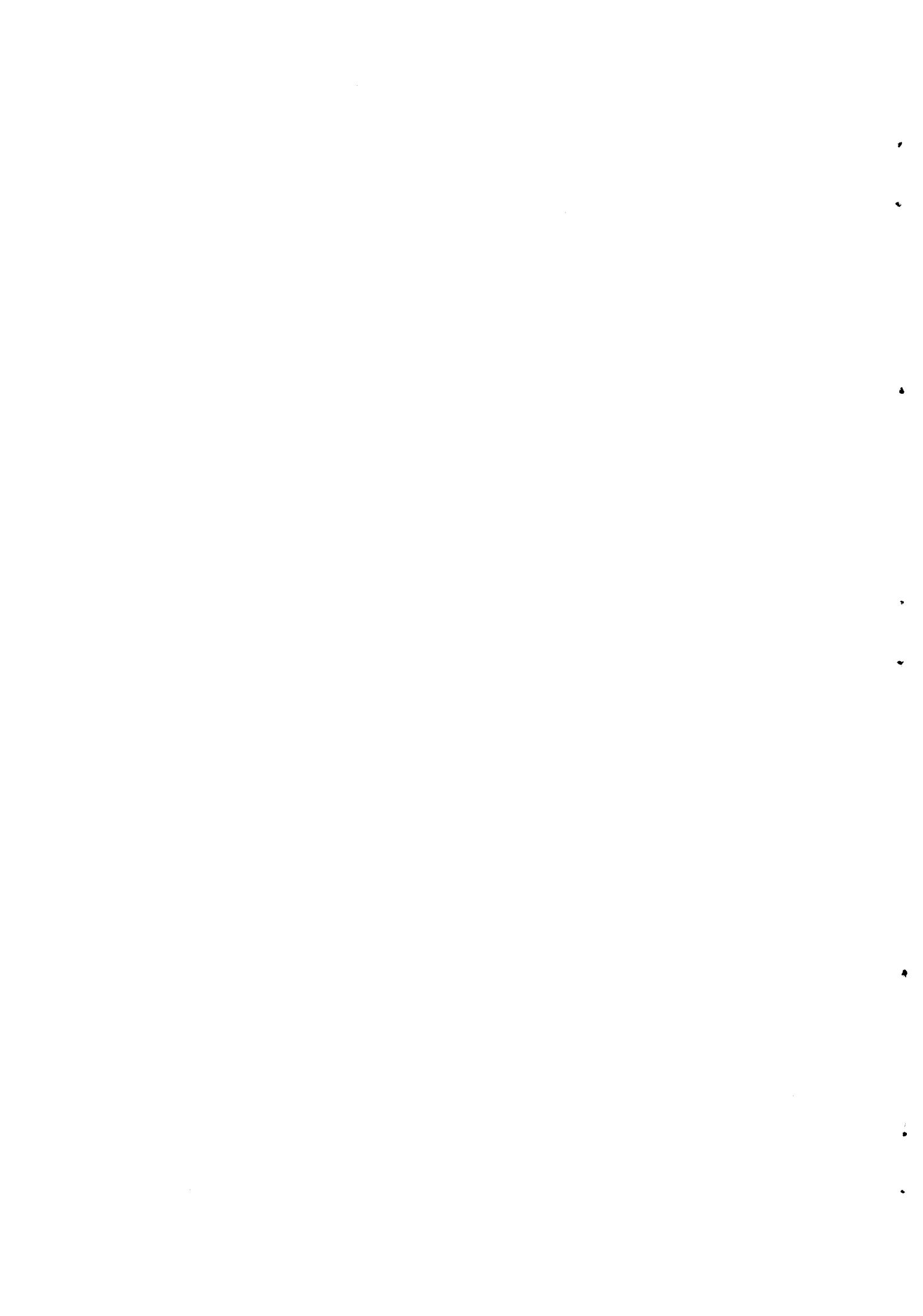
In the Mediterranean traditional agricultural systems, chickpea is a spring crop, sown during March-April and is extremely affected by long periods of drought during the reproductive phase. As a consequence of the pattern of the Mediterranean climate it was assumed a few years ago, the need for changes in the chickpea breeding program, in particular the development of new chickpea germplasm adapted to different environments and production systems and with resistance to the main abiotic and biotic stress. This was also the general aim of the present work.

By comparing data from rainfed and irrigated trials, it was concluded that the characteristics that promote the genetic plasticity of the genotypes are extremely important under drought conditions. Pre-dawn leaf water potential (ψ_b), that represents the water soil content, is of paramount importance for determining yield reductions starting from a threshold water potential. The most tolerant genotypes, with higher ψ_b , higher water potential at mid-day (ψ_{md}) and higher relative water content (RWC) and still with photosynthesis during the end of vegetative growth cycle, showed the highest yields.

The analysis of multiple correlation suggests that the most important yield components to quantify the final yield are: number of pods/plant; number of seeds/plant, the weight of 100 grains and the, reproductive interval. In addition, leaf pre-dawn water potential at the end of flowering is fundamental, to indicate when the water content of the soil starts to induce a reduction of the yield components. These facts stress the need to focus the work during or reproductive phase, in order to maximize the reproductive time, mainly in rainfed conditions. Watering during drought periods will keep the plants hydrated (high tissue water content), green (with active photosynthesis) and growing for longer periods. When leaf water potential decreases below -0,7 MPa, ψ_{md} , RWC and stomatal conductance (g_s) will also decrease and the final yield will be reduced unless irrigation is performed.

It is possible to conclude that selection criteria should be multiple and complementary, combining not only resistance to drought, but also high yield potential and yield stability with the objective to obtain new chickpea varieties for the rainfed conditions of the Mediterranean region. In more drought environments the breeding should select genotypes that could fasten the cycle to avoid final stress, as a way to sustain and stabilize yield when water lacks in the soil.

This study and subsequent fieldwork allowed the selection of several lines and two of them are now finishing the national agronomic and technological field trials in order to be released to the Portuguese National Catalogue.



CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As leguminosas para grão têm tido uma presença constante na agricultura de todo o mundo, tornando-se muito importantes na história da humanidade desde há cerca de 10.000 anos. Estas leguminosas com valores médios de proteína bruta variável entre 17% e 30%, são produtos com um elevado interesse alimentar, atendendo ainda a que algumas destas espécies são praticamente isentas de taninos e oligossacáridos inibidores da tripsina (o que lhes confere aptidão para serem utilizados em natureza, sem qualquer tratamento prévio que não seja moenda). Deste modo surgem como culturas a privilegiar na diversificação dos sistemas culturais portugueses, uma vez que oferecem garantias de boa produção (por apresentarem boa adaptação às condições edafoclimáticas de Portugal).

A implementação dos cereais com leguminosas de alto teor de proteína, juntamente com a utilização de novas técnicas agronómicas, como a mobilização mínima, constituem potencialmente uma das melhores soluções para fazer face a uma deficiente nutrição proteíco-calórica que permitirá satisfazer simultaneamente, e sem qualquer contraposição, as necessidades dos agricultores (pelo aumento de benefícios ao solo) e da sociedade, particularmente nos países em desenvolvimento. De igual modo, nos países desenvolvidos a produção de proteína vegetal assume importância fundamental, já que a massiva produção de carne e leite se faz em grande parte com base em alimentos concentrados, em que a proteína vegetal é componente essencial.

Portugal é um país não auto-suficiente, mas sim importador de grande quantidade dos alimentos, tanto para alimentação humana como para animais, importando grande quantidade de cereais (trigo e milho) e leguminosas entre outras espécies. No ano 2001, Portugal produziu 22000 toneladas (ton) de proteaginosa e importou cerca de 51000 ton traduzido num déficit de produção de grãos de leguminosas de 29000 ton, incluindo o feijão. Importa anualmente 44044 toneladas para a alimentação humana e 8059 ton para a alimentação animal, das quais, 9600 ton foram de grão de bico. Além destas quantidades, são importadas grandes quantidades de bagaços e grãos de oleaginosas (girassol, soja, amendoim, palma, etc.) cujos bagaços, após a extracção de óleo, entram nas rações para fornecerem proteína e energia.

A produção de grão de bico que é uma importante cultura tradicional de sementeira de Primavera na região Mediterrânea, decresceu substancialmente em toda a região, devido sobretudo a problemas de ordem política e social. Entre estes destaca-se a inexistência de uma cadeia comercial organizada conduzindo à importação da maior parte do grão de bico existente e à redução da actividade agrícola em Portugal. Por outro lado, a realização da

sementeira na Primavera em solos impróprios para a cultura (mal arejados, salinos, alcalinos, compactos, etc.), associada ao uso de variedades tradicionais sensíveis às principais doenças, não adaptadas à secura ou temperatura elevada do final do ciclo e com porte não adaptado à colheita mecânica foram as principais causas da redução da produção desta espécie.

Tudo isto requererá grandes esforços na investigação para o desenvolvimento de novas variedades de leguminosas, não apenas nas espécies já conhecidas, como também de outras que em tempos fizeram parte da nossa agricultura e que na actualidade desapareceram por falta de adaptação às necessidades actuais de uma agricultura moderna, o que requererá investigação especializada.

As variações climáticas características do clima Mediterrânico conduziram a novas orientações dos programas de melhoramento de plantas, direccionados na procura de novas variedades adaptadas a esta oscilação ambiental. Apesar da importância dos factores adversos na produção de grão de bico, apenas 25% dos esforços realizados em programas de melhoramento, são dedicados ao melhoramento para resistência a stresses. Os outros 75 %, são dedicados ao melhoramento para o rendimento e produção.

O programa de melhoramento de grão de bico, em curso na Estação Nacional de Melhoramento de Plantas (ENMP), na continuação do realizado no International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA) na Síria, resolveu alguns dos problemas encontrados na sementeira tradicional de Primavera - falta de água suficiente no solo, para o bom crescimento e desenvolvimento da cultura - com a antecipação da data de sementeira. Em sementeiras de Outono-Inverno, as plantas desenvolvem mais biomassa, flores, vagens e grãos e os rendimentos podem atingir duas toneladas, evidenciando a sua característica de planta de crescimento indeterminado. No entanto, e apesar da antecipação da sementeira, a irregularidade climática, como a secura no final do Inverno e Primavera, que se tem vindo a verificar nos últimos anos, associada a elevadas temperaturas e por vezes a ocorrência de geadas tardias, são a maior limitação para a produção final. Os tipos de stresse provocados pela carência hídrica podem ser de duas naturezas: **stresse hídrico intermitente**, causado por intervalos maiores ou menores de frequência da chuva ao longo do ciclo cultural e **stresse hídrico terminal** que ocorre normalmente desde o inicio da floração até ao enchimento do grão e maturação, durante o período reprodutivo (o mais sensível à carência hídrica).

O stresse hídrico antes do início de floração (final de Inverno) provoca alterações na planta ao nível morfológico, radicular e aéreo, com redução da área fotossinteticamente activa tornando as plantas mais susceptíveis às doenças. O efeito de um stresse durante a floração (Primavera), leva à paragem antecipada na emissão de flores e de nós reprodutivos, devido a um bloqueio na extremidade apical, conduzindo a menor número de vagens e sementes e consequentemente a um decréscimo no rendimento final. Por outro lado, o excesso de água durante este período promove o abortamento das flores e vagens e o aparecimento de doenças radiculares.

As respostas morfológicas, anatómicas e metabólicas ao stresse, são dos primeiros processos da microevolução e selecção natural das plantas. As respostas adaptativas ao déficit

traduzem-se na maior parte dos casos, numa evolução convergente das plantas através de mecanismos de adaptação que regulam a forma e o funcionamento das plantas.

Um grande esforço está a ser realizado por melhoradores de todo o mundo para introdução da tolerância à secura, frio, calor, nutrientes e salinidade em espécies agrícolas. Primeiramente devem ser definidos objectivos e estratégias metodológicas tendo por base o conhecimento científico adquirido no sistema de agricultura e na sociedade para os quais se destinam os programas de melhoramento e nos estudos que definem as características genéticas em que o melhorador dirige a evolução baseado em critérios de selecção. Como forma de aumentar a competitividade económica das leguminosas para grão, torna-se essencial, conhecer melhor os stresses abióticos que afectam as culturas. As práticas a adoptar têm que ser simples, efectivas, económicas e não devem afectar negativamente o ambiente. Desenvolver cultivares com resistência durável adaptadas a diferentes ambientes e sistemas de produção portadoras de características agronómicas e de qualidade é o maior desafio dos melhoradores. Alguns stresses interacutam uns com os outros e assim é necessário desenvolver procedimentos de melhoramento que conduzam à selecção de plantas com resistência multi-stresse. No entanto, melhorar a capacidade das culturas agrícolas para escapar à secura não é fácil. Os programas de melhoramento não podem ser instalados de uma maneira eficiente a não ser que as características das plantas para adaptação às limitações ambientais sejam conhecidas. Primeiramente devem ser realizados estudos em ambiente controlado para avaliar o comportamento das plantas a situações extremas de stresse e numa segunda fase a realização de ensaios, no campo, para se confirmarem os resultados obtidos.

O primeiro programa de melhoramento para tolerância à secura, em grão de bico, iniciou-se na Primavera de 1989 (ano muito seco) no ICARDA. Na ENMP, aonde o presente trabalho se desenvolveu, a obtenção de variedades é realizada em ensaios de campo, deixando as plantas sujeitas a todos os factores bióticos e abióticos que ocorram na natureza. O Departamento de Forragens, Pastagens e Outras Cultura (DFP&OC), em 1992, integrou um sector de ecofisiologia para estudar germoplasma de grão de bico, introduzido e autoctone com vista à selecção de genótipos adaptados ao ambiente Mediterrânico. Procurar respostas para este comportamento, quer ao nível das componentes morfológicas, quer ao nível fisiológico foi o compromisso que assumimos para a realização deste trabalho com o objectivo de desenvolver novas linhas de grão de bico com elevado e estável rendimento e adaptadas a diversas condições adversas.

Como resposta ao trabalho realizado, nos últimos dois anos assistimos a um grande aumento da procura de sementes de leguminosas para grão, especialmente o grão de bico. Seria interessante que esta procura, por parte dos agricultores, se consolidasse no futuro. Isto apenas será possível se os nossos agricultores se familiarizarem não apenas com as novas tecnologias agronómicas da cultura, como também com as novas variedades desta espécie.

2. OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O principal objectivo deste trabalho é a obtenção de novas variedades de grão de bico tolerantes à oscilação climática característica do clima Mediterrânico. A realização de estudos fenológicos, morfológicos e fisiológicos são importantes para dinamizar uma diversificação no germoplasma de grão de bico existente e compreender o comportamento da

cultura face aos condicionalismos ambientais. Com a obtenção de novas variedades procura-se viabilizar um tipo de agricultura extensiva com a introdução do grão de bico na rotação.

Esta tese propõe-se realizar diversos estudos divididos por capítulos com os seguintes objectivos:

- Estudo da adaptação e comportamento morfológico e fisiológico da cultura do grão de bico face a diferentes situações hídricas em duas épocas de sementeira. Procurámos saber o valor de potencial hídrico de base a partir do qual o rendimento decresce;
- Estudos fenológicos e fisiológicos alargados a 29 genótipos de grão de bico e posterior selecção dos genótipos mais tolerante às condições atmosféricas de Elvas;
- Aplicação dos conceitos obtidos sobre o comportamento fisiológico e morfológico das plantas, ao melhoramento genético, tendo como objectivo acelerar o processo de selecção das plantas;
- Eleição dos genótipos mais adaptados e candidatura ao Catálogo Nacional de Variedades (CNV).

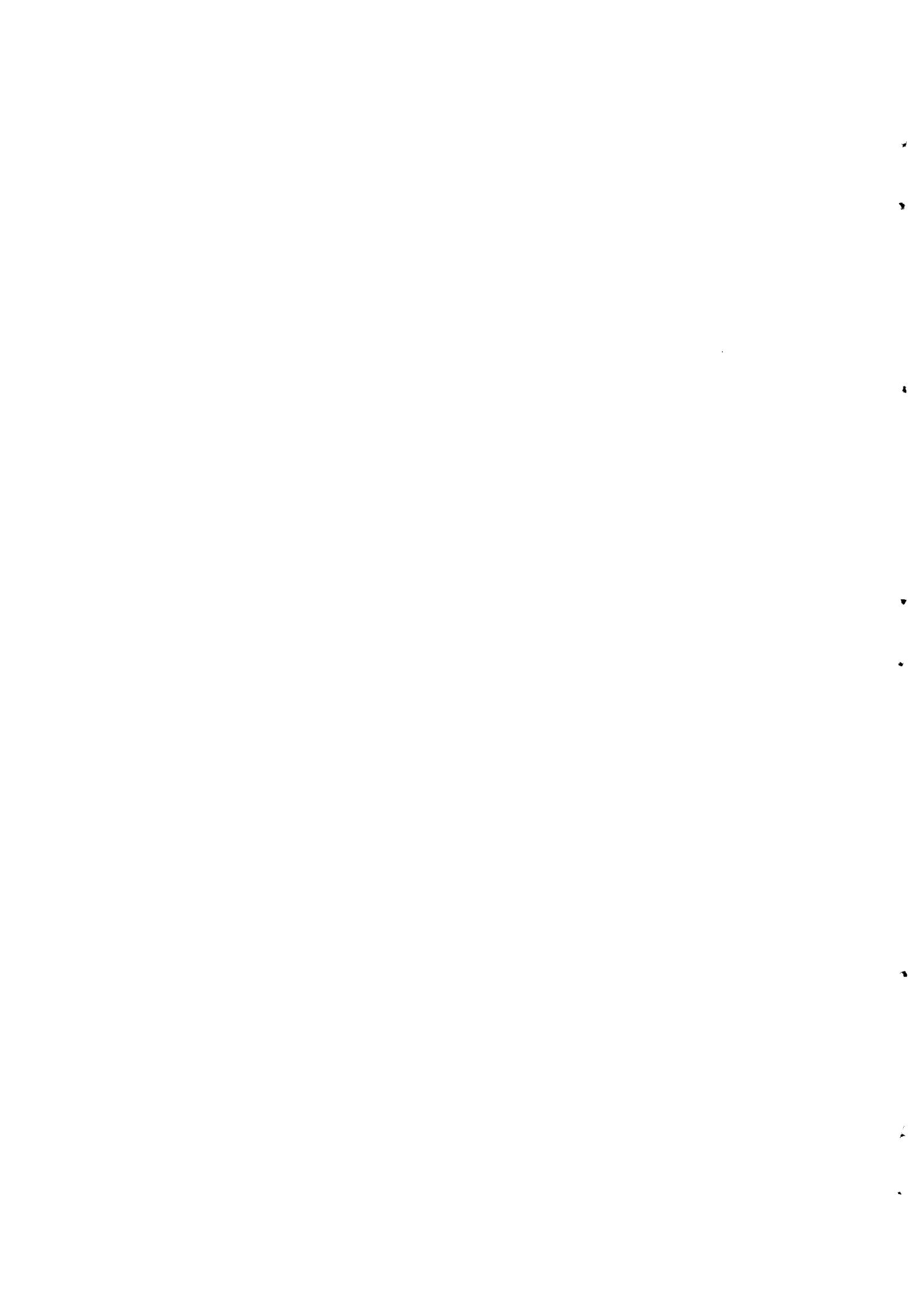
Além destes objectivos, o conhecimento do ambiente e dos complexos factores bióticos que interferem na selecção são também um passo importante para a evolução dos programas de melhoramento com fortes implicações na adaptação das espécies e/ou variedades.

Este trabalho foi organizado em 7 partes ou capítulos:

- ✉ O Capítulo I, com a introdução geral do trabalho e apresentação de objectivos.
- ✉ O Capítulo II, aborda o estado actual dos conhecimentos, no que respeita ao clima, relações hídricas das plantas, grão de bico e melhoramento. Este capítulo, informa-nos sobre o impacto que o ambiente mediterrâneo tem nas plantas relativamente à influência de cada factor ambiental, o que nos permite entender a necessidade de melhorar o grão de bico para situações de stresse hídrico.
- ✉ O Capítulo III “*Material e Métodos*” engloba todo o material vegetal e metodologia comuns aos ensaios experimentais. Nos capítulos IV, V e VI, apresentamos o desenvolvimento experimental realizado ao longo dos anos.
- ✉ No Capítulo IV “*O comportamento de duas variedades comerciais de grão de bico em situação de déficit hídrico*” estuda-se a adaptação e o comportamento morfológico e fisiológico da cultura do grão de bico face a duas situações hídricas (regadio e sequeiro) e em duas datas de sementeira (tradicional de Primavera e antecipada de Outono/Inverno). Foram usadas duas variedades comerciais (Elvar do tipo Kabuli e Elmo do tipo Desi - obtentor ENMP, 1992) e determinados: a fenologia, que reflecte a capacidade de antecipação do ciclo; o estado hídrico da planta e a regulação da abertura dos estomos e por fim procurámos saber qual o valor de potencial hídrico do solo a partir dos quais o

rendimento destas variedades de grão de bico decresce. A experimentação realizou-se durante os anos agrícolas 1992/93 e 1993/94 e foi financiada pelo projecto comunitário AIR3-CT92-0279.

- No Capítulo V “*Estudos de fenologia e fisiologia em 29 genótipos de grão de bico*”, alargámos os conhecimentos adquiridos no capítulo anterior, tendo como principal objectivo a selecção de material exótico, adaptado ao ambiente Mediterrânico, com a introdução de 27 genótipos, oriundos do ICARDA. Este germoplasma foi seleccionado em material recebido do ICARDA na geração F₅, para selecção para adaptação à secura. Foram realizados estudos fenológicos, morfológicos e fisiológicos nos 29 genótipos (as duas variedades comerciais mais os 27 genótipos do ICARDA) e interpretado o comportamento deste germoplasma em função do rendimento obtido. A selecção de genótipos esteve de acordo com os objectivos previamente estabelecidos; foram seleccionados os genótipos mais tolerante às condições atmosféricas de Elvas por apresentarem rendimentos mais elevados. Como o ensaio decorreu apenas em condições de campo, houve a necessidade de o repetir em dois anos afim de tornar a selecção mais eficaz. A experimentação realizou-se, durante os anos agrícolas 1994/95 (ano seco) e 1995/96 (ano húmido) em sementeira de Outono/Inverno.
- O Capítulo VI “*Estudo da estabilidade e adaptação de genótipos*” foi dividido em dois sub-capítulos e envolveu a última fase do programa de melhoramento de grão de bico com o estudo da estabilidade e da adaptação a diferentes condições ambientais de 20 genótipos seleccionados em anos anteriores e cujos resultados são apresentados no capítulo VI (PARTE-A). A experimentação realizou-se, durante os anos agrícolas 1995/96, 1996/97 e 1997/98, em duas épocas de sementeira, submetidas a dois regimes hídricos: regado à capacidade de campo (R) e não regado em condições ambientais (NR). Este capítulo teve como objectivo aplicar os conceitos obtidos sobre o comportamento fisiológico e morfológico das plantas, ao melhoramento genético e com eles acelerar o processo de selecção. Para confirmar a selecção realizada, efectuámos durante mais dois anos (1999/2000 e 2001/02) estudos da estabilidade e da adaptação de genótipos com os eleitos anteriormente, entre outros genótipos (PARTE-B, no âmbito do Programa PIDDAC). Neste capítulo elegeram-se os novos genótipos a candidatar ao CNV.
- Por fim, no Capítulo VII apresentam-se as conclusões finais seguidas das referências bibliográficas.
- Em anexo apresentam-se os dados estatísticos obtidos na página www.fao.org para a evolução da produção, rendimento e área da cultura do grão de bico em Portugal e no mundo(anexo 1). Nos anexos 2, 3 e 4 apresentam-se os protocolos de campo relativos aos ensaios apresentados nos capítulos V e VI (PARTE-A – “Estudo do Comportamento e Adaptação de 20 Genótipos – Estabilidade de Produção” e PARTE-B - “Estudo do Comportamento e Adaptação de 21 Genótipos – Selecção para o Catálogo Nacional de Variedades”).



CAPÍTULO II

SELEÇÃO DE GRÃO DE BICO PARA AMBIENTE MEDITERRÂNICO – ESTADO ACTUAL DOS CONHECIMENTOS

1. O CLIMA MEDITERRÂNICO

1.1. INTRODUÇÃO

Os factores edafoclimáticos são determinantes na adopção de determinada actividade agrícola, delimitando a expansão dos sistemas de culturas e da exploração de terra. A distribuição irregular da precipitação ao longo dos anos, e em particular no Inverno e início da Primavera, torna bastante aleatória a produtividade das culturas em regime de sequeiro nas regiões sob influência de clima Mediterrânico.

O clima Mediterrânico estende-se por todos os continentes incluindo total ou parcialmente alguns países do Sul da Europa (Portugal, Espanha, França, Itália, ex-Jugoslávia, Albânia e Grécia), Oeste Asiático (Turquia, Chipre, Síria, Líbano, Israel, Jordânia, Iraque e Irão), Norte de África (Marrocos, Argélia, Tunísia Líbia e Egipto), sul da Austrália, a Califórnia no continente Americano e uma pequena região na África do Sul. O clima destas regiões é caracterizado por apresentar Invernos moderadamente frios e húmidos e Verões muito secos e quentes, em condições extremas podem conduzir a problemas de desertificação, escassez de água e de alimentos.

A caracterização climática destas regiões não se baseia apenas na irregularidade da precipitação, que pode variar entre localidades e de ano para ano, entre 100 mm até mais de 2000 mm (Crespo, 2001), mas também se encontra associada à elevada temperatura nos anos de carência hídrica. Uma previsão para a precipitação é cada vez menos certa, no entanto, estima-se que cada vez chova mais no Inverno e menos na Primavera/Verão (Stephens e Lamond, 1999), como também se projecta o decréscimo no total das precipitações anuais (regiões com maior precipitação, devem tornar-se cada vez mais secas devido ao aumento da evaporação e alterações na distribuição anual e na intensidade da precipitação). Neste sentido é muito difícil prever a distribuição da chuva durante o Inverno uma vez que é muito irregular (Goodess e Jones, 2002).

Em modelos realizados por Rosenzwieg e Tubiello (1997) há a previsão de que a precipitação na região Mediterrânea tem tendência a decrescer entre 1,5 e 7,3 % até 2020, verificando-se posteriormente um aumento de cerca de 10% na precipitação de Inverno e uma redução de 5 a 15 % na precipitação de Primavera na segunda metade do século XXI.

Como consequência, a frequência e a severidade da secura verificada pode aumentar em toda a região. A produção de grão de bico e de outras culturas pode decrescer substancialmente em toda a região Mediterrânica devido ao aumento da frequência de períodos de seca.

Em termos de impacto ecológico e social, as alterações climáticas ao nível da disponibilidade hídrica são muito mais importantes do que as alterações de precipitação e temperatura individualmente. Baixos níveis da disponibilidade hídrica estão associados à presença de secura. Esta disponibilidade hídrica é determinada pelo balanço entre o ganho hídrico por precipitação e pelas perdas por evapotranspiração (que aumenta com a temperatura).

A alterações ambientais podem afectar a produção de alimentos na região Mediterrânica de diferentes maneiras. Efeitos directos estão associados ao aumento dos níveis de dióxido de carbono (CO_2) e da subida do nível das águas do mar. No entanto, em muitas áreas, a produção de alimentos pode também ser afectada por impactos causados pelo Homem, que alteram o clima, tais como desertificação, aumento de riscos de fogos, desenvolvimento de pestes e doenças (Cotton e Pielke, 1995). As alterações climáticas poderão ter um impacto bastante negativo quer na produção de alimentos quer no crescimento das culturas na região, aumentando os preços e a insegurança alimentar no sul do Mediterrâneo. Hoje em dia, a região Norte do Mediterrâneo é auto-suficiente na produção de alimentos, enquanto que na região Sul se produz menos 60% do que se consome (Rosenzweig e Tubiello, 1997).

O aumento antecipado da frequência das elevadas temperaturas e da secura pode mais tarde conduzir a perdas graves na produção agrícola em muitas regiões. Este efeito pode ser ilustrado com o ano 1992/93 (ano agrícola muito seco – 385,7 mm em Elvas) que conduziu a perdas de produção de cerca de 50% nas culturas de cereais (Maçãs, 1996).

1.2. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE

A secura atmosférica na região Mediterrânica contribui directamente para um elevado número de desastres ecológicos nomeadamente em agricultura. Estes problemas são sobretudo devidos à falta de sistemas preventivos da intensidade de cada stresse, isto é, a produção em determinado ambiente é a expressão integrada dos vários processos fisiológicos comandados pelo genótipo.

Por outro lado, além da inadequada distribuição das chuvas, o crescimento e desenvolvimento das culturas pode também ser limitado pela temperatura. O aumento de temperatura acima de 32°C (Harris *et al.*, 1987), conduz ao aumento da respiração foliar e a taxa de assimilação atinge um limiar que não compensa as perdas por respiração. Outra consequência da elevação da temperatura, por exemplo na Primavera, é a acção que exerce na aceleração do processo fisiológico do desenvolvimento, induzindo a uma senescência precoce. Em consequência ocorre a redução do período disponível para o crescimento das plantas causando um marcado efeito negativo na expressão do potencial produtivo do material vegetal (Harris *et al.*, 1987).

Stephens e Lamond (1999) realizaram um estudo de previsão do déficit hídrico para prevenção destas catástrofes causadas pelo ambiente, nomeadamente, déficit hídrico, baseados em registos a partir da 2ª metade do século XX.

Em 1983 a secura acompanhada por um severo aumento da temperatura afectou todas as regiões do clima Mediterrânico, incluindo Austrália e Indonésia. Por exemplo, na Austrália, o stresse prolongado nos anos 1982/83 teve um grande impacto na agricultura, causando acentuado decréscimo nas produções, e posteriormente, ao nível económico-social (Waddel, 1989 *cit. in* Stephens e Lamond, 1999).

Portugal, situado no extremo mais ocidental da Península Ibérica (latitude 37° - 42° N e longitude 9° - 6° W) é caracterizado pela existência de uma grande variabilidade espaço-temporal da precipitação. O Norte Alentejo, região onde se desenvolveram os nossos ensaios, situando-se à volta do paralelo 38°N, com altitude que só ultrapassa os 1000 m na Serra de São Mamede, é uma região de marcada influência Mediterrânica. A precipitação média anual é de 684mm e varia entre 601,6 mm (Elvas) e 908,3 mm (Portalegre). Apesar de compreender apenas uma pequena parte do território português apresenta uma variabilidade bastante acentuada no que respeita à precipitação anual e consequentemente ao número de dias com chuva superior a 1 mm. Na fig. II.1.1 e no quadro II.1.1 está indicada esta variabilidade existente no que respeita à quantidade de precipitação e sua distribuição, nos diferentes distritos do Norte Alentejo.

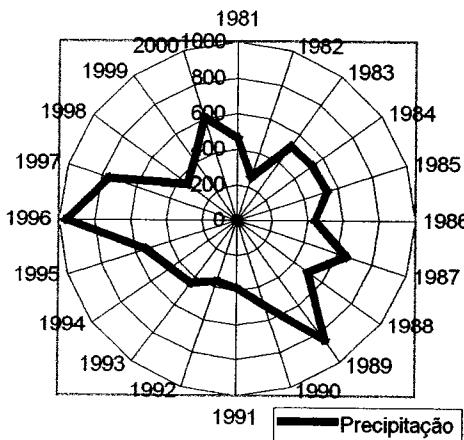


Figura II.1.1 – Variabilidade anual da distribuição da precipitação na região de Elvas.

A variação da precipitação nos diversos distritos reflecte o efeito da complexidade topográfica desta região. O principal rio que banha esta região é o rio Guadiana e não banha nenhuma das cidades referidas no quadro II.1.1.

Quadro II.1.1 – Variabilidade existente em relação à precipitação e sua distribuição anual, nos distritos do Alentejo nos últimos 48 anos

Locais Médias 1951-1980	Latitude (N)	Longitude (W)	Altitude (m)	Precipitação média anual (mm)	Precipitação absoluta máxima diária	N.º dias de chuva ≥1,0mm
Elvas	38° 53'	7° 09'	208	601,6 ±30,04	105,7 ±21,08	71,7 ±3,28
Évora	38° 34'	7° 54'	309	642,6 ±32,97	86,4 ±18,59	72,1 ±3,54
Beja	38° 01'	7° 52'	246	605,6 ±32,54	90,0 ±22,07	71,7 ±3,57
Portalegre	39° 17'	7° 25'	597	908,3 ±44,63	93,9 ±18,62	86,8 ±3,77
Estremoz	38° 50'	7° 35'	430	661,8 ±31,97	85,0 ±16,40	a)

a) Sem dados

Em relação à distribuição anual, Mendes e Coelho (1993) utilizaram um teste que permite o cálculo de um Índice de Anomalia Regional (IAR) para o Alentejo durante o período compreendido entre 1931 e 1992.

O IAR foi definido pela expressão:

$$(IAR)_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} (R_{ij} - \bar{R}_i)^2 / \bar{T}_i}{N_j}$$

Onde R_{ij} é a quantidade de precipitação na estação climatológica i no ano j ; \bar{R}_i é a média da quantidade de precipitação para a estação climatológica i ; \bar{T}_i é o desvio padrão da quantidade de precipitação para a estação climatológica i ; N_j é o número de estação climatológica no ano j .

O IAR permite englobar num único número, um parâmetro de significado regional, sendo particularmente interessante na detecção de situações anómalas. Nicholson (1980), por sua vez estabeleceu classificações, tendo em conta a distribuição da precipitação por estação do ano, usando os valores do IAR. Assim:

- $IAR < -0,85 \Rightarrow$ Muito abaixo do normal
- $-0,85 \leq IAR < -0,25 \Rightarrow$ Abaixo do normal
- $-0,25 \leq IAR \leq 0,25 \Rightarrow$ Normal
- $0,25 < IAR \leq 0,85 \Rightarrow$ Acima do normal
- $IAR > 0,85 \Rightarrow$ Muito acima do normal

Segundo esta classificação, $IAR < -0,85$ corresponde a situação de “seca” e $IAR > 0,85$ a situação “extremamente chuvoso”.

Maçãs (1996) dividiu a precipitação de 51 estações climatológicas do Alentejo (região mais marcada pelo clima Mediterrâneo), em decénios entre 1931 e 1990 (quadro II.1.2). Estes valores evidenciaram uma grande variabilidade pluviométrica, mas com uma sucessiva redução da quantidade de precipitação na Primavera nos últimos 30 anos (a partir de 1964). Mendes e Coelho (1993) calcularam o IAR, para as estações climatológicas referidas e para o mesmo período, revelando uma nítida sequência de Primaveras gradualmente mais secas depois de 1964, verificando-se a partir de 1972, maior número de casos inferiores à média. A diferença entre as médias dos trinténios 1932/61 (194,1 mm) e 1961/92 (141,9 mm) no Alentejo foi considerada como altamente significativa (Mendes e Coelho, 1993).

Quadro II.1.2 – Média por decénio da quantidade de precipitação (mm) no Alentejo no período entre 1939 e 1990. Os dados referem-se a 51 estações climatológicas

Decénio	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Total
1931 - 1940	168,2	277,1	190,7	24,1	660,1
1941 - 1950	143,5	227,0	199,4	21,4	591,2
1951 - 1960	168,9	233,3	192,3	23,4	617,9
1961 - 1970	201,6	290,0	168,9	36,8	697,3
1971 - 1980	137,5	252,7	141,5	28,4	560,1
1981 - 1990	198,6	234,5	139,3	28,9	601,3

Fonte: Maçãs, 1996

Esta variabilidade provoca grande variação nas produções de praticamente todas as espécies. Normalmente nos locais onde a precipitação é mais baixa, o stresse ocorre durante a fase reprodutiva e enchimento da semente de grão de bico. Nestas condições é verificada uma correlação positiva e significativa entre a produção média dos ensaios e o total de precipitação (Duarte-Maçãs, 1994). Parece que se pode afirmar que o regime hídrico quando comparado com outras variáveis ambientais, poderá exercer um efeito prevalente na variação da produção entre os diferentes locais.

A inadequada distribuição das chuvas é o principal factor limitante das culturas. O déficit hídrico deve ser caracterizado a uma escala que melhor se ajuste às alterações sequenciais das fases de crescimento e de desenvolvimento para cada cultura, no nosso caso, o grão de bico, a fim de melhor identificar os componentes que mais afectam o rendimento. Para analisar esta intensidade do déficit e a resposta das plantas ao mesmo, foi realizado um estudo à escala diária. A observação diária parece ser a melhor adaptada para estimar o déficit em termos de sequências de secura e de balanço.

Esta aproximação agrometeorológica constitui um complemento às aproximações fisiológicas e ao melhoramento genético dos caracteres da adaptação. Estes são importantes para a definição dos caracteres de tolerância à secura e também para uma melhor compreensão dos mecanismos de adaptação desenvolvidos pelo grão de bico.

Efectuou-se uma avaliação do clima na região de Elvas em função da disponibilidade de informação de que dispomos na Estação Meteorológica da ENMP. Interpretaram-se 48 anos sucessivos (1953-2001), referentes à informação mensal de precipitação e temperatura máxima (Fig. II.1.2), e de 16 anos sucessivos referentes a informação de precipitação diária ao longo do ciclo (1985-2001) (Fig. II.1.3).

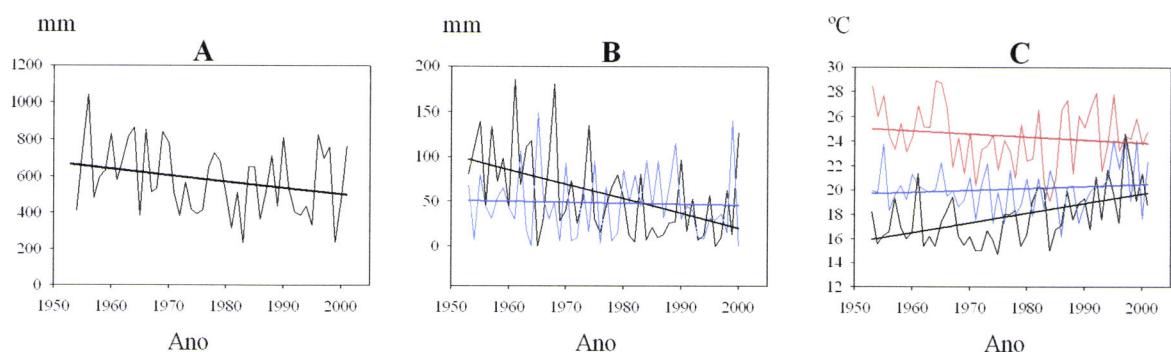


Figura II.1.2 - Variação anual da precipitação total - A, de Março (preto) e Abril (azul) - B e da temperatura de Março (preto), Abril (azul) e Maio (encarnado) - C, com linhas de tendência, entre os anos 1954 e 2001.

A apresentação de 48 anos de dados pluviométricos mostra-nos a grande variação anual da precipitação com a tendência para a sua redução ao longo do tempo. Na região de Elvas, verificou-se uma grande irregularidade no total da precipitação média anual marcada entre 236 mm em 1983 e 1039 mm em 1956, sendo a média de 580 mm; há uma ligeira tendência para o decréscimo de pluviometria com os anos ($r=-0,261$).

A temperatura máxima referente ao mês de Março tende a aumentar ($r=0,510$), bem como a temperatura máxima para o mês de Abril ($r=0,141$). A temperatura máxima do mês de Maio pelo contrário tem tendência a decrescer ($r=-0,151$).

Para interpretação dos dados diários de precipitação ao longo do ciclo das culturas, realizou-se um estudo em 16 anos sucessivos (fig. II.1.3). Verifica-se uma grande oscilação dentro do mês e uma notável baixa pluviométrica nos meses de Fevereiro e Março. O carácter errático e sazonal, verificado através das frequências de chuvas em intervalos de 5 dias e os seus coeficientes de variação, indicam a forte variabilidade existente, particularmente no fim e início de cada estação.

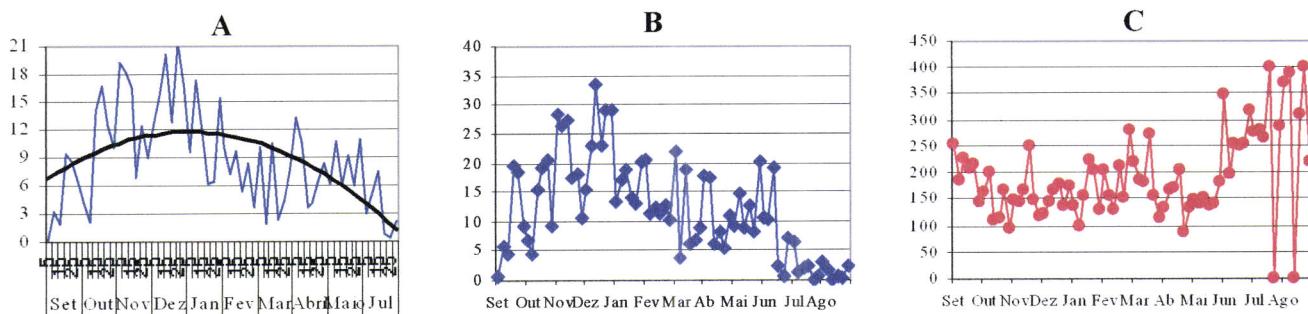


Figura II.1.3 - Variação diária da precipitação média mensal - A, desvio padrão - B e coeficiente de variação que reflecte a irregularidade da chuva – C, dos anos 1985 a 2001.

A observação diária dos fenómenos climáticos constitui um indicador preciso para estimar o déficit hídrico e analisar a resposta das culturas. A precipitação tem tendência a diminuir nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março e a aumentar nos meses de Abril e Maio. A precipitação após um período de seca pode conduzir, na cultura do grão de bico, à perda de flores, abortamento de vagens e consequentemente a rendimentos inferiores (Duarte *et al.*, 2001). Com efeito é muito difícil, em condições de clima Mediterrânico, prever e estimar as respostas das plantas em rendimento e componentes do rendimento do grão de bico, visto ser uma cultura do tipo indeterminado. No INRA-UNIP-ITCF em 1994 desenvolveram um modelo de crescimento e desenvolvimento reprodutivo em ervilheira em função do balanço hídrico do solo para estimar o rendimento. Este modelo foi desenvolvido a partir da data de sementeira e em função do teor de água existente no solo (considerando-o à capacidade de campo na data de sementeira) e dos dados meteorológicos (temperatura máxima e mínima, precipitação total, evapotranspiração potencial e radiação solar). Foram estimados os estádios fenológicos e generalizados a todo o ciclo, especialmente ao período de enchimento da semente (Biarnes-Dumoulin *et al.*, 1998). Estes modelos não são fiáveis porém quando se trata de condições de cultura em clima Mediterrânico porque é difícil prever a quantidade e distribuição pluviométrica na cultura da ervilha.

A variabilidade que se acaba de evidenciar provoca grandes variações nas produções de praticamente todas as culturas anuais. Por isso, a avaliação da magnitude da interacção ‘genótipo x ambiente’, como característica predominante da experimentação em condições de sequeiro, tem sido bastante explorada do ponto de vista estatístico (Finlay e Wilkinson, 1963; Gusmão, 1985; Gusmão, 1988).

A estabilidade de produção, em vários ambientes distintos, consiste na obtenção de um potencial produtivo para cada genótipo ou variedade em estudo, em função de um índice ambiental obtido pela média de cada genótipo ou variedade em todos os ambientes. Isto é, é calculado através da regressão estabelecida entre médias de cada genótipo ou variedade, em cada ambiente e a média geral do respectivo ambiente, permitindo uma apreciação do comportamento relativo da variedade ou genótipo face à variação ambiental.

de pressão como uma técnica fácil de medir o ψ foliar; a câmara de pressão mede a tensão de água do xilema.

Tradicionalmente os fisiologistas consideram que a água existente nas plantas está dividida, ao nível da célula, em dois grandes compartimentos movendo-se livremente entre o simplasto e o apoplasto com potenciais hídricos semelhantes. No entanto, os principais factores que contribuem para o potencial hídrico (ψ) no apoplasto e no simplasto são diferentes (Nielsen e Orcutt, 1996). O ψ no apoplasto é dominado por uma influência negativa dos solutos e da tensão desenvolvida nas paredes celulares (devido ao potencial mátrico), por outro lado 80 a 90% da água que existe no simplasto está nos vacúolos, contendo um elevado número de solutos, tais como iões inorgânicos, ácidos orgânicos, açúcares, enzimas e uma variedade de metabolitos secundários. Logo, o potencial osmótico (ψ_π) dos vacúolos é mais baixo que o do protoplasma. Devido ao decréscimo deste potencial desenvolve-se uma pressão hidrostática positiva nas células.

O potencial osmótico resulta da concentração de solutos na água. O líquido xilémico contém uma pequena quantidade de solutos, no entanto, a água intracelular pode conter grandes quantidades de solutos criando um potencial osmótico no ponto de turgescência abaixo dos $-5,0$ MPa em alguns casos (Meinzer *et al.*, 1986). Os principais solutos osmoticamente activos que afectam significativamente o potencial osmótico são iões orgânicos, carbohidratos, aminoácidos não proteicos e ácidos orgânicos. Quando existem alterações nas concentrações de alguns destes solutos podem ocorrer modificações ao nível do metabolismo celular. O potencial osmótico pode ser medido utilizando métodos psicrométricos ou estimados através de curvas de pressão-volume (uma vez que esta técnica apenas regista componentes do potencial hídrico do simplasto).

A componente da pressão do potencial hídrico celular é denominada por potencial de pressão e resulta da pressão hidrostática das células, quando a pressão equilibra a diferença de potencial hídrico entre o ambiente celular e o citoplasma. O potencial de pressão das células encontra-se normalmente entre 0 e 1 MPa. A magnitude do potencial de pressão das células depende da elasticidade das paredes celulares; células com paredes mais elásticas suportam mais facilmente potenciais de pressão elevados. Contrariamente, baixa elasticidade celular conduz a perdas de pressão, baixando também o potencial hídrico. O potencial de pressão é normalmente estimado pela diferença entre o potencial total e o potencial osmótico.

O défice hídrico causa um decréscimo do potencial de pressão das folhas e um aumento da concentração de solutos.

O teor relativo em água (Relative Water Content - RWC) é segundo Sinclair e Ludlow (1985), outra medida para determinar o estado hídrico da planta. Ao contrário do potencial hídrico foliar ou potencial químico que dá uma informação sobre a energia livre da água na planta, o RWC indica o teor hídrico actual dos tecidos em relação ao teor hídrico correspondente à turgidez máxima. O RWC está relacionado com o ψ . O ψ depende do RWC porque os componentes do ψ (ψ_P e ψ_π) são função do volume de água na célula (Bradford e Hsiao, 1982).

Quando a água circula no xilema, o gradiente do potencial hídrico, desde as raízes até às folhas, cria uma tensão (pressão negativa) na coluna de água. Se os estomas fecham (por calor, vento...) e a solução do solo tem um potencial hídrico elevado, o baixo potencial osmótico (devido à elevada concentração de solutos) das raízes podem causar movimentos desde as raízes para o solo causando pressão positiva nas raízes. No entanto, situações destas raramente ocorrem na natureza.

As relações hídricas das plantas também estão influenciadas pelas taxas de transpiração (Schulze e Hall, 1982, *cit in* Hall e Ziska, 2000). A transpiração é o passo final do processo da passagem da água através das células do mesófilo da folha, desde o solo, através da planta até à atmosfera. Este processo, depara-se com algumas resistências que criam dificuldades à saída de água para o exterior. Segundo Nielsen e Orcutt (1996), nestas resistências incluem-se o tamanho da câmara subestomática, a dimensão do poro estomático e a morfologia do estoma, a espessura da camada superficial e a cutícula hidrofóbica da superfície da folha. Quando as plantas transpiram muito rapidamente desenvolvem a curto prazo, baixos potenciais hídricos (parte aérea), resultando disso a longo prazo, uma diminuição da água na zona radicular.

A condutância estomática é recíproca da resistência e proporcional ao fluxo de vapor de água. O termo condutância é muito representativo na demonstração do efeito causado pela difusão de vapor nas folhas porque é proporcional à fotossíntese.

Segundo Blum (1999), as plantas podem utilizar três mecanismos para manter um estado hídrico favorável:

1. Capacidade de manter elevado o potencial hídrico através da extracção de água de camadas mais profundas;
2. Capacidade de fazer ajustamento osmótico mantendo elevados o RWC e reduzindo o potencial hídrico foliar;
3. Fechar os estomas como resposta à desidratação e/ou a um sinal hormonal produzido nas raízes como resposta ao déficit hídrico.

2.2. LIMITAÇÕES HÍDRICAS NAS PLANTAS

2.2.1. Stresse Ambiental, Limitação Hídrica nas Plantas

O termo stresse pode ser definido, relativamente às plantas, como um conjunto de condições que causam alterações nos processos fisiológicos, resultando eventualmente em danos reversíveis e/ou irreversíveis nas plantas (Nielsen e Orcutt, 1996). Para outros autores (Singh, 1993) stresse é um distúrbio adverso que influencia o crescimento das plantas. Sob determinadas condições esta definição não pode ser usada porque alguns processos fisiológicos são alterados como resposta às características ambientais sem necessariamente exercer um efeito negativo no comportamento da planta. Por outro lado, Nielsen e Orcutt, (1996) também definem stresse como uma pressão exercida pelo ambiente na alteração dos processos fisiológicos do organismo.

Podem também ocorrer modificações fisiológicas em resposta ao stresse ambiental que não resultam necessariamente na redução do crescimento e da reprodução (Levitt, 1982, *cit. in* Nielsen e Orcutt, 1996; Wery, 1999).

Outros autores definem stresse como uma alteração fisiológica que ocorre quando as espécies estão expostas a condições não favoráveis induzindo a uma resposta “alarme” (Larcher, 1980, *cit in* Nielsen e Orcutt, 1996). Estas respostas “alarme”, traduzem-se por reacções defensivas ou adaptativas a diferentes estímulos.

Existe uma grande diversidade de stresses que afectam o processo fisiológico das plantas. Os stresses podem ser classificados em 2 classes (quadro II.2.1): abióticos (físicos, químicos) e bióticos. Atributos físicos do ambiente podem afectar os padrões fisiológicos de modo positivo ou negativo, por exemplo a temperatura aumenta a função das enzimas. Algumas substâncias químicas podem ser agentes de stresse se não forem normais no ambiente (pesticidas, poluição) ou se forem em elevadas concentrações (salinidade). Stresses bióticos conduzem a alterações dos mecanismos e assumem especial interesse nos sistemas de agricultura. No entanto, as plantas são expostas a um conjunto de potenciais limitações ao crescimento em simultâneo, podendo inclusivamente ocorrer reacções de interacção.

Quadro II.2.1 – Lista parcial das fontes de stresse ambiental nas plantas

FÍSICA	QUÍMICA	BIÓTICA
Secura	Poluição atmosférica	Competição
Temperatura	Metais pesados	Alelopatia
Radiação	Pesticidas	Herbívoros
Vento	Toxinas	Fungos patogénicos (doenças)
Encharcamento	pH do solo	Bactérias
Campos magnéticos	Salinidade	Pragas
		Víroses

Fonte: Nielsen e Orcutt, 1996 e Trethowan e Pfeiffer, 1999

Em fisiologia porém, não nos podemos esquecer da importância do conceito de escala espacial e temporal do stresse. Ao longo da história das plantas, a evolução filogenética foi acontecendo como resposta à multitudine dos atributos ambientais, incluindo a diversidade dos stresses bióticos e abióticos.

A influência de um stresse específico no processo fisiológico de uma planta em particular não é sempre igual. Ao longo do ciclo, a planta vai diferenciando sintomas consoante o stresse. Por exemplo, uma planta jovem em fase de emergência quando se encontra ainda próximo da superfície do solo pode ser muito sensível à quantidade de água que existe nas camadas superficiais do solo. Quando começa a crescer, até à maturação, um déficit superficial é indiferente. Um déficit hídrico quando ocorre durante o desenvolvimento final de uma cultura, tem pouco impacto no rendimento; no entanto se o mesmo nível de stresse ocorre mais cedo, nomeadamente no período reprodutivo, pode causar severas perdas de rendimento, como acontece no caso do grão de bico.

A intensidade do stresse não é fácil de quantificar (Wery, 1999). Pode ocorrer stresse a baixos níveis, criando condições marginais e não óptimas, mas com pouco efeito ao nível do rendimento das plantas. No entanto, se este stresse continuar por um período grande, torna-

se um stresse crónico alterando visivelmente a fisiologia das plantas. Porém, em pouco tempo, um déficit agudo ou severo, pode induzir a respostas de “alarme”.

A intensidade do stresse em qualquer ambiente, natural ou agrícola, geralmente varia no tempo e no espaço. Por exemplo, os factores bióticos e/ou abióticos variam no espaço e no tempo do habitat em que as plantas se desenvolvem, havendo muitos efeitos interactivos na fisiologia destas. Por isso, em fisiologia é importante distinguir entre adaptação e aclimatação. A adaptação envolve vários mecanismos ao nível genético na produção de variabilidade nas plantas (novas espécies) ao longo de várias gerações. Os processos envolvidos alteram a frequência dos genes na população ao longo dos anos. Num ambiente pouco favorável, é lícito assumir que genótipos específicos portadores de combinações de genes favoráveis (aqueles que conferem a capacidade para a sobrevivência) são aqueles que dominam a população. Aqueles genótipos com combinações genéticas favoráveis, que sobrevivem nos ambientes menos favoráveis apresentam boa adaptação. Por outro lado, aclimatação é a resposta fenotípica para as diferentes combinações ambientais. A plasticidade fenotípica representa a aclimatação que é possível encontrar para um determinado carácter, tal como a fotossíntese, para fazer face às alterações climáticas que afectam o genótipo.

De todos os stresses atrás referidos, as doenças e a secura são, no caso do grão de bico, os factores que têm recebido mais atenção pelos melhoradores (Saxena, 1993), visto serem os que mais influenciam a produção (fig. II.2.1).

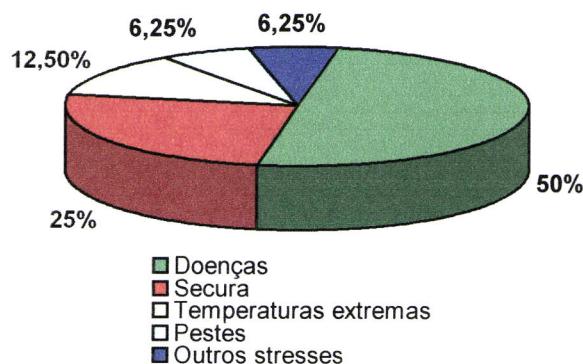


Figura II.2.1 – Importância dada pelos melhoradores para resistência aos stressores.

Estes factores, quer bióticos quer abióticos são sentidos pelas plantas do grão de bico de diferentes modos consoante a região onde a cultura se encontra (quadro II.2.2).

A secura é entre todos os stressores citados, aquele que individualmente causa, nas principais zonas de cultura, maiores quebras de rendimento na cultura do grão de bico. Em sistemas naturais a carência hídrica pode resultar de muitos factores, nomeadamente da baixa precipitação, solos com baixa capacidade de retenção, salinidade excessiva, baixa pressão atmosférica, temperatura do ar e do solo elevadas e ainda da combinação de todos ou alguns destes factores. A disponibilidade hídrica está directamente correlacionada com o rendimento. De facto, o déficit hídrico pode causar 80% de redução no rendimento de uma cultura quando comparado com o rendimento potencial esperado (Boyer, 1982, Sánchez *et al.*, 1998).

Quadro II.2.2 – Importância relativa dos principais factores bióticos e abióticos nas principais regiões de produção do grão de bico. *** - Muito importante; ** - Importante; * - Ocasionalmente importante; 0 - Sem importância; ? - desconhecido

	Sub-Cont Indiana		Mediterrâneo Baixa e Média latitude	Este de África	
	15-25°N	26-35°N		Baixa latitude	Alta latitude
Stresses bióticos					
<i>Ascochyta rabiei</i>	0	***	***	0	0
<i>Fusarium</i> spp.	**	**	*	?	**
<i>Botrytis</i> spp.	0	**	0	0	0
Vírus	*	*	0	0	0
Nematodos	0	*	*	?	?
Lagarta da vagem	**	*	*	*	*
Mineira da folha	0	0	***	0	0
Stresses abióticos					
Secura	***	**	***	***	**
Calor	**	**	**	**	*
Frio	0	*	***	0	*
Acama	*	*	*	0	0

Adaptado de Saxena (1993) e Singh (1993)

A secura é um fenómeno muito complexo que envolve não só falta de água disponível, mas também elevadas taxas de transpiração, quando se verificam temperaturas elevadas, fotooxidação e deficiência de minerais (Humphreys, 2001).

A secura, pode ser *intermitente*, causada por interrupções na precipitação de Inverno, ou *terminal* como resultado da perda total de água durante a Primavera (Saxena *et al.*, 1993). A secura temporária resulta na perda de rendimento em relação ao potencial produtivo esperado em condições hídricas óptimas (Humphreys, 2001).

O grão de bico, como cultura tradicional de Primavera, cresce e desenvolve-se apenas com a água que fica no solo após as chuvas de Inverno, sujeitando-se a stresse ou carência hídrica intermitente, durante o período vegetativo e a secura terminal durante o estádio reprodutivo.

A severidade do stresse terminal depende não apenas da precipitação, mas também da capacidade de retenção de humidade do solo, da taxa de evaporação para a atmosfera (Saxena *et al.*, 1993; Wery, 1999) e da temperatura do ar (Duarte *et al.*, 2001). O stresse terminal é mais quantificável e previsível do que o stresse intermitente devido à baixa probabilidade de ocorrência de precipitação durante o período terminal do crescimento (final da Primavera).

O solo como a primeira fonte de água para as plantas (Nielsen e Orcutt, 1996) é uma fonte muito variável no espaço e no tempo e a disponibilidade da água depende de factores físicos e biológicos (Wery, 1999).

Muitos são os aspectos físicos do solo que afectam a quantidade e a qualidade da água disponível para as plantas. A textura do solo influencia a quantidade de água retida após precipitação. Em solos arenosos com baixa capilaridade ou capacidade de retenção, a água é drenada rapidamente em profundidade, ao contrário dos solos argilosos onde a capacidade de retenção é elevada. Os solos de areia apresentam porém, após precipitação, elevados

potenciais hídricos relativamente aos solos argilosos devido à existência de baixo potencial mátrico naqueles solos com grande porosidade.

A quantidade de água disponível para as plantas também depende da arquitectura do sistema radicular. *Raízes difusas* usam um grande volume de solo próximo da superfície, tal como a água disponível nesta zona; *raízes médias* usam camadas do solo um pouco mais profundas com maior disponibilidade hídrica e, *raízes profundas* normalmente exploram camadas mais profundas de solo, incluindo a toalha freática.

Imediatamente após a precipitação, uma fracção da água fica retida no solo por adsorção perdendo-se as outras fracções por escorrimento e/ou evaporação. A água retida na camada superficial do solo depende da capacidade de absorção, da porosidade do solo e da compactação deste. Assim a quantidade de água acumulada depende da magnitude da proliferação das raízes no volume de solo e da abundância de raízes em competição. A taxa de movimento da água para as raízes depende do potencial hídrico do solo, do potencial osmótico perto das raízes, do potencial hídrico das raízes e da condutância hidráulica do solo (que depende da geometria dos poros e do potencial mátrico).

2.2.2. Efeitos Morfológicos e efeito no Rendimento das Plantas

O crescimento e o desenvolvimento das plantas dependem basicamente da contínua divisão de células, da progressiva formação de tecidos primordiais e órgãos e da diferenciação e crescimento das células, até que sejam atingidas as formas características da planta (Hsiao, 1973). Tanto o crescimento como o desenvolvimento das plantas estão altamente dependentes da intensidade e duração do stresse hídrico, tal como da fenologia das plantas.

Se o stresse ocorre no início do ciclo, normalmente há um maior crescimento do comprimento da raiz, traduzindo-se num aumento da razão raiz/parte aérea (Kramer, 1963). Por outro lado, o déficit durante o período reprodutivo tem pouco efeito nesta razão e na biomassa, mas uma influência no desenvolvimento reprodutor, verificando-se o aborto e redução do número de flores. Se o déficit hídrico ocorre durante a maturação dos frutos as inflorescências desenvolvem-se normalmente tal como a biomassa total da planta, no entanto o tamanho das sementes é afectado, podendo ocorrer abcisão dos frutos (Boyer, 1970 a, b), com redução do rendimento final.

Existem diferenças entre espécies e entre órgãos ao longo do desenvolvimento vegetativo. Por exemplo, alterações do potencial hídrico de base (ao amanhecer) em girassol, de $-0,2$ MPa para $-0,4$ MPa conduzem à paragem da expansão foliar (Boyer, 1970 a), enquanto que no milho é necessário descer para $-0,7$ MPa e em soja para $-1,2$ MPa para haver paragem do crescimento foliar (Acevedo *et al.*, 1979).

A paragem do crescimento celular é provocada pelo decréscimo da turgescência das células e da perda de extensibilidade das paredes e de proteínas específicas (Boyer, 1988). Este fenómeno resulta numa redução do crescimento e na alteração da geometria da folhagem (Begg e Turner, 1976; Boyer, 1988; Ludlow, 1989; Wery *et al.*, 1993) que juntamente com o encurtamento dos entrenós, redução da altura total (Maurer *et al.*, 1968), curvatura do pecíolo e emurchecimento do limbo, diminuem a cobertura foliar reduzindo a intercepção da

radiação pelas plantas (Kramer, 1963; Begg e Turner, 1976; Boyer, 1988; Ludlow, 1989) com consequente redução da actividade fotossintética quer do rendimento.

Em culturas de hábito determinado, como por exemplo o trigo, onde a área foliar é fixada na floração, a produção em condições de sequeiro tem sido inversamente relacionada com a taxa de senescência foliar após a floração, o que por sua vez é influenciado pelo stresse hídrico da planta. Se o stresse se prolongar e se tornar demasiado severo, acentuam-se os efeitos referidos. A senescência das folhas mais velhas e ensombradas torna-se bastante evidente em poucos dias (Boyer e McPherson, 1975; Ludlow, 1989) e se o stresse continuar, a senescência avança sequencialmente para as folhas mais jovens terminando com a sua total abscisão. A rápida desidratação pode conduzir à morte de muitas folhas da planta enquanto que a progressiva imposição do stresse resulta normalmente num gradiente de senescência no sentido das folhas mais jovens.

Nas folhas de plantas sob stresse hídrico podem aparecer pêlos e podem-se observar movimentos diaheliotrópicos e paraheliotrópicos, por alteração das células motoras distribuídas longitudinalmente em linhas desde a epiderme ao centro da folha, enrolando-se fortemente. Tomam uma forma vertical, dobram e murcham (Davies e Pereira, 1992).

Limitações hídricas resultantes da interacção entre a planta e a atmosfera podem ocorrer mesmo em condições de precipitação adequada para o bom crescimento das plantas, no entanto, em muitas culturas é comum ocorrer emurcheçimento ao meio dia devido a condições de excesso de luminosidade e temperatura, relativamente aos valores normais da época (por ex. algumas Primaveras em que decorreu o nosso trabalho, 1994, 1995 e 1996).

2.2.3. Efeitos Fisiológicos nas Plantas

A sazonalidade da precipitação é um factor crítico que regula as respostas das plantas ao déficit hídrico. O clima Mediterrânico é caracterizado por ter um Inverno húmido e um Verão extenso e quente (ver Capítulo II). Assim, quando a temperatura está abaixo do óptimo de crescimento a água está disponível, e quando as temperaturas são ideais para o crescimento existe carência hídrica. Situações destas conduzem a alterações dos processos fisiológicos das plantas.

Quando se pretende melhorar plantas baseando-nos em características fisiológicas, o principal objectivo é a obtenção de genótipos que explorem melhor as condições ambientais para onde se destinam (adaptação).

- Efeito na fotossíntese e na respiração

Quando as plantas entram em stresse hídrico, a quantidade de CO₂ absorvido pelas folhas decresce. A principal causa do decréscimo da fotossíntese em stresse moderado é o encerramento dos estomas (Chaves, 1991). Este facto é apoiado pela observação do aumento da absorção do CO₂ pelas folhas logo após rehidratação das plantas (Cornic, 2000), o que sugere que o mecanismo básico da bioquímica fotossintética não foi afectado pela falta de água.

O fecho dos estomas ao meio dia ocorre muitas vezes em espécies que crescem em climas com déficit de pressão de vapor elevado. Durante o meio dia a condutância estomática decresce, reduzindo a transpiração. À tarde, quando o déficit de pressão de vapor decresce (devido ao decréscimo da temperatura) a condutância estomática aumenta outra vez. Este padrão diário é também acentuado durante os períodos de baixa disponibilidade hídrica (Nielsen e Muller, 1981) e temperatura elevada (Roessler e Monson, 1985). O fecho estomático do meio dia pode ser um resultado directo de boa regulação estomática das plantas. O fecho dos estomas reduz a transpiração como resposta ao decréscimo de humidade do solo. Neste caso, quando as raízes secam emitem um sinal às células guarda, que induz o fecho estomático (Bates e Hall, 1981). Este sinal é provavelmente ácido abcísico (ABA) (Davies e Zhang, 1991; Rashke, 1975; Collatz *et al.*, 1991). O fecho estomático é também uma resposta ao aumento do gradiente do déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar e não apenas devido ao decréscimo do potencial hídrico (Turner *et al.*, 1984). Quando o stresse é prolongado pode ocorrer uma inibição não estomática da fotossíntese (Chaves *et al.*, 2003).

O fecho dos estomas induzido pela limitação hídrica provoca redução da concentração de dióxido de carbono nos espaços intracelulares, o que é um motivo da inibição da fotossíntese. A fotorrespiração é então estimulada. Se a intensidade luminosa é elevada pode ocorrer fotoinibição (Björkman *et al.*, 1981 *cit in* Nielsen e Orcutt, 1996), resultando na formação de radicais livres de oxigénio no cloroplasto. Com o déficit hídrico a fotossíntese normalmente decresce antes da respiração mitocondrial da folhas. No entanto, esta pode ser estimulada em situações de stresse moderado como consequência da mobilização do amido.

Os mecanismos que inibem directamente a fotossíntese devido a um déficit hídrico são controversos. Por exemplo, a redução da turgescência celular pode aumentar a permeabilidade da parede dos cloroplastos o que resulta na alteração do pH dos mesmos e da concentração de iões. Estas alterações afectam secundariamente a actividade da RuBisCO¹.

- Efeitos no metabolismo dos hidratos de carbono

Normalmente a concentração de açúcares tende a aumentar nos tecidos de algumas plantas com a falta de água porque existe mobilização de amido acumulado nos cloroplastos. Os açúcares derivados da mobilização do amido são usados em muitos processos fisiológicos (Sharkey, 1985).

A translocação de hidratos de carbono também diminui com o déficit hídrico durante o dia mas pode aumentar relativamente nas plantas com boa hidratação durante a noite (Bunce, 1982). A causa desta redução da translocação dos assimilados é a alteração das relações “source-sink” durante o stresse hídrico. A diminuição da assimilação de CO₂ pelas folhas e o aumento da respiração nas células do mesófilo faz decrescer o gradiente de sacarose entre as folhas (“source”) e os locais de consumo ou armazenagem (“sinks”). Esta redução de gradiente entre a source e sink causa a redução do fluxo de hidratos de carbono no floema.

¹ RuBisCO é a enzima mais abundante do mundo – ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase – é o primeiro receptor de CO₂ das plantas verdes.

2.2.4. Análise do Comportamento das Plantas – Resistência ao Stresse

Muitas espécies reduzem a fotossíntese severamente quando o potencial hídrico ao meio dia solar é aproximadamente igual a -2MPa enquanto noutras espécies este processo não é afectado (Hsiao, 1973). As actividades fisiológicas mais sensíveis são a expansão celular, a síntese das paredes celulares, a síntese das proteínas, a formação da protoclorofila e a actividade da nitrato redutase (fig. II.2.2).

Frequentemente um decréscimo de apenas 0,1 MPa no potencial hídrico pode causar o decréscimo da taxa de expansão da célula que resulta numa redução do tamanho dos ramos ou da raiz da planta. Igualmente os vários componentes do potencial hídrico, nomeadamente o potencial osmótico, decrescem rapidamente, em algumas espécies. Deste modo, o potencial osmótico pode ser indicador do stresse hídrico nas plantas que realizam ajustamento osmótico (Hsiao, 1973, Hanson e Hitz, 1982).

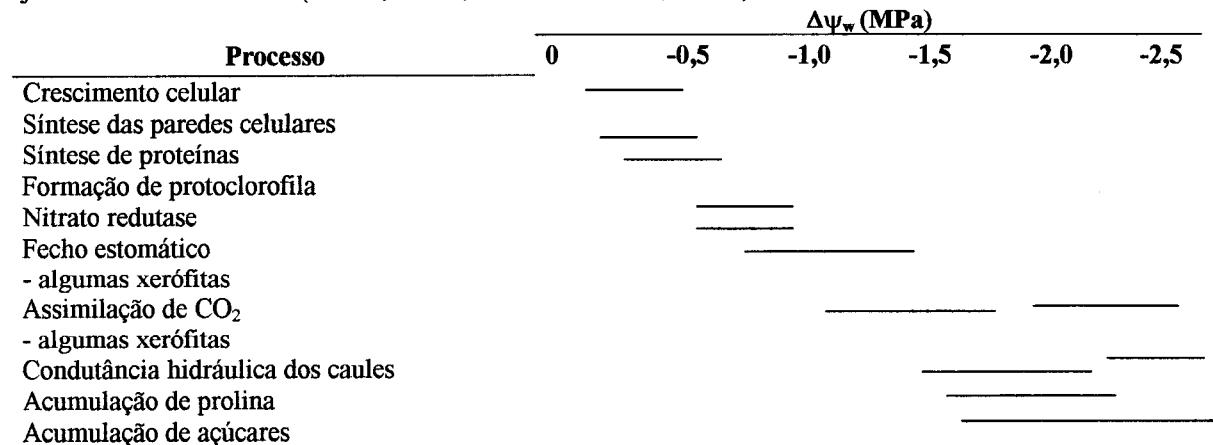


Figura II.2.2 – Lista da sensibilidade dos principais processos fisiológicos ao déficit hídrico. As limitações hídricas são definidas como uma alteração do potencial hídrico dos tecidos (adaptado de Hsiao, 1973).

A resistência à secura é o maior factor da estabilidade do comportamento de uma cultura quando esta se desenvolve em ambientes secos (Cubero, 2003) e do ponto de vista prático do melhoramento de plantas, resistência à secura pode ser definida como sendo a habilidade de uma variedade produzir rendimentos mais elevados que outra em condições de limitação hídrica (Quinsenberry, 1982 *cit in* Saxena *et al.*, 1993).

Pode dizer-se no entanto, que existe uma ausência de protocolos para avaliar a resistência à secura (Blum, 1999 e Richards, *et al.*, 1999). Assim, enquanto se dispõe de métodos ajustados à avaliação das relações hídricas da planta por um lado e, das funções fisiológicas por outro, não existe um sistema comprehensivo para medir de forma precisa a resistência. Isto principalmente porque a resistência à secura e o seu impacto na produção final em condições de stresse envolve interacções entre relações hídricas das plantas e diversas funções fisiológicas (Richards *et al.*, 1999).

Os mecanismos que as plantas desenvolvem para compensar as limitações hídricas são muito variáveis. Normalmente estes mecanismos estão divididos em categorias que podem ser resumidas em:

A. Escapar à secura através da aceleração do desenvolvimento fenológico; as plantas completam o ciclo antes de haver limitação hídrica. O desenvolvimento rápido é comum nas espécies anuais da região Mediterrânea, onde a precipitação é baixa e se concentra no Inverno. Genótipos de diferentes espécies de leguminosas para grão que apresentem elevados rendimentos em intervalos curtos do período reprodutivo, com floração e ciclo antecipado de modo a produzirem mais vagens e grãos antes do stresse hídrico terminal, são considerados genótipos tolerantes à secura (Siddique *et al.*, 2001).

Algumas espécies com órgãos perenes subterrâneos podem escapar a longos períodos sem chuva, uma vez que possuem uma grande reserva hídrica nesses órgãos. Normalmente produzem apenas duas folhas, a floração inicia-se rapidamente e o período reprodutivo é muito curto (Blum, 1999).

Espécies perenes do Mediterrâneo onde o stresse é temporário, desenvolvem folhas durante os meses de Inverno quando a disponibilidade hídrica é relativamente alta. Nestas plantas o potencial hídrico, durante a madrugada, decresce no final da Primavera e Verão (devido à combinação do aumento da evaporação e da baixa precipitação) e as folhas começam a cair (Siddique *et al.*, 2001). Durante o período de stresse temporário as plantas ficam em dormência (Nielsen e Muller, 1982);

A redução do potencial hídrico da madrugada e do meio dia solar e o fecho estomático com decréscimo da condutância estomática, são os processos iniciais do desencadeamento da resposta às condições ambientais, seguidos da aceleração do desenvolvimento das plantas. Estes processos podem ser tomados como uma fuga ao stresse final e permitem pôr em evidência duas fases sucessivas da resposta das plantas a condições ambientais mais severas:

- Redução do período reprodutivo;
- Redução do número de sementes / redução da produção unitária.

B. Tolerar reduzidas disponibilidades hídricas com baixo potencial hídrico (Turner, 1986; Levitt, 1980 *cit in* Saxena *et al.*, 1993), que engloba duas componentes: evitar a desidratação que envolve a manutenção da turgescência dos tecidos pela manutenção da absorção de água ou pela redução das perdas hídricas; e tolerância à desidratação que se refere à tolerância protoplasmica da desidratação.

A tolerância relaciona-se com o movimento de solutos no interior da planta e a estabilidade das membranas celulares. Os mecanismos usados pelas diferentes espécies para continuar o metabolismo sob condições de potencial hídrico baixo é diferente daquele que as plantas desenvolvem quando mantêm elevado o potencial hídrico durante o stresse. Frequentemente as espécies utilizam uma combinação de mecanismos para decrescer moderadamente o potencial hídrico dos tecidos e manter a actividade metabólica a baixos potenciais hídricos. Com esta capacidade muitas plantas toleram baixas disponibilidades hídricas, reduzindo os processos metabólicos durante longos períodos de limitação hídrica (Blum, 1999).

- **Ajustamento osmótico** - Quando o potencial hídrico decresce, pode ser vantajosa uma alteração do potencial osmótico para manter a pressão de turgescência (Sánchez *et al.*, 1998).

A concentração osmótica pode também aumentar durante o esgotamento de água do solo. Por exemplo, em ervilhas, a concentração de carbohidratos aumenta (de 1,5 para 7 vezes) quando as plantas são sujeitas a déficit. A estimulação do nível de açúcar induzido pelo stresse é um indicador do ajustamento osmótico (Morgan *et al.*, 1991). Por outro lado, a concentração de solutos pode aumentar nos tecidos devido ao efeito de temperaturas muito baixas, actuando como uma protecção ao gelo.

Existem vários solutos responsáveis pelo ajustamento osmótico. Os mais comuns são o potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e o sódio (Na^+). Estes iões encontram-se isolados nos vacúolos uma vez que a elevada concentração de iões no citoplasma pode tornar-se tóxica.

A perda de água dos tecidos pode conduzir a um aumento do potencial osmótico, mas isto não é ajustamento osmótico. O verdadeiro ajustamento osmótico é considerado quando o número total de moles de solutos por célula aumenta. Isto pode ser observado no resultado da curva pressão-volume quando o potencial osmótico na plena hidratação diminui, mantendo-se o volume do simplasto (Sánchez *et al.*, 1998).

O ajustamento osmótico também pode ocorrer devido a alterações dos teores hídricos no simplasto e apoplasto. Desde que o simplasto contenha a maior parte dos solutos, o decréscimo do volume simplástico relativamente ao apoplasto causa aumento na concentração osmótica. Este tipo predomina nos sistemas em crescimento, isto é, onde continua o crescimento independente da deficiência hídrica.

Um outro tipo de ajustamento osmótico ocorre quando há decréscimo no potencial osmótico e no volume do simplasto. Este tipo permite a manutenção do potencial de pressão mesmo com o decréscimo do potencial hídrico.

O potencial osmótico varia em função dos tecidos e da escala temporal. Durante a expansão celular, o potencial osmótico normalmente decresce, o que torna possível manter o fluxo hídrico para assegurar a turgescência, provocando um aumento de solutos em todos os tecidos, durante a expansão celular (Morgan, 1984).

Também é possível que ocorram alterações sazonais no potencial osmótico durante pequenas variações da disponibilidade hídrica (Dileanis e Groeneveld, 1989).

O ajustamento osmótico é um mecanismo para manter a pressão de turgescência durante stressos hídricos moderados. A manutenção desta pressão permite que os estomas se mantenham abertos à difusão de CO_2 a baixos potenciais hídricos, o que não poderia ocorrer na ausência de ajustamento osmótico. No entanto, se a falta de água ocorrer durante períodos mais longos o ajustamento osmótico não é eficaz para combater os efeitos negativos da limitação hídrica.

- Elasticidade dos tecidos - O potencial hídrico decresce rapidamente com o aumento do déficit. Primeiramente é devido à perda de turgescência; a taxa com que a pressão de turgescência aumenta ou diminui é devida à elasticidade dos tecidos. A variação do módulo de elasticidade, pode também ser considerada um mecanismo de tolerância ao stresse. Em

situações de déficit severo, esta decresce conduzindo a uma manutenção da turgescência porque também diminui o potencial osmótico.

O decréscimo da elasticidade dos tecidos resulta no aumento da turgescência em qualquer déficit hídrico comparado com valores altos de módulo de elasticidade.

A vantagem deste módulo se ajustar, é a manutenção da turgescência elevada em tecidos onde a quantidade de água é baixa. Em contraste, o aumento do módulo de elasticidade pode ser responsável pela minimização das alterações das quantidades de água nos tecidos durante o déficit hídrico.

Quando o módulo de elasticidade é grande, a elasticidade é baixa, resultando num rápido decréscimo da pressão de turgescência quando o déficit aumenta, o que está associado com as pequenas alterações na quantidade de água dos tecidos. Por outro lado, o aumento do módulo de elasticidade estabiliza a quantidade de água nos tecidos e logo o potencial de pressão. Quando o módulo de elasticidade é muito grande, conduz a um rápido decréscimo do potencial osmótico com o aumento do déficit. Este é um mecanismo que serve para manter a grande diferença entre o potencial hídrico do solo e dos tecidos permitindo a absorção de água do solo para a planta.

- **Tolerância à dessecação ou desidratação** - Apenas algumas espécies apresentam esta particularidade (as que apresentam um pequeno sistema vascular). Estas espécies apresentam pouco ou quase nenhum plasmodesma, com o citoplasma muito concentrado e grandes espaços intracelulares, o que lhe confere tolerância à dessecação das paredes celulares.

C. Tolerância à secura com potencial hídrico elevado, através da redução das perdas hídricas e do aumento da acumulação de água nas plantas. Este mecanismo pode ocorrer ao nível das folhas, caules e raízes. Espécies que desenvolvam este mecanismo não fazem ajustamento osmótico ou alterações na elasticidade das paredes celulares para tolerar a secura.

- **Redução das perdas hídricas** - É a capacidade da planta reduzir as perdas hídricas pela canópia, devido a alterações da condutância foliar.

A condutância foliar decresce linearmente com o aumento do déficit da pressão de vapor entre a folha e o ar. A transpiração porém, pode aumentar (Turner *et al.*, 1984) conduzindo a um aumento de perdas hídricas se a condutância estomática não decrescer. Este decréscimo por sua vez modera o impacto do déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar no potencial hídrico foliar.

A eficiência do uso de água (WUE – Water Use Efficiency) é também um importante aspecto na adaptação das plantas à secura. O aumento da eficiência do uso de água indica que mais carbono pode ser acumulado pelas plantas mesmo em situações de carência hídrica (Saxena, 1993).

A WUE exprime a razão entre a quantidade de matéria seca produzida e a água transpirada. Estudos de WUE não são fáceis de realizar em condições de campo devido às constantes alterações atmosféricas que rodeiam as folhas. Assim é muito difícil uma medida de WUE na planta. Mesmo em vasos estes estudos são muito trabalhosos. No entanto, a ordenação de genótipos ou espécies, relativamente à WUE, é conseguido com mais rigor pela utilização do método da discriminação isotópica do carbono. Estudos recentes têm demonstrado que a WUE está positivamente associada ao aumento do peso das plantas de trigo mole. Genótipos com uma grande eficiência do uso de água produzem mais biomassa quer em condições hídricas óptimas quer em condições de secura (Bahman *et al.*, 1993 *cit in.* Nielsen e Orcutt, 1996). No entanto, Acevedo (1993 *cit in.* Nielsen e Orcutt, 1996) mostrou um decréscimo na produções de grão em cevada acompanhado de um aumento de WUE.

A relação entre WUE e a produção é complexa e varia muito de espécie para espécie consoante os ambientes. Assim, conduzir o melhoramento simplesmente por alta WUE das culturas poderá não ser traduzido num aumento de produção em locais de reduzida disponibilidade de água.

- Aumento da captação de água - Algumas espécies podem manter elevado o potencial hídrico utilizando grandes proporções de água do solo. As raízes aprofundam explorando camadas mais profundas do solo (ex. *Phreatophytes*) que não estão disponíveis a outras espécies em sequeiro. A elevação hidráulica pode ocorrer de noite quando as raízes em profundidade estão saturadas, para as raízes da superfície na região de solo seco. Outras características morfológicas do sistema radicular são também importantes para a absorção de água do solo.

Em sistemas que se baseiam na água armazenada do solo, a maior parte dos ganhos na produção e estabilidade de produção parecem estar ligados ao ajustamento da duração do ciclo vegetativo da cultura ao limite de água disponível no solo, na estação de crescimento, explorando as características que promovem o escape.

Se uma espécie sofre de déficit temporário, um mecanismo ou uma combinação destes serão desenvolvidos para compensar a carência hídrica. Normalmente o ambiente seco está associado a elevada temperatura, luz ou salinidade, tornando-se muito difícil separar fisiologicamente e estruturalmente as respostas que as plantas desenvolvem para um stresse particular.

3. O GRÃO DE BICO

3.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de agricultura das áreas de clima Mediterrânico em Portugal contemplam basicamente duas vertentes que se complementam: produção vegetal dominada pela cultura de cereais, muitas vezes em regime de monocultura, e produção animal em regime extensivo.

Actualmente, o problema que enfrentamos com o desenvolvimento da BSE, e a proibição do uso de farinhas de carne, sangue e peixe nas rações para animais, conduz a uma procura incondicional de proteína vegetal e portanto de leguminosas.

Desde há quinze anos que se têm vindo a realizar na Estação Zootécnica Nacional (EZN) estudos de qualidade que nos indicam o valor de utilização do grão de bico quando utilizados em rações para diferentes espécies animais. O grão de bico com valores médios de proteína bruta de 21% (variável entre 17,2% e 25%), 67% de hidratos de carbono totais, dos quais 47% de amido; 6% de gordura e 4,6% de fibra, torna-se um produto com elevado interesse alimentar (Stallknecht *et al.*, 2000). Atendendo ainda que é praticamente isento de taninos e oligossacáridos inibidores da tripsina, pode ser utilizado directamente, sem qualquer tratamento prévio que não seja moenda (Tavares-de-Sousa *et al.*, 1996). Torna-se ainda bastante promissor na substituição do bagaço de soja em alimentos compostos para animais por apresentar um valor proteico e energético elevado (Salgado *et al.*, 2000).

A implementação de rotações de cereais com leguminosas de alto teor de proteína é potencialmente uma das melhores soluções para fazer face a uma deficiente nutrição proteíco-calórica, particularmente nos países em desenvolvimento (Saxena, 1993). De igual modo, nos países desenvolvidos a produção de proteína vegetal assume importância fundamental, já que a produção massiva de carne e leite se faz em grande parte com base em alimentos concentrados, em que a proteína vegetal é componente essencial.

3.2. ORIGEM E HISTÓRIA

O grão de bico foi uma das primeiras leguminosas para grão a ser domesticada no Velho Mundo (Europa, Ásia e África) e segundo De Candolle (1882), (*cit in.* Van der Maesen, 1972), baseado na filologia dos nomes que haviam sido atribuídos à cultura e em dados botânicos e históricos, a região de origem situa-se entre a Grécia e os Himalaias, a sul do Cáucaso e a norte da Etiópia. Vavilov (1926) (*cit in.* Van der Maesen, 1972) indicou como centros de diversidade principais, o Sudoeste Asiático (subdividido nos centros da Índia, da Ásia Central e do Próximo Oriente (Vavilov, 1926 *cit in.* Zohary, 1970 e Vavilov, 1997)) e o Mediterrânico. Considerou ainda um centro de diversidade secundário na Etiópia (Centro Abissínico).

O grão de bico pertence à ordem Rosales, família *Fabaceae* (International Code of Botanical Nomenclature – St. Luis Code, 1999), sub-família *Lotoideae* (primeiramente classificada na tribo *Vicieae* e actualmente na tribo *Ciceraceae* Alef. Kupicha), género *Cicer* L. e espécie *Cicer arietinum* L. (Van der Maesen, 1972, 1987).

O nome da espécie, bem como do género, ao qual pertence o grão de bico foi-lhe originariamente atribuído por Lineu, no livro *Species Plantarum*, em 1753 e assim se manteve até à data.

As mais completas descrições do género *Cicer* L. foram realizadas por Popov em 1929 (Van der Maesen, 1972) e por Van der Maesen em 1972. Este último elaborou uma monografia exaustiva que incluiu a descrição de oito espécies selvagens (*C. bijugum* K. H. Rech., *C. echinospermum* P. H. Davis, *C. reticulatum* Lad., *C. chorossanicum* (Bge) M. Pop., *C. cuneatum* Hoechst. Ex Rich, *C. Judaicum* Boiss., *C. pinnatifidum* Jaub. & sp. e *C. yamashitae* Kitamura) e 31 espécies vivazes, sendo hoje em dia conhecidas 44 espécies do género *Cicer*.

Van der Maesen em 1987, baseando-se no facto das três espécies do género *Cicer* L. mais próximas do grão de bico – *C. bijugum* K. H. Rech., *C. echinospermum* P. H. Davis e *C. reticulatum* Lad. – serem endémicas da região que constitui actualmente o sudeste da Turquia, Norte da Síria e o Cáucaso, afirmou ser essa a sua provável região de origem, opinião que actualmente prevalece (Robertson *et al.*, 1995).

C. bijugum K. H. Rech., *C. echinospermum* P. H. Davis e *C. reticulatum* Lad. terão atraído os primeiros recolectores, vindo a ser posteriormente domesticados. A cultura evoluiu através da selecção artificial, favorecendo os grãos grandes e de sabor agradável, com reduzida deiscência das vagens, ausência de dormência, maturação simultânea, precocidade e diversidade de formas (Van der Maesen, 1987).

Estas espécies são híbridos férteis, diploides com $2n=16$ e que provavelmente indicam ser ancestrais que deram origem ao grão de bico. Os híbridos de *Cicer arietinum* quando cruzados com o *Cicer echinospermum*, são viáveis, mas em muitos casos inférteis.

Estudos citológicos detalhados, revelaram elevada homologia entre *C. arietinum*, *C. reticulatum* e *C. echinospermum*, enquanto *C. bijugum* estava mais distante. Trabalhos recentemente realizados no International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA), em colaboração com a Universidade de Frankfurt, revelaram a proximidade taxonómica do *C. reticulatum* e *C. echinospermum* com o *C. arietinum*, após terem sido desenvolvidos marcadores de *locus* específicos em microsatélites do genoma do grão de bico (Udupa *et al.*, 1996, Winter, 2002). Singh e Ocampo (1997) realizaram cruzamentos artificiais entre *C. arietinum* e *C. reticulatum* e *C. echinospermum*, durante o período de 1993 e 1995 e seleccionaram 9 linhas em F_7 , sendo 39% superiores aos progenitores, em comportamento e aspectos qualitativos (tipo, cor, tamanho, forma, peso e textura da epiderme da semente, conteúdo em proteína, tempo de cozedura e testes organolépticos). Após dois anos, mais 12 linhas revelaram o mesmo comportamento em relação aos progenitores.

A dispersão geográfica do grão de bico terá ocorrido, inicialmente a Ocidente em direcção à região Mediterrânica, e a Oriente em direcção à Índia por acção dos povos Arianos Ocidentais (De Candole, 1882, *cit in.* Van der Maesen, 1972). Posteriormente os gregos, fenícios e romanos terão contribuído para a difusão da cultura na região Mediterrânica (incluindo o Norte de África e Sul da Europa). Na Índia, actualmente o maior produtor

mundial de grão de bico, a cultura terá sido introduzida por via continental, a Norte, e por via marítima a Sul (Van der Maesen, 1972). Os portugueses e os espanhóis introduziram a cultura na América, onde actualmente o México é um importante produtor (Van der Maesen, 1972), seguido-se Canadá, Chile, Argentina e Peru (FAO, 2000). A Austrália, onde mais recentemente foi introduzido, a partir dos anos setenta (Corbin, 1976; Knights, 1980), ocupa actualmente o sexto lugar entre os maiores produtores a nível mundial (FAO, 2000).

Esta dispersão geográfica conduziu à variação intra-específica do grão de bico e Van der Maesen (1972) subdividiu a espécie *C. arietinum* em quatro raças: *orientale*, *asiaticum*, *mediterraneum* e *eurasiaticum*. No entanto, a classificação adoptada pelos melhoradores desta espécie, consiste numa divisão menos rigorosa, mas mais prática, em apenas dois grandes grupos (Hawtin *et al.*, 1978; Summerfield e Roberts, 1985) e que correspondem aproximadamente às duas raças propostas por Moreno e Cubero em 1978:

- a) *Macrosperma* – genótipos produtores de sementes grandes (mais de 35 g por 100 sementes) de forma mais ou menos irregular, rugosas e de cor creme pálido em que as vagens contêm habitualmente uma a duas sementes. As plantas são relativamente altas, com flores brancas, sem pigmentação antocianínica e com folíolos grandes (10 a 20 mm de comprimento). Estas formas são características da região Mediterrânea, Próximo Oriente, América Central e do Sul e em pequena escala na Califórnia, no México e no Subcontinente Indiano, onde são conhecidas como tipo “Kabuli”. Estima-se que este tipo constitua 10 a 15% da produção mundial total de grão de bico (Singh *et al.*, 1985 cit. in Singh, 1987);
- b) *Microsperma* – genótipos produtores de sementes relativamente pequenas (menos de 34 g por 100 sementes) de forma irregular e várias cores compreendidas entre verde, castanhos e preto. As vagens contêm habitualmente duas a três sementes. As plantas são relativamente baixas, por vezes prostradas, com folíolos pequenos (6 a 9 mm de comprimento) e frequentemente com pigmentação antocianínica nas flores e nos caules (as flores têm cor violeta arroxeadas). Estas formas que constituem cerca de 85% da produção mundial (Singh *et al.*, 1985 cit. in Singh, 1987), são vulgares no Médio Oriente, Etiópia, partes do Irão e do Afeganistão e no Subcontinente Indiano onde são conhecidas como tipos “Desi”, que significa autóctone (Van der Maesen, 1987).

A existência destes dois grandes grupos foi confirmada por Cubero em 2003 através de estudos biométricos que revelaram uma distribuição fenotípica bimodal, relativamente a vários caracteres.

Admite-se porém, a existência de um terceiro tipo de grão de bico, devido a certas formas de plantas e sementes não se enquadrarem nos tipos definidos, criando-se um grupo intermédio ou “Goulabi”, com sementes de tamanho médio a pequeno, lisas e coloração creme (Singh, 1987). Este tipo é pouco frequente em campos de agricultores.

O facto dos dois grandes grupos se terem disseminado em sentidos opostos, afastando-se por milhares de anos, é provável que alguma divergência genética se tenha estabelecido entre ambos. Os cruzamentos entre “Desi” e “Kabuli” podem introduzir genes exóticos aos genótipos adaptados localmente e dessa forma melhorar os rendimentos (Summerfield e Roberts, 1985).

3.3. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA ESPÉCIE *Cicer arietinum* L.

O grão de bico, espécie do género *Cicer* L., é uma planta xerófita anual, arbustiforme raramente crescendo acima de um metro (Cubero, 1987).

O seu carácter xerofítico está presente na pubescência glandular dos caules, folhas, cálices e vagens, bem como na raiz principal aprumada atingindo dois centímetros ou mais de diâmetro (Van der Maesen, 1972). As raízes são robustas e longas, ricas em amido no tecido parenquimatoso. As raízes mais profundas podem desempenhar um papel importante contra a erosão do solo (Van der Maesen, 1972).

As plantas de grão de bico normalmente com hábito erecto, podem apresentar diferentes tipos, consoante o número e tipo de ramos: os tipos em forma de árvore, em forma de arbusto e os prostrados. Estes últimos são os que produzem rendimentos inferiores, geralmente com sementes de grande calibre ($>50\text{g}/100\text{ sementes}$).

Os caules são ramificados, flexuosos ou direitos, lisos ou francamente costados, erectos, semi-erectos ou prostrados, com 20 a 75 cm de comprimento (Van der Maesen, 1972) desenvolvendo folhas desde a base. São formados por unidades elementares (fitómeros) sucessivos produzidos no meristema apical (Lecoeur *et al.*, 1995). Cada fitómero é formado por um entrenó, uma folha e um botão (gema) axilar que pode envolver um novo caule ou uma inflorescência (no caso de já ter havido indução floral). Os fitómeros são os estádios-chave do desenvolvimento e podem ser usados para identificar o período de estabelecimento da área foliar, da produção de grão e a média do peso da semente (Ney e Wery, 1998). O número total de fitómeros do caule está directamente correlacionado com a temperatura ambiente (Ney e Turc, 1993; Guilioni, comunicação pessoal).

As folhas são compostas, pseudo-imparipinuladas (o folíolo final não se encontra numa verdadeira posição terminal e possui uma nervura central em posição obliqua relativamente ao raquis), com 10 a 15 folíolos de margem arredondada ou acuminada e dimensões entre oito e 17 mm de comprimento e cinco a 14 mm de largura (Cubero, 2003). O raquis mede entre três a sete centímetros. Os folíolos podem ser obovados a elípticos e de acordo com as alterações ambientais podem curvar-se para cima ou abrir-se em extensão. Este fenómeno surge como um mecanismo de adaptação à secura (Duarte-Maçãs, 1994). Segundo Muehlbauer e Singh (1987) a inserção das folhas nos ramos normalmente é alterna e a inserção dos folíolos nas folhas é oposta ou sub-oposta. A duração do desenvolvimento das folhas é a mesma para todos os fitómeros do caule (Turc e Lecoeur, 1997).

As estípulas são pequenas e podem ser semioviformes com uma margem longa e dentada ou inteiras (Cubero, 1987).

As flores são papilionáceas e geralmente solitárias, podem aparecer muito raramente agrupadas em cachos de duas flores. O cálice é sub-regular ou dorsalmente giboso na base (Van der Maesen, 1972). A corola é branca com nervuras cor de rosa, violeta ou azuis, de comprimento variável entre quatro a 30 mm (Cubero, 2003). A corola é formada por cinco pétalas: uma superior (estandarte) duas laterais (asas) e duas inferiores parcialmente unidas (quilha) (Van der Maesen, 1972). O estandarte é geralmente obovado, por vezes com o exterior pubescente (Van der Maesen, 1972). As asas são soltas da quilha, de obovado a

oblongas, pediceladas, com aurículas de tamanho igual ou metade do pedicelo. A quilha é romboidal, pedicelada com a margem ventral um pouco adenada e as margens dorsais parcialmente aderentes (Van der Maesen, 1972). Os estames são diadelfos (9+1). Os estilete é filiforme, glabro, excepto junto ao ovário, e curvado para cima no tubo estaminal (Van der Maesen, 1972). O estigma raramente apresenta diâmetro maior que o estilete, sendo ligeiramente maior após a polinização (Van der Maesen, 1972). O ovário é ovado ou alongado com dois a quatro óvulos (Van der Maesen, 1972).

As vagens são infladas, elípticas, obovadas ou alongado-rombóidais e acuminadas. Podem ter três centímetros de comprimento e conter uma a três sementes (Van der Maesen, 1972).

As sementes são ovado-globulares ou angulosas, com um bico característico (Van der Maesen, 1972). A superfície pode ser lisa ou enrugada, apresentando várias tonalidades entre branco, bege, laranja-amarelado, verde, diferentes tons de castanho, cinzento e preto (Van der Maesen, 1972). As dimensões variam entre quatro e 11 mm de comprimento e quatro a oito milímetros de largura (Van der Maesen, 1972). O hilo é acinzentado e com margem colorida. O tegumento é incolor, branco ou creme, amarelo-alaranjado, castanho, preto ou verde escuro (Van der Maesen, 1972).

A duração do desenvolvimento das sementes decresce desde o primeiro fitómero reprodutivo até ao último (Ney e Turc, 1993).

A germinação das sementes é hipógea (Cubero, 1987).

3.4. TÉCNICAS CULTURAIS

3.4.1. Inoculação

O grão de bico como legume, não precisa de ser inoculado antes da sementeira se já havia sido anteriormente cultivado no campo a que se destina. No entanto, aplicações de *Bradyrhizobium*, bactéria do género *Rhizobium* específica para as espécies *Cicer*, aumentam efectivamente a nodulação e a fixação de azoto (Stallknecht *et al.*, 2000). Esta bactéria infecta os pêlos radiculares das plântulas causando entumescimentos na raiz que se denominam por nódulos. O *Rhizobium* existente no nódulo, utiliza a planta como fonte de energia mas fornece-lhe o azoto que fixa da atmosfera. Esta capacidade da bactéria fixar azoto, cedendo-o à planta, permite-lhe satisfazer as suas necessidades neste nutriente quando o seu fornecimento através do solo é limitado. Esta associação de benefício mútuo é designada por simbiose.

A inoculação é efectuada com suspensão de esporos na forma líquida ou em pó, nas sementes, imediatamente antes da sementeira, ou granular quando se aplica directamente no solo.

A bactéria persiste no solo junto às raízes das plântulas, durante duas ou três semanas e tolera ambientes rigorosos, no entanto o calor e condições de secura ou encharcamento após sementeira podem conduzir à morte de muitas bactérias de *Rhizobium*.

Quando a sementeira se realiza em seco, é aconselhável a aplicação do inóculo na forma granulada (Stallknecht *et al.*, 2000).

3.4.2. Fertilização

A necessidade em fertilizantes que esta cultura requer não é ainda muito bem conhecida uma vez que não têm sido efectuados muitos estudos nesta área. No entanto, uma adubação à base de fósforo, potássio e outros macronutrientes é sempre recomendada à semelhança de outras leguminosas que se cultivam na região Mediterrânica.

Como cultura leguminosa, e como referido anteriormente, usa o azoto atmosférico fixado pelo *Rhizobium*, não necessita de adubação azotada. Porém, quando nunca se efectuou a sementeira desta espécie no campo em que se pretende semejar, dever-se-á recorrer a uma adubação de fundo à base de um adubo composto com azoto, fósforo e potássio. As adubações dependem da análise de solo realizada no local. Solos do tipo A, B ou C normalmente de maior potencial produtivo, requerem uma adubação superior em relação aos tipos D e E.

3.4.3. Aplicação de Herbicidas

Em sementeira de Outono/Inverno o grão de bico não é muito competitivo com as infestantes, por isso, a quantidade e o tipo de ervas que existem no solo merecem especial atenção antes da sementeira. Solos com muitas ervas de diferentes tipos são difíceis de controlar uma vez que não existem herbicidas de pós emergência homologados para esta cultura.

As mondas podem ser mecânicas ou químicas. Normalmente efectuam-se mondas químicas, em pré-emergência, à base de terbutrina (2,4 kg/ha s.a.) em mistura com propizamida (0,5 kg/ha s.a.), ou aclonifene (0,51/ha s.a.) misturado com pendimetalina (0,66/ha s.a.) ou pendimetalina (0,66 l/ha s.a.), para controlar as infestantes de Inverno (Tavares de Sousa *et al.*, 2000). Estes herbicidas foram os que revelaram, em ensaios realizados na ENMP, melhores efeitos no controlo de infestantes e não apresentaram problemas de fitotoxicidade na cultura.

Actualmente na ENMP, recorre-se à aplicação de herbicidas de pós-emergência e em pré-floração. Doses mínimas de aclonifene (0,51/ha s.a.) em aplicações intercaladas de uma semana mostraram eficácia no controlo de ervas sem afectar a cultura. No entanto, o recorrer a tratamentos químicos aumenta os custos de produção e os níveis de toxicidade no solo. A necessidade de produzir sementes “biológicas” será em breve uma realidade e por isso, a monda mecânica começa a ter uma expansão importante. O espaçamento das linhas à sementeira é uma técnica que introduzimos no programa de melhoramento/agronomia do Departamento de Forragens, Pastagens e Outras Culturas (DFP&OC) da ENMP. As infestantes que ocorrem durante o período vegetativo e durante o início de floração são as mais nefastas à cultura, por isso, a entrelinha de 50 cm permite a sacha mecânica quando as plantas de grão de bico ainda são pequenas.

As infestantes de Primavera (Maio) normalmente não se desenvolvem porque as plantas ensombram as entrelinhas. Se a cultura estabelecer um bom crescimento inicial não terá problemas com ervas mais tardias.

3.4.4. Sementeira

Para garantir elevados rendimentos é fundamental efectuar uma boa preparação do solo, usar doses recomendadas de semente de boa qualidade e tratada com fungicida. As sementes precisam de água no solo para a germinação. Um solo bem preparado permite o melhor contacto da semente com as partículas de terra, o que facilita a germinação.

Estudos realizados na ENMP, confirmam que densidades de 50 sementes por m² são as que garantem rendimentos mais elevados (sem perdas de semente) à colheita (Costa-Pinto *et al.*, 1990).

A data de sementeira é igualmente um factor determinante (Saxena, 1987). Pode determinar o tipo de condições com que a cultura se irá confrontar ao longo dos diferentes estádios fenológicos (Costa-Pinto *et al.*, 1990).

O grão de bico constitui excepção entre as leguminosas para grão pelo facto de ser tradicionalmente semeado na Primavera e não na época de Outono/Inverno. Na realidade, a sementeira efectuada na Primavera, não permite maximizar nem a produção, nem o benefício em termos de fixação de azoto pela cultura (Silim e Saxena, 1997), isto porque nas Primaveras pouco húmidas, as plantas nodulam mal, crescem pouco, produzem quase nada e esgotam o solo em vez de deixarem algum benefício em termos de fertilidade. Nestes termos, os benefícios atribuídos ao grão de bico como cabeça de rotação à base de cereais nem sempre se verificam para esta época de sementeira.

A antecipação da data de sementeira do grão de bico, realizada pela primeira vez no International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA), conduziu à obtenção de rendimentos muito superiores, visto as plantas crescerem e desenvolverem-se durante um período de maior humidade. As plantas iniciam a fase de crescimento durante o Inverno, com maior humidade do solo e atmosférica; o período reprodutivo diferencia-se mais cedo, em comparação com a tradicional sementeira de Primavera, e a característica indeterminada, confere-lhe um crescimento, quer vegetativo, quer reprodutivo constante desde que as condições atmosféricas sejam favoráveis. Assim, a sementeira de Outono/Inverno permite obter maior densidade de plantas, com maior altura facilitando a mecanização da colheita. Isto torna a cultura mais rentável para o agricultor uma vez que os custos de mão de obra são reduzidos.

A vantagem da sementeira de Outono/Inverno pode não se verificar se existirem condições de humidade desfavoráveis, por exemplo o excesso de humidade, associada à elevação a temperatura, durante os períodos vegetativo e reprodutivo, conduz à activação do fungo *Ascochyta rabiei*, factor biótico que condiciona severamente o rendimento se o germoplasma não for tolerante (Singh *et al.*, 1997; Duarte e Tavares de Sousa, 1998). Por outro lado, a secura durante as primeiras fases do crescimento, conduz ao mau estabelecimento do coberto

vegetal e ao desenvolvimento de infestantes que poderão ser nefastas se não forem controladas.

Se as temperaturas mínimas de Primavera (período reprodutivo) forem muito baixas, inferiores a 15°C, deixa de ser uma vantagem a sementeira de Outono/Inverno, devido à perda de semente, por abortamento das sementes (Siddique *et al.*, 1999). Se por outro lado, a temperatura máxima é muito elevada, há alteração dos principais processos fisiológicos, ao nível da expansão dos órgãos do ápice vegetativo, com encurtamento do ciclo com entrada antecipada em senescência, redução da fotossíntese e da remobilização dos assimilados (Lecoeur, *et al.*, 2001). Singh e outros (1997) e Duarte e outros (2001), verificaram pela interpretação de análises de regressão, que os factores com maior contributo para o rendimento final de grão de bico em sementeira de Outono/Inverno são a temperatura máxima de Março (40,1%), e a precipitação total de Janeiro (5%) e de Março. No caso da sementeira de Primavera, revelaram-se determinantes a precipitação em Fevereiro (41,5%) e Junho (8,6%) e a temperatura máxima de Maio (5,1%).

Dado que o rendimento da cultura em sementeira de Primavera está muito mais dependente da precipitação total na estação (Silim e Saxena, 1997), do que a produtividade obtida em sementeira de Outono/Inverno, esta última data de sementeira poderá conduzir à obtenção de rendimentos mais estáveis em regiões de grande flutuação da precipitação de ano para ano, como é o caso do clima Mediterrânico.

Para além das vantagens mencionadas, a sementeira de Outono/Inverno proporciona um aumento da fixação simbiótica do azoto atmosférico (80 a 120 kg N ha⁻¹ comparados com 25 a 40 kg N ha⁻¹ em sementeira de Primavera) (Saxena, 1988 e Herridge *et al.*, 1994 citados in Singh *et al.*, 1997; Wery, 1990). O influxo de azoto ao sistema agrícola assim produzido permite tornar mais sustentável a produção de sistemas predominantemente cerealíferos em zonas secas (Singh *et al.*, 1997; Wery, 1990).

Singh (1990) enumera ainda como vantagem da sementeira de Outono/Inverno o maior rendimento em proteína, a maior taxa de germinação das sementes (95 % contra 75 % em sementeira de Primavera) e a menor incidência de *Fusarium* spp.

3.5. FISIOLOGIA DA CULTURA

Uma das principais características do grão de bico, à semelhança das outras espécies leguminosas para grão é o carácter indeterminado das plantas verificado no crescimento contínuo do ápice, desde que as condições atmosféricas permitam. O meristema apical não é diferenciado num meristema floral; as inflorescências desenvolvem-se nos meristemas axilares, conferindo ao caule crescimentos contínuos sem interromper cada estádio fenológico na passagem para outro que lhe é sucessivo. Deste modo, existe uma competição por assimilados entre “sinks” reprodutivas e vegetativas, e, por isso, controlar o rendimento do grão de bico é sem dúvida mais complexo e difícil que controlar o rendimento de uma cultura de hábito determinado.

Por outro lado, nesta espécie, a expressão fenotípica de uma característica como o rendimento depende além da média geral populacional, do efeito do genótipo, do ambiente,

da interacção genótipo x ambiente, e do efeito do *Rhizobium* e da interacção de segunda ordem *Rhizobium*-hospedeiro (Summerfield *et al.*, 1980).

Neste sentido, é uma espécie que depende muito das condições ou factores adversos que o ambiente lhe proporciona (Silim e Saxena, 1997). Falta de água, frio ou calor são, como para a maioria das espécies vegetais anuais, os maiores factores limitantes para o bom sucesso das culturas, seja em produção de biomassa ou seja em produção de grão.

O crescimento e desenvolvimento do grão de bico podem ser divididos em quatro grandes estádios fenológicos (Khanna-Chopra e Sinha, 1987):

1. *Germinação* é o requisito primário para um estabelecimento conveniente da cultura (o teor de humidade do solo é fundamental para garantir uma boa instalação da cultura, apresentando germinação e emergência regulares);
2. *Crescimento vegetativo* que inclui a ramificação e desenvolvimento da canópia, prossegue mesmo após a floração e o desenvolvimento das vagens (característica das plantas indeterminadas);
3. *Floração* como um processo contínuo que persiste após o desenvolvimento das vagens. De todos os acontecimentos fenológicos o início da floração é um período muito importante pois marca a transição da cultura de um modo vegetativo para um modo reprodutivo.
4. *Vingamento* correspondente ao desenvolvimento e maturação das vagens. A maturação das vagens é acompanhada por senescência foliar.

A duração de cada um destes estádios fenológicos, está dependente da cultivar, do fotoperíodo, da temperatura e da disponibilidade hídrica (Khanna-Chopra e Sinha, 1987).

O desenvolvimento da área foliar e a produção de matéria seca são muito lentas durante o Inverno devido ao frio. A subida da temperatura na Primavera promove um crescimento acelerado com acumulação de matéria seca, a qual segue uma curva sigmoidal.

Em condições de sequeiro, o índice de área foliar nunca chega a ser suficientemente elevado para permitir uma optimização da intercepção de luz (Lecœur *et al.*, 2001). Isto significa que a taxa absoluta de crescimento e a quantidade total de matéria seca acumulada apresentam variações com o ambiente. Por exemplo, na região Mediterrânica, o grão de bico em sementeira de Primavera acumula cerca de 1,92 ton ha^{-1} de matéria seca em 105 dias (Khanna-Chopra e Sinha, 1987), com uma taxa de crescimento média (CGR) muito baixa ($1,82 \text{ gm}^{-2}d^{-1}$). Isto sucede, porque a cultura fica sujeita, durante este período, a temperatura de dia e a evaporação crescentes, conduzindo a um encurtamento da fase vegetativa e ao desenrolar da fase reprodutiva sob temperaturas desfavoráveis, levando à senescência prematura.

Durante a fase vegetativa, o crescimento das folhas e pecíolos representa 60-70% do aumento da matéria seca, sendo o restante atribuído ao crescimento dos ramos (Leport *et al.*, 1998). Durante a floração e o desenvolvimento das vagens, dado que o grão de bico é uma planta indeterminada, o crescimento vegetativo continua, havendo competição por assimilados entre a parte vegetativa e os “sinks” reprodutivos. A partir da floração dá-se um

declínio do peso seco da parte vegetativa, devido à queda das folhas e dos pecíolos e à mobilização dos metabolitos armazenados nos tecidos do caule e da parede das vagens (Leport *et al.*, 1998).

O grão de bico é geralmente considerado uma planta de dias longos quantitativa¹ (Van der Maesen, 1972; Lecœur *et al.*, 2001), no entanto tem sido muito discutido por vários investigadores, a complexidade da fenologia da planta quanto a este factor. Segundo Khanna-Chopra e Sinha (1987) e mais recentemente por Lecœur e outros (2001), a duração do período vegetativo é normalmente relacionada com a temperatura e o fotoperíodo. Temperaturas muito baixas atrasam o ciclo, no entanto, pode acelerar se coincidir com o período de dias longos (caso de sementeira de Primavera).

As primeiras flores formadas são frequentemente imperfeitas e não produzem frutos (flores falsas). Aparentemente o seu aparecimento relaciona-se com variações de temperatura e/ou humidade: em condições de temperaturas elevadas e baixa humidade relativa, não se produzem flores falsas; quando a humidade relativa é elevada ou se efectua uma rega, tendem a aparecer (Saxena, 1980).

A maioria das espécies leguminosas, e o grão de bico é uma excepção, produzem um grande número de flores com uma pequena percentagem de fruto, o que significa que existe uma limitação no desenvolvimento de “sinks” reprodutivas. Um fitómero do caule é uma potencial “sink” durante o estádio de flor em botão, no entanto, a “sink” é prioritária apenas durante o início do enchimento da semente quando a divisão celular termina e a probabilidade de abortamento é mais baixa (Ney e Turc, 1993).

O sucesso do vingamento dos frutos depende da intensidade luminosa; o ensombramento conduz a uma elevada percentagem de abortamento. Apesar do carácter indeterminado e se formarem muitos nós reprodutivos o peso das vagens e sementes formadas é diferente consoante a posição onde se encontram no ramo. Normalmente aumenta progressivamente a partir do primeiro nó reprodutivo (Singh e Pandey, 1980; Lecœur *et al.*, 1995; Lecœur e Sinclair 2001) e diminui de forma particularmente acentuada a partir do 6º nó, para os tipo Desi e do 5º nó para os tipo Kabuli, acompanhando a redução da respectiva área foliar, isto é, tem um óptimo (Khanna-Chopra e Sinha, 1987).

Verifica-se que a existência de uma relação linear positiva entre a área foliar e o peso das sementes em cada nó, o que indica que o fornecimento de assimilados é um factor limitante do desenvolvimento das sementes. Outro factor não menos importante no desenvolvimento da vagem e semente é o azoto, uma vez que o teor neste nutriente diminui após o sétimo nó reprodutivo (Khanna-Chopra e Sinha, 1987).

O período do desenvolvimento das vagens corresponde à senescência da planta ou pelo menos das folhas dos nós reprodutivos junto às vagens. Por um lado a taxa de fotossíntese das folhas dos nós reprodutivos diminui consideravelmente, quer por perda da actividade da

¹ Planta de dias longos (PDL) quantitativa é uma planta que floresce em resposta a comprimentos do dia maiores que um certo valor crítico, mas não manifesta respostas absolutas, apenas florescendo mais rapidamente ou mais vigorosamente em fotoperíodos adaptados; não tem exigências fotoperiódicas exactas quanto à indução floral

RuBisco (RuBP carboxilase – oxigenase) que constitui a maior parte da proteína foliar, quer por redução do teor de clorofila (Khanna-Chopra e Sinha, 1987). Por outro lado, constata-se que os nódulos das raízes se tornam mais verdes e ineficazes, ou são degradados, levando à redução da fixação e assimilação de azoto (Wery, 2001), bem como à redução do fornecimento de outros metabolitos a partir das raízes (Leport *et al.*, 1998). Se forem retirados os frutos em desenvolvimento ou as flores a senescência da planta é retardada (Lecœur, 1991). A rápida senescência quando ocorre a partir do início da floração é também um dos factores que conduz à redução do número de flores que dão origem às vagens.

A produção numa leguminosa para grão pode ser segundo Ney e Wery (1998), analisada em três estruturas:

- a) O produto da biomassa total e o índice de colheita, dependendo do genótipo e da quantidade de azoto disponível pela remobilização;
- b) O produto do peso médio de uma semente individual (que varia de genótipo para genótipo) e do número final de sementes que por sua vez depende da taxa média de crescimento entre a floração e o início do enchimento da semente desde o primeiro fitómero reprodutivo;
- c) A mesma aproximação pode ser usada para cada fitómero.

3.6. EXIGÊNCIAS DA CULTURA

3.6.1. Solo

O grão de bico é uma planta com sistema radicular profundo o que lhe confere adaptação a uma vasta gama de solos desde solos arenosos e franco-arenosos, a solos argilosos profundos (Saxena, 1987); prefere porém, solos bem drenados de textura fina.

As principais limitações do solo estão associadas à sua composição química, à capacidade de retenção de água e às condições de drenagem interna (Saxena 1987).

A cultura desenvolve-se bem em pH compreendido entre 6 e 8. Valores de pH inferiores a 5,5 prejudicam o processo de infecção e a capacidade de sobrevivência do *Rhizobium* (Wery *et al.*, 1988) e pH inferior a 4,6, aumenta a incidência de fusariose (Kay, 1979 *cit. in.* Saxena 1987). Os solos devem ser pobres em calcário porque este elemento provoca o endurecimento da semente dificultando o processo de cozedura.

O grão de bico é muito sensível à salinidade e ao excesso de sódio no solo (Chandra, 1980) porque afectam a germinação, o crescimento vegetativo e o desenvolvimento reprodutivo. Em solos sódicos, a planta desenvolve um sistema radicular superficial, com fraca ramificação, queda dos folíolos e fraca nodulação (Chandra, 1980). Em solos salinos, também o crescimento radicular é afectado e a planta apresenta emurcheçimento causado por um desequilíbrio iónico (deficiência de cálcio, magnésio e potássio) (Chandra, 1980). A salinidade pode gerar potenciais hídricos do solo muito baixos conduzindo à inibição do crescimento das plantas (Greenway e Munns *cit. in.* Saxena e Rewari, 1993). Saxena e Rewari (1993) utilizando uma variedade de grão de bico relativamente tolerante à salinidade, inoculada com uma estirpe de *Rhizobium* específica, verificaram que a aplicação de potássio,

cálcio, fósforo e zinco aumentam o crescimento de grão de bico em condições de stresse salino.

A falta de arejamento do solo e o encharcamento causam elevados prejuízos na cultura afectando o crescimento (Saxena, 1987). Estas condições, inibem a nodulação e a fixação de azoto e o crescimento da raiz (Lopéz-Bellido e Garcia, 1986; Rupela e Saxena, 1987).

A preparação da cama de semente deve ser muito bem elaborada de modo a assegurar um bom arejamento e evitar a compactação (Saxena e Yadav, 1976). Solos pobres, com má drenagem restringem a oxigenação na zona radicular, tornando-se mais problemático com o aumento de temperatura.

3.6.2. Clima

- Precipitação

O grão de bico é uma cultura tradicionalmente semeada em Portugal durante a época de Primavera, encontrando-se bem adaptada às condições do clima Mediterrânico, emergindo, crescendo e desenvolvendo-se durante a Primavera e início do Verão. Actualmente esta cultura semeia-se no Outono (ciclo cerca de 200 dias entre a sementeira e a maturação), aproveitando melhor os recursos hídricos, para um bom crescimento e desenvolvimento da planta.

Como foi referido no capítulo II, o que se tem vindo a verificar, na região de Elvas é a ocorrência de stresse hídrico a partir do mês de Fevereiro, ou mesmo final de Janeiro podendo ser desastroso se se prolongar até Abril ou Maio. A falta de água acontece normalmente associada à elevação da temperatura durante o mesmo período (fig. II.3.1).

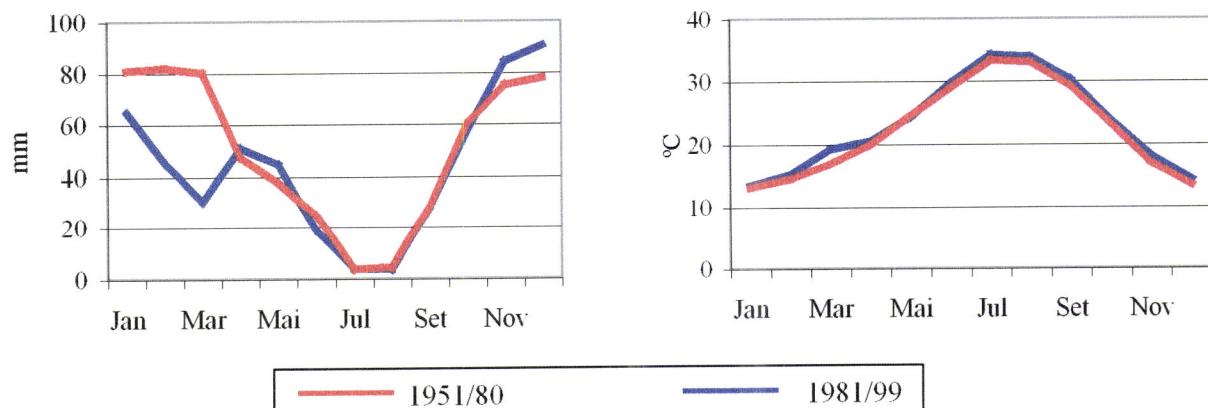


Figura II.3.1 – Valores médios da precipitação mensal (mm) e da temperatura máxima (°C) nos períodos de 1951 a 1980 e de 1981 a 1999 na região de Elvas.

Estas alterações climáticas, nomeadamente no que respeita ao aumento da temperatura média e à irregularidade da ocorrência de precipitação, estão a converter-se num problema real cada vez mais grave. Por um lado o déficit hídrico, caracterizado pela falta de água durante o período de crescimento e reprodução das plantas e por outro lado, o excesso de água

verificado durante e após a sementeira e por vezes durante o crescimento vegetativo das espécies. O excesso de água pode causar lavagem e diluição dos nutrientes conduzindo a carências e a desequilíbrios nutricionais nas plantas, sobretudo nos solos muito porosos tal como areias e muito declivosos, onde se observa erosão. Em solos argilosos o excesso de água pode reduzir significativamente o arejamento dos solos, restringir a absorção de nutrientes e aumentar a susceptibilidade a doenças.

A carência hídrica, reduz igualmente a absorção dos nutrientes e porque se encontra associada ao aumento da temperatura do ar, leva a aumentos das taxas de evapotranspiração e ao decréscimo do potencial hídrico foliar (Fogal *et al.*, 2000). Estas situações levam à aceleração fenológica com esterilização do ápice; muitas vezes a cultura não chega a produzir nem vagens, nem sementes.

Quer situações de encharcamento, quer situações de déficit hídrico conduzem a reduções no crescimento, provocando abscisão das folhas. Esta abscisão está associada ao decréscimo do potencial foliar, e ao aumento da produção de etileno (Hsiao, 1973 *cit in*. Fogal *et al.*, 2000).

Tendo em conta os cenários de alteração climática global para a região Mediterrânica a procura de culturas alternativas adaptadas ao ambiente seco, constitui hoje um objectivo dos programas de melhoramento. Conseguir novas linhas tolerantes ao déficit hídrico não é fácil. Os programas de melhoramento de plantas assumem um carácter contínuo que levam décadas e apesar das tecnologias de engenharia genética disponíveis que poderão complementar, mas não substituir os métodos tradicionais, a obtenção de novos materiais pode levar bastantes anos.

- Temperatura

Como já referido, o crescimento e desenvolvimento do grão de bico no ambiente Mediterrânico além da inadequada distribuição das chuvas, pode ser limitado pela temperatura do ar (sub ou supra-óptima). Mesmo que não ocorra falta de água a produção de grão de bico pode ser limitada pela subida das temperaturas máximas (normalmente superior a 32°C), pois a respiração aumenta e as taxas de assimilação de carbono decrescem não compensando as perdas de respiração.

Uma segunda consequência da elevação das temperaturas na Primavera é a aceleração do desenvolvimento induzindo uma senescência precoce. Em consequência ocorre a redução do período disponível para o crescimento das plantas causando um marcado efeito na expressão do potencial produtivo dos genótipos (Harris *et al.*, 1987).

As temperaturas, embora evidenciando variabilidade, são um elemento climático mais conservativo que a precipitação (ver ponto 1 deste capítulo). A temperatura média varia regularmente ao longo do ano, sendo o Inverno a estação mais fria e o Verão a estação mais quente. Durante os meses mais frios as temperaturas podem cair a valores abaixo de zero, especialmente durante a noite o que afecta a taxa de crescimento do grão de bico, podendo até ocorrer prejuízos com geada, quando as plantas se encontram na fase de plântula (menos de 10 folhas) e durante o desenvolvimento vegetativo até à diferenciação floral; há redução da área foliar que é por vezes compensada nas fases posteriores do ciclo. A incidência de

geadas torna-se mais perigosa quando se entra no período reprodutivo (geada negra), no entanto, até à data não há conhecimento deste tipo de prejuízo, no grão de bico, em Portugal.

Durante o nosso trabalho, efectuou-se um estudo do comportamento do grão de bico face a oscilações hídricas e térmicas na fase reprodutiva da cultura. Usaram-se médias de ensaios realizados na ENMP durante 15 anos (desde o início do programa de melhoramento de grão de bico - 1985/86). Durante este período foram verificados 5 anos de stresse hídrico (1985/86, 1991/92, 1992/93, 1994/95 e 1998/99). No quadro II.3.1, destacam-se a vermelho o ano mais seco e a azul os anos mais húmidos. O rendimento inferior foi obtido no ano 1997/98 (o mais pluvioso) e o rendimento superior foi obtido no ano 1992/93, um dos anos mais secos. Neste quadro identificam-se os anos com rendimentos inferiores, aos anos em que no mês de Março a precipitação foi muito reduzida e temperatura máxima do ar mais elevada. Por isso efectuámos correlações entre o rendimento e a precipitação e a temperatura máxima do ar registadas ao longo do ciclo da cultura (quadro II.3.2). O mês de Março foi definido como o mês mais importante e decisivo para prever um rendimento final. Na fig. II.3.2 representa-se graficamente o efeito da precipitação e da temperatura do ar do mês de Março sobre o rendimento do grão de bico. Desta análise mais uma vez se confirma a importância da distribuição da precipitação durante o período reprodutivo desta espécie.

Se após um período de seca ocorrer precipitação, como se verificou nos anos 1991/92, 1996/97 e 1997/98 (a precipitação de Abril tende a aumentar – ver ponto 1 deste capítulo) pode conduzir à perda de flores, abortamento de vagens e consequentemente a rendimentos inferiores.

Conclui-se assim que para o delineamento de metodologias de seleção nos programas de melhoramento do grão de bico é necessário reunir informações que evidenciem o efeito da temperatura na produção de grão.

Quadro II.3.1 – Dados climáticos e rendimento médio de ensaios realizados na ENMP durante 15 anos

Ano	Precipitação Total	Precipitação Inverno	Precipitação			Temperatura			Rendimento (kg/ha)
			Março	Abril	Maio	Março	Abril	Maio	
1985/86	365,4	284,2	21,7	42,8	12,3	20,3	19,1	29,0	1383
1986/87	488,8	240,0	10,0	95,9	2,7	24,2	22,6	30,2	2280
1987/88	659,7	350,6	13,8	32,5	63,8	21,4	23,1	26,3	2500
1988/89	433,9	181,4	26,8	69,6	97,7	22,5	20,2	31,1	1900
1989/90	806,9	511,7	27,1	115,1	36,6	22,9	22,4	29,3	3000
1990/91	524,3	285,6	96,4	30,6	0,0	18,7	21,2	31,0	2324
1991/92	383,0	101,2	0,0	62,9	11,0	26,2	26,8	33,2	1270
1992/93	384,4	181,9	51,3	52,9	87,8	23,0	22,4	26,0	3150
1993/94	432,8	218,5	7,5	10,2	72,3	24,5	27,5	31,7	1950
1994/95	330,2	161,0	13,0	9,8	30,1	23,4	28,9	30,4	2300
1995/96	824,6	624,6	57,2	29,3	84,5	21,6	24,5	25,5	1810
1996/97	676,7	456,2	0,1	30,1	59,7	26,3	27,0	28,3	1060
1997/98	757,9	515,3	10,0	36,8	95,0	23,5	24,1	28,3	850
1998/99	232,1	91,9	63,0	16,0	23,6	22,6	28,4	29,9	1660
1999/00	463,4	56,1	14,0	140,6	49,8	23,6	20,4	28,5	1360
Mean	517,6	284,0	27,5	51,7	48,5	23,0	23,9	29,2	1906
Desvio padrão	184,2	173,2	27,5	38,9	34,5	2,0	3,2	2,2	702,5

Quadro II.3.2 – Coeficiente de correlação da recta

	Precipitação	Temperatura
Rendimento vs. precipitação total	-0,050	
Rendimento vs. precipitação de Inverno	-0,028	
Rendimento vs. Março	0,363	-0,320
Rendimento vs. Abril	0,119	-0,158
Rendimento vs. Maio	-0,065	-0,181

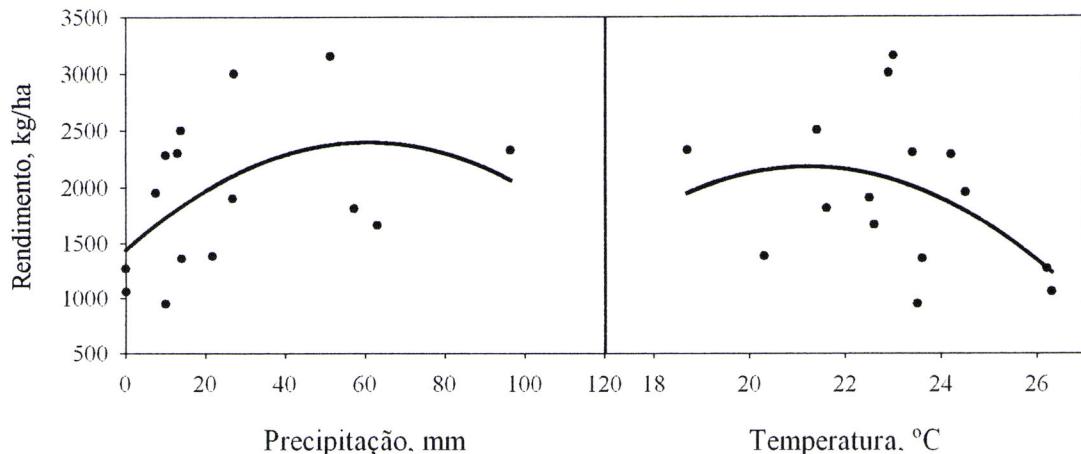


Figura II.3.2 - Efeito da precipitação e da temperatura do ar do mês de Março sobre o rendimento do grão de bico.

- Radiação

No ambiente Mediterrânico a alta temperatura está associada a elevada radiação. A radiação ao meio dia solar varia entre 6 a 10 MJ m⁻²dia⁻¹ no Inverno e 25 a 30 MJ m⁻²dia⁻¹ no Verão (Loss e Siddique, 1994). No Inverno este elemento climático não é limitante, porque a temperatura e a área foliar do grão de bico são baixas nesta época. Na Primavera, no entanto, quando o índice de área foliar aumenta e as folhas inferiores são submetidas a sombreamento pela parte superior da planta, a radiação pode limitar a fotossíntese nas folhas ensombradas. No entanto, em ambiente Mediterrânico, a radiação é menos importante que a água.

Quando há carência hídrica, verificada durante o desenvolvimento reprodutivo, a quantidade de luz absorvida pode induzir a fotoinibição e mesmo fotooxidação das membranas tilacoidais (Kaiser, 1987).

3.7. FACTORES BIÓTICOS PREJUDICIAIS

Actualmente, em Portugal o grão de bico começa a sofrer cada vez mais com ataques de doenças e de diversas pragas que anteriormente não causavam prejuízo. Na realidade, o facto desta planta estar coberta de pêlos glandulares que produzem um exsudado de pH 1,3 contendo elevadas concentrações de ácido málico (Sahasrabuddhe, 1994 *cit in* Reed *et al.*, 1987), parecia conferir-lhe resistência ao ataque de muitos insectos e de outros pequenos animais (como coelhos). No entanto, alterações climáticas, usos excessivos de pesticidas e

fertilizantes parecem tornar esta espécie cada vez mais susceptível aos ataques das pragas mais importantes da zona Mediterrânica: mineira da folha (*Liriomyza cicerina* Rond), lagarta das vagens (*Helicoverpa armigera*, anteriormente conhecida como *Heliothis armigera*) e algumas espécies de piolhos (*Aphis craccivora* e outros) (Reed *et al.*, 1987; Saxena, 1993).

Entre todas as doenças que atacam esta cultura, a raiva ou antracnose é a doença mais importante, seguida da fusariose, podridão seca das raízes, vírus do enrolamento foliar da ervilha, podridão cinzenta, podridão negra das raízes, *Phytophthora*, *Pythium* e podridão da semente (Nene e Reddy, 1987; Saxena, 1993).

3.7.1. Raiva ou Antracnose

A raiva ou antracnose é o nome vulgar da doença causada pelo fungo *Ascochyta rabiei* (Pass.) Lab. de reprodução assexuada através de conídios hialinos produzidos em conidióforos no interior de picnídeos negros, ostíolados (Nene e Reddy, 1987). Quando os picnídeos estão húmidos, absorvem a humidade e libertam os picnósporos, levando à disseminação da doença (Nene e Reddy, 1987; Singh e Reddy, 1995).

A raiva ataca todas as partes aéreas da planta: caules, folhas (folíolos e raquis), vagens e sementes (Foto II.3.1). Quando o inóculo é a própria semente, e, desde que haja condições de elevada humidade relativa e temperatura amena, as plântulas desenvolvem lesões castanho-escuro na parte basal do caule, podendo originar “damping-off”. Os sintomas podem manifestar-se em estádios mais avançados, desde que as condições ao desenvolvimento do fungo sejam favoráveis (temperaturas médias superiores a 15°C e humidade relativa do ar superior a 60%) (Nene e Reddy, 1987; Saxena, 1993; Singh e Reddy, 1995).

Quando a contaminação é feita por esporos transportados pelo vento e/ou salpicos de água de chuva, os primeiros sintomas surgem nas folhas, na forma de pontuações necróticas que, desde que haja condições atmosféricas favoráveis, rapidamente evoluem aumentando de tamanho, provocando a necrose das folhas e posteriormente dos caules. Nestas manchas formam-se frutificações (picnídeos), onde se produzem esporos que irão conduzir a infecções secundárias, acabando por partir no local da lesão (Nene e Reddy, 1987).



Foto II.3.1 – Ataque de *Ascochyta rabiei* em grão de bico.

Quando as lesões aparecem nas vagens, o fungo pode atravessar as paredes destas e infectar a semente. Na semente formam-se manchas acastanhadas que podem evoluir para cancros

profundos de forma redonda ou irregular, por vezes contendo picnídeos (Nene e Reddy, 1987; Singh e Reddy, 1995).

O melhor método de combate desta doença é a utilização de variedades resistentes e deste modo, uma vez conhecido o germoplasma resistente deve-se fazer introdução de resistência genética, mediante a técnica de cruzamentos artificiais, em linhas sensíveis.

Quanto às práticas culturais, a rotação alargada e a remoção e/ou destruição dos restos de plantas mortas (Nene e Reddy, 1987) são os melhores métodos para evitar contaminação deste fungo. O uso de tratamentos químicos, tais como fungicidas na desinfecção da semente: tirame, benomil, tiabendazol parecem ser eficazes, no entanto, aplicações foliares de calda bordaleza, enxofre molhável, zinebe, ferbame, manebe ou clortalonil (Nene e Reddy, 1987; Saxena, 1993) reduzem significativamente a disseminação da doença.

3.7.2. Fusariose

As leguminosas para grão são muito sensíveis às fusarioses. A fusariose vascular do grão-de-bico causada por *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. f. sp. *ciceris* (Padwick) Matuo & Sato, é uma das mais importantes doenças causadas por fungos do solo nesta cultura.

Os sintomas causados por *F. oxysporum* f. sp. *ciceris*, na parte aérea das plantas, podem ser confundidos com os originados por outros patogénios, nomeadamente por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *pisi* (Jones), agente de podridão radicular. As culturas afectadas por um ou outro fungo, no início de infecção apresentam um emurchecimento, provocado por um desequilíbrio hídrico adquirindo uma cor verde-acinzentado. Numa fase avançada da infecção podem revelar-se sintomas de clorose, por vezes murchidão e seca da folhagem (Saxena, 1993) (Foto II.3.2). As diferenças sintomatológicas mais evidentes surgem, todavia, a nível do sistema radicular da planta, pois enquanto que *F. oxysporum* f. sp. *ciceris* não provoca alterações visíveis nas raízes o *F. solani* f. sp. *pisi* origina sintomas de podridão (Nene e Reddy, 1987). Também, cortes longitudinais efectuados nas plantas afectadas, permitem identificar, no caso da fusariose vascular, alterações ao nível do xilema, visíveis quer nas raízes quer no caule. Pelo contrário, quando o ataque é devido a *F. solani* f. sp. *pisi*, este tipo de alterações não surgem na parte aérea da planta, estando confinadas às raízes (Jiménez-Díaz, 2000; Kraft, 2000).



Foto II.3.2- Campos de ensaio na ENMP, mostrando linhas sensíveis e linhas resistentes ao *F. oxysporum* f. sp. *ciceris*.

Na prática, a distinção entre as duas doenças referidas pode revelar-se difícil, se efectuada apenas com base na sintomatologia. O recurso a métodos laboratoriais clássicos, baseados no cumprimento dos Postulados de Koch, permitem realizar com precisão o diagnóstico de cada uma das doenças (Oliveira, 1994).

Para o agente causal da fusariose vascular, *F. oxysporum* f. sp. *ciceris*, estão descritas sete raças fisiológicas do patogénio (raças 0 a 6), das quais a 1, 2, 3 e 4 existem na Índia, enquanto que, por exemplo, na Espanha e na Califórnia estão descritas as raças 0, 1, 5 e 6 (Jiménez-Gasco *et al.*, 1998). A determinação de raças fisiológicas de *F. oxysporum* f. sp. *ciceris*, pode ser feita através da inoculação de isolados do fungo em diferentes cultivares de grão-de-bico, usadas como diferenciadoras (Haware e Nene, 1982; Jiménez-Díaz *et al.*, 1998). Quanto ao comportamento de cultivares de grão-de-bico dos tipos Kabuli e Desi, relativamente a *F. oxysporum* f. sp. *ciceris*, Jiménez-Díaz (2000) refere que o patogénio pode originar ataques muito severos, sob condições de temperatura elevada e secura.

No que respeita a *F. solani* f. sp. *pisi*, embora sejam conhecidas diferenças quanto à virulência de isolados, não são conhecidas raças fisiológicas do patogénio (Kraft, 2000). Em Portugal, constatou-se que diferentes genótipos de grão-de-bico revelaram comportamento diferencial, quanto a resistência/susceptibilidade, relativamente a fungos do género *Fusarium*. O *Fusarium oxysporum* sendo um fungo do solo, é normalmente muito difícil de controlar quimicamente. A obtenção de resistência múltipla às raças mais prevalecentes e a antecipação da data de sementeira, afigura-se portanto, como a solução mais económica e eficaz para resolver este grave problema.

3.7.3. Mineira da Folha

É uma praga provocada pelo díptero *Liriomyza cicerina* Rond. que faz a postura sob a epiderme das folhas. As larvas provocam a destruição do mesófilo foliar (Foto II.3.3). Esta destruição conduz à redução da área fotossinteticamente activa e à queda antecipada da folhas. O melhor método de controlo é o aumento da profundidade da sementeira (Saxena, 1993).



Foto II.3.3 - Aspecto de uma folha atacada por *Liriomyza cicerina* Rond

3.7.4. Lagarta da vagem

É uma praga provocada pelo lepidóptero *Helicoverpa armigera* (anteriormente conhecida como *Heliothis armigera*). Os prejuízos são causados pela larva que se alimenta de folhas, flores, vagens e sementes (Saxena, 1993) (Foto II.3.4). Esta praga não assume grande importância nos nossos campos, não se justificando tratamentos preventivos.



Foto II.3.4 - *Helicoverpa armigera*
dentro de uma vagem

3.8. IMPORTÂNCIA E DISTRIBUIÇÃO

Procuramos com este sub-capítulo fazer uma abordagem sobre a importância da cultura do grão de bico no Mundo, Europa e Portugal, comparando as áreas semeadas, produções obtidas e rendimento desta espécie com outras leguminosas para grão², cereais (como culturas predominantes) e proteaginosas associadas aos cereais. Para este levantamento estatístico, baseámo-nos nos anuários estatísticos da FAO para a agricultura, produção, rendimento e área utilizada (anexo 1).

O grão de bico ocupa, no mundo, uma parcela muito pequena daquela destinada à produção de leguminosas para grão (73.149.983 ha) e ainda menor da que se destina a cereais e leguminosas para grão (748.784.113 ha). No ano 2000 foram semeados 12.085.549 ha que produziram 9,4 milhões de toneladas. Isto significa que o grão de bico ocupa 16,5% da área total destinada a leguminosas para grão, 1,79% da área total de cereais (675.634.130 ha) e 1,61% da área total cultivada por cereais e proteaginosas no mundo, contribuindo com 15,7% da produção total de leguminosas para grão (cerca de 60 Mton), 0,46% da produção total de cereais (cerca de 2.060 Mton) e 0,44% da produção de total de cereais e leguminosas para grão (cerca de 2.120 Mton) (fig. II.3.3).

A superfície mundial ocupada com grão de bico concentra-se essencialmente em quatro regiões: Sub-continente Indiano, bacia do Mediterrâneo, Este de África e Américas (Saxena, 1993), normalmente em países semi-áridos (Jodha e Subba-Rao, 1987), onde a irregularidade da distribuição da precipitação se revela como um importante factor limitante da produção.

² As leguminosas para grão no mundo correspondem às espécies: feijão seco, fava seca, ervilha proteaginosa, grão de bico, feijão frade, pigeon peas, lentilhas e lupinus. Em Portugal apenas são cultivadas as espécies: feijão seco, fava seca, grão de bico e lupinus

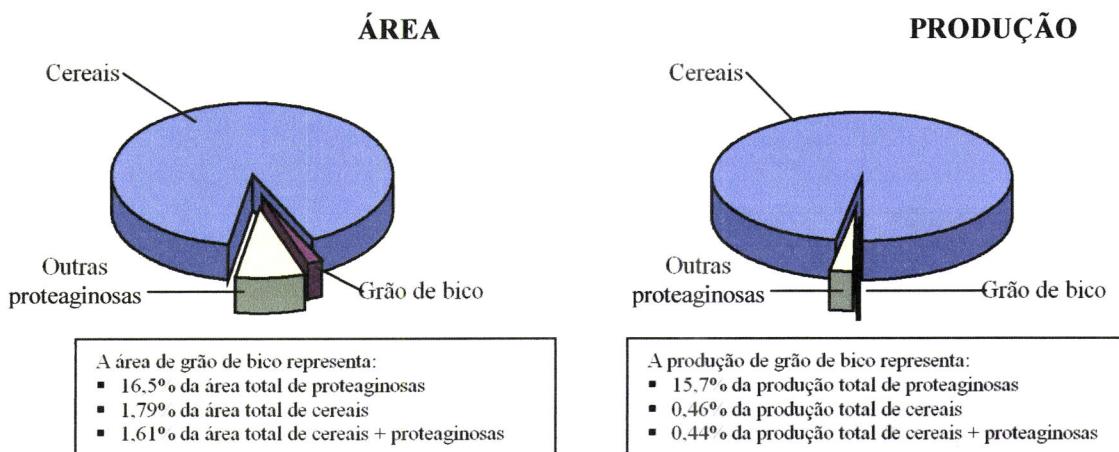


Figura II.3.3 - Distribuição da Área e Produção de Cereais e Proteaginosa (destaque do grão de bico) no Mundo.

A Ásia é o continente com maior área e naturalmente onde é maior a produção desta espécie, contribuindo com 90,2% da área total semeada e 89,7% da produção total mundial.

A África e América Central e do Norte seguem-se com 3,81% e 2,84% de área correspondentes a 3,05% e 4,24% da produção no mundo. A Austrália, representante da Oceânia, apesar do grão de bico ser uma cultura muito recente, introduzida em 1995, é o quarto maior continente em área e produção e o sexto país em produção e o quinto em área no mundo (fig.II.3.4)



Figura II.3.4 – Percentagem da Área e Produção de grão de bico nos diferentes continentes do Mundo.

A Índia lidera a produção a nível mundial detendo 69,5% da área e 71,3% da produção internacional. Seguem-se por ordem decrescente de importância, o Paquistão com 9,1% e 7,1% e a Turquia com 5,2% e 6,4% da área e produção respectivamente (anexo 1).

Na Europa, apenas sete países produzem grão de bico, sendo a Espanha o país produtor mais importante e ocupa o 12º e 11º lugares em área e produção, entre os produtores mundiais. Portugal por sua vez é o 4º país na Europa e o 31º no mundo, quer em área quer em produção (anexo 1). Os rendimentos máximos da cultura do grão de bico oscilam entre cerca de 91

kg/ha na Jordânia e 2424 kg/ha no Líbano (ambos do continente Asiático) (fig.II.3.5 e anexo 1).

Em Portugal a superfície cultivada de grão de bico foi crescente até meados dos anos 60's (1967). O aumento sentido no ano 1961, deve-se à alteração do método de obtenção dos valores da produção agrícola, pelo Instituto Nacional de Estatística, passando dos antigos inquéritos por enumeração completa das explorações agrícolas, para o método de amostragem.

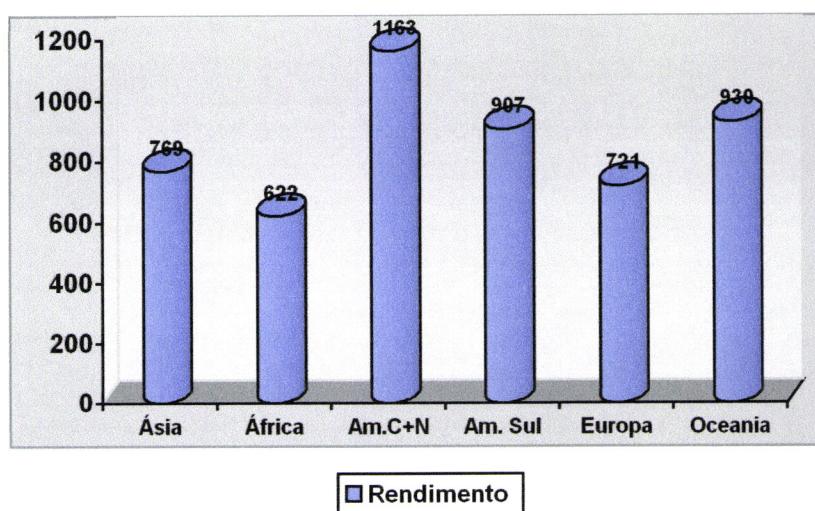


Figura II.3.5 – Variação do rendimento de grão de bico nos diferentes Continentes.

A partir dos anos 1960's, a média da superfície cultivada foi então decrescendo acentuadamente; na década de 70 foi cerca de 43% inferior à média da década anterior. Por sua vez a média da década de 80 denota uma redução de 75,2% e 56,6%, relativamente à de 60 e 70; a média da década de 90 sofre uma redução ainda mais marcada de 95,5%, 92,2% e 82% relativamente às décadas de 60, 70 e 80 respectivamente (fig.II.3.6 e esquema II.3.1).

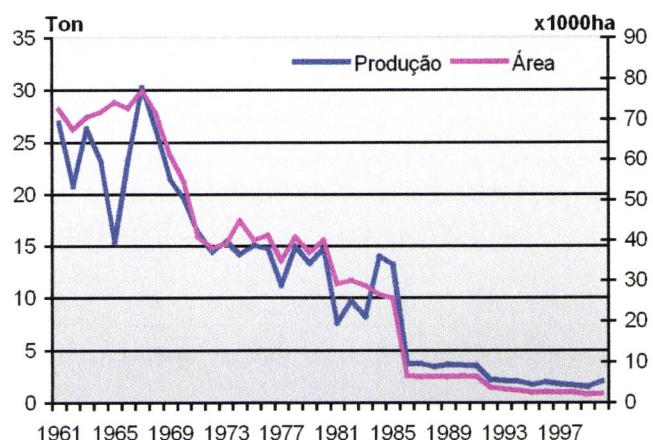
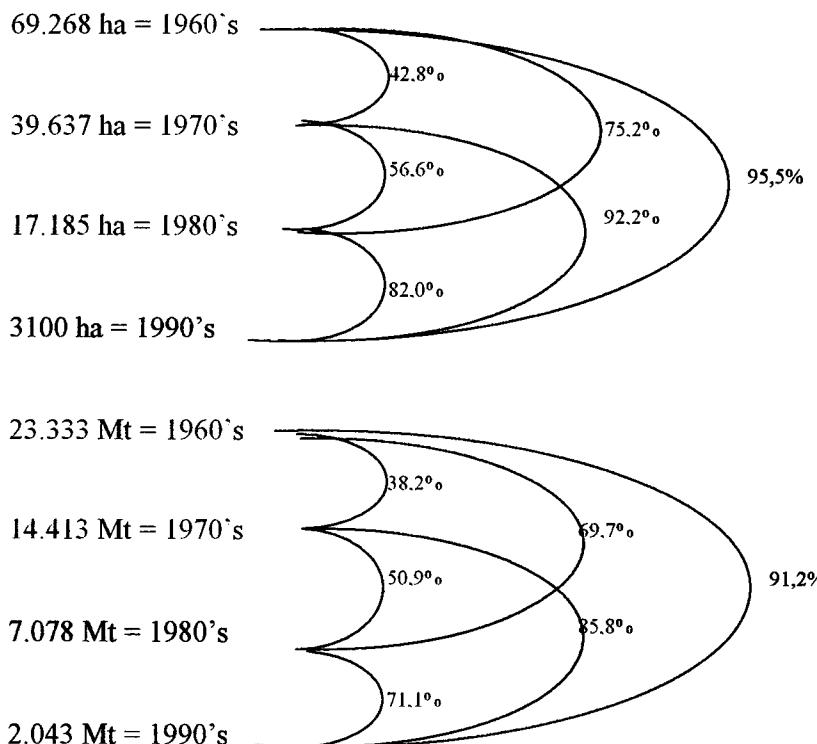


Figura II.3.6 – Evolução da área e produção de grão de bico em Portugal.

No que respeita à distribuição geográfica da área e produção de grão de bico em Portugal Continental a maior fatia, quer na superfície (34,9%), quer na produção (27,5%), concentra-se no Alentejo (INE, 2003), com rendimento médio de 500 kg/ha.

Esquema II.3.1 - Percentagem da redução da superfície semeada de grão de bico desde a década de 1960



O rendimento é marcado pela grande irregularidade de ano para ano, no entanto a partir de 1984 verificam-se notáveis aumentos. Apesar de ser uma cultura típica das condições de sequeiro do Mediterrâneo, a redução da área de produção, tal como a oscilação dos rendimentos podem estar relacionados tal como Wery (1986) refere com:

- 1) A realização tradicional da cultura durante a Primavera, crescendo e desenvolvendo-se com irregular distribuição pluviométrica durante o período reprodutivo e muitas vezes com temperaturas elevadas no final do ciclo;
- 2) Sementeiras muitas vezes efectuadas em solos mal arejados ou que compactem, salinos, ácidos ou muito alcalinos;
- 3) O uso de variedades tradicionais sensíveis às principais doenças, não adaptadas à secura ou temperatura elevada do final do ciclo e com estrutura não adaptada à colheita mecânica;
- 4) O reduzido nível de intensificação cultural, isto é, baixos povoamentos (sementeira a lanço), pouca ou ausência de fertilização e nenhuma protecção fitossanitária;
- 5) Elevados custos de produção devido à excessiva mão de obra;
- 6) Inexistência de uma cadeia comercial organizada conduzindo à importação da maior parte de grão de bico, existente em Portugal;
- 7) Deficiente sistema de ajudas comunitárias;

- 8) Redução geral da actividade agrícola em Portugal.

3.9. O LUGAR DO GRÃO DE BICO NO MEDITERRÂNEO – SISTEMAS DE AGRICULTURA

A necessidade de tornar o país auto-suficiente em cereais, conduziu, no passado, ao início da campanha do trigo, a qual teve como consequência a desflorestação, tendo-se destruído a vegetação protectora do solo para dar lugar à monocultura dos cereais com abaixamento da fertilidade dos solos, particularmente nos solos mais pobres. Para fazer face ao decréscimo da fertilidade do solo, durante muitos anos a rotação tradicional praticada foi constituída por alqueive nu – trigo – cevada ou aveia (dois ou mais anos), com o alqueive por vezes revestido com feijão frade. Nos melhores solos, nomeadamente os chamados “barros”, a rotação tradicional foi alqueive revestido – trigo – cevada. Como cultura revestidora de alqueive utilizava-se muito frequentemente o grão de bico de Primavera que mais tarde, no início da década de 70, passou a dar lugar ao girassol (Lourenço, 2000). O encarecimento da mão-de-obra, tornou a cultura do grão de bico pouco ou nada rentável, visto ser uma cultura com produções baixas e impossível a mecanização da colheita sem perdas consideráveis na produção.

A partir da entrada de Portugal na União Europeia, em 1986, o mercado nacional de cereais foi perdendo o proteccionismo que o caracterizava e passou a ser pautado pela realidade comunitária que, já nessa época, era caracterizada por excessos de produção de alguns produtos agrícolas, particularmente no que se refere aos cereais de Inverno, e por problemas de poluição ambiental provocados pela utilização intensiva de factores de produção (Lourenço, 2000).

Em face desta situação, a partir de 1992 foram tomadas medidas para que o modelo produtivista, vigente até então na União Europeia, fosse substituído por um modelo mais extensivo que a reforma da PAC daquele ano incentivou através de ajudas compensatórias a sistemas protectores do ambiente, introduzindo a obrigatoriedade do “set-aside”, iniciando a descida de preços, que se acentuou após os acordos do GATT em 1994, de modo que a longo prazo haja uma aproximação aos valores do mercado mundial.

A reforma da PAC para o período de 2000-2006 torna a situação da agricultura de sequeiro ainda mais difícil, pois prevê-se uma descida mais acentuada dos preços de intervenção dos cereais levando a que as ajudas, compensatória e co-financiada, sejam só cerca de 50% da descida dos preços (Lourenço, 2000), excepto no que se refere ao trigo rijo, pois espera-se que a ajuda suplementar ao hectare se mantenha. As ajudas irão baixar, mais no caso português, sobretudo porque a ajuda co-financiada será gradualmente eliminada até 2003-2004. Relativamente ao “set-aside” prevê-se que se mantenham os 10% da área total objecto de ajuda (Lourenço, 2000), podendo optar-se por declará-lo indiferentemente no sequeiro ou regadio.

Perante esta situação, os agricultores que se dedicam à cerealicultura de sequeiro começam a ver a sua sobrevivência, em termos económicos, ameaçada dia a dia, sem grandes alternativas quer em termos de culturas alimentares quer não alimentares, estas para utilizar no “set-aside”.

Para fazer face a esta problemática, torna-se importante produzir aos mais baixos custos, obter boas produtividades com qualidade e segurança, protegendo o ambiente, os recursos naturais (solo e água) e a biodiversidade animal e vegetal.

Segundo Carvalho (1994), a produção aos mais baixos custos pode ser conseguida reduzindo os custos com mobilizações, fertilizantes, sementes e fitofármacos. A obtenção de boas produtividades, com qualidade e segurança, passa pela utilização dos melhores solos (solos de aluvião, barros e mediterrâneos, particularmente para-barros) e também pelo retomar das rotações que, além de evitarem a aplicação excessiva de agro-químicos, poderão contribuir para melhorar as características dos solos. Pela utilização de variedades seleccionadas e de culturas cujos ciclos mais se ajustem a fazer face às irregularidades climáticas, em períodos críticos para a produção, também se poderão verificar ganhos na qualidade e na produtividade.

Em face do exposto e sendo o trigo rijo o cereal de Outono/Inverno actualmente mais favorecido em termos de ajudas e prevendo-se que esta situação se mantenha num futuro próximo, a importância de dispor de culturas alternativas nos sistemas culturais cerealíferos de sequeiro é reforçada pela necessidade que esta cultura tem de ser precedida por outra que não seja um cereal objecto de ajudas, para que possa ser elegível. Por esta razão e baseados em contas de cultura elaboradas para várias culturas (Lourenço, 2000), entre elas o grão de bico (anexo), verificou-se que quando comparadas as margens brutas das possíveis culturas alternativas, constatou-se que esta cultura e o girassol com sementeira antecipada foram as que apresentaram as melhores perspectivas (Quadro II.3.3).

Quadro II.3.3 – Comparação dos valores das margens brutas (M.B.), por hectare, obtidas para várias culturas alternativas (R.B. – rendimento Bruto; D.E. – despesas efectivas)

	Produção (kg/ha)	Preço 1999 (Euros)	R.B. (Euros)	D.E. (Euros)	M.B. (Euros)	Produção (kg/ha) limiar da M.B.	M.B.+Aj. Comp. 99/00 (Euros)	M.B.+Aj. ajudas 2002/03 (Euros)
Colza	2 300	0,20	458,89	334,95	123,95	1 679	312,44	249,94
Girassol ^a	1 200	0,22	263,37	125,37	138,00	571	326,49	263,99
Girassol ^b	800	0,22	175,58	153,61	21,97	700	210,46	147,96
Grão de Bico ^c	1 200	0,40	478,85	359,41	119,44	901	287,03	
Linho não Textil ^d	500	0,14	69,83	142,29	-72,46	1 019	137,73	53,54
Linho textil ^e	1 500-palha 500-semente	0,05 0,14	74,82 69,83	302,42	-227,76		46,19	

Colza - mob. principal sem reviramento de leiva, escarificação e gradagem; aplicação de adubos e herbicidas;

Girassol^a – mesmo sistema de mobilização da colza, sementeira antecipada, uma sacha;

Girassol^b – sequeiro, mobilização e data de sementeira tradicionais, uma sacha;

Grão de Bico^c – ajuda ao hectare 167,60€;

Linho não textil^d – Aj. Comp. (classe de produção 2tha⁻¹): 99/2000 = 210,19€ e 2002/03 = 126,00€;

Linho textil^e - Aj. Comp. 815,86€

As leguminosas para grão tiveram uma presença constante na agricultura de todo o mundo, tornando-se muito importantes na história da humanidade desde há 10 000 anos. Em alguns casos, era o grão de bico, em outros a ervilha, o feijão ou a soja, que entrava na rotação com os cereais.

A implementação dos cereais com leguminosas de alto teor de proteína é potencialmente uma das melhores soluções para fazer face à deficiente nutrição proteíco-calórica, particularmente nos países em desenvolvimento (Saxena, 1993). De igual modo, nos países desenvolvidos a produção de proteína vegetal assume importância fundamental, já que a massiva produção de carne e leite se faz em grande parte com base ou com grande participação de alimentos concentrados, em que a proteína vegetal é componente essencial.

Neste contexto, as leguminosas para grão, com valores médios de proteína bruta, variável entre 17% e 30%, são produtos com um elevado interesse alimentar, atendendo ainda a que algumas destas espécies são praticamente isentas em taninos e oligossacáridos inibidores da tripsina. Deste modo, estas surgem como culturas a privilegiar na diversificação dos sistemas culturais portugueses, uma vez que oferecem garantias de produção (por apresentarem boa adaptação às condições edafoclimáticas de Portugal).

Deste modo, a introdução da cultura do grão de bico em rotações poderá ter interesse pelas seguintes razões:

- a) O grão de bico é uma cultura em que é baixa a aplicação de factores de produção;
- b) Tem grande adaptabilidade a uma vasta gama de solos e condições ambientais, sendo porém tradicionalmente cultivado após a estação chuvosa, na humidade armazenada no solo, em terras mais fortes, com grande capacidade de retenção para a água de modo a proporcionar à cultura boas condições hídricas durante o período de seca;
- c) Não sendo susceptível a doenças de cereais, pode contribuir para a redução da incidência de doenças nos sistemas culturais, podendo contribuir para a redução dos custos e para a protecção ambiental;
- d) O sistema radicular profundo e extenso que desenvolve e o volume de resíduos que deixa no solo após colheita podem contribuir para melhorar a porosidade e aumentar o teor de matéria orgânica do solo;
- e) A colheita ao efectuar-se após a maior parte dos cereais, permite uma melhor distribuição do trabalho na exploração;
- f) É uma cultura fácil de generalizar pois não é muito exigente em maquinaria especializada, podendo ser utilizado o mesmo equipamento dos cereais, com algumas adaptações;
- g) É considerado um bom precedente cultural.

Trabalhos que têm vindo a ser realizados nos últimos anos, revelam-nos a boa precedência da cultura do grão de bico. Argikar em 1970 (Saxena, 1987) verificou que qualquer cultura que sucedia o grão de bico tinha um bom desenvolvimento. Mais recentemente, Lopéz-Bellido (1998) num estudo conduzido durante 7 anos agrícolas sucessivos, em Cordoba (Espanha), com solos da família dos barros (vertissolos), também constatou que o rendimento de trigo em rotação com o grão de bico era significativamente superior ao de culturas de trigo sucessivas (mais 600 kg/ha) e também ao de rotações com girassol (mais 220 kg/ha). No entanto, a cultura de fava parece ser melhor precedente para o trigo do que a cultura do grão de bico, produzindo o trigo mais cerca de 4000 kg/ha. Por outro lado o teor proteico do trigo foi significativamente superior quando em rotações com fava e grão de bico. Baseando-se nestes resultados os autores sugerem que a rotação leguminosa-trigo

permite aumentar o rendimento de trigo com um fornecimento mínimo de azoto (Lopez-Bellido, 1998).

Face às medidas de apoio às culturas arvenses de sequeiro introduzidas após a reforma da PAC, os apoios dados às proteaginosa e nomeadamente à cultura do grão de bico, conduziram à expansão desta espécie nomeadamente para regiões já tradicionais.

Nos últimos dois anos assistimos a um espectacular aumento da procura de sementes de leguminosas para grão, especialmente o grão de bico. Seria interessante que esta procura, por parte dos agricultores, se consolidasse no futuro. Isto apenas será possível se os nossos agricultores se familiarizarem não apenas com as novas tecnologias agronómicas das culturas, como também com as novas variedades das distintas espécies de leguminosas para grão, já disponíveis, com as novas técnicas de mobilização do solo e com as rotações mais adequadas para as suas condições particulares.

4. MELHORAMENTO

4.1. INTRODUÇÃO

Antes da re-descoberta das leis de Mendel, o melhoramento de plantas foi praticado mais ou menos como uma arte baseada na intuição e experiência. As leis Mendelianas deram conteúdo à teoria biológica, o que fez do melhoramento genético uma ciência. Uma ciência complexa, multidisciplinar, integrada, pragmática e aplicada (Barradas, 1987).

Pode assumir-se que o melhoramento de plantas representa a fase actual da evolução das culturas baseando-se nos mesmos mecanismos que foram responsáveis pela evolução das populações selvagens ou cultivadas durante séculos. O mecanismo fundamental é a alteração de adaptação, pela substituição de genes sob selecção seguida pelo isolamento dos genótipos que se originaram.

Um programa de melhoramento de plantas no sentido amplo engloba dois conceitos gerais, com uma única resultante (Tavares-de-Sousa, 1999). O primeiro conceito, vulgarmente designado na língua inglesa por “Improvement”, diz respeito ao estudo e aplicação de técnicas culturais adequadas, de modo que um genótipo, em dado ambiente, possa expressar o seu máximo potencial produtivo ou rendimento potencial; o outro conceito de melhoramento é o melhoramento genético, distinguido na língua inglesa por “Breeding”, visa a obtenção de novos genótipos, adaptados a dado ambiente ecológico, através da criação de novos arranjos genéticos que proporcionam maiores potenciais produtivos, desde que os factores ambientais não sejam limitantes. Deste modo, Evans (1986), definiu o potencial produtivo ou rendimento potencial como a produção que se obtém de uma variedade, no meio em que se encontre adaptada, e onde não haja limitações hídricas e nutrientes e onde as pragas, doenças, infestantes, acama e outros factores negativos se controlam com eficácia.

Um programa de melhoramento envolve três fases (Fig. II.4.1):

a) Organização de colecções, tendo em vista reunir a máxima variabilidade genética. Pode ser conseguido de diversos modos:

- introdução de cultivares e material em segregação de países estrangeiros – material exótico;
- recolhendo populações do país;
- recorrendo à hibridação, mutação induzida, etc.

O objectivo da hibridação é o de reunir num único genótipo, genes desejáveis que se encontram em dois ou mais genótipos diferentes (Allard, 1960). Em algumas espécies onde é difícil realizar cruzamentos artificiais, o recurso às hibridações só deverá ocorrer quando o germoplasma existente não fornece os resultados esperados (caso do grão de bico).

b) Selecção dentro da variabilidade genética disponível. Os métodos de selecção mais comuns são a selecção em massa, ou massal (“bulk”) quando se seleccionam de um grande conjunto toda a semente de um grupo de plantas, com fenótipo semelhante e a selecção genealógica (“pedigree”), quando se semeia em linhas a descendência de uma planta

selecionada, elegendo-se uma ou algumas plantas que originam, cada uma, uma nova linha ou descendência, no ano seguinte.

c) Avaliação das linhas seleccionadas para eleição de genótipos.

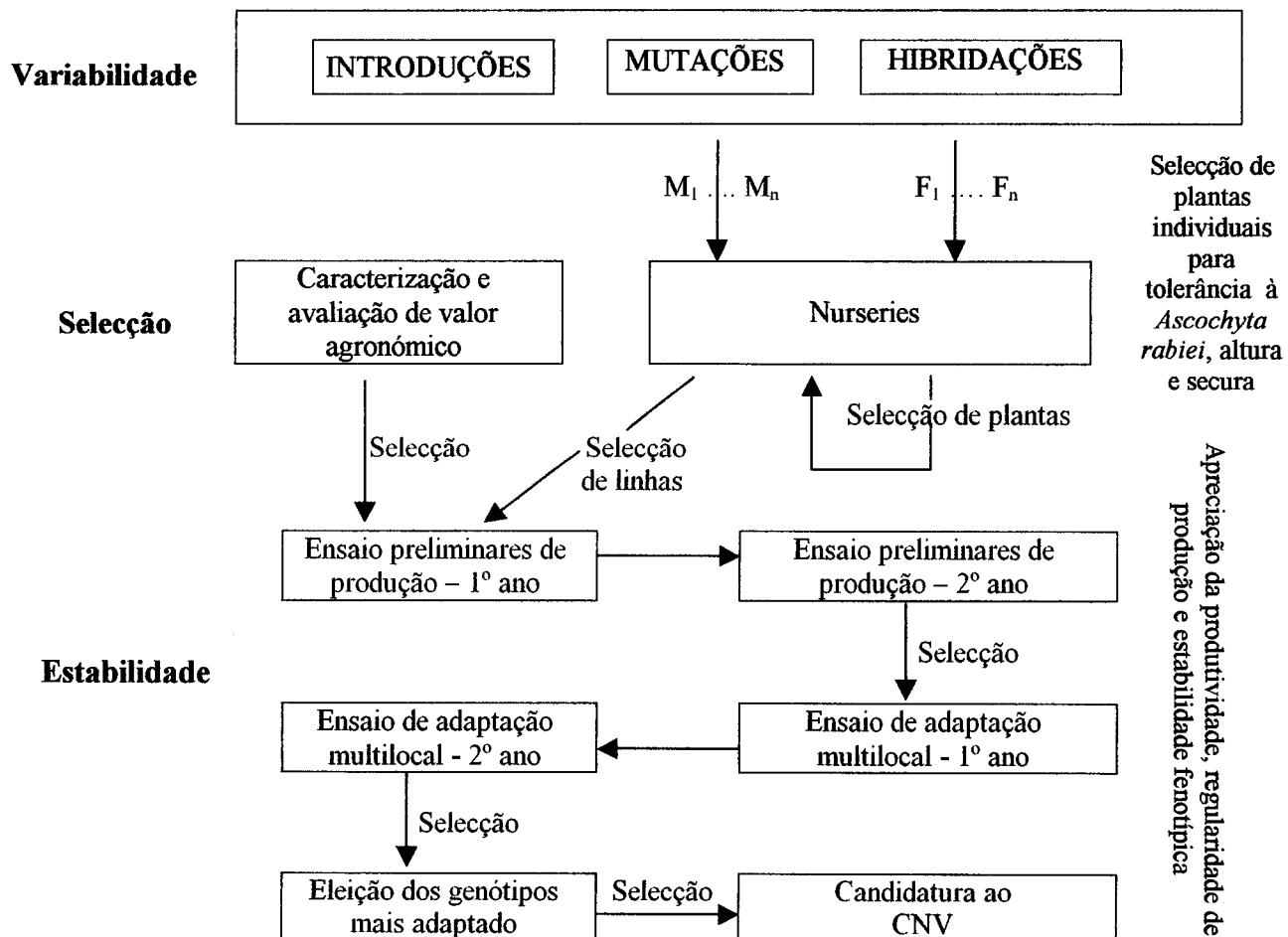


Figura II.4.1 - Padrão convencional do melhoramento de plantas.

A decisão do melhorador inclui a eleição de qual germoplasma deve usar, como combiná-los, o que seleccionar e para quê, o que rejeitar e o que reter.

A definição de objectivos deve ser a primeira decisão do melhorador. Estes objectivos devem ser biológica e economicamente razoáveis (Fig. II.4.2). O critério económico é importante, não só em termos estritamente monetários, mas também na preocupação que as variedades produzidas sejam utilizadas pelos agricultores. Em seguida deverá decidir que progenitores deve utilizar e porquê, que tipo de cruzamentos e forma de selecção ao longo das gerações deve utilizar e porquê.

Por outro lado, os objectivos e estratégias metodológicas são definidas tendo por base conhecimento científico adquirido no sistema de agricultura e na sociedade para os quais se destinam os programas de melhoramento e nos estudos que definem as características

genéticas em que o melhorador dirige a evolução baseado em critérios de selecção usando métodos científicos.

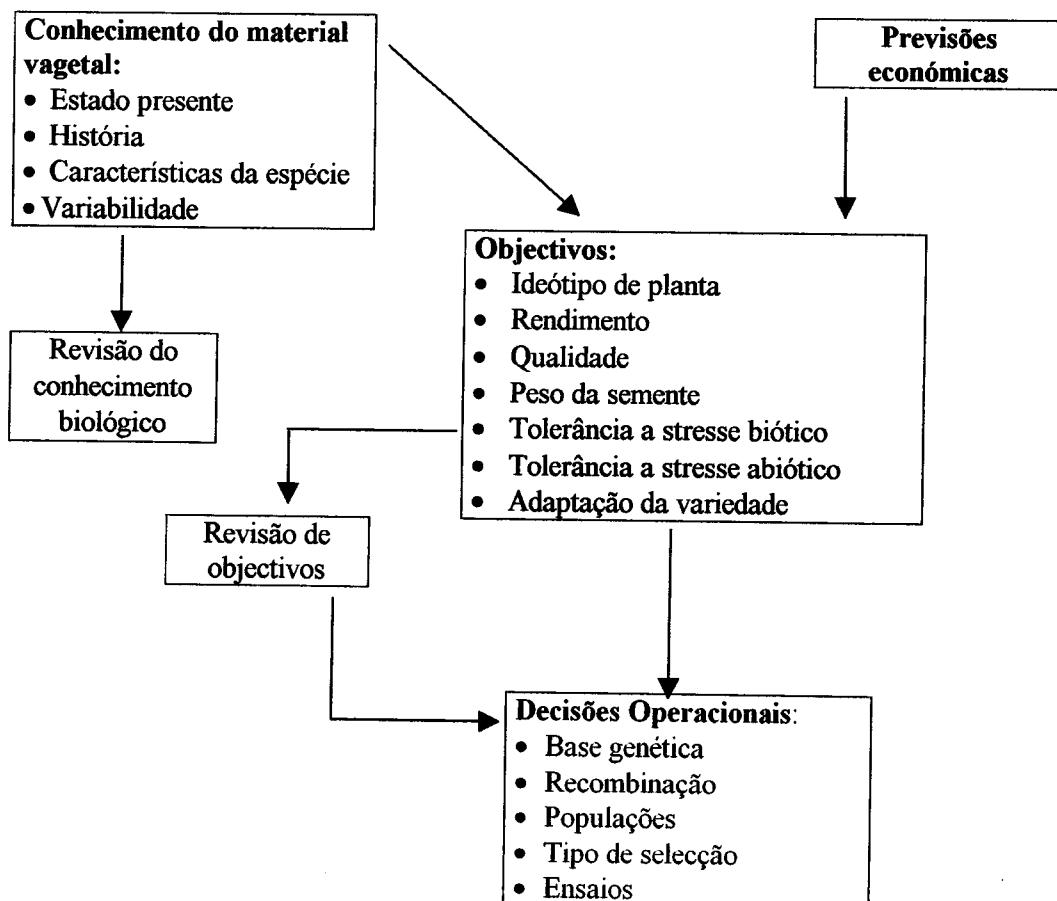


Figura II.4.2 – Decisões dos métodos, técnicas e objectivos do melhoramento de plantas (adaptado de Simmonds, 1981).

Os principais objectivos englobam componentes do rendimento, da qualidade e ainda factores relacionados com a resistência a doenças, pragas e stressses ambientais (Fig. II.4.3).

O rendimento, que descreve a produtividade por unidade de área, é na prática o mais importante e está organizado em duas grandes componentes: *biomassa*, que é a capacidade de produzir e conservar uma quantidade de material vegetal (depende da eficiência do uso da radiação pela canopia, que corresponde ao balanço entre a fotossíntese e a respiração (Ney e Wery, 1998)) e *repartição dos assimilados* para os órgãos da planta com interesse económico, o chamado “índice de colheita”.

A competição entre a fracção vegetativa/reprodutiva pode ser encarada de três formas:

- O crescimento vegetativo é reduzido em detrimento do crescimento reprodutivo. Por exemplo, muitas culturas com ciclos mais curtos, tornam-se mais baixas e com menos biomassa em resposta à selecção para obtenção de sementes ou frutos; algumas leguminosas passaram do tipo indeterminado para determinado.

- b) O crescimento reprodutivo é menosprezado em favor da produção vegetativa. Este aspecto é evidente em algumas culturas forrageiras.
- c) Maximização da repartição dos assimilados para o rendimento, por exemplo, em hortícolas.

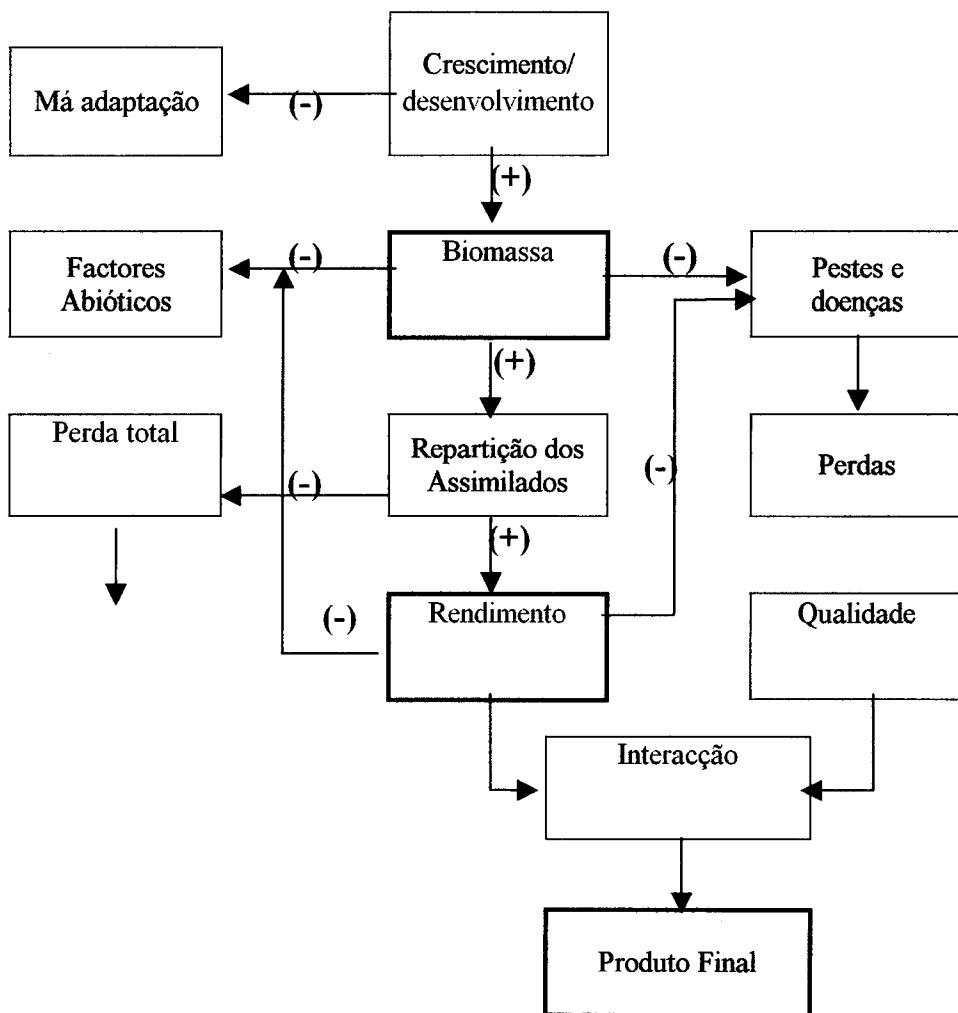


Figura II.4.3 – Principais objectivos do melhorador: rendimento e qualidade. Para o avanço do melhoramento, o melhorador procura maximizar os processos marcados com (+) e minimizar os marcados com (-) (adaptado de Simmonds, 1981).

Actualmente outros factores, quer bióticos quer abióticos são causa das grandes reduções que se verificam no rendimento das diferentes culturas, o que tornou estes factores como novos objectivos a atingir nos programas de melhoramento.

A obtenção de variedades superiores resultará assim da selecção de novos arranjos genéticos de modo a ultrapassar a maior parte dos stressses, respondendo às novas exigências, sendo a resultante de um melhor conhecimento sobre o desenvolvimento e reprodução das espécies. As novas variedades deverão assim, ter um rendimento potencial mais elevado, qualidade superior e ainda possuir morfologia adaptada à mecanização total da cultura, para que se possam integrar facilmente nos sistemas de produção modernos, à base de culturas arvenses com baixos custos de produção.

4.1.1. MÉTODOS DE SELECCÃO DE PLANTAS AUTOGÂMICAS

- “Pedigree”

O método “pedigree” é de longe o mais frequentemente usado no melhoramento de espécies autogâmicas. Os indivíduos superiores são seleccionados nas gerações segregantes ou descendências em segregação, normalmente a partir de F_2 . As plantas individuais seleccionadas nesta geração (selecção genealógica), são colhidas e debulhadas separadamente. No ano seguinte cada planta é semeada seguindo o esquema de “planta por linha” para constituir a F_3 . Este esquema continua até F_8-F_{10} , quando a maioria das famílias são praticamente homozigóticas para a maioria dos ‘loci’.

- “Bulk” – “Bulk”/ “Pedigree”

Este método é talvez o mais fácil de praticar, uma vez que a segregação se processa dentro do “bulk” desde a F_2 até à F_4 ou F_5 . Só então na F_5 ou F_6 , se inicia a selecção do tipo massal, em que várias plantas (até centenas) são retidas tendo em conta o objectivo que poderá basear-se na tolerância aos factores bióticos e abióticos, tipo de planta, tamanho das sementes, qualidade, etc. As sementes destas plantas são novamente semeadas em “bulk”, sem teste de descendência e o tipo de selecção repete-se, até se obter uma população da plantas fenotipicamente semelhantes, com as características genotípicas melhoradas.

Na F_4 ou F_5 , a selecção massal poderá ser substituída por selecção genealógica seguindo o esquema de planta por linha.

Neste método “bulk”, a selecção pratica-se somente para características com elevada heritabilidade e facilmente manuseáveis, tal como a estatura da planta, tamanho de semente ou resistência a doenças. Em $F_5 - F_8$ as plantas atingem a fase de início de purificação.

- “Single Seed Descend” - SSD

O método SSD é uma variante do método “pedigree”. A sua utilidade reside no facto de limitar o tamanho da população para obtenção de linhas praticamente homozigóticas. É benéfico, uma vez que não se pratica selecção nas primeiras gerações. Segundo Fouilloux e Bannerot (1988), usando a taxa de multiplicação 1 para os indivíduos descendentes da F_1 , o número de plantas F_2 e o número de linhas puras obtidas após várias gerações de autofecundação deverá ser idêntico. Após três ou quatro gerações (F_6), todos os indivíduos dentro de cada linha deverão estar praticamente homozigóticos para se multiplicarem e proceder à sua comparação. Uma vez que não se pratica a selecção durante a fase de autofecundação, as plantas poderão crescer em condições artificiais, o que acelera o método. Outra grande vantagem é que a perda de alelos favoráveis é mínima. A perda que possa ocorrer depende apenas do tamanho da população F_2 .

- “Backcross”/ “Pedigree”

O método “Backcross”/ “Pedigree” é um método especialmente utilizado para melhorar as populações locais e cultivares bem adaptadas às condições agro-ecológicas de determinada região quanto a caracteres bem definidos, sem perturbar as características regidas por combinações favoráveis de genes (Tavares-de-Sousa, 1989).

Consiste no cruzamento da F₁ com um dos progenitores, chamado genitor recorrente (portador das características que se desejam manter). Os híbridos resultantes deste segundo cruzamento segregarão para o carácter a ser introduzido, se o carácter é dominante. Algumas plantas, seleccionadas pelo método “pedigree”, já transportando o carácter desejável serão cruzadas de novo com o genitor recorrente e a nova planta possuirá 7/8 dos genes do progenitor recorrente. Repete-se o mesmo cruzamento e selecção quantas vezes seja necessário.

- Mutagénese

Como o decorrer do programa de melhoramento é muito lento e quando não se dispõe de variabilidade genética suficiente, recorre-se com muita frequência, actualmente, a técnicas de indução de mutações, mediante a aplicação de agentes físicos e químicos. As mutações também podem ocorrer naturalmente apresentando algumas delas características de interesse superior aos seus ascendentes, tornando-se mutantes viáveis à reprodução de plantas. Uma desvantagem é a dificuldade na obtenção dos tipos de plantas pretendidos.

- Transformação genética / Engenharia Genética

Na segunda metade do século XX desenvolveram-se técnicas de Engenharia Genética apresentando diferentes soluções para a obtenção de novas variedades de plantas permitindo a aceleração do processo do melhoramento convencional. Na biotecnologia trabalha-se ao nível do gene desejado sem haver a barreira da reprodução sexual. É muito diversificada e ajuda-nos a identificar, isolar, transferir e usar genes específicos que são responsáveis por certas características de interesse agronómico existentes nas plantas, tais como na obtenção de germoplasma tolerante a herbicidas, doenças e pragas, maior fixação de azoto no caso de leguminosas, resistência a stressses abióticos e melhor qualidade. Pode usar-se um único gene ou apenas parte do gene e inseri-lo no ADN (ácido desoxirribonucleico) de outra variedade ou espécie. Os genes a utilizar podem ter origem entre vírus, bactérias, fungos, outras plantas ou animais.

Na Engenharia Genética não se fabrica um gene ao acaso, como no caso da mutagénese, usam-se genes conhecidos naturais ou artificiais (sintetizados em laboratório *in vitro* com partes de outros genes – genes quiméricos). O ADN sintetizado artificialmente em laboratório também pode ser integrado no sistema.

A combinação de selecção, cruzamento, mutagénese, manejo cromossómico, etc. é o que chamamos de melhoramento convencional ou tradicional, ainda que alguns destes métodos como a mutagénese ou a poliploidia sejam bastante actuais. Pode dizer-se que a obtenção de todas as variedades actuais foram obtidas com as técnicas convencionais mencionadas (Cubero, 2003). O que se conseguiu com estas técnicas foi transferir pedaços de material hereditário entre variedades formando assim novas combinações inexistentes até então na natureza. Todo o conjunto de técnicas que permitem o melhoramento convencional ou tradicional é poderoso se der origem a novas variedades. No entanto, necessita tempo; são necessárias várias gerações para conseguir a adequada transferência de determinado gene que interessa introduzir no novo indivíduo. Cada vez é mais urgente a aquisição de novos genes de resistência, de qualidade e de adaptação, entre outros.

4.2. MELHORAMENTO DE GRÃO DE BICO

O melhoramento de grão de bico, visa a obtenção de novas variedades com características superiores de adaptabilidade às condições específicas dos ambientes mediterrânicos e a obtenção de um pacote de informação agronómica que permita o enquadramento nos sucessivos sistemas de agricultura.

O grão de bico é espécie diploide, com $2n = 16$ cromossomas e autogâmica, cujas populações tendem para o estado homozigótico, apresenta flores fechadas, característica que favorece a autopolinização. Como populações homozigóticas a variabilidade aparece sobretudo entre linhas, os recessivos deletérios tendem a ser eliminados, é tolerante à endogamia, não apresenta vantagens na exploração dos heterozigóticos (heterosis). É uma espécie com adaptação muito específica, pouco flexível. O melhoramento tem por isso, de tentar explorar a selecção dos indivíduos resultantes da segregação transgressiva em cruzamentos cujos progenitores são portadores de características (genes) de interesse.

Deste modo todos os métodos aplicados no melhoramento de plantas de autogamia preponderante são também aplicados nesta espécie. Estes métodos incluem:

1. Introdução e selecção de cultivares resistentes; sendo esta introdução um potencial método para desenvolver cultivares resistentes aos diferentes stresses.
2. Hibridação e selecção, incluindo “pedigree”, “bulk” e “backcross”.
3. Mutações que são usadas esporadicamente para o desenvolvimento de cultivares resistentes, nomeadamente às doenças.

O passo mais importante no programa de melhoramento da cultura do grão de bico foi a antecipação da data de sementeira da cultura, que teve lugar nos anos setenta, no ALAD (Arid Lands Agriculture Development – Líbano). Em ensaios efectuados com sementeira de Outono/Inverno, identificaram-se que os principais obstáculos para o bom sucesso da cultura era o desenvolvimento do fungo *Ascochyta rabiei* e a falta de tolerância ao frio, com riscos de grandes perdas de rendimento devidas a um ou a outro factor (Singh, 1997). Já nos anos 80's, a mesma equipa científica no ICARDA obteve linhas adaptadas à sementeira de Outono/Inverno, simultaneamente resistentes ao frio e ao desenvolvimento de *Ascochyta rabiei*. Estas experiências permitiram-lhes antever aumentos de produção superiores a 100 % em sementeira de Outono/Inverno, como por exemplo em 1977-78 e 1979-80 (Tavares-de-Sousa, 1989).

A sementeira realizada durante o Outono/Inverno em comparação com a efectuada na Primavera, garante, desde que não se verifiquem condições desfavoráveis, um aumento de 70 % no rendimento em grão (Saxena, 1987). Em ensaios realizados em vários locais do mundo (incluindo Elvas), algumas linhas de germoplasma mais produtivo chegaram a alcançar 4000 kg/ha. Os aumentos de rendimento na sementeira realizada no Outono/Inverno resultam do acréscimo da biomassa total devido a um período reprodutivo mais alargado¹, mantendo aproximadamente o mesmo índice de colheita que o da sementeira de Primavera (Singh *et al.*, 1997). Um período vegetativo mais extenso resulta numa maior estrutura vegetativa, logo, num maior índice de área foliar (LAI), e numa maior captação da radiação

¹ A duração do ciclo vegetativo passa de 95-125 dias, em sementeira de Primavera, para 185-215 dias em sementeira de Outono/Inverno.

fotossinteticamente activa (PAR) que por sua vez conduz a uma maior produção de biomassa total (Singh *et al.*, 1997).

Por outro lado, dado que a fase reprodutiva se inicia em condições de temperatura e humidade mais favoráveis a maior estrutura vegetativa da sementeira de Outono/Inverno suporta “sinks” reprodutivos proporcionalmente maiores e permite uma adequada repartição da matéria seca (Singh *et al.*, 1997). Isto é, o maior desenvolvimento de ramos quer primários, quer secundários nas plantas resultantes da sementeira de Outono/Inverno, garante uma maior produção de flores, vagens e sementes por planta (Duarte-Maçãs, 1994). A duração do período reprodutivo está positivamente correlacionado com o número de dias de crescimento vegetativo, logo esta fase é mais longa quando se efectua a sementeira no Outono/Inverno em comparação com a sementeira de Primavera, contribuindo para um maior rendimento em grão.

Os métodos de melhoramento mais usados na ENMP, para obtenção de linhas resistentes à *Ascochyta rabiei*, frio e secura em sementeira de Outono/Inverno são essencialmente “bulk”/ “pedigree” e “pedigree”. Como a maior parte das doenças que atacam as leguminosas para grão, destruindo folhas, vagens e caules são de natureza monogénica, ou controladas por pequenas séries alélicas de genes, a estratégia mais eficaz é a piramidização no mesmo indivíduo, de vários genes conhecidos (“backcross” convergente) e que conferem resistência a diferentes raças da mesma doença, levando a que a resistência resultante seja mais duradoura e do tipo horizontal. Assim, e como esta resistência não é total, deverá ser considerada a necessidade de fazer uma ou duas aplicações de fungicidas, se as condições ambientais forem muito favoráveis ao desenvolvimento da doença, como por ex. a *Ascochyta rabiei* no grão de bico.

A realização de cruzamentos artificiais tem tido, porém, uma percentagem de sucesso muito baixa, por isso praticamos a selecção em populações e linhas avançadas de origem portuguesa e em material exótico em segregação, proveniente de cruzamentos realizados no ICARDA e International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT).

O material vegetal é introduzido no Programa e segue-se o esquema de melhoramento apresentado na fig. II.4.1. Os principais objectivos deste programa são a obtenção de linhas com elevados rendimentos, tolerantes à *Ascochyta rabiei* e *Fusarium oxysporum*, tolerância ao stresse hídrico e térmico, sementes com elevado peso e plantas com altura e porte que permitam a mecanização total da colheita.

Desde 1985, ano em que se iniciou o melhoramento do grão de bico na ENMP, foram seleccionadas três variedades comerciais de grão de bico, duas de grão negro (Elmo e Elite) e uma de grão de tegumento claro (Elvar).

Com o estabelecimento de programas internacionais dedicados ao melhoramento do grão de bico, existem actualmente recursos que recorrem à hibridação e selecção em larga escala (Van der Maesen, 1987). Assim, reconhecem-se algumas possibilidades no campo do melhoramento por via da introgressão kabuli-desi: características como um número grande de ramos primários, grande tamanho da semente, elevada estatura, tolerância ao frio e resistência à raiva (*Ascochyta rabiei*), podem ser transferidos do tipo kabuli para o tipo desi;

o tipo desí, por sua vez, pode contribuir com um grande número de ramos secundários, maior número de vagens por planta e mais sementes por vagem, tolerância ao calor e à secura e resistência à fusariose (*Fusarium spp.*) (Singh, 1987).

4.3. MELHORAMENTO PARA TOLERÂNCIA À SECURA

Como forma de aumentar a competitividade económica das leguminosas para grão, tornou-se essencial o controlo dos stresses abióticos que afectam as culturas. As práticas a adoptar têm que ser simples, efectivas, económicas e não devem afectar negativamente o ambiente.

Desenvolver cultivares com resistência durável adaptadas a diferentes ambientes e sistemas de produção portadoras de características agronómicas e de qualidade é o maior desafio dos melhoradores. Alguns stresses interactuam uns com os outros e assim é necessário desenvolver procedimentos de melhoramento que conduzam à seleção de plantas com resistência multi-stresse. Por exemplo a produção de grão de bico decresceu substancialmente em toda a região Mediterrânica devido ao aumento da frequência de períodos de seca. Do mesmo modo o aumento antecipado da frequência das elevadas temperaturas e da secura pode conduzir a perdas graves na produção agrícola em muitas regiões (referido no capítulo II, 1-Clima Mediterrânico).

Apesar da importância dos factores adversos na produção de grão de bico, apenas 25% dos esforços realizados em programas de melhoramento, são dedicados ao melhoramento para resistência a stress. Os outros 75 % são dedicados ao melhoramento para o rendimento e produção.

O primeiro programa de melhoramento para tolerância à secura, em grão de bico, iniciou-se na Primavera de 1989 (ano muito seco) no ICARDA. Os mesmos ensaios foram semeados no Inverno em parcelas adjacentes. Primeiramente basearam-se na seleção de linhas tolerantes à secura e só depois se basearam na produção final dos genótipos. Esta última aproximação é a mais utilizada pelos investigadores de outros centros. No entanto, é provável que a seleção para tolerância à secura seja baseada em ambos os critérios citados, ou seja produção e mecanismos de resistência à secura (quadro II.4.1), ao nível de caracteres morfológicos, fenológicos, fisiológicos e bioquímicos que estão associados ao rendimento final. Isto faz com que a seleção seja mais efectiva.

Quadro II.4.1 – Caracteres associados com a tolerância à secura em grão de bico

MORFOLÓGICOS / FENOLÓGICOS	FISIOLÓGICOS / BIOQUÍMICOS
Maturação precoce	Resistência estomática
Rápido vigor inicial	Ajustamento osmótico
Rápida cobertura do solo	Enrolamento foliar
Caracteres foliares	Retenção de água foliar
Tamanho da semente	Senescência foliar
Crescimento radicular/morfologia	

Fonte: Singh, 1993

Alguns destes caracteres são fáceis de incorporar, no entanto, outros como o ajustamento osmótico não é fácil (Singh, 1993).

O grão de bico é considerado como uma cultura tolerante à secura e recentemente estão a realizar-se esforços no sentido de obter genótipos tolerantes ao ambiente Mediterrânico e à resposta à rega em situação de carência hídrica durante o período reprodutivo.

Para determinar quais os métodos de melhoramento melhor ajustados à tolerância à secura, é necessário um melhor conhecimento da hereditariedade das características associadas à resistência/tolerância ambiental. Um sistema genético baseado em um ou dois alelos poderia permitir o uso da técnica do rectrocruzamento para promover a introgressão da característica desejável em genótipos agronomicamente bem adaptados. Pelo contrário, um sistema complexo de controlo poligénico, tal como a produção de grão ou biomassa requer vários ciclos de selecção e avaliação em ambientes caracterizados por secura durante várias gerações e anos. As descendências de cruzamentos que envolvam progenitores resistentes, identificados empiricamente, podem ser semeadas em situações de limitação hídrica durante várias gerações, conduzindo a selecção baseada somente na avaliação da produção ou em conjunto com outras características do grão.

Este critério pode ser seguido durante uma ou duas gerações assegurando que a selecção subsequente seja exercida em situações de grande limitação hídrica. Após esta pressão de selecção as melhores populações devem ser avaliadas durante uma ou duas gerações, para testar o ganho genético da resistência à secura em experimentações repetidas com e sem água. Estes estudos podem permitir também a avaliação do potencial produtivo das linhas em estudo, em condições de ausência de limitações hídricas.

A biomassa e a produção de semente são parâmetros que facilmente se usam para caracterizar diferentes genótipos no que respeita à sua tolerância à secura, usando selecção empírica de campo (Blum, 1985). Estes parâmetros integram os efeitos da secura do solo e atmosférica no espaço e no tempo.

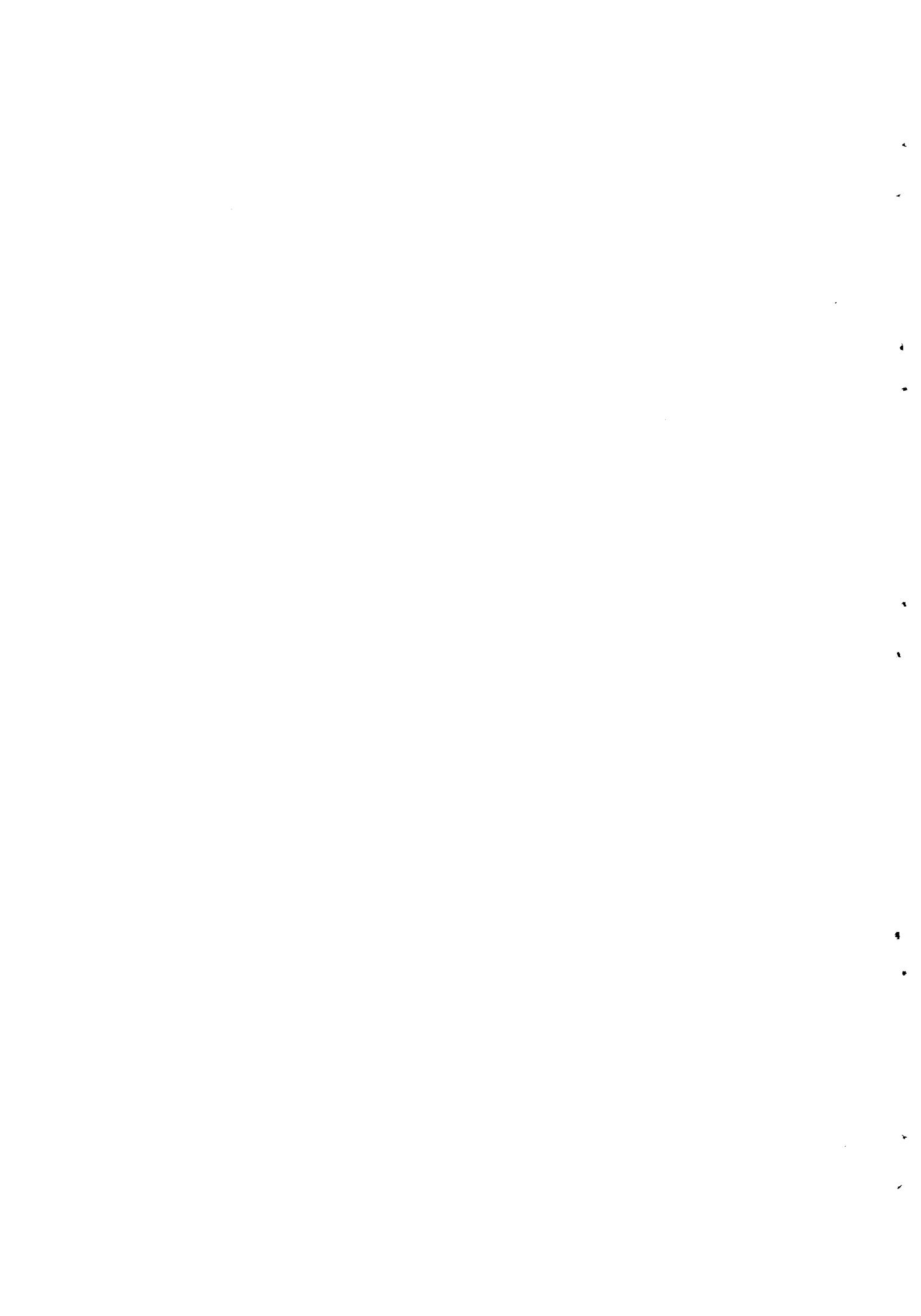
Como já foi referido, não se deve esperar que as produções obtidas com materiais resistentes à secura em ambientes óptimos alcancem os valores de genótipos seleccionados especificamente para esses ambientes. É necessário decidir até onde se deve sacrificar o potencial produtivo para alcançar ganho genético em termos de resistência à secura.

Além do aspecto morfológico da parte aérea, existem outros programas de melhoramento mais direcionados para o estudo de aspectos radiculares (Brown *et al.*, 1989). Poucos trabalhos desta natureza se têm realizado em leguminosas para grão, provavelmente porque existem algumas dificuldades associadas ao estudo no campo. Em trabalhos de melhoramento genético realizados para ultrapassar os efeitos da secura já foram obtidas diferenças entre genótipos nos padrões de crescimento das raízes dentro de grupos de determinada duração de maturação (Brown *et al.*, 1989 e Saxena *et al.*, 1993).

Brown *et al.* (1989) verificaram que variedades de grão de bico de ciclo curto apresentam um crescimento radicular inicial rápido que por sua vez não é capaz de se manter durante o enchimento do grão. Isto induz senescênci a radicular nas variedades de curta duração e pode conduzir a perdas entre 64 e 80% do crescimento das raízes.

O calor e a secura durante o período de formação da vagem agravam a perda de raízes activas, facto que coincide com o arranque do crescimento reprodutivo (Summerfield, 1980 *cit in* Saxena *et al.*, 1993). Este pobre desenvolvimento das raízes e a sua deterioração durante a formação das vagens nas variedades de curta duração, em comparação com variedades de longa duração, é considerado como um mecanismo de escape.

Uma lacuna nos estudos de melhoramento para tolerância ao stresse hídrico (secura) é o inadequado conhecimento do efeito do déficit na fixação simbiótica de azoto, apesar de já se terem realizado alguns estudos nesta área por Wery e outros (1988) em grão de bico; foram observados efeitos nefastos nos nódulos de grão de bico.



CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo faz-se uma breve caracterização do material vegetal utilizado e apresentam-se genericamente as metodologias usadas. Na apresentação de resultados dos capítulos seguintes são especificadas as condições experimentais de realização de cada ensaio.

Todo o trabalho experimental para a elaboração desta tese, foi efectuado na Estação Nacional de Melhoramento de Plantas (ENMP), em Elvas (ver Capítulo II, 1 - Clima Mediterrânico).

A simulação de chuva foi efectuada através de rega. Como o período reprodutivo é a fase do ciclo mais critica do ciclo do grão de bico, a rega foi iniciada a partir da data de inicio de floração, normalmente em Março (para as plantas semeadas no Outono/Inverno), quando a evaporação aumenta e a precipitação diminui.

O sistema de rega usado foi de gota-a-gota de 2 kg/cm^2 de pressão, constituído por tubos de 16 mm com gotejadores auto-compensantes distanciados de 30cm (débito do gotejador – 2,4 litros/hora). O número de regas e sua duração, apresentadas em cada capítulo específico, foi em função das necessidades hídricas do solo, controlada mediante a utilização de tensímetros, sonda de neutrões e medições do potencial hídrico de base (ao amanhecer). A rega teve como objectivo impedir o aparecimento de qualquer déficit hídrico. Deste modo foi sempre efectuada rega quando houve necessidade.

2. MATERIAL VEGETAL

Na sequência do programa de melhoramento de grão de bico (*Cicer arietinum* L.) da ENMP, que se iniciou no ano agrícola 1985/86, foram candidatos ao Catálogo Nacional de Variedades (CNV) em 1990, dois genótipos de grão de bico que apresentavam, além de elevado rendimento, altura adequada para a mecanização da colheita. Em 1992 foram aceites como variedades comerciais e atribuídos os nomes ELVAR e ELMO. Estas variedades constituíram o primeiro material vegetal a estudar durante o nosso trabalho experimental (ver Capítulo IV).

A variedade Elvar é do tipo Kabuli, com flores brancas e sementes beije, rugosas, de tamanho médio a grande (peso de 100 sementes entre 35 e 40 g), possui um porte robusto (semi-erecto) com três ramos principais ou basais e alguns secundários já no terço médio-superior da planta. É proveniente do ICARDA (FLIP 85-17C) e foi obtida através de um cruzamento artificial realizado em 1983: TH 19 x (FLIP 82-65xFLIP 82-69). Foi introduzida

na ENMP em 1986, num ensaio para testar o tamanho da semente. O rendimento desta variedade em grande cultura varia entre 1500 a 2000 kg/ha.

A variedade Elmo é do tipo Desi, com flores violetas e grãos pretos, angulosos, de tamanho pequeno a médio (peso de 100 sementes entre 25 e 30 g). Tem pigmentação antocianínica nos caules, pecíolos e pedicelos. São plantas altas com porte semi-erecto. Em grande parcela, os rendimentos médios variam entre 1500 e 2000 kg/ha. Esta variedade é originária da Rússia (ICC 6304), mas foi introduzida na ENMP pelo ICARDA em 1985, numa “nurserie” para testar tolerância ao ataque de *Ascochyta rabiei*.

No capítulo V, alargámos os conhecimentos adquiridos, no capítulo IV, a 27 genótipos de grão de bico, oriundos de uma “nurserie” proveniente do ICARDA (quadro III.1). Esta “nurserie” é denominada CIDTN (Chickpea International Drought Tolerance Nursery) e constitui um ensaio de linhas de plantas, com apenas duas repetições, onde cada genótipo em estudo, está separado com uma linha sensível, repetida sistematicamente entre cada duas parcelas.

Quadro III.1 – Lista de genótipos usados nos ensaios do capítulo V, identificados pelo número de campo, entrada na ENMP, pedigree e origem do germoplasma

N.º de campo	Entrada ENMP	Pedigree	Origem
1	ChK 3221	FLIP 90x8C 1987: TH 317 - CPL.SE.BE.81-40x ILC 195xFLIP 84-46C	ICARDA
2	ChK 3213	FLIP 91-209C	ICARDA
3	ILC 1337	ILC 1337	Afganistão
4	ILC 1577	ILC 1577	Afganistão
5	ILC 1850	ILC 1850	Irão
6	ILC 1900	N.º 8 (Colecção de Hama)	Síria
7	ILC 1988	ICC 2288, P1918-1	Irão
8	ILC 2166	ILC 2166	Irão
9	ILC 2173	ILC 2173	Irão
10	ILC 2466	ILC 2466	Índia
11	Elmo	ICC 6304	Rússia
12	ILC 2929	ILC 2929	Afganistão
13	ILC 3237	ILC 3237	Afganistão
14	Elvar	FLIP 85-17C 1983: TH 19 x (FLIP 82-65xFLIP 82-69)	ICARDA/ICRISAT
15	ILC 3776	ILC 3776	U.S.A.
16	ILC 3843	Pch 102	Marrocos
17	ChK 2909	FLIP 91-222C	ICARDA
18	ChK 2381	FLIP 90x96C 1987: TH 26 - ILC 5342xFLIP 84-93C	ICARDA
19	ChK 309	FLIP 83-15C	ICARDA
20	ILC 5371	1982: TH 70 - ILC 3395 x ILC 3279	ICARDA/ICRISAT
21	ILC 6023	PI 468928	México
22	ChK 3226	FLIP 91-26C	ICARDA
23	ILC 6119	ICC 14219	Malásia
24	FLIP87-7C	1985: TH 246 - ILC 3398 x FLIP83-13C	ICARDA/ICRISAT
25	FLIP87-58C	1985: TH 264 - ILC 3777 x FLIP83-46C	ICARDA/ICRISAT
26	ChK 1695	FLIP87-59C 1985: TH 274 - ILC 3843 x FLIP82-130C	ICARDA/ICRISAT
27	FLIP87-85C	1985: TH 248 - ILC 3398 x FLIP83-46C	ICARDA/ICRISAT
28	FLIP87-42C	1985: TH 230 - ILC 3395 x FLIP83-13C	ICARDA/ICRISAT
29	ILC 3279	ILC 3279	Rússia

No capítulo VI efectuaram-se dois grupos de ensaios conforme referido no sub-capítulo - Material e Métodos do mesmo capítulo. No primeiro grupo, designado por PARTE-A, estudaram-se 20 genótipos de grão de bico (quadro III.2), 7 dos quais foram seleccionados no capítulo V.

Os genótipos foram seleccionados pela variabilidade apresentada em termos genéticos e de adaptação em ensaios realizados desde o início do programa de melhoramento de grão de bico na ENMP. A interpretação de todos os ensaios realizados na Estação Nacional de Melhoramento de Plantas, desde 1985 em ambas as épocas de sementeira (Primavera e de época de Outono/Inverno), tendo em vista o rendimento e a adaptação aos stresses bióticos, conduziu à eleição de 13 genótipos por se apresentarem bem adaptados a diferentes situações ambientais.

Quadro III.2 – Lista de genótipos usados nos ensaios do capítulo VI, PARTE-A, identificados pelo número de campo, entrada na ENMP, pedigree e origem do germoplasma

N.º de campo	Entrada ENMP	Pedigree	Origem
1	ChK 2983	FLIP 92-55C	ICARDA
2	ChK 508	FLIP 85-5C	ICARDA
3	ChK 309	FLIP 83-15C	ICARDA
4	ChK 3252	Selecção genealógica de ChK 504: FLIP 84-15C	ICARDA
5	ChK 3203	Selecção genealógica de: 137 – ICC x 890396	ICARDA
6	ChK 3213	FLIP 91-209C	ICARDA
7	ChK 3226	FLIP 91-26C	ICARDA
8	ChK 3221	FLIP 90x8C	ICARDA
		1987: TH 317 - CPL.SE.BE.81-40x ILC 195xFLIP 84-46C	ICARDA
9	ChK 504	FLIP 84-15C	ICARDA
10	ChK 301	FLIP 82-150C	ICARDA
11	ChK 1150	FLIP 87-87C	ICARDA
12	ChK 1104	FLIP 86 - 104C	ICARDA
13	ChK 933	ILC 3274	ICARDA
14	ChK 2909	FLIP 91-222C	ICARDA
15	ChK 2381	FLIP 90-96C	ICARDA
		1987: TH 26 - ILC 5342xFLIP 84-93C	ICARDA
16	ChK 2844	1990: TH 61 - FLIP 81-89C x FLIP 84-42C	ICARDA
17	ChK 3087	Selecção genealógica de ChK 2535:	ICARDA
		1989: TH 268 – (ICC202 x FLIP 85-105C) x FLIP 81-293C	ICARDA
18	ChK 3099	Selecção genealógica de ChK 1557:	ICARDA
		1987: TH 112 – FLIP 85-2C x FLIP 84-91C	ICARDA
19	ChK 1695	FLIP 87-59C	ICARDA
20	ILC 3279	ILC 3279	Rússia

No ano 1997/98, foi instalado, paralelamente, um ensaio em vasos, com 6, dos 20 genótipos semeados nos ensaios de campo: ChK 3213, ChK 3226, ChK 3221, ILC 3279, ChK 1695 e ChK 2909. Os genótipos foram seleccionados pelos elevados rendimentos obtidos nos anos anteriores, o genótipo ILC 3279, foi usado como testemunha uma vez que no ICARDA foi classificada como sensível à secura.

No quadro III.3 listam-se os genótipos em estudo no capítulo VI, 2º grupo – PARTE-B. Neste grupo destacam-se 6 genótipos que foram seleccionados durante a execução experimental na PARTE-A. Os restantes 15 foram recebidos do ICARDA, para testar adaptação ao ambiente Mediterrânico.

Quadro III.3 – Lista de genótipos usados nos ensaios do capítulo VI, PARTE-B, identificados pelo número de campo, entrada na ENMP, pedigree e origem do germoplasma

N.º de campo	Entrada ENMP	Pedigree	Origem
1	ILC 72	ILC 72	ICARDA
2	ILC 391	ILC 391	ICARDA
3	ILC 588	ILC 588	ICARDA
4	ILC 1171	ILC 1171	ICARDA
5	ILC 1306	ILC 1306	ICARDA
6	ChK 3213	FLIP 91-209C	ICARDA
7	ILC 2516	ILC 2516	ICARDA
8	ChK 2381	FLIP 90-96C 1987: TH 26 - ILC 5342xFLIP 84-93C	ICARDA
9	ILC 3832	ILC 3832	ICARDA
10	ChK 2909	FLIP 91-222C	ICARDA
11	ILC 4236	ILC 4236 Elvar	ICARDA
12		FLIP 85-17C 1983: TH 19 x (FLIP 82-65xFLIP 82-69)	ICARDA
13	FLIP87-8C	FLIP87-8C	ICARDA
14	FLIP87-58C	FLIP87-58C	ICARDA
15	ChK 1695	FLIP87-59C	ICARDA
16	FLIP87-85C	FLIP87-85C	ICARDA
17	FLIP88-42C	FLIP88-42C	ICARDA
18	ILC 360	ILC 360	ICARDA
19	ChK 3221 T	FLIP 90x8C 1987: TH317/CPL.SE.BE.81-40x ILC 195xFLIP 84-46C	ICARDA
20	ChK 3226 T	FLIP 91-26C	ICARDA
21	ILC 3279 T	ILC 3279 T	Rússia

3. MÉTODOS

A metodologia apresentada neste capítulo refere os métodos comuns a todos os capítulos de resultados (IV, V e VI).

3.1. FENOLOGIA E MORFOLOGIA

Ao longo dos anos e durante as experimentações de campo, foram observados parâmetros que permitiram caracterizar o comportamento morfológico de duas variedades comerciais (Elvar e Elmo) no capítulo IV, de 27 genótipos no capítulo V, de 20 genótipos no capítulo VI-A e 21 no capítulo VI-B, face a diferentes tratamentos e datas de sementeira. Foram registados dados referentes à fenologia, morfologia, rendimento e seus componentes e à fisiologia das plantas (estado hídrico e trocas gasosas). Posteriormente foram estabelecidas relações que levaram à compreensão do comportamento ecofisiológico do material vegetal em estudo.

Os estudos fenológicos referem-se à progressão do aparecimento e duração das fases do ciclo vegetativo e foram efectuados em todos os ensaios (quadro III.4).

Os caracteres morfológicos estudados, basearam-se na observação directa da parte aérea das plantas e foram divididos em dois grupos: a) análise do desenvolvimento do coberto vegetal (quadro III.5) e b) componentes do rendimento à colheita (quadro III.6). Estes caracteres foram observados em todos os ensaios.

Quadro III.4 – Progressão fenológica das plantas

ESTÁDIO FENOLÓGICO	SIGLA	DESIGNAÇÃO
Data de Emergência	E	número de dias após a sementeira, até 50% da parcela apresentar plantulas
Data do Início de Floração	IF	número de dias após a sementeira, até 5% das plantas da parcela apresentarem botões florais
Data da Floração Média	FM	número de dias após a sementeira, até 50% das plantas da parcela apresentarem mais de uma flor
Data do Fim de Floração	FF	número de dias após a sementeira, até à formação da última flor
Data da Frutificação média	FrM	número de dias após a sementeira, até 5% das plantas da parcela apresentarem mais do que uma vagem
Data da Maturação	M	número de dias após a sementeira, até 90% das plantas da parcela estarem prontas para colher
Período reprodutivo	PR	duração da fase reprodutiva (diferença entre FF e IF)

Quadro III.5 – Análise do desenvolvimento reprodutor das plantas

	SIGLA	DESIGNAÇÃO
Altura da planta	AT	altura desde o solo até ao topo da planta em centímetros
Altura da primeira vagem	A1 ^a vg	altura desde o solo até à inserção da primeira vagem em centímetros
Intervalo reprodutivo	IR	diferença entre a altura total da planta e a altura de inserção da 1 ^a vagem em cm
Número de nós reprodutivos	NRepr	contagem do número de nós com flores
Número de vagens por m ²	Vg/m ²	valor obtido a partir do número total de vagens na parcela colhida. Este parâmetro é também um componente do rendimento
Número de vagens com semente	NVgS	valor obtido a partir do número total de vagens com semente, na parcela colhida
% de abortamento	%Abort	percentagem do número de vagens que não deram sementes

Quadro III.6 – Componentes do rendimento

COMPONENTES DO RENDIMENTO	SIGLA	DESIGNAÇÃO
Número de plantas por m ²	Pls/m ²	número de plantas por metro quadrado à colheita
Biomassa total por m ²	PST/m ²	peso seco total da parte aérea (caules, folhas, vagens e sementes) por metro quadrado
Número de sementes por m ²	Sem/m ²	número de sementes por metro quadrado, em função da área semeada
Produção por m ²	Prod/m ²	peso das sementes de um metro quadrado (kg)
Peso de 100 sementes	P100S	peso de 100 sementes em gramas
Índice de colheita	IC	razão entre a produção da parcela e a biomassa da mesma parcela
Rendimento	Rend	conversão da produção do talhão ao hectare (kg/ha)

3.2. CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

Para estudar o comportamento fisiológico das plantas, fizeram-se ao longo do ciclo da planta, a partir da data de início de floração (início do estabelecimento do tratamento de rega), determinações visuais e determinações fisiológicas, utilizando equipamento específico (quadro III.7 e quadro III.8).

Quadro III.7 – Parâmetros visuais observados ao longo do ciclo

DETERMINAÇÕES VISUAIS	DESIGNAÇÃO	CAPÍTULO
enrolamento foliar	Enrolamento da folha	IV, V, VI
pubescência foliar	Presença de pelos da página abaxial das folhas	IV, V, VI
senescência foliar	avaliada a partir da entrada das primeiras folhas em senescência	IV, V, VI

Quadro III.8 – Parâmetros fisiológicos determinados ao longo do ciclo

	DESIGNAÇÃO	SIGLA	CAPÍTULO
ESTADO HÍDRICO DA PLANTA	Potencial hídrico ■ de base ■ ao meio dia solar	ψ_b , MPa ψ_{md} , MPa	IV, V, VI
	Teor relativo em água	RWC, %	IV, V, VI
TROCAS GASOSAS	Fotossíntese	A, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	VI
	Condutância estomática	g_s , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	IV, V, VI
	Temperatura da folha	T_f , °C	IV, V

3.2.1. Estado Hídrico da Planta

- Potencial hídrico - ψ , MPa

Para determinar o potencial hídrico (ψ) usámos o método de Scholander *et al.* (1965), através da câmara de pressão de Scholander, que mede a tensão de água do xilema quando uma folha é cortada; a pressão aplicada é igual e de sinal contrário à referida tensão de água no xilema e corresponde ao potencial hídrico foliar.

A amostra foi constituída pelo ápice do ramo principal de uma planta, contendo as duas últimas folhas inteiras. O corte foi feito na diagonal e realizado com uma lâmina bem afiada; a irregularidade do corte pode conduzir a erros de leitura. A leitura foi realizada imediatamente para evitar perdas de água pela extremidade cortada.

O ψ varia ao longo do dia e do ciclo. Para compreender a causa desta variação, realizámos observações de ψ ao amanhecer (potencial hídrico de base - ψ_b). Esta determinação é a mais comum, uma vez que o ψ ao amanhecer é o maior do dia e varia pouco, por isso, dá-nos uma ideia do ψ do solo, visto as plantas estarem em equilíbrio hídrico com o ψ do solo e terem os estomas fechados a esta hora. As observações realizadas ao meio dia solar (potencial hídrico ao meio dia - ψ_{md}), são aquelas que nos indicam o mínimo valor do ψ ao longo do dia.

As determinações foram efectuadas durante o período reprodutivo (a partir do início da floração).

- Teor relativo em água (%) - RWC

O teor relativo em água, RWC, ou seja, a percentagem de água presente nos tecidos relativamente à água máxima que poderão conter, foi calculado a partir de valores de massa foliar fresca (PF), massa foliar seca (PS – a 80°C durante 24 horas) e massa foliar túrgida (PR – após 20 horas de imersão em água e mantidas a 4°C), de acordo com a equação:

RWC (%) = $(PF - PS)/(PR - PS) \times 100$ (Turner, 1981). O RWC igual a 100, e representa um tecido na sua máxima hidratação.

Da amostra que se prepara para a leitura do potencial hídrico foliar (ápice de uma planta), retira-se uma folha inteira para medir o RWC.

As determinações foram efectuadas ao meio dia solar durante o período reprodutivo em todas as experimentações.

3.2.2. Trocas Gasosas

Para medir as trocas gasosas (fotossíntese e condutância estomática) nos diferentes tratamentos e genótipos a estudar, foi utilizado um sistema em circuito aberto de medição de taxa de trocas (Photosynthesis System - CI-301PS, de origem Americana CID, Inc.). Este sistema é basicamente constituído por três componentes: a) a câmara de medida, onde está encerrado o material vegetal não destacado da planta; b) a unidade central que inclui a fonte de alimentação, controladores de temperatura, bombas de circulação de ar, controladores de fluxo, diversos comandos, uma unidade colectora e processadora de dados e os mostradores de leitura digital e analógica; c) o analisador diferencial de CO₂ e de vapor de água por análise espectroscópica na banda do infra-vermelho (Infra Red Gas Analyser – IRGA).

O princípio de funcionamento deste sistema, no qual se baseiam as determinações das taxas de trocas gasosas e de condutância estomática, reside na medição exacta pelo IRGA das variações na concentração de CO₂ e de vapor de água devido à actividade do material vegetal que está encerrado na câmara de medição, em relação a um circuito paralelo de referência. Designa-se circuito aberto porque há um fluxo de ar que o atravessa; as medições são por isso efectuadas em modo diferencial e o fluxo de ar deverá ser constante e determinado com precisão.

Na câmara de medida estão instalados sensores de humidade, de radiação fotossinteticamente activa e de temperatura do ar e da folha. A parte inferior da câmara dispõe de um ventilador que mantém a circulação do ar no interior da câmara, minimizando a resistência da camada limite à difusão do vapor de água na superfície foliar.

A folha, encerrada dentro da câmara era cuidadosamente marcada a fim de se proceder à posterior medição da área. Todas as taxas são determinadas em função da área foliar projectada.

Todas as medições foram efectuadas no campo ao longo do ciclo vegetativo.

- Condutância estomática (g_s, mmol m⁻²s⁻¹)

A condutância da folha foi considerada equivalente à condutância estomática, atendendo por um lado a elevada resistência cuticular relativamente à resistência em paralelo imposta pelos estomas, e por outro, à elevada condutância da camada limite que existe nas condições de medida com este sistema.

A condutância estomática e a temperatura da folha, nos ensaios correspondentes aos capítulos IV e V, foi medida com um porómetro Delta-T tipo AP4 (Inglaterra). Nos ensaios correspondentes ao capítulo VI utilizou-se o IRGA referido anteriormente.

- Taxa de fotossíntese líquida (A, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

A taxa de fotossíntese é determinada pela variação da concentração de CO_2 e por uma área conhecida de folha durante um determinado tempo:

$$A = (\Delta\text{CO}_2 \times \text{fluxo}) / \text{área}$$

3.3. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para o tratamento estatístico dos resultados obtidos usámos o programa de estatística MSTAT-C (Microcomputer Statistical Program, Michigan State Universiy, USA).

A magnitude da variação de todas as variáveis consideradas foi determinada por análise de variância (ANOVA), considerando cada ambiente separadamente. Para compreender a interacção do efeito dos tratamentos nos diferentes anos, e/ou épocas de sementeira e/ou genótipos, efectuámos análises de variância combinada - ANOVA combinada ou factorial, com os factores correspondentes em cada ano. Esta análise foi realizada quer para os parâmetros fisiológicos e morfológicos quer para o rendimento e seus componentes, separa as suas médias, calcula desvios e coeficientes de variação. A diferença mínima significativa (d.s.m.) foi obtida usando o quadrado médio do erro apropriado e o número de observações para o cálculo da média.

Para o cálculo das correlações entre características usaram-se os valores médios de cada genótipo. Este tratamento estatístico indica o rumo da selecção e as causas que pode provocar, por exemplo no rendimento.

A estabilidade de produção dos genótipos (ver capítulo VI), foi avaliada pela análise de regressão conjunta (Finlay e Wilkinson, 1963; Eberhart e Russel, 1966; Perkins e Jinks, 1968; Freeman e Perkins, 1971). Na sua essência, este método consiste na regressão das médias de cada genótipo, em cada ambiente, na média geral do respectivo ambiente, permitindo uma apreciação do comportamento relativo da cultivar face à variação ambiental (Joppa *et al.*, 1971; Gusmão, 1985, 1986, 1988).

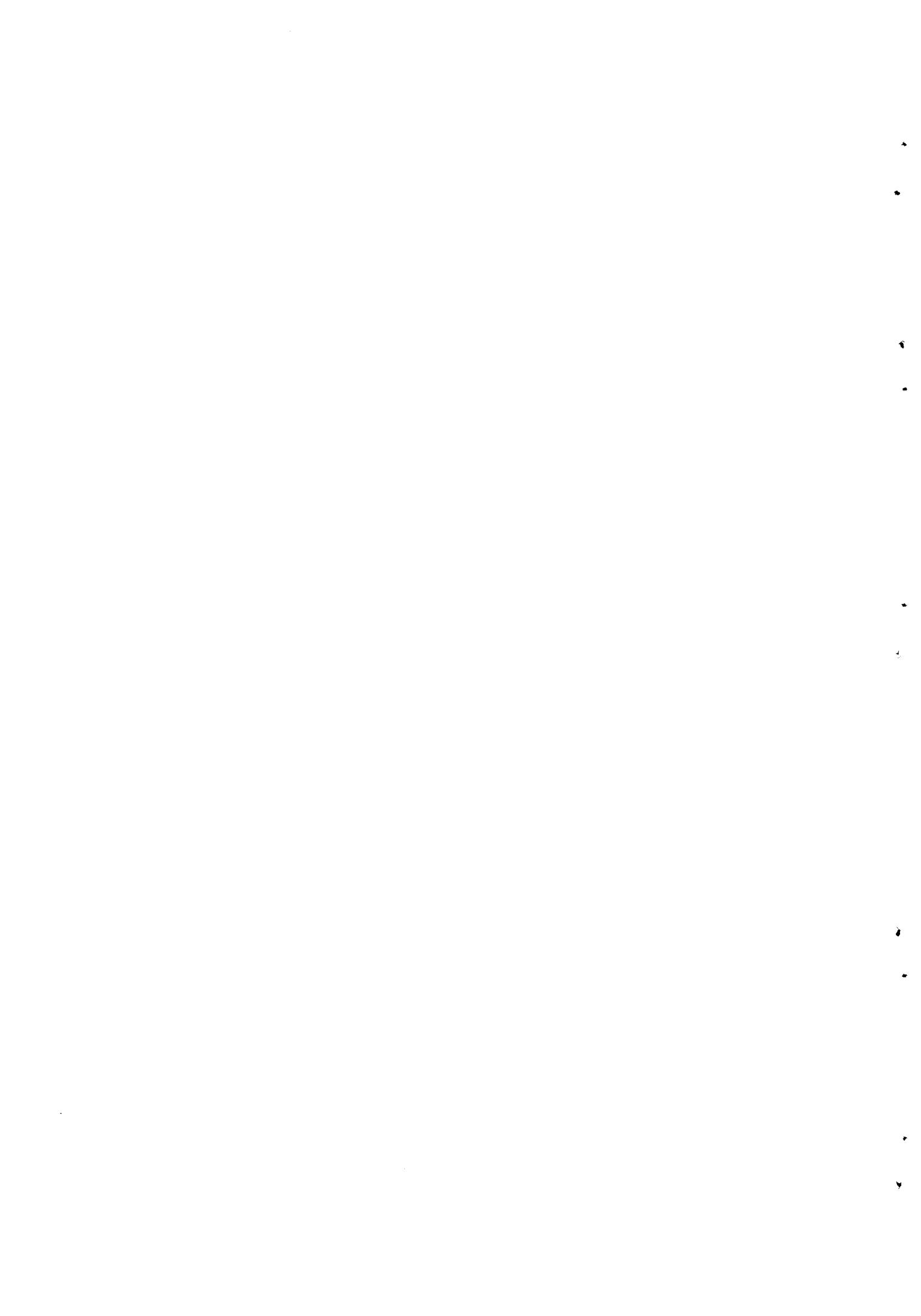
No capítulo VI, PARTE-B, foi realizado o índice de susceptibilidade à secura (S), apresentado por Fischer e Maurer em 1978, para calcular o benefício da precipitação em termos de rendimento. Este índice relaciona a produção do ambiente mais favorável em função da produção de cada genótipo na situação contrastante. No nosso estudo foi calculado para todos os genótipos nos 2 anos e três datas de sementeira.

$$S = (1 - \text{Prod}_p / \text{Prod}_m) / (1 - \text{Prod}_{\text{méd}p} / \text{Prod}_{\text{méd}m})$$

Em que Prod_p e Prod_m são a produção do genótipo no pior ambiente e no melhor ambiente respectivamente e $\text{Prod}_{\text{méd}p} / \text{Prod}_{\text{méd}m}$ são a produção média do pior e do melhor ensaio respectivamente.

Para estudar as relações entre o rendimento e os seus componentes foi efectuada uma análise de correlação como estabelece Board (1987), tendo sido os coeficientes de correlação fenotípica posteriormente separados em efeitos directos e indirectos como sugeriu Wright em 1921, *citado in* Li (1956). O método ilustrado por Li (1956) e Dewey e Lu (1959), usado por Hossain *et al.* (1984) e Reiad *et al.* (1987), é recomendado frequentemente por Grafius (1978) e Mackey (1986). Designado por análise de “path coefficient”, é um tipo especial de análise multi-variada e apresenta-se como uma ferramenta útil para encontrar os efeitos directos e indirectos de um sistema de variáveis (causas) num produto final (efeito).

A análise “path coefficient” provoca o desdobramento das associações entre variáveis, em causas directas e indirectas. Esta análise permite examinar as forças que actuam para dar um determinado coeficiente de correlação e simultaneamente avaliar a importância relativa de cada uma das componentes na determinação do rendimento.



CAPÍTULO IV

O COMPORTAMENTO DE DUAS VARIEDADES COMERCIAIS DE GRÃO DE BICO EM SITUAÇÃO DE DÉFICIT HÍDRICO

1. INTRODUÇÃO

Como foi descrito no capítulo II, o grão de bico é uma cultura tradicional de Primavera, por ser muito sensível à associação da humidade com a temperatura, condições favoráveis ao desenvolvimento do fungo *Ascochyta rabiei*. Estudos de antecipação da data de sementeira da cultura evidenciam que desde que se utilizem variedades tolerantes ao ataque do fungo é possível antecipar a data de sementeira para o Outono/Inverno com resultados bastante superiores na produção por unidade de área. Estes aumentos de rendimento estão associados às condições hídricas do solo que são mais favoráveis ao crescimento e ao bom desenvolvimento da cultura. As plantas têm um maior crescimento vegetativo e iniciam o período reprodutivo quando normalmente se efectuam as sementeiras de Primavera; produzem um maior número de flores e consequentemente uma maior produção por planta.

O estudo efectuado para o clima Mediterrânico (ver capítulo II) alerta-nos para o decréscimo da precipitação com o tempo, nomeadamente da precipitação da Primavera. Neste sentido, não é promissora a realização da sementeira em Março, uma vez que aumenta a probabilidade de todo o ciclo se desenvolver em condições de estresse hídrico e os rendimentos seriam muito afectados. A sementeira antecipada é benéfica, mas se a Primavera se mantiver seca também as plantas sofrerão durante o período reprodutivo, com aceleração do ciclo. A realização de regas de recurso em situações desta natureza, são a resposta à necessidade hídrica das plantas e a motivação para a realização deste capítulo do trabalho.

A água é um recurso escasso, daí a necessidade de saber gerir as regas durante o período reprodutivo e estabelecer parâmetros que caracterizem o estado hídrico do solo e da planta que permitam minimizar os efeitos negativos, sobre a produção, do déficit hídrico, verificado normalmente na Primavera.

A definição de critérios morfológicos e fisiológicos de tolerância à secura no grão de bico, já foram anteriormente estudados em Elvas (Duarte-Maçãs, 1994). Após os conhecimentos adquiridos é agora importante determinar os valores de potencial hídrico do solo a partir dos quais o rendimento do grão de bico se torna decrescente e quais os componentes do rendimento mais afectados. Para este estudo usámos duas variedades comerciais obtidas na ENMP em 1992.

2. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

2.1. MATERIAL VEGETAL

Foram testadas duas variedades de grão de bico obtidas na ENMP em 1992, ELVAR e ELMO (descrição das variedades no capítulo III - Material e Métodos).

2.2. METODOLOGIA

Foram conduzidos 2 ensaios, em condições de campo experimental na ENMP, durante 2 anos, 1992/93 e 1993/94: um ensaio de sementeira de Outono/Inverno (denominado por W) e outro de Primavera (denominado por SP). Ambos os ensaios foram submetidos a dois tratamentos hídricos (regado - R, após a data de início de floração e não regado - NR). Para o estudo do estado hídrico do solo foi feita a instalação de sonda de neutrões e tensiómetros, mas devido a problemas de textura do solo estas determinações foram abandonadas. Assim, recorremos à determinação do potencial hídrico de base (amanhecer) ao longo do ciclo, para caracterizar o estado hídrico do solo. Procurámos, em função destes dados, manter o solo sempre bem hidratado no tratamento regado.

Os ensaios incluíram duas variedades de grão de bico (Elvar e Elmo) e quatro repetições, com delineamento estatístico de blocos completamente casualizados, por ano, época de sementeira e tratamento. As parcelas com 13 linhas e densidade de sementeira de 60 sem/m², foram semeadas manualmente com espaçamento de 40 cm e 6 m de comprimento, perfazendo uma área total de 31,2 m².

As datas de sementeira e datas de regas efectuadas, bem como a dotação de rega, estão descritas no quadro IV.1.

Quadro IV.1 – Datas de sementeira, de regas e dotações de rega dos ensaios da época de Outono /Inverno e da época de Primavera de 1992/93 (W93 e SP93) e de 1993/94 (W94 e SP94)

	W93	SP93	W94	SP94
Data de sementeira	11/11/92	1/3/93	11/11/93	7/3/94
Datas de rega e Dotação	9/3 – 21,6 mm 22/3 – 18 mm 26/3 – 18 mm 30/3 – 18 mm 31/3 – 10,8 mm 2/4 - 14,4 mm 3/4 - 14,4 mm 8/4 – 14,4 mm	22/4 – 14,4 mm 2/5 – 14,4 mm 8/5 – 14,4 mm 21/5 – 14,4 mm 1/6 – 14,4 mm 11/6 - 14,4 mm 14/6 - 14,4 mm	7/3 – 18 mm 10/3 – 18 mm 13/3 – 18 mm 17/3 – 18 mm 20/3 – 18 mm 23/3 – 18 mm 25/3 – 18 mm 30/3 – 18 mm 6/4 – 18 mm 11/4 – 18 mm 18/4 – 18 mm 24/4 – 18 mm 2/5 – 18 mm	3/5 – 18 mm 6/5 – 18 mm 10/5 – 18 mm 22/5 – 18 mm 1/6 – 18 mm 8/6 – 18 mm 13/6 – 18 mm
TOTAL	129,6 mm	100,8 mm	234 mm	126 mm

Tal como definido no capítulo III (Material e Métodos) foram efectuados registos fenológicos, morfológicos e fisiológicos, ao longo do ciclo e de rendimento e componentes do rendimento à colheita.

As determinações fisiológicas foram realizadas em intervalos de 15 dias durante o período reprodutivo. A primeira medida (data1), ainda no estádio vegetativo (aproximadamente uma semana antes da floração), serviu para avaliar o estado hídrico da planta. Paralelamente, efectuaram-se observações do crescimento vegetativo em relação ao porte, vigor e alguns aspectos visuais tais como existência de pêlos na página abaxial das folhas, observação de meristemas apicais com lupa, enrolamento de folhas e do ápice. As medidas seguintes, denominadas por data2, data3, data4 e data5, decorreram durante o período reprodutivo a partir do início de floração e introdução de rega, tal como consta no quadro IV.1.

Foram realizadas doze observações (3 por repetição) de potencial hídrico de base (ψ_b), de potencial hídrico ao meio dia solar (ψ_{md}) e de teor relativo em água (RWC) ao meio dia, por cada tratamento e data nos ensaios de ambos os anos.

A condutância estomática (g_s) e temperatura da folha (T_f) apenas foram determinadas nos ensaios de 1993/94, ao meio dia solar.

Para avaliar o comportamento hídrico da planta realizámos curvas, independentemente do ano, da época de sementeira, do tratamento e da data de leitura (ao longo do ciclo). O ψ_b é usado em abcissas porque representa o ψ do solo em determinada data. Assim, as curvas de ψ_b com o ψ_{md} , o RWC, a g_s e a T_f , servem apenas de apoio metodológico, para entender o comportamento fisiológico dos parâmetros estudados em função do ψ_b .

Para avaliar qual o parâmetro fisiológico e o estádio fenológico mais determinante no rendimento e seus componentes, fizemos correlações do ψ_b , ψ_{md} , g_s e T_f , nas datas de observação 3, 4 e 5, com o rendimento, bem como com os seus componentes. Para cálculo dos coeficientes de correlação, de determinação e regressão usámos o programa de estatística MSTAT-C (subprograma Multi-regressão).

Para compreender a interacção do efeito dos tratamentos nos diferentes anos, época de sementeira e genótipos efectuámos uma “Análise de Variância Factorial” (sub-programa factorial do MSTAT-C), com 4 factores: época de sementeira, ano, tratamento e genótipo, quer para os aspectos fisiológicos, quer para o rendimento e seus componentes.

2.3. CLIMA

Os dois anos agrícolas em questão apresentaram diferenças bastante notáveis na distribuição de chuva, sobretudo durante o período reprodutivo, entre 1 de Março e 30 de Junho (quadro IV.2).

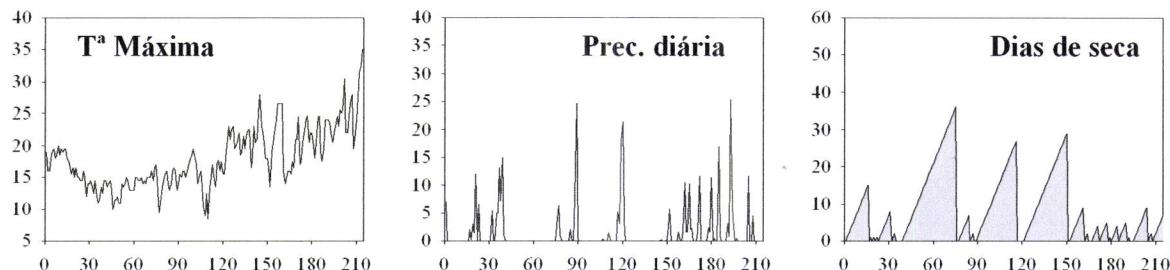
Em qualquer ano, as sementeiras de Outono/Inverno efectuaram-se em período seco, no entanto, no segundo ano (1993/94 – W94) seguiu-se um período de déficit até 3 de Janeiro. Neste mês a precipitação foi apenas 58,9 mm, concentrados em 5 dias na mesma semana. Estes valores confirmam a má distribuição pluviométrica no ano agrícola 1993/94 que, associada à temperatura elevada de fim de Abril e início de Maio (valores aproximados entre 30 e 34°C), conduziu a déficit hídrico durante este período (quadro IV.2).

Quadro IV.2 – Precipitação total do ciclo da cultura (entre a data da sementeira -S e o fim de floração - FF), precipitação dos períodos vegetativo (entre a data sementeira -S e o início de floração - IF) e reprodutivo (entre a data de início de floração - IF e o fim de floração - FF), precipitação e temperatura máxima do ar de Março, Abril, Maio e Junho dos anos em que decorreu o ensaio

		1992/93		1993/94	
		W	SP	W	SP
Data de sementeira		11/11/92	1/3/93	11/11/93	7/3/94
Precipitação (mm)	Total (S – FF)	272,4	193,8	159,9	88,1
	S – IF	130,8	61,6	154,3	15,8
	IF – FF	141,6	132,2	5,6	72,3
Precipitação/ /Temperatura (mm/°C)	Março	52,9 mm / 23,0 °C		7,5 mm / 27,5 °C	
	Abril	39,8 mm / 28,0 °C		10,2 mm / 30,5 °C	
	Maio	84,9 mm / 24,5 °C		72,3 mm / 33,5 °C	
	Junho	19,1 mm / 37,0 °C		0 mm / 38,0 °C	

Por outro lado, estes valores, de carácter agrometeorológico, constituem um complemento para a interpretação das variáveis morfo-fisiológicas determinadas, no sentido de identificar características da planta relacionadas com a tolerância ao stresse hídrico e encontrar soluções para reduzir as oscilações de produtividade nas regiões submetidas a fortes limitações ambientais. Na figura IV.1, apresentam-se os valores diários de precipitação, bem como os dias de seca¹ e a temperatura máxima durante o ciclo da planta.

1992/93



1993/94

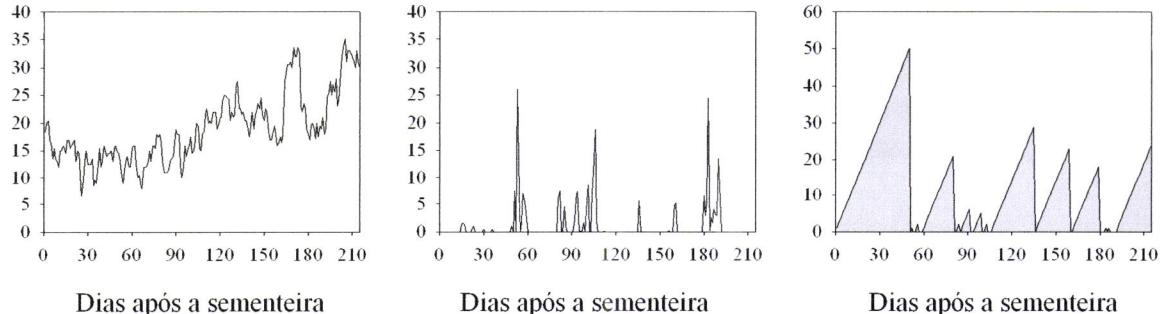


Figura IV.1 – Temperatura máxima, precipitação diária e sequência de dias de seca dos anos agrícolas 1992/93 e 1993/94, durante o ciclo cultural.

3. RESULTADOS

No quadro IV.3 apresenta-se em dias, a duração de cada período fenológico. No quadro IV.4 avalia-se estatisticamente, mediante a interpretação de análise de variância combinada, a

¹ Consideraram-se dias de seca para valores de chuva inferiores a 2mm

progressão fenológica das variedades Elvar e Elmo nos diferentes ensaios realizados: W93 – época de Out/Inv no ano 1992/93; SP93 – época de Primavera no ano 1992/93; W94 – época de Out/Inv no ano 1993/94; SP94 – época de Primavera no ano 1993/94.

Quadro IV.3 – Progressão dos estádios fenológicos (E - data de emergência; IF – data de início de floração; FM – data de floração média; FF – data de fim de floração e M - data de maturação) para as duas variedades (Elvar e Elmo) e diferentes ensaios (W93 – época de Out/Inv no ano 1992/93; SP93 – época de Primavera no ano 1992/93; W94 – época de Out/Inv no ano 1993/94; SP94 – época de Primavera no ano 1993/94)

ELVAR - R			ELVAR - NR			ELMO - R			ELMO - NR		
	Data	Nº de dias	Data	Nº de dias	Data	Nº de dias	Data	Nº de dias		Data	Nº de dias
W93 Data de sementeira 11/11/92	E	2/12	21	2/12	21	6/12	25	6/12	25		
	IF	9/3	118	9/3	118	11/3	120	11/3	120		
	FM	20/3	129	20/3	129	21/3	130	21/3	130		
	FF	25/5	195	21/5	191	23/5	193	17/5	187		
	FF-IF		77		73		73		67		
SP93 Data de sementeira 1/3/93	E	22/3	22	22/3	22	25/3	25	26/3	26		
	IF	21/4	52	20/4	51	21/4	52	20/4	51		
	FM	3/5	64	1/5	62	3/5	64	3/5	63		
	FF	14/6	106	10/6	102	10/6	102	9/6	100		
	FF-IF		54		51		50		49		
W94 Data de sementeira 11/11/93	E	2/12	21	2/12	21	7/12	26	7/12	26		
	IF	7/3	116	7/3	116	11/3	120	10/3	119		
	FM	21/3	130	20/3	129	23/3	132	19/3	128		
	FF	2/5	172	18/4	158	3/5	173	19/4	159		
	FF-IF		56		42		53		40		
SP94 Data de sementeira 7/3/94	E	29/3	22	29/3	22	31/3	24	2/4	26		
	IF	3/5	58	3/5	58	3/5	58	3/5	58		
	FM	10/5	65	9/5	64	12/5	67	8/5	63		
	FF	14/6	100	7/6	93	15/6	101	6/6	92		
	FF-IF		42		35		43		34		

Quadro IV.4 – ANOVA factorial para a progressão dos estádios fenológicos (E – n.º de dias desde a sementeira até à emergência; IF – n.º de dias desde a sementeira até ao início de floração; FM – n.º de dias desde a sementeira até à floração média; FF – n.º de dias desde a sementeira até ao fim de floração e M - n.º de dias desde a sementeira até à maturação), para 4 factores, época de sementeira (W-Outono/Inverno e SP-Primavera), ano (1992/93 e 1993/94), tratamento (R-regado e NR-não regado) e variedades (Elvar e Elmo). *, **, *** são os valores das diferenças obtidas entre factores para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância

	E	IF	FM	FF
Ensaio W	23	ns	118 ***	129 ***
Ensaio SP	23	52	64	99
Ensaio do ano 92/93	23	ns	85	147 ***
Ensaio do ano 93/94	23	ns	85	131
Ensaio R	23	ns	85	143 ***
Ensaio NR	23	ns	85	135
Elvar	21 ***	84 ***	96 **	139 ***
Elmo	25	86	97	138
Época x ano		ns	***	**
Época x tratamento		ns	ns	***
Ano x tratamento		ns	ns	***
Época x ano x tratamento		ns	ns	***
Época x variedade		*	***	ns
Ano x variedade		ns	***	ns
Tratamento x variedade		**	ns	**
Coeficiente de variação (%)	3,51	0,87	0,85	0,47

Estatisticamente os anos de ensaios são pluviometricamente diferentes, no entanto, o comportamento desta espécie é semelhante em número de dias até ao início de floração (IF), período até ao qual o solo ainda se encontra bem hidratado, em ambos os anos e épocas. A

duração do período vegetativo é maior nos ensaios de Outono/Inverno. A entrada das plantas em floração média é antecipada, nos ensaios não regados, nomeadamente no 2º ano (ano mais seco, fig. IV.1).

Da análise de variância factorial (quadro IV.4) verifica-se que a duração do período reprodutivo está dependente das condições hídricas do solo. As plantas dos ensaios não regados, atingem o fim de floração (FF) mais cedo. A duração da fase reprodutiva ou período reprodutivo (período que decorre entre o início e o fim de floração), é sempre superior na época de Outono/Inverno (W), no tratamento regado (R), nas duas variedades e em ambos os anos. As interacções estabelecidas, no fim de floração, entre o tratamento e qualquer outro factor, apresentam diferenças altamente significativas à excepção da interacção entre o tratamento e a variedade.

Nos ensaios não regados, quando as plantas atingem a data de floração média (data 3), as plantas começam a sofrer algumas alterações morfológicas ao nível da folha, tais como a curvatura do pecíolo e emurcheçimento do limbo. Estas alterações são causadas pelo decréscimo dos teores hídricos da própria planta. Na fig. IV.2 esquematiza-se a evolução ao longo do ciclo, do potencial hídrico foliar ao amanhecer (ψ_b) e ao meio dia solar (ψ_{md}), para as duas variedades e para os dois tratamentos hídricos, em ambas as datas de sementeira.

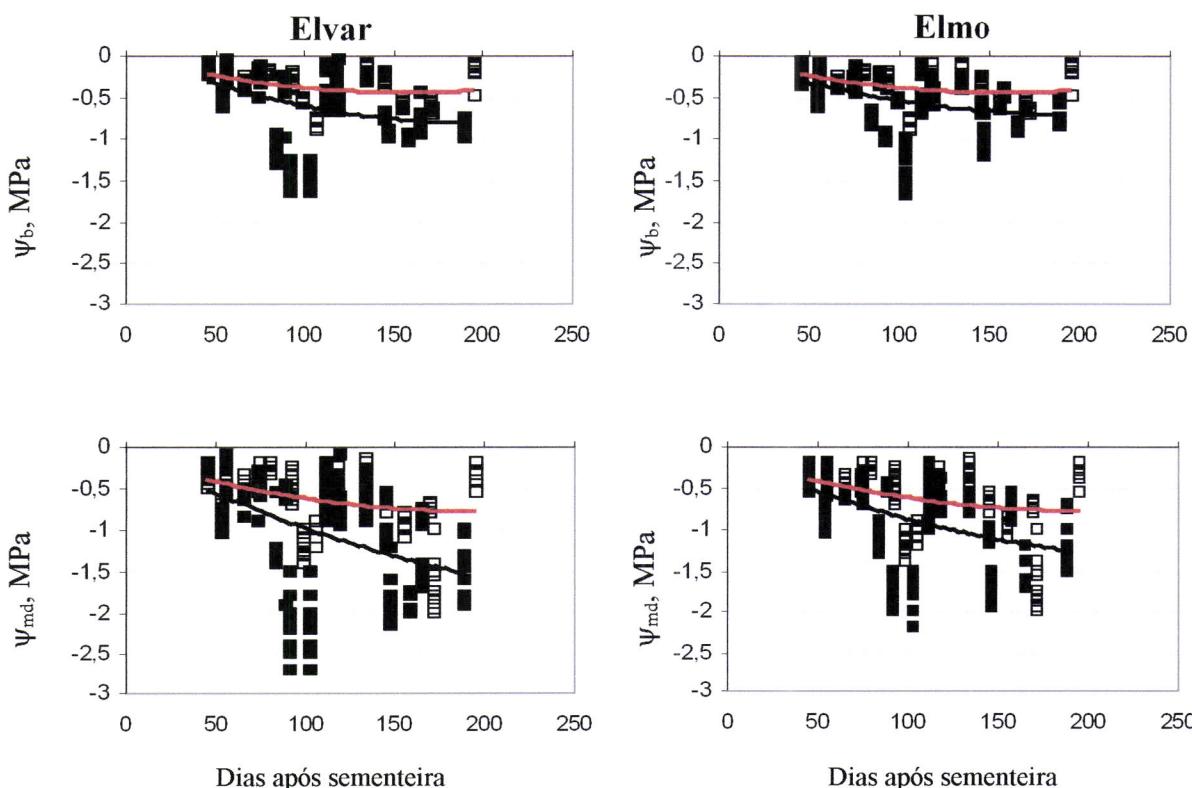


Figura IV.2 – Evolução do potencial hídrico foliar ao amanhecer e ao meio dia solar, para as duas variedades (Elvar à esquerda e Elmo à direita), nos dois regimes hídricos (□ –regado e ■ – não regado), em ambas as datas de sementeira. Curva encarnada – regado; curva preta – não regado.

Os valores do potencial hídrico medidos ao meio dia solar (ψ_{md}), são muito mais baixos e decrescem mais acentuadamente com o déficit do que os valores do potencial hídrico determinados ao amanhecer (ψ_b). Após a entrada das plantas em floração e início da rega, o potencial hídrico foliar decresce acentuadamente na modalidade NR, atingindo valores muito inferiores ao meio dia solar relativamente ao amanhecer. O ψ_b nos ensaios R mantém-se mais

ou menos constante ao longo do ciclo. O ψ_{md} da variedade Elvar R apresenta decréscimos superiores em relação ao decréscimo do ψ_{md} da variedade Elmo R. Os valores mais baixos de potencial hídrico de base e do meio dia solar, verificados entre os 90 e 100 dias no gráfico, correspondem aos ensaios de sementeira de Primavera, no ano 1993/94.

Com o intuito de determinar qual o melhor índice para avaliar o efeito da secura nos parâmetros fisiológicos estudados (potencial hídrico do meio dia solar, teor relativo em água, condutância estomática e temperatura da folha), apresentam-se na figura IV.3 curvas destes parâmetros bem como os respectivos coeficientes de determinação, em função do decréscimo do potencial hídrico do solo, medido através do ψ_b . Estas curvas incluem todas as observações realizadas ao longo do ciclo em todos os ensaios nas duas variedades.

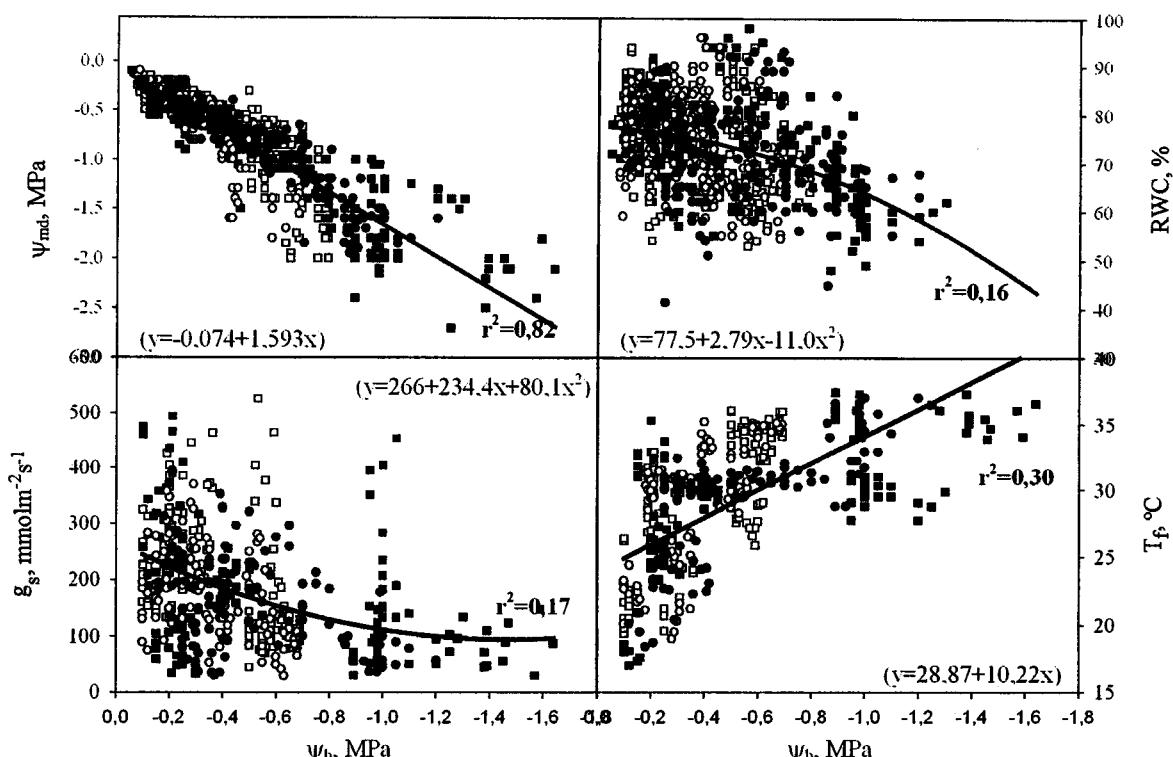


Figura IV.3 – Relação dos parâmetros fisiológicos estudados, ψ_{md} , RWC, g_s e T_f , com o do ψ_b . Os coeficientes de determinação são obtidos para todos os factores: 2 variedades (Elvar e Elmo), 2 anos, 2 épocas de sementeira (W e SP), 2 tratamentos (◻-ElvarR, O-ElmoR e ■-ElvarNR, ●-ElmoNR), 5 datas, 12 repetições, $n=960$.

À medida que o potencial hídrico de base (ψ_b) decresce, o potencial hídrico do meio dia solar (ψ_{md}) decresce também ($r^2=0,82$; $y=-0,074+1,593x$). A flutuação do ψ_b nas plantas R varia entre -0,07 MPa e -0,79 MPa, na variedade Elvar e entre -0,08 MPa e -0,69 MPa, na variedade Elmo, enquanto que nas plantas NR varia entre -0,05 MPa e -1,64 MPa, na variedade Elvar e entre -0,10 MPa e -1,20 MPa, na variedade Elmo. Os valores de ψ_b e ψ_{md} , são mais baixos nos ensaios SP (-0,833 MPa e -1,574 MPa) relativamente aos ensaios W (-0,611 MPa e -1,250 MPa). O mesmo se verifica com o 2º ano (1993/94) relativamente ao 1º ano (1992/93). O 2º ano é mais seco e quente e as plantas mesmo regadas apresentam valores de potencial hídrico mais baixos.

O teor relativo em água (RWC) e a condutância estomática (g_s) são dois parâmetros que apresentaram respostas pouco significativas com o ψ_b até -0,7MPa. A partir deste valor começam a diminuir com o decréscimo do ψ_b . As plantas com maior déficit, correspondentes à variedade Elvar, no tratamento NR, na data de sementeira de Primavera e no ano 1993/94. são as que apresentam menores teores de RWC e de g_s . A temperatura foliar aumenta com o decréscimo do (ψ_b). As plantas com T_f mais elevada coincidem com as que têm menores ψ_{md} , RWC e g_s .

Para explicar qual o período do ciclo onde a falta de água é mais determinante na quebra do rendimento, efectuámos uma análise de correlação entre os diferentes parâmetros fisiológicos determinados nas datas 3, 4 e 5 e o rendimento, como variável dependente, e seus componentes (quadro IV.5). Não se usaram as datas 1 e 2 por corresponderem a registos anteriores à imposição de rega. As duas variedades foram analisadas separadamente com o intuito de compreender se o seu comportamento morfofisiológico em relação ao aumento da secura do solo era diferente.

Quadro IV.5 - Matriz de correlação para as determinações fisiológicas efectuadas (ψ_b , ψ_{md} , g_s e T_f) ao longo do ciclo (data 3 - floração média, data 4 - frutificação média, data 5 - fim de floração) em função do rendimento (rend) e dois componentes do rendimento (P100S - peso de 100 sementes e Sem/m² - número de sementes por m²) nas duas variedades (Elvar e Elmo). Significância para n=32 de 0,001 para r≥0,5541, 0,01 para r≥0,4487 e 0,05 para r≥0,3494. Destacam-se a "bold" os coeficientes de correlação mais elevados

Elvar

Data	ψ_b			ψ_{md}			g_s			T_f			P 100S	Sem/ m ²	Rend
	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5			
ψ_b	3	1													
	4	0.113	1												
	5	0.060	0.675	1											
ψ_{md}	3	0.925	0.236	0.084	1										
	4	0.305	0.911	0.611	0.426	1									
	5	-0.09	0.428	0.875	-0.01	0.431	1								
g_s	3	0.266	0.810	0.672	0.655	0.858	0.593	1							
	4	0.203	0.276	-0.03	0.470	0.588	0.196	0.435	1						
	5	0.160	0.581	0.382	0.260	0.451	0.143	0.390	-0.33	1					
T_f	3	-0.19	-0.02	-0.38	-0.03	0.178	-0.04	-0.01	0.612	0.517	1				
	4	-0.31	-0.38	-0.01	-0.62	-0.74	-0.29	-0.55	-0.90	0.125	-0.64	1			
	5	-0.22	-0.51	-0.77	-0.12	0.024	-0.56	0.191	-0.49	-0.43	-0.49	0.543	1		
P100S	-0.02	0.210	0.521	-0.08	0.323	0.666	0.380	0.382	0.129	0.380	-0.60	-0.52	1		
NºSem	0.045	0.483	0.811	0.062	0.501	0.745	0.368	-0.40	0.723	-0.87	-0.35	-0.60	-0.55	1	
Rend	0.166	0.478	0.852	0.170	0.506	0.791	0.400	-0.34	0.695	-0.81	-0.30	-0.63	-0.57	0.972	1

Elmo

Data	ψ_b			ψ_{md}			g_s			T_f			P 100S	Sem/ m ²	Rend
	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5			
ψ_b	3	1													
	4	0.601	1												
	5	0.122	0.498	1											
ψ_{md}	3	0.915	0.736	0.252	1										
	4	0.546	0.954	0.511	0.684	1									
	5	-0.16	0.345	0.870	0.023	0.405	1								
g_s	3	0.528	0.894	0.845	0.769	0.843	0.863	1							
	4	0.121	0.460	0.195	0.447	0.653	0.397	0.450	1						
	5	0.302	0.331	0.597	0.340	0.263	0.534	0.235	0.162	1					
T_f	3	-0.15	0.276	-0.27	0.228	0.502	0.334	0.326	0.835	0.492	1				
	4	-0.17	-0.45	-0.21	-0.39	-0.57	-0.44	-0.52	-0.65	0.071	-0.78	1			
	5	0.624	0.130	-0.26	0.540	-0.03	-0.08	0.153	0.132	-0.16	-0.01	-0.01	1		
P100S	-0.17	-0.26	0,009	-0.03	-0.17	0.150	-0.47	0.411	-0.08	0.447	-0.26	-0.22	1		
NºSem	0.354	0.382	0.705	0.273	0.352	0.391	0.356	-0.17	0.322	-0.48	0.242	-0.54	-0.36	1	
Rend	0.297	0.508	0.818	0.303	0.521	0.589	0.401	-0.09	0.329	-0.44	0.364	-0.59	-0.18	0.957	1

No quadro IV.5 verifica-se que o ψ_b , na data 5 (fim de floração - FF), é o parâmetro mais determinante para a avaliação do comportamento morfofisiológico das plantas, rendimento e seus componentes.

O comportamento das duas variedades é semelhante. À medida que decresce o potencial hídrico de base, correspondente ao potencial hídrico do solo, aumenta a temperatura foliar, diminui o número de sementes por m^2 e o rendimento. As correlações obtidas são altamente significativas para estes parâmetros.

À semelhança do verificado para o ψ_b , a redução do ψ_{md} e o aumento da temperatura da folha conduzem ao decréscimo do rendimento. O aumento da g_s , promove o aumento do rendimento. A variedade Elvar apresenta correlações mais significativas que a variedade Elmo.

Para interpretar estatisticamente o comportamento fisiológico entre anos, épocas de sementeira, tratamentos e variedades, efectuámos, apenas para a data 5, uma análise de variância factorial, envolvendo todos os factores (quadro IV.6).

Quadro IV.6 – ANOVA factorial para os parâmetros fisiológicos mais importantes (ψ_b , ψ_{md} , g_s e T_f), observados na data 5, para 4 factores, época de sementeira (W e SP), ano (1992/93 e 1993/94), tratamento (R e NR) e variedades (Elvar e Elmo). *, **, *** são os valores das diferenças obtidas entre factores para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância

	ψ_b	ψ_{md}	g_s	T_f
Ensaios W	-0,66 ***	-1,25 ***	176,5 ***	32,5 ***
Ensaios SP	-0,83	-1,57	83,4	34,3
Ensaios do ano 92/93	-0,65 ***	-1,22 ***		
Ensaios do ano 93/94	-0,85	-1,60		
Ensaios R	-0,51 ***	-1,09 ***	165,2 ***	32,3 ***
Ensaios NR	-0,99	-1,73	94,7	34,5
Elvar	-0,81 ***	-1,51 ***	125,9 *	34,5 ***
Elmo	-0,67	-1,31	134,0	33,0
Época x ano	***	***		
Época x tratamento	*	ns	***	***
Ano x tratamento	ns	ns		
Época x variedade	***	*	ns	***
Ano x variedade	ns	ns		
Tratamento x variedade	***	ns	ns	ns
Coeficiente de variação (%)	10,30	15,47	44,87	3,31

Tanto o potencial hídrico de base (ψ_b), como o potencial hídrico do meio dia solar (ψ_{md}) são inferiores na época de sementeira de Primavera, no ano 1993/94 (mais seco) e no tratamento não regado (NR). As duas variedades distinguem-se, apresentando a variedade Elvar ψ_b e ψ_{md} inferiores.

A interacção entre a época de sementeira e o ano é altamente significativa para níveis de probabilidade igual a 0,001, para ambos os potenciais hídricos avaliados. Também não são significativas as diferenças nas interacções 'ano x tratamento' e 'ano x variedade'.

Para o ψ_b , existem diferenças altamente significativas, para $P \leq 0,001$, na interacção entre a época de sementeira com a variedade e a época de sementeira com o tratamento, enquanto que para o ψ_{md} , não são significativas as diferenças entre as interacções referidas.

Relativamente à condutância estomática só se verificam diferenças altamente significativas entre épocas de sementeira e entre tratamentos, a g_s é sempre superior na época W e no tratamento R. As diferenças entre variedades são significativas para níveis de probabilidade de 0,05. Os valores medidos de g_s nos ensaios R é superior aos valores de g_s nos ensaios NR. A interacção entre a época de sementeira e o tratamento é altamente significativa.

A temperatura da folha medida nas plantas das duas variedades é superior na data de sementeira de Primavera e nos ensaios não regados. A variedade Elvar tem temperaturas foliares superiores às medidas nas plantas Elmo. As interacções entre a época de sementeira e o tratamento e entre a época de sementeira e a variedade são altamente significativas.

A interpretação referida, além de nos dar a conhecer o comportamento das plantas ao nível fisiológico em cada situação de ensaio, é um apoio metodológico para a compreensão do rendimento obtido em cada situação estudada. Assim, na fig. IV.4 fizemos a apresentação gráfica da resposta do rendimento e dois componentes do rendimento em função do decréscimo do potencial hídrico de base.

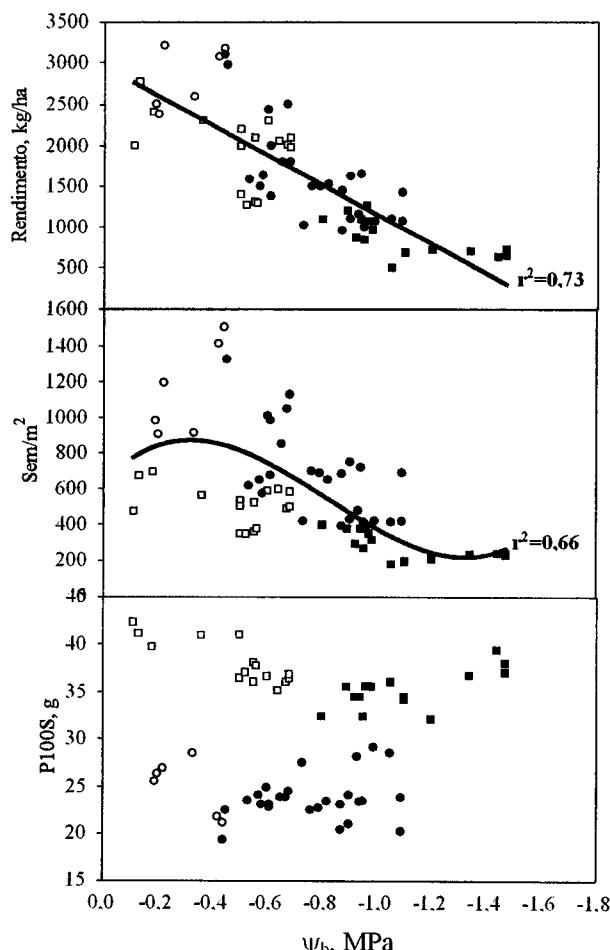


Figura IV.4 – Resposta do rendimento final e dos seus componentes (número de sementes/m² – Sem/m² e peso do grão – P100S), à secura do solo, avaliada pelo ψ_b ao fim da floração Os coeficientes de determinação são obtidos para n=64: 2 variedades (Elvar e Elmo), 2 anos, 2 épocas de sementeira (W e SP), 2 tratamentos (◻-ElvarR, ○-ElmoR e ■-ElvarNR, ●-ElmoNR), 4 repetições e 2 variedades.

O rendimento e o número de sementes por m² decrescem à medida que o déficit hídrico do solo se torna mais severo. O peso de 100 sementes não está correlacionado com o potencial hídrico de base.

No quadro IV.7 apresentamos o rendimento e a precipitação do período reprodutivo, em cada ensaio.

Quadro IV.7 – Efeito da precipitação e da rega durante o período reprodutivo, no rendimento final de cada variedade (Elvar e Elmo) nos diferentes ensaios: em época de sementeira de Outono/Inverno regado e não regado e em época de Primavera, regado e não regado, nos dois anos, 1992/93 e 1993/94

		ELVAR				ELMO			
		W		SP		W		SP	
		R	NR	R	NR	R	NR	R	NR
1992/93	Rendimento (kg/ha)	2376	1170	2150	940	2674	1581	3081	1538
	Precipitação +regा (mm)	271,2	141,6	233	132,2	271,2	141,6	233	132,2
1993/94	Rendimento (kg/ha)	2040	648	1327	679	2286	1036	1525	1093
	Precipitação +regा (mm)	239,6	5,6	198,3	72,3	239,6	5,6	198,3	72,3

No ano 1992/93, com maior pluviosidade durante o período reprodutivo (intervalo entre o fim de floração e o início da floração), as duas variedades, atingiram potenciais produtivos superiores, relativamente aos rendimentos obtidos no ano 1993/94, mais seco, em ambas as épocas de sementeira.

No ensaio SPNR94 (sementeira de Primavera, não regado no ano 1993/94) as variedades Elvar e Elmo apresentam rendimentos superiores aos verificados no ensaio WNR94, porque o período reprodutivo do ensaio de Primavera decorreu com maior precipitação (72,3 mm) relativamente ao de Out/Inv (5,6 mm). No entanto, a diferença não significativa no rendimento entre os ensaios referidos, deve-se à maior precipitação total, as plantas do ensaio de Out/Inverno aceleraram o ciclo e atingiram o fim de floração em Abril ainda quando o solo estava suficientemente hidratado (potenciais hídricos de -1 MPa)

A subida brusca da temperatura, durante o período reprodutivo, verificada no ensaio SPNR94, condicionou o crescimento das plantas com esterilização do ápice, apesar da precipitação de 72,3 mm.

Nos ensaios regados, as duas variedades atingem rendimentos superiores aos verificados nos ensaios não regados, em qualquer das épocas de sementeira. A resposta à água foi traduzida no aumento de rendimento.

No quadro IV.8, apresenta-se o tratamento estatístico de análise de variância factorial, para o rendimento e os dois componentes do rendimento estudados (peso de 100 sementes e número de sementes por m²) relativamente às épocas de sementeira, aos anos, aos tratamentos e às variedades.

Apesar de se verificarem diferenças altamente significativas para níveis de probabilidade de 0,001 entre todos os factores estudados (época de sementeira, anos, tratamentos e variedades), os factores mais relevantes deste quadro, são as diferenças altamente significativas, entre variedades e entre tratamentos, quer em rendimento obtido quer em número de sementes por m², bem como as interacções estabelecidas entre factores. O efeito da rega é estatisticamente significativo.

Quadro IV.8 – ANOVA factorial para o rendimento e seus componentes (P100S – peso de 100 sementes e Sem/m² – número de sementes por m²) para 4 factores, época de sementeira (W e SP), ano (1992/93 e 1993/94), tratamento (R e NR) e variedades (Elvar e Elmo). *, **, *** são os valores das diferenças obtidas entre factores para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância

	Rendimento	P100S	Sem/m ²
Ensaios W	1726	30,8	612
Ensaios SP	1542	30,3	585
Ensaios do ano 92/93	1939	30,6	716
Ensaios do ano 93/94	1329	30,6	481
Ensaios R	2182	31,1	771
Ensaios NR	1086	30,0	426
Elvar	1416	37,2	396
Elmo	1852	24,0	801
Época x ano	***	***	***
Época x tratamento	***	***	ns
Ano x tratamento	***	***	ns
Época x ano x tratamento	***	*	***
Época x variedade	*	ns	*
Ano x variedade	***	***	***
Época x ano x variedade	*	ns	***
Tratamento x variedade	ns	***	***
Coeficiente de variação (%)	9,94	3,82	10,98

A variável peso de 100 sementes (P100S), não apresenta diferenças significativas entre épocas de sementeira, apenas apresenta diferenças significativas em relação ao tratamento e à variedade. A variedade Elvar tem sementes grandes (37,2g/100S) e a variedade Elmo pequenas (24,0g/100S) e ambas apresentam maior peso de 100 sementes em situação de regadio.

4. DISCUSSÃO

Os dois anos em que decorreram os ensaios foram muito diferentes no que respeita à pluviometria. O ano de 1992/93, foi um ano mais pluvioso durante o período reprodutivo, com a precipitação uniformemente distribuída ao longo de todos os meses (Março, Abril, Maio e Junho). O ano 1993/94 foi mais seco durante o mesmo período.

4.1. EFEITO DA REGA NA FENOLOGIA DAS PLANTAS

O número de dias até à data de entrada em floração é nas duas variedades e em qualquer dos anos de realização de ensaios, superior na época de sementeira de Outono/Inverno. As plantas iniciam a fase de crescimento vegetativo durante o Inverno, com maior humidade quer do solo quer atmosférica. O período reprodutivo diferencia-se mais cedo, quando o solo ainda está suficientemente hidratado, em comparação com a tradicional época de sementeira de Primavera. Nos ensaios estabelecidos na Primavera, dá-se um desenvolvimento

vegetativo rápido, porque a precipitação é reduzida, a água disponível para as plantas é menor e a temperatura do ar aumenta.

A aplicação de rega que simule a precipitação de Primavera, conduz ao crescimento contínuo das plantas, conferido pelo tipo indeterminado do grão de bico, e ao aumento da duração dos ciclos vegetativo e reprodutivo. Nos ensaios regados, quer de sementeira de Outono/Inverno quer de sementeira de Primavera, as plantas atingem o fim de floração mais tarde. A rega associada ao alongamento do ciclo permite às plantas desenvolver maior folhagem, com um maior número de ramos, flores, vagens e sementes (Lecœur, 1991). Apesar do carácter indeterminado associado à presença de humidade, as plantas diferenciam o gomo vegetativo em gomo reprodutivo, passando de estádio vegetativo a reprodutivo. Esta diferenciação floral, está também associada, além da disponibilidade hídrica, à temperatura média do ar (Lecœur e Ney, 2002). Estes autores verificaram que a diferenciação floral está mais dependente do número de graus/dia de crescimento desde a emergência, que da humidade do solo. No decurso deste trabalho as temperaturas máximas dos meses de Maio e Junho, com valores superiores a 33-34°C, conduziram à diferenciação e à esterilização do ápice e as plantas das duas variedades, atingiram o início e o fim de floração mesmo nos ensaios de regadio.

As plantas submetidas a déficit aceleraram o ciclo. A aceleração esteve associada essencialmente à falta de água no solo durante a floração média e à subida repentina da temperatura do ar (fig. IV.1). Este processo foi mais evidente nos ensaios de 1993/94, visto ter sido uma Primavera mais seca. Esta aceleração do ciclo reprodutivo, é considerado um mecanismo de adaptação à secura, permitindo que as plantas, mesmo em situação de déficit severo, produzam grão. Esta é uma situação comum em genótipos de diferentes espécies de leguminosas para grão ao apresentarem elevados rendimentos em intervalos curtos do período reprodutivo, com floração e ciclo antecipado de modo a produzirem mais vagens e grãos antes do estresse hídrico terminal. Blum (1999) e Siddique *et al.* (2001) consideraram estes genótipos como tolerantes à secura. Por outro lado, Cubero (2003) comenta que o escape à secura é uma defesa puramente agronómica.

4.2. EFEITO DA REGA NOS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS

À medida que se acentua a secura, quer do ar quer do solo, as plantas manifestaram potenciais hídricos mais baixos, seja ao amanhecer (ψ_b) seja ao meio dia solar (ψ_{md}). O ψ_b , nos ensaios regados (R), manteve-se mais ou menos constante ao longo do ciclo; a pequena diferença que se verificou entre as datas de medições, pode-se atribuir ao aumento da evaporação do solo, causada pelo aumento da temperatura do ar provocando um aumento do défice de pressão de vapor entre a folha e ar. O ψ_{md} da variedade ElvarR, apresenta decréscimos superiores em relação ao decréscimo do ψ_{md} da variedade ElmoR, este facto pode estar associado ao aumento da temperatura da folha na variedade Elvar. O decréscimo dos níveis hídricos de uma planta são alterações fisiológicas que estão associados à secura do solo e podem resultar em danos reversíveis e/ou irreversíveis nas plantas (Nielsen e Orcutt, 1996). O decréscimo do ψ_b esteve directamente correlacionado com o decréscimo do número de sementes por m^2 e do rendimento em ambas as variedades. Esta constatação indica-nos a importância destes parâmetros fisiológicos na determinação do rendimento.

Tanto o ψ_b como o ψ_{md} são bons indicadores para interpretar o comportamento desta espécie em relação ao potencial produtivo esperado.

O teor relativo em água (RWC) medido nas duas variedades, em todos os ensaios efectuados, não apresentou diferenças significativas quer entre tratamentos quer entre datas de observação. Esta igualdade de comportamento pode ter sido devida à amostra vegetal utilizada para a medição. A amostra foi constituída por uma folha adulta do caule principal. As plantas da parcela poderiam não estar todas no mesmo nível de desenvolvimento. Todos estes aspectos morfológicos poderão ocasionar alterações na determinação deste parâmetro. O RWC foi assim, não conclusivo para interpretar as diferenças de comportamento ao nível produtivo neste ensaio. Esta situação não é comum porque o teor relativo em água está relacionado com o ψ . Segundo Bradford e Hsiao (1982) o ψ depende do RWC porque os componentes do ψ (ψ_p e ψ_n) são função do volume de água no protoplasma. Por outro lado, já foi verificado em ensaios realizados na ENMP que o RWC é um bom indicador do estado hídrico da planta (Duarte-Maças, 1994).

Em relação às trocas gasosas, a condutância estomática (g_s) não apresentou uma dependência definida em relação ao estado hídrico do solo. No entanto, à medida que o ψ_b decresceu os estomas fecharam e a g_s diminuiu. França *et al.* (2000) verificaram que o fecho completo dos estomas, em feijão, estava directamente correlacionado com o potencial hídrico para valores deste parâmetro entre $-0,6$ MPa e $-0,9$ MPa. O fecho estomático do meio dia pode ser um resultado directo de boa regulação estomática das plantas, reduzindo a transpiração como resposta ao decréscimo de humidade do solo (Nielsen e Muller, 1981). Este decréscimo, não foi porém, significativo, isto porque o fecho estomático é também uma resposta ao aumento do gradiente do déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar e não apenas devido ao decréscimo do potencial hídrico (Turner *et al.*, 1984). Na época de sementeira de Outono/Inverno (W) a g_s é sempre superior em relação à época de Primavera; é uma situação esperada, uma vez que o fim de floração nas plantas W, foi atingido mais cedo (Abril ou Maio). Do mesmo modo, a g_s é superior nos ensaios regados; a rega mantém um gradiente de déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar baixo, mantendo os estomas abertos até que o aumento da temperatura do ar se torne o factor limitante (Roessler e Monson, 1985). O decréscimo do g_s esteve positiva e directamente correlacionado (para $\alpha=0,001$) com decréscimo do número de sementes por m^2 e do rendimento final, mas apenas para a variedade Elvar. Esta correlação altamente significativa indica-nos que a g_s pode ser considerada como um parâmetro importante a ser medido no fim da floração e prever perdas ou aumentos de rendimento.

À medida que o solo se desidrata e os níveis hídricos da planta decrescem, conduzem ao aumento da temperatura da folha (T_f) e consequentemente do gradiente do déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar. O aumento da T_f está positivamente correlacionado com o decréscimo do potencial hídrico de base e do meio dia solar e negativamente com a g_s . O aumento da temperatura do ar conduz a aumentos da T_f , mesmo que as plantas sejam irrigadas. Uma situação semelhante foi verificada em ervilha por Manzanares *et al.* (1998). A correlação negativa e altamente significativa entre a T_f e o rendimento final de ambas as variedades, mas superior na Elvar, indica a importância que tem este factor abiótico nas plantas. O stresse térmico encontra-se normalmente associado ao stresse hídrico e do mesmo modo pode induzir redução na produção de biomassa e no rendimento final de algumas espécies, nomeadamente a ervilha (Manzanares *et al.*, 1998 e Gay, comunicação pessoal).

Este facto não é muito mencionado na bibliografia porque o grão de bico, como cultura tradicional de Primavera e de zonas interiores do país, é supostamente tolerante à temperatura elevada, ao contrário dos cereais. Nos cereais quando as altas temperaturas se manifestam antes da fase de formação do grão, condicionam o tamanho da espiga e o número de grãos por unidade de área. Por outro lado, quando se verificam subidas repentinas de temperatura durante o período de desenvolvimento do grão, este factor não afecta o número de grãos, que já estão formados, mas o seu peso (Gomes, 1999). No grão de bico, como cultura do tipo indeterminada, as flores e vagens vão-se formando ao longo do ciclo reprodutivo, desde que as condições de humidade atmosférica sejam favoráveis; o fim da floração, que está associado à paragem da produção de flores, não ocorreria se as plantas estivessem sempre muito bem hidratadas, no entanto, as plantas atingem o fim de floração. A paragem do crescimento está identificada, não apenas com o déficit hídrico, mas também com a subida da temperatura máxima diária acima dos 33-34°C (Lecœur *et al.* 2001 e Cubero, 2003), mesmo em situações de boa hidratação. Na maior parte das vezes, as últimas flores formadas abortam e nem chegam a produzir vagem.

4.3. EFEITO DA REGA NA MORFOLOGIA E RENDIMENTO

A antecipação da data de sementeira do grão de bico, realizada pela primeira vez no ICARDA, conduziu à obtenção de rendimentos muito superiores, visto as plantas se encontrarem no solo durante um período de maior humidade. A vantagem em potencial produtivo, da sementeira de Outono/Inverno confirma-se nos nossos resultados desde que se manifestassem condições hídricas favoráveis durante o período reprodutivo (intervalo de tempo entre o início e o fim de floração). Nos ensaios de sementeira de Outono/Inverno, as plantas desenvolveram um ciclo superior com melhores disponibilidades hídricas durante o período vegetativo e entraram em floração na mesma data em que se efectuaram as sementeiras de Primavera. O vigor precoce das plantas quando semeadas no Outono/Inverno conferem uma melhor adaptação à secura terminal (Leport *et al.*, 1998).

Nos dois anos de ensaios foram constatadas diferentes situações hídricas durante o período reprodutivo de duas variedades de grão de bico: humidade moderada (ano 1992/93) e déficit hídrico (ano 1993/94). Ambas as variedades, no ano 1992/93, com maior pluviosidade durante o período reprodutivo (141,6 mm nos ensaios de W e 132,2 mm nos ensaios SP), atingiram potenciais produtivos superiores, relativamente aos verificados no ano 1993/94, mais seco (5,6 mm nos ensaios de W e 72,3 mm nos ensaios SP). O facto de ter chovido mais, não implica que tenha sido o suficiente para o bom desenvolvimento da cultura, visto os ensaios regados conseguirem rendimentos superiores.

Apesar de parecer que os ensaios de Outono/Inverno apresentam sempre rendimentos superiores, não foi constatada esta situação entre os ensaios SPNR93 e os ensaios WNR94. Os ensaios SPNR93 apresentaram rendimentos superiores porque a Primavera foi mais húmida e a temperatura máxima do ar mais baixa. A resposta à água foi traduzida no aumento de rendimento e aumento do ciclo reprodutivo. Segundo Gay (comunicação pessoal) o défice hídrico pode ser responsável por 30 % da redução da produção. A temperatura do ar mais elevada durante o período reprodutivo, verificada no ano 1993/94, condicionou o crescimento das plantas com esterilização do ápice (abortamento das flores terminais). A fase reprodutiva da maior parte das espécies cultivadas, é particularmente sensível às temperaturas elevadas, especialmente às temperaturas durante a noite resultando na redução da produção de grão (Hall e Ziska, 2000). As plantas ficaram mais baixas, com

menor intervalo reprodutivo e consequentemente com menor número de sementes por unidade de área. Singh *et al.* (1997) e Duarte e outros (2001), verificaram pela interpretação de análises de regressão, que os factores com maior contributo para o rendimento final de grão de bico em sementeira de Outono/Inverno são a temperatura máxima de Março (40,1%), e a precipitação total de Janeiro (5%). No caso da sementeira de Primavera, revelaram-se determinantes a precipitação em Fevereiro (41,5%) e Junho (8,6%) e a temperatura máxima de Maio (5,1%).

A arquitectura das plantas é também um aspecto adaptativo ao stresse hídrico. A redução da área foliar é a primeira estratégia que as plantas adoptam quando há limitações hídricas (Hussain *et al.*, 1990). Em contraste, o rápido desenvolvimento da área foliar nos primeiros estádios do desenvolvimento podem ser benéficos em situações de secura terminal. O seu impacto no rendimento é dependente do padrão de cada stresse, nomeadamente intensidade, duração e estádio de desenvolvimento da planta. A limitação hídrica verificada nos ambientes Mediterrânicos altera o padrão ontogénico do desenvolvimento da canópia desta espécie. Quando o stresse hídrico se manifesta antes da entrada das plantas em floração, resulta numa redução do crescimento e da alteração da geometria da folhagem, tal como verificado por vários autores (Begg e Turner, 1976; Boyer, 1988; Ludlow, 1989; Wery *et al.*, 1993) em outras espécies. Os entrenós ficam mais pequenos, resultando na redução da altura total (Christiansen *et al.*, 1998). Como consequência, diminui a cobertura foliar reduzindo-se a intercepção da radiação pelas plantas e a área fotossinteticamente activa ao nível da planta inteira.

No entanto, quando o déficit se acentua durante a fase reprodutiva, as alterações da planta são verificadas ao nível da fase de floração, o ciclo vegetativo é reduzido e o metabolismo das plantas é orientado no sentido do enchimento da semente, criando-se um compromisso entre a “sink” vegetativa e a “sink” reprodutiva em prioridade. Esta capacidade das sementes encherem está correlacionada com a grande capacidade das plantas mobilizarem reservas, principalmente do amido do caule (Leport *et al.*, 1999).

Se o déficit hídrico ocorre durante a maturação dos frutos, as inflorescências desenvolvem-se normalmente tal como a biomassa total da planta, no entanto o tamanho das sementes é afectado, podendo ocorrer abcisão dos frutos (Boyer, 1970a,b). Nos nossos ensaios as sementes ficam engelhadas sem atingirem o crescimento potencial esperado. No entanto, o peso de 100 sementes não respondeu linearmente à rega. A variedade Elvar com sementes maiores tem resposta positiva à adição de rega (coeficiente de correlação significativo para 0,01); as sementes das plantas regadas atingem tamanhos superiores em relação às plantas Elvar desenvolvidas em condições ambientais sem rega. Apesar do tamanho da semente aumentar, o rendimento está negativamente e altamente correlacionado com este parâmetro ($r=-0,57$). Segundo Singh (1993), a falta de água, verificada após o início da frutificação, conduz a um aumento de 75%, de assimilados para as vagens, enquanto que um déficit depois do início do enchimento dos grãos, conduz 52% da biomassa produzida para as sementes.

Há um compromisso entre o tamanho da semente e o número de sementes obtido por planta. Quanto maior é o número de sementes, mais pequenas são. É um aspecto a considerar pelo melhorador de plantas quando estabelece os objectivos a atingir em qualquer programa de melhoramento desta espécie. O consumidor procura sementes grandes, o melhorador maiores

rendimentos. Assim, a rega traz-nos outro benefício em manter as sementes cheias com tamanhos desejados pelos consumidores.

Se as plantas forem regadas durante o período citado, a eficiência do uso da água traduz-se no aumento do rendimento (o mesmo foi verificado por Siddique e Sedgley em 1985).

Tal como foi verificado por Costa (1998) em ensaios realizados em grande extensão com as variedades Elvar e Elmo, estas encontram-se bem adaptadas, mantendo as características para as quais foram seleccionadas: elevado potencial produtivo, resistência aos stresses bióticos e abióticos mais importantes, boa adaptação ecológica, porte ereto, e altura adequada à colheita mecânica, cumprindo todos os objectivos do programa de melhoramento que as lançou. Estas variedades ao manifestarem adaptação morfológica e fisiológica ao ambiente, estão, como refere Costa (1998) em condições de competir com as populações locais que são heterogéneas de produção fraca e irregular e inadequadas para a colheita mecânica e para a sementeira outonal.

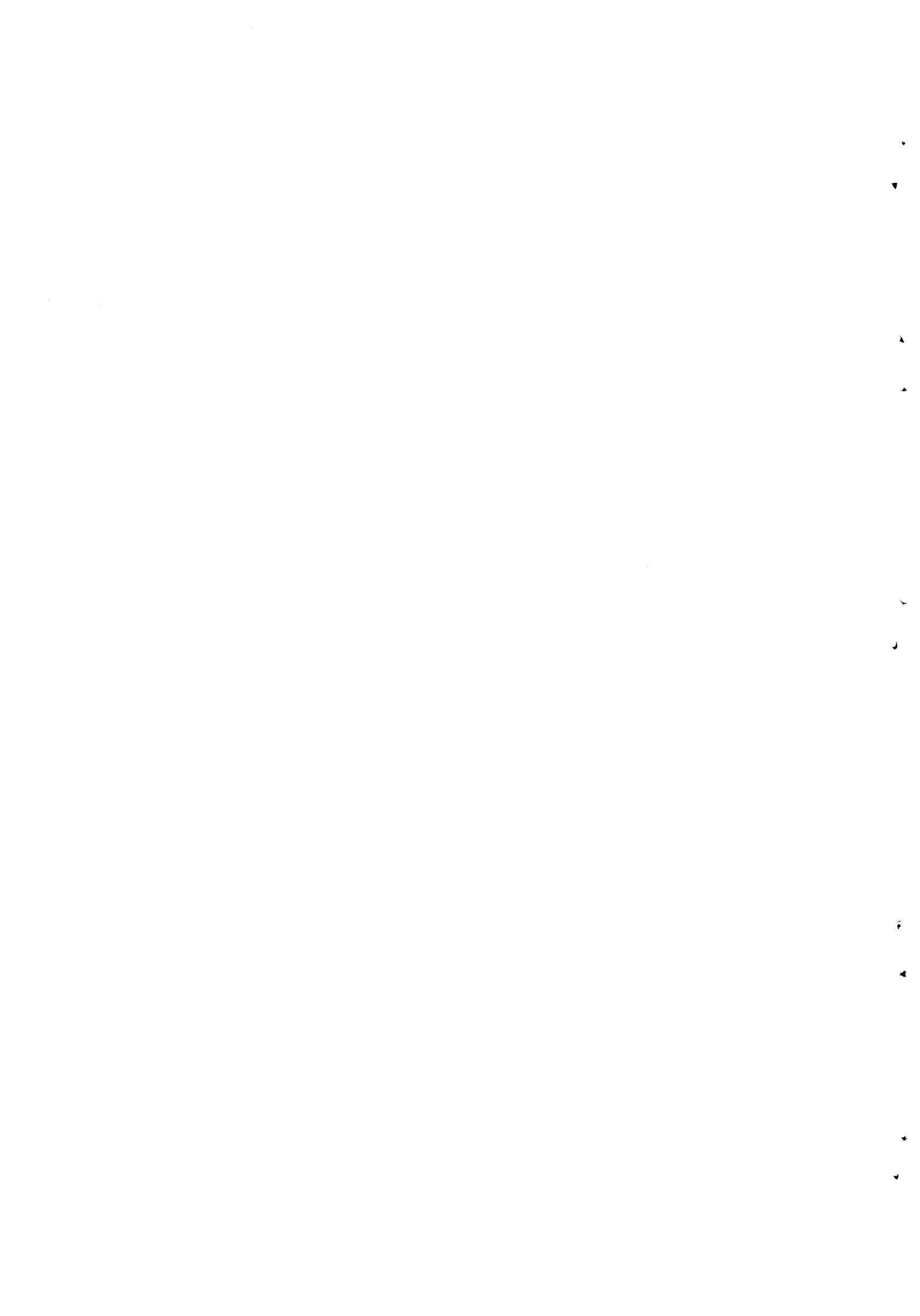
5. CONCLUSÃO

A secura, tal como temos vindo a referir ao longo do nosso trabalho é uma das principais causas (além do ataque de *Ascochyta rabiei*, referido no capítulo II) do decréscimo da produção do grão de bico. Com a água que adicionamos, apenas como rega de recurso, durante a fase reprodutiva das plantas, procuramos manter a ausência de déficit. A rega realça o carácter indeterminado do grão de bico, as plantas crescem mais, desenvolvem um maior número de nós reprodutivos e consecutivamente um maior número de sementes e produção unitária.

Como foi verificado durante o curso deste trabalho, o conhecimento do potencial hídrico das plantas ao amanhecer, como representativo do potencial hídrico do solo, é fundamental para determinar os decréscimos de rendimento a partir de determinado potencial. A rega torna-se necessária desde que se atinjam os valores críticos $-0,7\text{ MPa}$ de potencial hídrico de base; a partir deste valor, o potencial hídrico do meio dia solar, o teor relativo em água e a condutância estomática decrescem acentuadamente.

A selecção para hábitos indeterminados com data de floração antecipada deve ser orientada no sentido da obtenção de linhas de grão de bico que produzam flores, vagens e sementes antecipadamente, desde que as condições hídricas sejam desfavoráveis. Esta aproximação no entanto, levará ao desenvolvimento de cultivares de curta duração que podem sofrer uma redução de rendimento em anos mais húmidos. Por isso, procuramos que estas mesmas linhas em selecção, deverão apresentar paralelamente uma resposta positiva à rega de recurso, isto é, rega suplementar em condições de déficit prolongado. Do mesmo modo, as novas linhas produzirão superiormente se a estação húmida se prolongar.

Do ponto de vista da selecção é necessário ter em conta as plantas e/ou variedades que mantenham níveis hídricos elevados de modo a prolongar o crescimento das plantas e assim, o aumento do potencial produtivo. Por outro lado, quando se privilegiam genótipos tolerantes à secura, normalmente está a sacrificar-se o factor genotípico na sua adaptação, devido à forte interacção 'genótipo x ambiente' a que estão sujeitos.



CAPÍTULO V

ESTUDOS DE FENOLOGIA E FISIOLOGIA EM 29 GENÓTIPOS DE GRÃO DE BICO

1. INTRODUÇÃO

O programa de melhoramento, como referido no capítulo II (4 – Melhoramento), começa com a introdução do material genético, nacional e autóctone, existente nos diversos centros de investigação, de modo a diversificar o germoplasma existente. O intercâmbio de material é importante uma vez que, além de permitir o aumento da diversidade genética, conduz-nos à possibilidade de realizar novos estudos de investigação, nomeadamente de adaptação a cada ambiente.

Neste contexto, recebemos anualmente de diferentes centros de investigação mundial, germoplasma vegetal na forma de variedades experimentais, linhas avançadas e material em segregação, resultante de cruzamentos artificiais (F's).

No ICARDA (International Center for Agricultural Research in Dry Areas), desde 1979 que se trabalha em melhoramento genético e fitotecnia do grão de bico para a região Mediterrânica, principalmente na antecipação da data de sementeira e resistência ao fungo *Ascochyta rabiei*. Dado que a época tradicional de sementeira desta espécie, na região Mediterrânica era a Primavera, os escassos rendimentos obtidos na cultura, associados a uma grande utilização de mão de obra, não são compatíveis com os sistemas de agricultura modernos em que se exigem culturas de elevado rendimento com mecanização total. Em sementeira antecipada para o Outono/Inverno, o grão de bico tem maior crescimento vegetativo e desenvolvimento, resultando em rendimentos mais elevados do que em sementeira de Primavera. No entanto, estas plantas que desenvolvem a fase reprodutiva durante a Primavera sofrem com frequência de stresse hídrico o que provoca perdas de rendimento. Este problema levou ao estímulo da investigação, para seleccionar germoplasma tolerante à carência hídrica, visto o grão de bico ser uma cultura fundamental na alimentação humana em algumas regiões do globo.

Em Elvas, na ENMP, desde 1986 e seguindo a premissa da necessidade de economizar e bem utilizar um recurso escasso que é a água, associado à procura ilimitada de proteína vegetal, recebemos anualmente do ICARDA algumas linhas consideradas tolerantes ao stresse hídrico.

Este capítulo teve como principal objectivo a selecção de material exótico, adaptado ao ambiente Mediterrânico, para além de nele termos aprofundado os conhecimentos adquiridos no capítulo anterior. Baseámo-nos nos conhecimentos adquiridos no capítulo IV, quer ao

nível fisiológico, quer morfológico. A selecção tem como objectivo a obtenção de germoplasma com rendimentos elevados, com sementes de tamanho grande (desejada pelo consumidor) e tolerante às condições atmosféricas. Como o ensaio decorre apenas em condições de campo, há a necessidade de o repetir em dois anos a fim de tornar a selecção mais eficaz.

2. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

2.1. MATERIAL VEGETAL

O ensaio consta de 29 genótipos de grão de bico, dos quais 2 são as variedades comerciais usadas no capítulo IV. Este estudo prolongou-se por dois anos a fim de tornar a selecção mais eficaz (lista de genótipos no capítulo III).

A “nurserie” proveniente do ICARDA, é denominada CIDTN (Chickpea International Drought Tolerance Nursery). Realizou-se um ensaio de linhas de plantas, com duas repetições por genótipo e onde cada genótipo em estudo está separado por uma linha sensível já identificada no ICARDA como sensível à secura, repetida sistematicamente entre cada duas parcelas (anexo 2).

2.2. METODOLOGIA

Os ensaios constituídos por duas repetições e delineamento estatístico de blocos completamente casualizados, decorreram em 1994/95 (CIDTN-95) e 1995/96 (CIDTN-96), em sementeira de Outono/Inverno, nos campos experimentais da ENMP. A sementeiras foram efectuadas em 18 de Novembro de 1994 e 15 de Dezembro de 1995, respectivamente. As linhas distanciadas de 40cm e dois metros de comprimento foram semeadas manualmente com 20 sementes por linha.

Durante os dois anos agrícolas foram realizadas observações morfológicas e fisiológicas em ambos os ensaios, conforme descrito no capítulo III (Material e Métodos). As determinações fisiológicas foram realizadas em 2 fases do desenvolvimento da cultura, à floração média (FM) e no fim de floração (FF), em 8 repetições (quatro medidas por cada repetição). O estado hídrico da planta foi medido em função do potencial hídrico de base (ψ_b), potencial hídrico ao meio dia solar (ψ_{md}) e teor relativo em água (RWC). As determinações de trocas gasosas, condutância estomática (g_s) e temperatura da folha (T_f) foram apenas medidas no ensaio CIDTN-95. As determinações de fenologia e morfologia externa foram efectuadas ao longo do tempo. Os componentes do rendimento foram determinados e registados à colheita.

No ensaio CIDTN-96, que decorreu num ano muito húmido, quer durante o período vegetativo, quer após o aparecimento das primeiras flores houve ataque do fungo *Ascochyta rabiei* devido a humidade relativa elevada associada a temperatura do ar superior a 18°C. O ataque do fungo ocorreu em todo o ensaio e como não se efectuou nenhum tratamento com fungicida específico, uma vez que a identificação de resistência é outro objectivo da selecção, algumas parcelas foram destruídas parcialmente ou quase na totalidade. Assim, não nos foi possível realizar algumas determinações ao nível da planta (número de nós

reprodutivos e número de vagens por m^2) e à colheita (peso total da matéria seca por m^2 e índice de colheita).

Para estudar a interacção do efeito do ambiente, na fenologia e fisiologia dos 29 genótipos em estudo, efectuámos uma “Análise de Variância Factorial – ANOVA-factorial” (subprograma factorial do MSTAT-C), com 2 factores: ano e genótipo. Esta análise permite-nos interpretar a interacção do genótipo e o ambiente entre os anos de ensaio para estas variáveis.

A apresentação gráfica permite-nos obter uma explicação para o comportamento de material vegetal tão diferente. Correlações e linhas de tendência, obtidas entre o potencial hídrico de base - ψ_b (que nos indica o potencial hídrico do solo na data de registo), o potencial hídrico ao meio-dia (ψ_{md}), condutância estomática (g_s), e temperatura da folha (T_f), são tal como no capítulo anterior, indicadores metodológicos para compreender quais os componentes fisiológicos mais importantes na explicação do comportamento do genótipo.

À semelhança do efectuado nos ensaios do capítulo anterior, para determinar a variável mais determinante no rendimento, seja fisiológica, seja morfológica, realizámos correlações entre todas as variáveis estudadas: ψ_b , ψ_{md} , g_s , T_f , início da floração (IF), floração média (FM), fim da floração (FF), intervalo reprodutivo (IR), biomassa por m^2 (PST/ m^2), número de vagens por m^2 (Vg/ m^2), número de sementes por m^2 (Sem/ m^2) e índice de colheita (IC), com o rendimento. Para cálculo dos coeficientes de correlação, de determinação e regressão usámos o programa de estatística MSTAT-C (subprograma Multi-regressão).

Para estudo do rendimento e seus componentes, foram efectuadas análises de variância individuais por ano, visto a interacção obtida na “Análise de Variância Factorial – ANOVA-factorial” não ser correcta devido a ataque intenso do fungo *Ascochyta rabiei*, no 2º ano de ensaio.

2.3. CLIMA

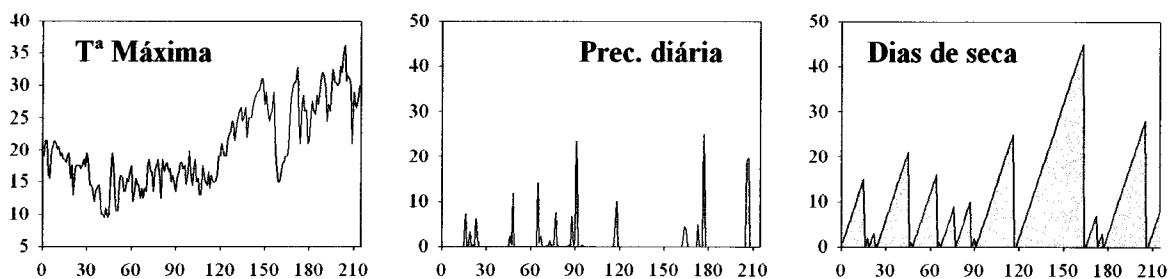
Os anos foram bastante distintos no que respeita à pluviometria. O ano 1994/95 foi um ano muito seco durante todo o ciclo cultural. A sementeira foi realizada em Novembro, seguida de um período de chuva intermitente, com interrupções acentuadas. A precipitação concentrou-se em 4 dias em Dezembro (19,4 mm), em três períodos de 2 dias em Janeiro (14,3 mm, 17 mm e 10mm) e 2 dias apenas em Fevereiro (31,7 mm). As plantas atingiram o início de floração mais cedo, a 1 de Março. Entre 1 de Março e o fim de floração (FF – 15 de Abril) choveram apenas 13 mm. O fim de floração foi acelerado e decorreu em Abril. Alguns genótipos mais precoces apresentaram o FF no fim de Março. Todos genótipos, sem excepção, aceleraram o ciclo para escapar ao stresse final.

No ano 1995/96, observou-se o inverso do ano anterior, choveu durante o mês de Novembro e no início de Dezembro não permitindo efectuar a sementeira antes de 18 de Dezembro. Após esta data a precipitação foi de 177,1 mm até 31 de Dezembro, 249,3 mm em Janeiro e 37,6 mm em Fevereiro. A diferenciação floral deu-se mais tarde, já no fim de Março. Em Março, a temperatura máxima diária atingiu os 18°C. Esta temperatura associada aos 57,2mm registados este mês desencadeou a activação do fungo *Ascochyta rabiei* (ABL). As

plantas de todos os genótipos, sem exceção, alargaram o ciclo, evidenciando o carácter indeterminado desta espécie.

Na figura V.1 apresentam-se os dados meteorológicos diários, a partir da data de sementeira, para os dois anos agrícolas em questão, 1994/95 e 1995/96.

1994/95 - CIDTN-95



1995/96 - CIDTN-96

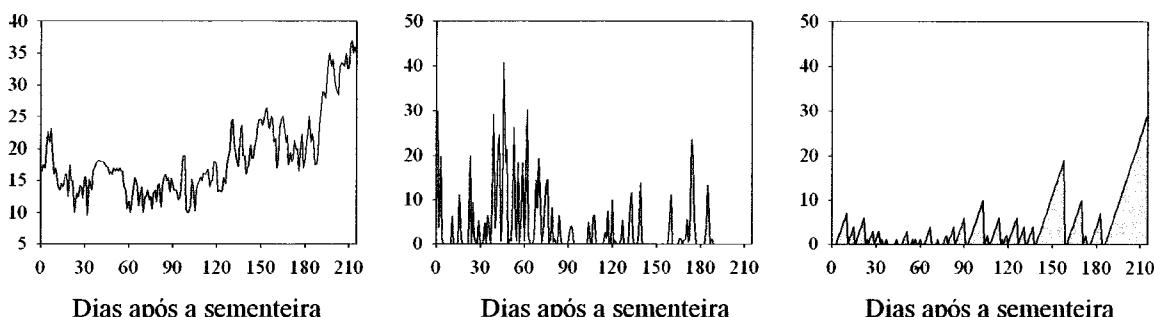


Figura V.1 - Temperatura máxima, precipitação e número de dias de seca dos anos agrícolas 1994/95 e 1995/96, ao longo do ciclo cultural.

No quadro V.1 apresentamos a precipitação durante as diferentes fases do ciclo, período vegetativo e período reprodutivo.

Quadro V.1 – Precipitação dos anos em que decorreu o ensaio

	PRECIPITAÇÃO (mm)	
	1994/95	1995/96
Total (mm)	18 Novembro - 7 Maio 15 Dezembro - 20 Junho	145,9 639,8
Período vegetativo	18 Novembro - 1 Março 15 Dezembro - 25 Março	93 498,3
Período reprodutivo	1 Março - 15 Abril 25 Março - 25 Maio	13 141,5
Março		13 57,2
Abril		9,8 31,6
Maio		30,1 82,2
Junho		45,2 0

3. RESULTADOS

No quadro V.2 apresenta-se a Análise de Variância Factorial para os diferentes estádios fenológicos, dos 29 genótipos em estudo em ambos os ensaios: CIDTN-95 e CIDTN-96. Como consequência da maior secura em 1994/95, as plantas neste ano, atingiram a floração média e o fim de floração mais cedo.

A presença de variabilidade genética (29 genótipos diferentes) é avaliada pela diferença altamente significativa verificada entre genótipos em qualquer estádio fenológico.

Não se verificaram diferenças significativas entre anos no que se refere à data de entrada em floração (IF). As diferenças nos diferentes estádios fenológicos, a partir do IF, vão-se tornando significativas com o avanço do ciclo. As plantas quando atingem o fim de floração (FF), mostraram diferenças entre ensaios altamente significativas para $P < 0,001\%$. Esta diferença no FF marca a distinção pluviométrica entre os anos em estudo.

Quadro V.2 – ANOVA-factorial para a progressão dos principais estádios fenológicos (IF – n.º de dias desde a sementeira até ao início de floração; FM – n.º de dias desde a sementeira até à floração média; FF – n.º de dias desde a sementeira até ao fim de floração), para 2 factores: ano (1994/95 e 1995/96) e genótipos. *, **, *** são os valores das diferenças obtidas entre factores para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância

	IF	FM	FF
CIDTN-95	109	ns	117 *
CIDTN-96	104	120	136 150 ***
Genótipos	***	***	***
Ano x genótipo	***	**	ns
Coeficiente de variação (%)	1,59	2,68	2,00

No quadro V.3 apresenta-se a análise factorial para os diferentes parâmetros fisiológicos estudados: potencial hídrico de base (ψ_b), potencial hídrico ao meio dia solar (ψ_{md}), teor relativo em água (RWC), condutância estomática (g_s) e temperatura da folha (T_f) dos diferentes genótipos em estudo nos diferentes ensaios. Como as medições fisiológicas se efectuaram em duas fases do desenvolvimento reprodutivo (floração média – FM e fim de floração - FF), separámos as datas para destacar o efeito do FF, data que no capítulo IV, se revelou a mais significativa na interpretação do comportamento morfofisiológico desta espécie.

Quadro V.3 – ANOVA-factorial para os parâmetros fisiológicos estudados: ψ_b , ψ_{md} , RWC, g_s e T_f em duas datas de observação (FM – Floração média e FF – fim de floração) para os diferentes genótipos em estudo nos diferentes ensaios, CIDTN-95 e CIDTN-96; *, **, *** são os valores das diferenças obtidas entre factores para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância

		ψ_b	ψ_{md}	RWC	g_s	T_f
FM	CIDTN-95	-0,37	-0,77 ***	81,5 *	66,13	25,50
	CIDTN-96	-0,27	-0,54	89,0		
	Genótipos	***	***	***	ns.	***
	Ano x genótipo	***	***	***		
FF	Coeficiente de variação (%)	23,48	13,65	4,12	44,45	3,74
	CIDTN-95	-1,20	-2,03	70,3	55,52	32,13
	CIDTN-96	-1,07	-1,92	71,2	ns.	
	Genótipos	***	***	***	ns.	**
	Ano x genótipo	ns.	ns.	***		
	Coeficiente de variação (%)	13,70	11,87	4,32	32,31	4,49

O quadro V.3 mostra que o potencial hídrico de base (ψ_b), o potencial hídrico ao meio dia solar (ψ_{md}) e o teor relativo em água (RWC) são inferiores, em qualquer data de observação, no ano 1994/95, evidenciando a secura do ano. Os 29 genótipos em estudo apresentam diferenças altamente significativas para níveis de probabilidade de 0,001 para os parâmetros fisiológicos referidos à excepção da g_s , isto é, os 29 genótipos respondem de modo semelhante ao fecho estomático.

Na fig. V.2 esquematiza-se a evolução do potencial hídrico ao meio dia solar (ψ_{md}), o teor relativo em água (RWC), a condutância estomática (g_s) e a temperatura da folha (T_f) nas duas datas de registos, em função do potencial hídrico de base (ψ_b), que representa o potencial hídrico do solo. Nesta fig. distinguem-se a variação anual pelos elevados ψ_b verificados no ano 1995/96 na floração média, mais húmido.

O ψ_{md} e o RWC decresceram acentuadamente, com uma correlação altamente significativa, com o aumento da secura do solo e do ar, entre a data de floração média (FM) e a data de fim de floração (FF). Por outro lado a temperatura foliar teve um comportamento inverso, também altamente significativo, aumentou com o decréscimo do ψ_b . A condutância estomática não apresentou qualquer correlação com a secura do solo.

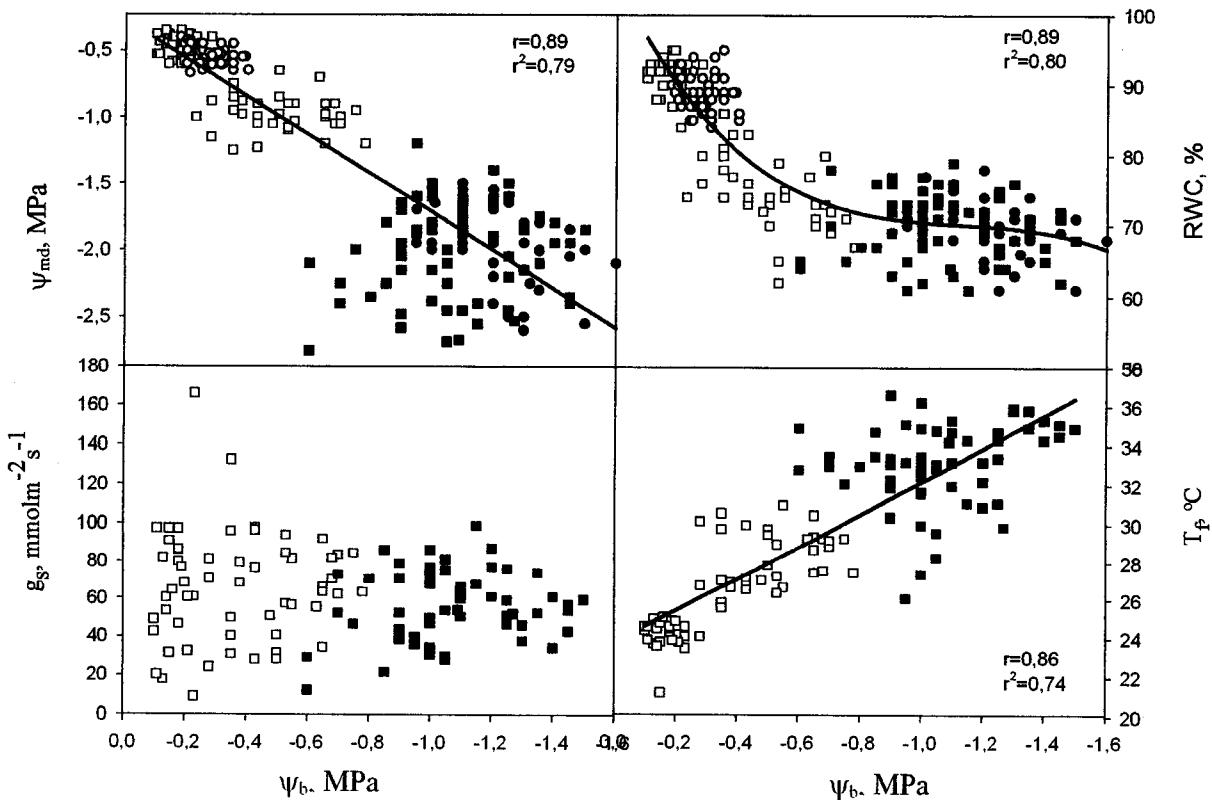


Figura V.2 – Relação do ψ_{md} , teor relativo em água (RWC), condutância estomática (g_s) e temperatura da folha (T_f), com o ψ_b , em todos os genótipos, durante os dois anos e duas datas de observação (□-FM95, ■-FF95, ○-FM96 e ●-FF96).

Como o principal objectivo deste capítulo foi a selecção dos melhores genótipos baseada no seu comportamento morfofisiológico, destacamos no quadro V.4 o rendimento médio obtido

por cada genótipo bem como alguns dos componentes mais importantes para o rendimento (plantas por m^2 – Pls/ m^2 ; biomassa total – PST/ m^2 ; intervalo reprodutivo, diferença entre a altura total da planta e a altura de inserção da 1^a vagem em cm – IR; número de nós reprodutivos – NR; número de vagens por m^2 – Vg/ m^2 ; número de sementes por m^2 – Sem/ m^2 e peso de 100 sementes – P100S). Ainda no mesmo quadro apresenta-se a análise de variância para cada variável citada.

Quadro V.4 – Valores médios do rendimento e componentes do rendimento (Pls/ m^2 , PST/ m^2 , IR, NRepr, Vg/ m^2 , Sem/ m^2 , P100S, IC) e análise variância (média, coeficiente de variação, significância - Sign e diferença significativa mínima - dsm) dos 29 genótipos por ensaio (95 - CIDTN-95 e 96 - CIDTN-96. No ensaio CIDTN-96, destaca-se, junto ao rendimento, uma coluna com o ataque de *Ascochyta rabiei* (ABL/96)

Gen	Rendimento			Pls/ m^2		PST/ m^2		IR		NRepr		Vg/ m^2		Sem/ m^2		P100S		IC	
	95	96	ABL/96	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96	95	96
1	1182	1467	4	28	19	485	15	25	9	404	354	474	33,3	32,1	24,3				
2	1664	2075	3,5	24	20	539	9	24	10	462	429	521	39,0	39,8	30,1				
3	798	1067	4	36	13	458	11	18	9	416	371	520	21,6	20,6	17,6				
4	1094	767	5	37	23	595	10	16	10	530	494	422	22,0	17,8	18,3				
5	968	808	5,5	39	18	634	10	22	10	614	551	384	17,5	21,7	15,2				
6	1572	442	7	26	10	533	8	26	8	412	365	121	43,2	36,5	30,0				
7	1113	808	5,5	30	13	533	9	15	8	462	369	298	30,2	27,5	20,9				
8	997	675	5,5	33	17	414	7	19	7	331	280	218	35,8	30,9	24,7				
9	883	850	5,5	32	18	508	12	26	11	474	412	400	21,2	22,7	17,2				
10	1387	708	6	39	20	511	10	30	9	438	397	232	35,0	27,3	27,1				
11	808	1175	4,5	35	20	479	11	27	11	427	366	511	22,0	22,8	16,9				
12	872	475	6,5	49	14	508	10	25	10	494	413	261	21,1	19,8	17,2				
13	834	950	5	35	16	524	11	20	11	485	426	428	19,5	20,4	15,8				
14	1066	917	4,5	23	15	379	10	26	8	356	277	226	39,8	40,3	27,9				
15	1568	758	5,5	33	20	495	12	14	11	418	367	216	42,8	28,6	31,9				
16	1618	725	6	36	15	562	16	16	10	398	363	176	44,5	37,9	28,7				
17	1869	1342	4	35	20	544	14	25	8	469	416	413	44,7	32,5	34,3				
18	1279	1258	5	31	19	505	10	23	9	443	396	482	32,2	28,3	25,3				
19	1456	1483	4	35	22	584	10	27	7	533	490	573	29,7	25,2	24,9				
20	1398	258	7	30	15	430	9	18	9	340	283	92	49,4	27,4	32,3				
21	1669	600	6	28	13	603	14	32	11	470	434	239	38,1	25,2	27,4				
22	1310	1758	3,5	30	18	513	12	29	9	472	408	542	33,3	33,8	23,7				
23	1275	142	7	38	8	466	13	16	11	344	295	45	43,3	29,1	27,3				
24	896	792	4,5	30	11	286	13	25	9	278	165	241	52,3	33,9	28,8				
25	1061	100	7,5	34	6	411	17	22	8	334	268	38	39,8	26,1	25,8				
26	2130	1200	4,5	31	18	731	13	24	10	657	620	339	34,6	35,0	29,1				
27	1415	333	6	37	12	455	12	18	9	424	349	111	40,8	25,0	31,1				
28	1405	625	5	50	10	512	14	24	9	515	427	210	32,9	30,1	27,1				
29	1134	622	5	32	14	480	13	31	9	340	292	217	39,0	28,8	23,6				
Média	1268	868	5	34	16	506	11	24	9	439	382	309	34,4	28,5	25,0				
CV, %	22	54	28	14	30	16	22	21	13	19	19	54	10	23	13				
Sign	**	*	ns	**	ns	*	*	*	*	**	**	ns	***	ns	***				
dms	740	940	3	13	9	160	5	10	2	192	190	334	9	14	9				

O excesso de humidade no ano 1995/96, activou o desenvolvimento do ataque do fungo *Ascochyta rabiei* que conduziu ao decréscimo do potencial produtivo. Do mesmo modo, o número de plantas por m^2 à colheita e o número de sementes por m^2 foi reduzido. Por outro lado, neste mesmo ano, a ocorrência de precipitação, conduziu ao alongamento do ciclo, as plantas cresceram mais em altura e o intervalo reprodutivo (diferença entre a altura máxima da planta e a altura do nó de inserção da 1^a vagem) foi maior. As sementes, com água excessiva durante a fase de enchimento da semente, Maio, ficaram mais pequenas.

O ataque de *Ascochyta rabiei* (ABL) foi medido numa escala de 1 a 9 (Singh *et al.*, 1992): 1 - todas as plantas sem lesões, os genótipos são considerados altamente resistentes; 3 – (6 a

10% de infecção), os genótipos são considerados resistentes; 5 – 16 a 40% de infecção, os genótipos são considerados tolerantes; 6 – 41 a 50% de infecção, os genótipos são considerados moderadamente susceptíveis; 7 - 51-75% de infecção, os genótipos são considerados susceptíveis; 8 – 76 a 90% de infecção, os genótipos são considerados altamente susceptíveis e 9 – todas as plantas mortas. Para o ataque de ABL não se realizou nenhum tratamento com fungicida. No quadro V.4 destaca-se uma coluna com o ataque do fungo, junto à coluna do rendimento obtido por genótipo no ensaio CIDTN-96 (ABL/96).

O ataque de ABL reduziu o rendimento médio em 31,5%, relativamente ao ensaio de 1994/95 (fig.V.3 e fig.V.4). Os genótipos que apresentaram menor ataque de ABL foram os que obtiveram rendimentos superiores no ensaio do ano 1995/96. Paralelamente apresentaram um maior número de plantas por m^2 , maior intervalo reprodutivo, maior número de sementes por m^2 e maior tamanho da semente. O ataque de ABL mascarou os rendimentos obtidos no ano 1994/95, pois seria de esperar que um ano mais seco se traduzisse em rendimentos inferiores.

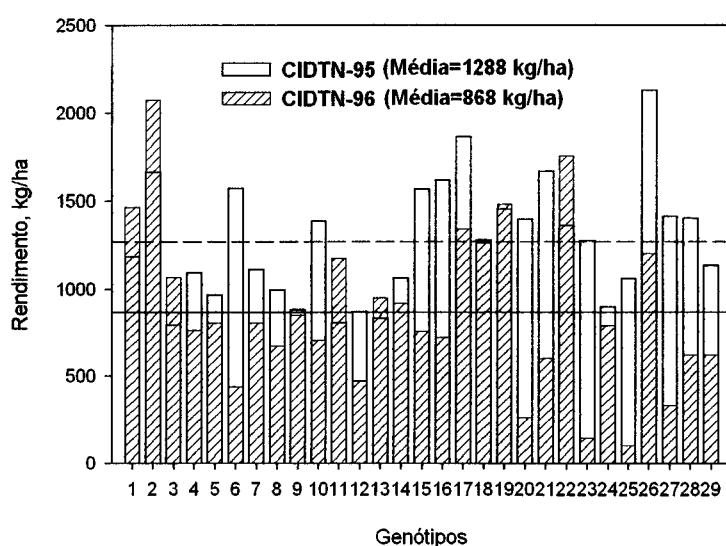


Figura V.3 – Rendimento dos 29 genótipos em estudo e rendimento médio em cada ano de ensaio.

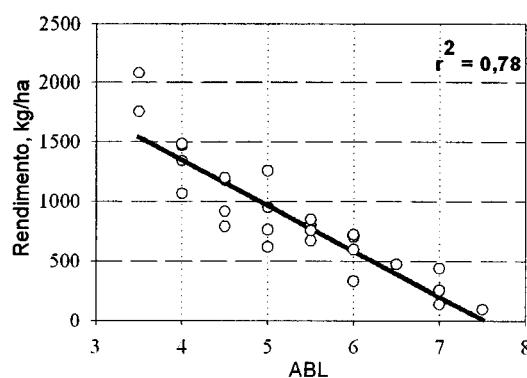


Figura V.4 – Efeito do ataque de *Ascochyta rabiei* (ABL) no rendimento dos 29 genótipos, no ensaio CIDTN-96.

Com vista a compreender o efeito de cada parâmetro, quer morfológico quer fisiológico, no rendimento correlacionámos todas as observações efectuadas. Os ensaios foram separados devido ao ataque de *Ascochyta rabiei*, o que causaria uma deficiente compreensão dos resultados (quadros V.5 e V.6).

No quadro V.5 destaca-se a matriz de correlação para o ensaio CIDTN-95. Os componentes do rendimento mais importantes foram a biomassa total por m^2 , o número de vagens por m^2 e o número de sementes por m^2 , o índice de colheita e o peso de 100 sementes, mostrando coeficientes de correlação mais elevados para níveis de significância de 0,001. Plantas mais altas e com um maior intervalo reprodutivo (IR), tiveram rendimento e peso de sementes superiores, apesar das correlações não serem significativas. Nas plantas que aceleram o ciclo (entram em início de floração mais cedo), o primeiro nó reprodutivo forma-se numa altura inferior da planta, dando origem a um IR e a um número de nós reprodutivos (NRepr) superiores. O NRepr no entanto, esteve positivamente correlacionado para $\alpha \leq 0,05$ com o número de vagens e de sementes.

Quadro V.5 - Matriz de correlação do ensaio CIDTN-95 nos 29 genótipos para as determinações fisiológicas ao fim de floração (ψ_b , ψ_{md} , RWC, g_s , T_f , IF, FM, FF, Pls/ m^2 , IR, NRepr, PST/ m^2 , Vg/ m^2 , Sem/ m^2 , IC e P100S) em função do rendimento (Rend); significância para $n=58$ de 0,001 para $r \geq 0,4220$, 0,01 para $r \geq 0,3365$ e 0,05 para $r \geq 0,2592$

	ψ_b	ψ_{md}	RWC	g_s	T_f	IF	FM	FF	Pls/ m^2	IR	N Repr	PST/ m^2	Vg/ m^2	Sem/ m^2	IC	P100S	Rend
ψ_b	1																
ψ_{md}	0,110	1															
RWC	0,407	0,070	1														
g_s	0,160	0,100	-0,17	1													
T_f	0,240	-0,20	-0,29	-0,06	1												
IF	-0,18	-0,10	-0,27	0,128	0,035	1											
FM	-0,12	-0,14	-0,24	0,045	0,191	0,774	1										
FF	-0,39	-0,29	-0,57	0,427	0,103	0,458	0,356	1									
Pls/ m^2	0,122	-0,04	-0,07	-0,17	-0,11	-0,09	0,000	-0,08	1								
IR	0,005	-0,17	0,059	0,009	0,112	-0,61	-0,53	-0,22	0,073	1							
NR	-0,06	-0,02	0,007	0,003	0,002	0,034	0,018	-0,09	0,079	0,082	1						
PST/ m^2	0,071	-0,12	-0,01	-0,02	-0,01	0,139	0,059	-0,09	0,187	0,019	0,279	1					
Vgs/ m^2	0,101	-0,01	0,140	0,002	0,052	0,139	0,059	-0,05	0,299	-0,01	0,267	0,866	1				
Sem/ m^2	0,103	-0,06	0,100	-0,01	0,042	0,172	0,088	-0,06	0,242	-0,02	0,286	0,917	0,969	1			
IC	0,252	0,015	0,410	-0,16	-0,25	-0,30	-0,37	-0,38	-0,25	0,121	-0,13	-0,04	-0,13	-0,11	1		
P100S	0,282	-0,01	0,380	-0,08	-0,29	-0,36	-0,25	-0,25	-0,34	0,147	-0,17	-0,29	-0,49	-0,47	0,868	1	
Rend	0,244	-0,05	0,323	0,210	-0,17	-0,17	-0,39	-0,39	-0,08	0,150	0,083	0,614	0,446	0,503	0,752	0,490	

O ataque severo de *Ascochyta rabiei* (ABL) em 1995/96 (ensaio CIDTN-96), não permitiu o registo de alguns parâmetros ao nível da planta (quadro V.6), apenas se mediram os parâmetros fenológicos: início de floração - IF, floração média - FM e fim de floração -FF e os componentes do rendimento: número de plantas por m^2 - Pls/ m^2 , intervalo reprodutivo - IR, número de sementes por m^2 Sem/ m^2 , peso de 100 sementes - P100S. O registo do ataque de *Ascochyta rabiei* (ABL) foi um parâmetro medido por motivo dos danos causados ao ensaio. Este quadro apresenta semelhanças em relação ao quadro V.5.

Quadro V.6 - Matriz de correlação do ensaio CIDTN-96 nos 29 genótipos para as determinações fisiológicas ao fim de floração (ψ_b , ψ_{md} , RWC, g_s e T_f), para os parâmetros fenológicos determinados (início de floração - IF, floração média - FM e fim de floração - FF) e componentes do rendimento (número de plantas por m^2 - Pls/ m^2 , intervalo reprodutivo - IR, número de sementes por m^2 Sem/ m^2 , peso de 100 sementes - P100S e ataque de *Ascochyta rabiei* - ABL) em função do rendimento (Rend); significância para $n=58$ de 0,001 para $r \geq 0,4220$, 0,01 para $r \geq 0,3365$ e 0,05 para $r \geq 0,2592$

	ψ_b	ψ_{md}	RWC	IF	FM	FF	Pls/ m^2	IR	Sem/ m^2	P100S	ABL	Rend
ψ_b	1											
ψ_{md}	0,364	1										
RWC	0,323	0,866	1									
IF	-0,199	-0,132	-0,071	1								
FM	-0,175	-0,053	-0,019	0,942	1							
FF	-0,158	-0,012	0,059	0,576	0,523	1						
Pls/ m^2	0,046	0,074	0,078	0,125	0,090	-0,085	1					
IR	-0,153	-0,341	-0,293	0,218	0,116	0,214	0,121	1				
Sem/ m^2	0,090	0,097	0,109	0,090	0,002	0,032	0,634	0,362	1			
P100S	0,241	0,282	0,282	0,125	0,185	0,032	0,105	-0,107	-0,080	1		
ABL	-0,042	0,008	-0,041	-0,134	-0,110	0,031	-0,572	-0,398	-0,780	-0,316	1	
Rend	0,442	0,239	0,220	0,110	0,056	0,041	0,641	0,295	0,885	0,344	-0,780	1

No ensaio CIDTN-96 os componentes do rendimento mais importantes no rendimento foram o número de plantas por m^2 , o número de sementes por m^2 , o peso de 100 sementes. O ataque de ABL e o potencial hídrico de base com correlações altamente significativas foram determinantes no decréscimo do rendimento. O ano 1995/96 muito húmido durante e após a data de semementeira conduziu à perda de plantas. A correlação altamente significativa entre o número de plantas e o rendimento está indirectamente correlacionada com a perda de plantas por ataque de ABL. Este ataque esteve significativa e negativamente correlacionado com o número de plantas por m^2 (Pls/ m^2), o intervalo reprodutivo (IR), o número de Sem/ m^2 e o P100S. Apesar do ataque de ABL, à semelhança do verificado no 1º ano de ensaio, os componentes mais importantes do rendimento foram o número de sementes por m^2 .

Em relação aos dois anos de ensaios, os genótipos que apresentam maior número de vagens e sementes por m^2 têm menor peso de sementes (quadro V.4), no entanto, o P100S está positivamente correlacionado com o rendimento para 0,05. Genótipos com grãos grandes têm maiores produções unitárias, mas genótipos com muitas sementes têm igualmente rendimentos elevados (fig.V.5), embora as sementes tenham peso reduzido. O peso do grão elevado compensa o reduzido número de sementes que os genótipos produziram por unidade de superfície.

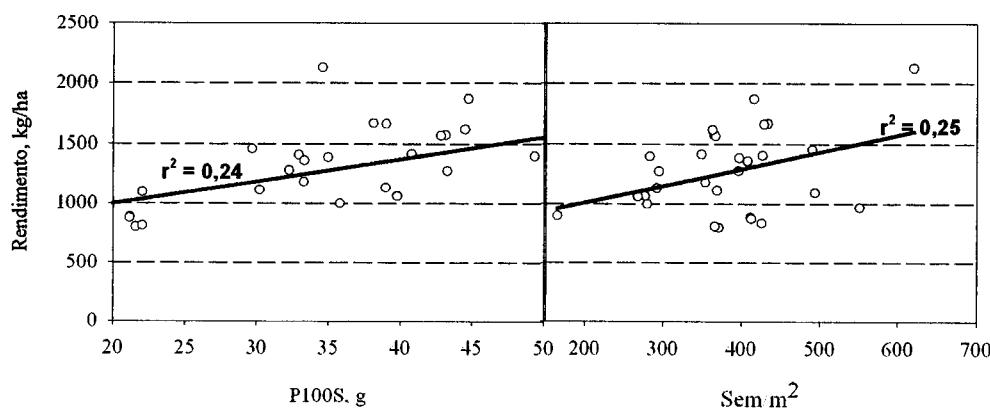


Figura V.5 – Componentes do rendimento identificados como mais importantes no aumento do rendimento. apresenta-se o caso do ano 1994/95 (CIDTN-95). n=58.

No ensaio CIDTN-95, destacam-se os genótipos 2 (ChK 3213), 6 (ILC 1900), 10 (ILC 2466), 15 (ILC 3776), 16 (ILC 3843), 17 (ChK 2909), 18 (ChK 2381), 19 (ChK 309), 20 (ILC 5371), 21 (ILC 6023), 22 (ChK 3226), 23 (ILC 6119), 26 (ChK 1695), 27 (FLIP87-85C) e 28 (FLIP87-42C) como tolerantes à secura apresentando ψ_{md} e RWC mais elevados, maior número de sementes e peso grão mais elevado.

No ensaio CIDTN-96 destacam-se os genótipos 1(ChK 3221), 2 (ChK 3213), 3 (ILC 1337), 11 (Elmo), 13 (ILC 3237), 14 (Elvar), 17 (ChK 2909), 18 (ChK 2381), 19 (ChK 309), 22 (ChK 3226) e 26 (ChK 1695) com maior tolerância à ABL, apresentam rendimentos acima da média do ensaio.

Da interacção destes dois conjuntos de genótipos seleccionados foram seleccionados os genótipos 2 (ChK 3213), 17 (ChK 2909), 18 (ChK 2381), 19 (ChK 309), 22 (ChK 3226) e 26 (ChK 1695) por apresentarem simultaneamente elevada tolerância ao fungo, à secura e boa resposta à rega suplementar (quadro V.7).

Quadro V.7 - Resumo do rendimento obtido (Rend - kg/ha) pelos genótipos seleccionados

Genótipos	Ano seco (CIDTN-95) Rend (kg/ha)	Ano húmido (CIDTN-96)		Rend médio dos ensaios	
		Rend (kg/ha)	ABL	CIDTN-95	CIDTN-96
2 (ChK 3213)	1164	2075	3,5		
17 (ChK 2909)	1869	1342	4		
18 (ChK 2381)	1279	1258	5		
19 (ChK 309)	1456	1483	4		
22 (ChK 3226)	1310	1758	3,5	1268	868
26 (ChK 1695)	2130	1200	4,5		

Na figura V.6 destacam-se os genótipos seleccionados com valores baixos de potencial hídrico de base (ψ_b) no fim de floração (FF), representando o acréscimo do déficit hídrico, conduzem ao decréscimo do número de Vg/m², de Sem/m² e consecutivamente do rendimento, além do decréscimo do peso do grão.

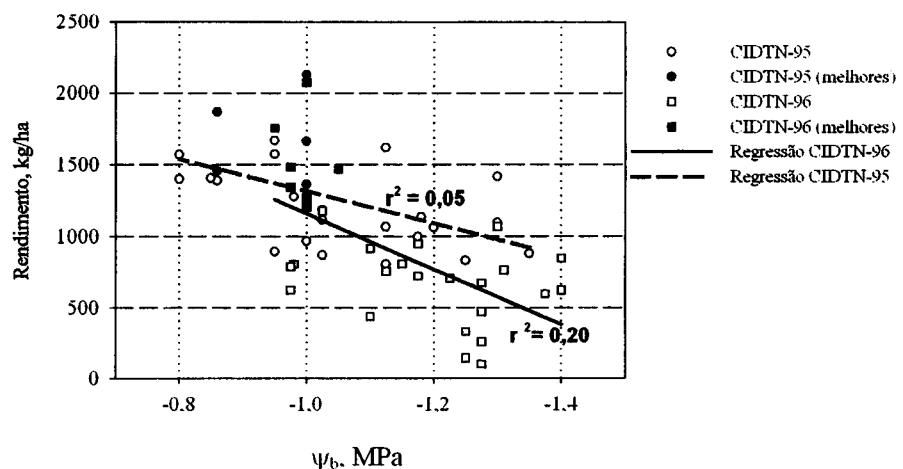


Figura V.6 – Decréscimo do rendimento com a redução do ψ_b para n=28; destacam-se os genótipos seleccionados.

4. DISCUSSÃO

A diferença de pluviometria verificada entre os anos de ensaio, conduziu à aceleração do ciclo no ano mais seco, 1994/95. A aceleração fenológica está associada ao decréscimo do potencial hídrico do solo, avaliado através do potencial hídrico de base (ψ_b). Assim, a análise factorial efectuada para os dois anos mostra-nos uma diferença altamente significativa entre genótipos para qualquer estádio fenológico. Esta diferença, associada ao comportamento fisiológico e morfológico conduz-nos à selecção dos genótipos mais bem adaptados.

A aceleração do ciclo como escape ao stresse hídrico final é verificado no quadro V.5 (matriz de correlação referente ao ensaio CIDTN-95) em que a correlação entre o número de dias até ao fim da floração com o rendimento é negativa; genótipos que apresentam ciclos culturais maiores são os que têm menores rendimentos. Este aspecto está associado com o decréscimo acentuado do ψ_b e do RWC. A intensidade do stresse não é fácil de quantificar (Wery, 1999). Se este stresse continuar por um período grande, torna-se um stresse crónico alterando a resposta fisiológica das plantas. Os 9,8 mm de precipitação verificados no mês de Abril de 1995 (ensaio CIDTN-95), estiveram concentrados em apenas três dias (26, 27 e 28 de Abril), quando já as plantas da maior parte dos genótipos tinha atingido o fim de floração. A partir de 2 de Abril a temperatura manteve-se superior a 25 °C e a 11 de Abril chegou aos 31 °C, a evapotranspiração aumentou e os estomos fecharam (g_s diminuiu), a temperatura da folha aumentou e simultaneamente o ψ_b e o RWC desceram acentuadamente. Os genótipos mais tardios apresentaram ψ_b mais baixos e, consecutivamente menores rendimentos. Alguns genótipos ao acelerarem o ciclo manifestaram uma resposta de longa duração reflectida na plasticidade fenotípica; desencadearam-se alterações nos processos fisiológicos, resultando, nas plantas de alguns genótipos, danos reversíveis e noutras irreversíveis, isto é, não atingiram rendimentos suficientemente elevados.

Os genótipos que apresentaram rendimentos mais elevados, são os que têm ψ_b , ψ_{md} e RWC mais elevados, porém o ψ_{md} não decresce como o ψ_b em todos os genótipos. A correlação não significativa entre estes dois parâmetros, sugere-nos que alguns genótipos mantém um pouco mais elevado o ψ_{md} em relação a outros. Aqueles que mantém mais elevado o ψ_{md} são os que têm rendimentos superiores. Esta interpretação revela-nos a variação genética, isto é as diferenças devem-se sobretudo à variabilidade genética. Apesar do parâmetro condutância estomática não ter apresentado qualquer correlação com o rendimento verificou-se uma tendência positiva entre estes dois parâmetros, quando os estomos se mantém abertos o rendimento é superior. Este facto está relacionado com a correlação positiva entre o potencial hídrico de base e a g_s . O decréscimo do ψ_b leva ao fecho dos estomos com o decréscimo da g_s e ao aumento da temperatura da folha (T_f). O fecho estomático conduz ao decréscimo do rendimento.

No ensaio CIDTN-95 a correlação positiva entre o intervalo reprodutivo (IR) e o peso de 100 sementes (P100S) está associada ao abortamento das vagens no ápice da planta, verificado na correlação negativa (não significativa) entre o IR e o número de vagens e de sementes por m^2 . A secura terminal associada à temperatura atmosférica elevada, conduz ao abortamento das vagens do ápice das plantas, assim, o grão aumenta de peso, mas ao menor número de sementes e rendimento final. A fase reprodutiva da maior parte das espécies cultivadas, é particularmente sensível às temperaturas elevadas, especialmente às temperaturas durante a noite resultando na redução da produção de grão (Hall e Ziska, 2000).

O ano 1994/95, foi um ano de excelência para seleccionar germoplasma adaptado à secura. Isto porque a distribuição pluviométrica foi extremamente irregular e, um stresse quando normalmente ocorre, não é consequência directa da quantidade de água que chove, mas da forma como é distribuída. Por outro lado a secura é um fenómeno muito complexo que envolve não só falta de água disponível, mas também elevadas taxas de transpiração, quando se verificam temperaturas elevadas e fotooxidação, como foi verificado por Humphreys (2001).

No ensaio CIDTN-96 (1995/96) a ocorrência de precipitação em praticamente todo o ciclo da cultura, evidenciou a característica 'tipo indeterminado' do grão de bico; as plantas alongaram o ciclo e cresceram mais em altura e o intervalo reprodutivo (diferença entre a altura máxima da planta e a altura do nó de inserção da 1^a vagem) foi maior. No entanto, a precipitação de Primavera, que como verificado no capítulo anterior conduz ao aumento de rendimento, conduziu neste ensaio ao severo ataque de *Ascochyta rabiei* (ABL), reduzindo acentuadamente o rendimento de alguns genótipos que no ano anterior se apresentaram como promissores, no que respeita a tolerância à secura.

O ataque severo de ABL, em 1995/96, permitiu-nos conduzir a selecção para outro aspecto, não contemplado neste trabalho. Alguns genótipos promissores no ano anterior (seco), apresentaram sensibilidade a este factor biótico. O melhoramento procura conjugar numa única planta (planta ideótipo) os genes e características que a tornem numa nova variedade, tolerante a todos os factores que a envolvem. Não podendo menosprezar esta situação, neste ano a selecção foi direcionada para a tolerância à ABL. Os estudos fisiológicos efectuados foram realizados em plantas sãs, deste modo o ataque do fungo não interferiu nos valores obtidos, permitindo a realização da análise de variância factorial, com dois factores (ano e genótipo) apresentada no quadro V.3. Assim para descriminar variedades, o ataque de ABL foi o único parâmetro que permitiu uma separação de comportamento livre dos outros parâmetros.

Por outro lado, como as plantas não sofreram déficit hídrico em nenhuma fase do ciclo, confirma-se o verificado por Singh (1991), Leport *et al.* (1999) e Mohapatra *et al.* (2003) e mostrado no capítulo IV, os grãos ficam mais pequenos e a "sink" é orientada no sentido do crescimento de biomassa vegetativa. O carácter indeterminado do crescimento de leguminosas para grão resulta numa grande competição por assimilados entre os órgãos vegetativos e órgãos reprodutivos, daí a grande dependência da fotossíntese corrente e a fraca contribuição dos assimilados de reserva. O tamanho dos grãos pode também estar associado ao ataque de ABL, porque as plantas atacadas perdem área fotossinteticamente activa e a "sink" é reduzida (Singh *et al.*, 1992).

Os genótipos 1(ChK 3221), 2 (ChK 3213), 3 (ILC 1337), 11 (Elmo), 13 (ILC 3237), 14 (Elvar), 17 (ChK 2909), 18 (ChK 2381), 19 (ChK 309), 22 (ChK 3226) e 26 (ChK 1695) com maior tolerância à ABL, apresentam rendimentos acima da média do ensaio. Destes, destacam-se os genótipos 1, 2, 3, 11, 13 e 22 que além de tolerantes, respondem bem à precipitação; neste ensaio (CIDTN-96), apresentam rendimentos superiores aos do ano anterior.

No ensaio CIDTN-95, destacam-se os genótipos 2, 6 (ILC 1900), 10 (ILC 2466), 15 (ILC 3776), 16 (ILC 3843), 17, 18, 19, 20 (ILC 5371), 21 (ILC 6023), 22, 23 (ILC 6119), 26, 27

(FLIP87-85C) e 28 (FLIP87-42C) como tolerantes à secura apresentando ψ_{md} e RWC mais elevados, maior número de sementes e peso grão mais elevado.

Da interpretação destes dois conjuntos de genótipos mais adaptados foram seleccionados os genótipos 2 (ChK 3213), 17 (ChK 2909), 18 (ChK 2381), 19 (ChK 309), 22 (ChK 3226) e 26 (ChK 1695) por apresentarem simultaneamente elevada tolerância ao fungo, à secura e boa resposta à rega suplementar (quadro V.7). O genótipo 1 (ChK 3221) também foi seleccionado porque é um genótipo que apesar de apresentar elevada tolerância ao ataque de *Ascochyta rabiei*, responde bem à rega. Serão genótipos a introduzir em ensaios de estabilidade de produção no ano seguinte.

5. CONCLUSÃO

No decurso destes dois anos de ensaio fomos defrontados com uma situação comum quando se trabalha em melhoramento de plantas. O melhoramento de plantas com a procura de caracteres indicativos de boa adaptação e estabilidade de produção, envolve não apenas um aspecto para o objectivo determinado anteriormente, mas um conjunto de disciplinas que formem um todo em informação a adicionar ao nosso objectivo inicial.

Estando envolvida num programa de melhoramento de grão de bico, nos primeiros anos a selecção para ambos os stresses, bióticos e abióticos parece ser um objectivo comum, para a obtenção e divulgação de uma nova variedade a introduzir nos nossos sistemas de agricultura tradicional, deve completar todos os diversos tipos de adaptação.

Assim, o ano 1994/95 foi um ano de selecção por adaptação ao déficit hídrico e o ano 1995/96, foi considerado um ano onde a selecção para tolerância ao fungo foi facilitada.

O programa de melhoramento é dinâmico e normalmente não se fazem tratamentos com fungicida em linhas introduzidas ou em início de selecção. No ensaio CIDTN-96, praticámos dois tipos de selecção; 1) a selecção genealógica, através da colheita das plantas mais tolerantes (genearcas), nas parcelas mais atacadas, para no ano posterior prosseguir um esquema de selecção de planta por linha até atingir a uniformidade. As plantas a seleccionar são normalmente as que têm maior ramificação, maior número de vagens e sementes e altura que permita a mecanização total da colheita; 2) selecção em massa ou "bulk", onde todas as plantas da parcela são tolerantes e colhidas no seu conjunto. Neste caso, alguns genótipos ao apresentarem grande tolerância à *Ascochyta rabiei*, foram seleccionados para constituir os ensaios que são objecto do estudo no próximo capítulo.

O objectivo deste capítulo foi atingido conduzindo à eleição de 7 genótipos (ChK 3213, ChK 2909, ChK 2381, ChK 309, ChK 3226, ChK 1695 e ChK 3221) por apresentarem simultaneamente elevada tolerância ao fungo, à secura e boa resposta à rega suplementar.

CAPÍTULO VI

ESTUDO DA ESTABILIDADE E ADAPTAÇÃO DE GENÓTIPOS

1. INTRODUÇÃO

O programa de melhoramento de grão de bico (*Cicer arietinum* L.) para as regiões mediterrânicas baseia-se na selecção de genótipos com elevada estabilidade de produção. Nestes ambientes a distribuição errática das chuvas, geadas tardias durante a floração, elevadas temperaturas associadas a ventos secos de leste e falta de água na fase final do ciclo são stressses abióticos que se traduzem na grande limitação do rendimento.

A frequência, intensidade e duração de cada um destes factores limitantes variam de ano para ano e como consequência a probabilidade de ocorrência de baixos rendimentos é elevada, tornando-se frequente a grande variação dos rendimentos obtidos. Ceccarelli (1994) classificou estes ambientes variáveis, imprevisíveis e de baixa produtividade, como muito difíceis para o trabalho do melhoramento.

A estabilidade de produção, como grande objectivo do melhorador, traduz-se na minimização das diferenças interanuais do rendimento de determinado genótipo. Este deverá ser assim o objectivo sócio-económico mais importante a atender nos programas de melhoramento (Maçãs, 1996).

Este capítulo está dividido em duas partes:

A. Estudo do comportamento e adaptação de 20 genótipos, seleccionados pela sua adaptação em anos anteriores, em diferentes condições ambientais (Capítulo V e ensaios do programa de melhoramento da ENMP). A experimentação realizou-se, durante os anos agrícolas 1995/96, 1996/97 e 1997/98, em duas épocas de sementeira, submetidas a dois regimes hídricos: regado à capacidade de campo (R) e não regado em condições ambientais (NR). Objectivo – selecção de novas variedades.

Paralelamente a estes ensaios de campo, instalámos em ambiente semi-controlado um ensaio em vasos com dois regimes hídricos (regado e não regado), para quantificar o comportamento fisiológico: estado hídrico e trocas gasosas das plantas de 6 genótipos, dos 20 instalados no ensaio de campo. Estes foram seleccionados pela sua adaptação e comportamento anterior em situações de secura e excesso de água. Este estudo teve como objectivo o apoio metodológico em fisiologia, ao ensaio de campo.

B. Uma segunda parte onde se pretendem confirmar os resultados obtidos pelos genótipos eleitos que se tinham tornado candidatos à inscrição ao Catálogo Nacional de Variedades (C.N.V.).

PARTE – A:

ESTUDO DA ESTABILIDADE E ADAPTAÇÃO DE GENÓTIPOS –

ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO

A resposta de 20 genótipos em situações contrastantes do ponto de visto hídrico foi estudada, procurando simular anos favoráveis e desfavoráveis, recorrendo à utilização de rega. Realizámos esta experimentação onde a estabilidade de cada genótipo é avaliada através da análise da regressão conjunta proposta por Finlay e Wilkinson (1963) que pode também ser em função do factor ambiental com influência determinante na produção. A análise de regressão conjunta é calculada através da regressão das médias de cada genótipo ou variedade, em cada ambiente, na média geral do respectivo ambiente (índice ambiental), permitindo uma apreciação do comportamento relativo da variedade ou genótipo face à variação ambiental.

Ao contrário dos ensaios de carácter fisiológico, onde poucos genótipos são utilizados (ver capítulo IV), com o fim básico de fornecer informação à planificação de trabalhos aplicados, este estudo desenvolveu-se ao nível do melhorador. Por isso, visou não só entender o efeito do ambiente sobre o genótipo, mas sobretudo identificar a variabilidade genética fornecendo informação para o programa de melhoramento.

Paralelamente avaliou-se se a estabilidade e o rendimento estavam relacionados com diferentes atributos morfofisiológicos numa tentativa de identificar variabilidade genética para essas características.

O comportamento relativo dos genótipos em condições de stresse e em ambientes mais favoráveis é importante para a identificação de atributos para a seleção de materiais para as regiões mediterrânicas.

1. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Os ensaios foram realizados nos campos da ENMP, num solo argiluviado pouco insaturado, do tipo Pmg (solos mediterrânicos pardos de materiais não calcários). Decorreram durante três anos, 1995/96 (ano 1), 1996/97 (ano 2) e 1997/98 (ano 3), tendo sido ensaiados dois regimes hídricos, regado (R) para prevenir o stresse hídrico e sequeiro (NR), onde a cultura se desenvolve com a precipitação corrente, tendo sido frequente, em cada ano, a ocorrência de stresse hídrico.

Para estudar a importância da sementeira de Outono/Inverno efectuaram-se duas épocas de sementeira, Outono/Inverno (W) e Primavera (SP).

Nos ensaios com os 20 genótipos de grão de bico realizaram-se três repetições (blocos), com delineamento estatístico de blocos completamente casualizados, em cada ano, época de sementeira e tratamento. As parcelas de $7,2\text{m}^2$ (4 linhas, espaçadas a 30cm e 6m de comprimento) foram semeadas com um semeador de ensaios de precisão com uma densidade de sementeira de 60 sem/m^2 (ver anexo 3).

comprimento) foram semeadas com um semeador de ensaios de precisão com uma densidade de sementeira de 60 sem/m² (ver anexo 3).

Os ensaios foram instalados nos campos experimentais da ENMP, e designados de Ensaios de Estabilidade de Produção (EEP): EEP-WR-96, EEP-WNR-96, EEP-SPR-96 e EEP-SPNR-96 (para o ano 1995/96), EEP-WR-97, EEP-WNR-97, EEP-SPR-97 e EEP-SPNR-97 (para o ano 1996/97), EEP-WR-98, EEP-WNR-98, EEP-SPR-98 e EEP-SPNR-98 (para o ano 1997/98).

A sementeira realizou-se em cada ano e época após o solo estar convenientemente preparado. No ano 1995/96, a 14/12/95 e a 26/3/96; no ano 1996/97, a 2/12/96 e a 5/2/97 e no ano 1997/98, a 10/12/97 e a 4/3/98, para Outono/Inverno e Primavera respectivamente.

As infestantes foram controladas manualmente. A incidência de doenças ocorreu mas não se efectuaram quaisquer tratamentos com fungicidas, porque na fase final do programa de melhoramento procura-se obter linhas ou genótipos tolerantes a todos os factores bióticos ou abióticos que possam estar envolvidos.

O sistema de rega usado foi de gota-a-gota. O número de regas e sua duração foi estabelecido em função do estado de secura da superfície do solo, mediante a utilização de tensiómetros (no ano 1996/97) e sonda de neutrões (nos anos 1995/96 e 1997/98). Devido a problemas de textura do solo estes dados foram abandonados. Assim, recorremos à determinação do potencial hídrico de base (amanhecer) ao longo do ciclo. O objectivo de regar foi eliminar qualquer déficit hídrico. Deste modo foi sempre efectuada rega quando houve necessidade.

Os parâmetros morfológicos observados foram a altura total da planta e altura da inserção da 1^a vagem (cm) (ver capítulo III - Material e Métodos). A diferença destes dois parâmetros dá-nos o intervalo reprodutivo (IR). Estes parâmetros não foram determinados no 3º ano de ensaios.

À colheita, determinou-se em cada repetição, a biomassa total do talhão (PST - kg) e o peso total das sementes do talhão (Prod/m² - kg). A razão entre esses dois parâmetros (Prod/PST x 100) deu-nos o índice de colheita (IC - %). O rendimento foi obtido pela conversão do peso das sementes do talhão reportado ao hectare (kg/ha). Os componentes do rendimento avaliados, foram o número de sementes por m² (Sem/m²) e o peso de 100 sementes (P100S - g). Paralelamente, foram efectuadas algumas observações do desenvolvimento vegetativo em relação ao porte, vigor e alguns aspectos visuais tais como existência de pêlos na página abaxial das folhas, observação de meristemas apicais com lupa, enrolamento de folhas e do ápice.

No ensaio de vasos com 6 genótipos fizeram-se dois tratamentos (regado - R e não regado - NR) com 6 repetições por tratamento e genótipo, num total de 72 vasos de PVC com 60 litros de capacidade, cheios com uma mistura de areia e terra vegetal. Determinou-se o estado hídrico das plantas nas suas componentes, potencial hídrico ao amanhecer (ψ_b), ao meio dia solar (ψ_{md}) e teor relativo em água (RWC), a fotossíntese (A) e condutância

estomática (g_s), durante o período reprodutivo, entre o início e o fim da floração. As trocas gasosas foram determinadas num ciclo diário, às 8h, 12h, 16h e 20h.

A magnitude da variação de todas as variáveis consideradas (morfológicas, rendimento e componentes do rendimento e fisiológicas) foi determinada por análise de variância (ANOVA), considerando cada ensaio separadamente (ver capítulo III - Material e Métodos). Para compreender a interacção do efeito dos tratamentos nos diferentes anos, época de sementeira e genótipos efectuámos ANOVA combinada ou factorial (análise de variância factorial). A estabilidade de produção foi avaliada pela análise de regressão conjunta (Finlay e Wilkinson, 1963). A análise de regressão conjunta é calculada através da regressão das médias de cada genótipo ou variedade, em cada ensaio, na média geral do respectivo ensaio, permitindo uma apreciação do comportamento relativo da variedade ou genótipo face à variação ambiental. Assim, para este estudo definiram-se 36 ambientes distintos, referidos como os 3 anos de ensaio (1995/96, 1996/97 e 1997/98), as duas épocas de sementeira (Outono/Inverno e Primavera), os tratamentos regadio e sequeiro e as 3 repetições.

1.1. CLIMA

No quadro VI.A.1 apresenta-se a temperatura máxima do ar e a precipitação (quantidade e distribuição) ao longo do ciclo cultural (entre a sementeira e o fim de floração), dos períodos vegetativo (entre a sementeira e o início da floração) e reprodutivo (entre o início da floração e o fim da floração), bem como os dados fenológicos para os anos agrícolas 1995/96, 1996/97 e 1997/98, correspondentes à duração desta experimentação.

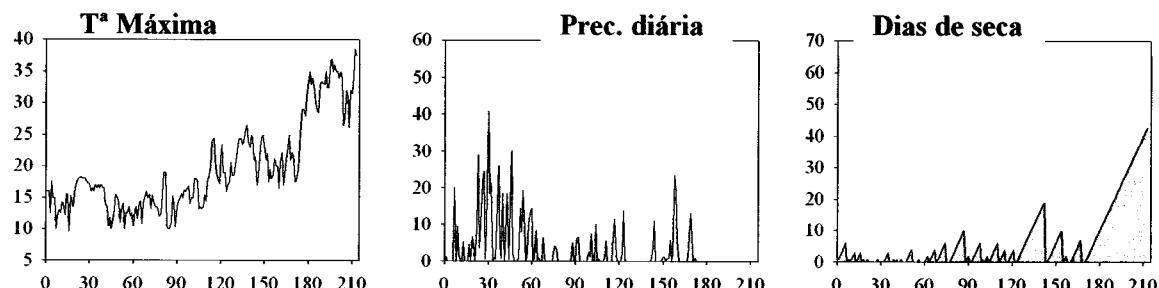
Quadro VI.A.1 – Dados fenológicos e precipitação total (desde a sementeira - S até ao fim de floração - FF), precipitação na fase vegetativa (desde a sementeira - S até ao início de floração - IF) e na fase reprodutiva (desde o início de floração – IF até ao fim de floração - FF); temperatura máxima (a partir de Março), dos anos em que decorreram os ensaios

		1995/96		1996/97		1997/98	
		W	SP	W	SP	W	SP
Fenologia	Data de sementeira	14/12/95	26/3/96	2/12/96	6/2/97	10/12/97	4/3/98
	IF	27/3	15/5	15/3	8/4	20/3	4/5
	FF	5/5	10/6	8/4	20/5	5/5	12/6
Precipitação (mm)	Total (S – FF)	625,0	116,2	351,5	64,3	302,0	144,6
	S – IF	523,6	91,4	349,8	1,8	252,3	49,7
	IF – FF	104,4	24,8	1,7	62,5	49,7	94,9
Precipitação/ Temperatura (mm/°C)	Março	57,2 / 24,5		0,1 / 28,5		10 / 27,0	
	Abril	31,6 / 26,5		30,1 / 32,0		36,8 / 27,0	
	Maio	82,2 / 35,0		59,7 / 32,5		95 / 30,0	
	Junho	0 / 38,5		49,3 / 32,5		2,2 / 37,5	

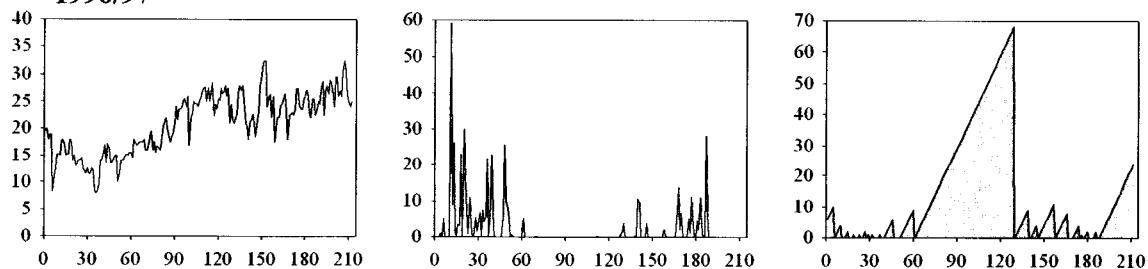
Na fig. VI.A.1 apresentam-se graficamente os dados meteorológicos referentes à temperatura máxima do ar e à precipitação para os anos de ensaio. As sequências de seca, indicam-nos a distribuição da chuva em cada ano. O tamanho das sequências secas, avaliada em número de dias consecutivos sem chuva e o balanço hídrico obtido em cada dia desde o último dia com chuva são definidos tendo em conta a evaporação e a capacidade de retenção do solo. Uma vez que em Elvas (ENMP) apenas dispomos de dados pluviométricos consideramos, à semelhança do estudo elaborado por Benseddik e Benabdelli (2000) em cereais, que a evaporação se reduz nas mesmas proporções que a dessecação das plantas.

O ano 1995/96 foi muito húmido durante o Inverno. As sementeiras deste ano foram efectuadas em condições de encharcamento. O excesso de água, associado a temperaturas do ar superiores a 23 °C no mês de Março, conduziu ao desenvolvimento de fungos, nomeadamente *Ascochyta rabiei*. Os ensaios de Outono/Inverno sofreram um ataque severo deste fungo, afectando negativamente as produções esperadas. As sementeiras de Primavera foram realizadas a 28 de Março, um pouco tarde, mas quando a humidade do solo o permitiu. Como a Primavera foi mais suave os ensaios decorreram sem ataque de fungos.

1995/96



1996/97



1997/98

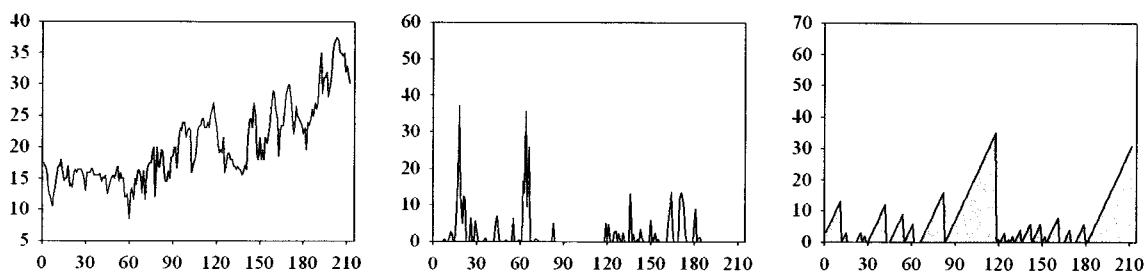


Figura VI.A.1 - Temperatura máxima, precipitação diária e número de dias de seca dos anos agrícolas 1995/96, 1996/97 e 1997/98, ao longo do ciclo cultural.

O ano 1996/97 foi um ano muito seco durante o início da Primavera. As sementeiras de Primavera foram efectuadas em condições de temperatura elevada e stresse hídrico do solo (medido com tensiometro).

O ano 1997/98 foi, apesar de ter sido o mais seco dos três anos de ensaio, o que apresentou a chuva melhor distribuída.

No quadro VI.A.2 apresentam-se as datas de regas efectuadas, bem como a dotação de rega para cada ensaio. No ano 1995/96, efectuaram-se poucas regas, visto ter chovido muito ao longo de todo o ciclo cultural, porém no inicio da Primavera e período reprodutivo (nos ensaio de sementeira de Out/Inv), houve um período de seca de 10 dias seguidos (a partir de 16 de Fevereiro), com temperaturas máximas que atingiram 19°C em dois dias. Em Abril, as temperaturas foram muito altas, e durante 19 dias não choveu. Efectuaram-se 3 regas, com intervalos de 6 dias, durante 1h cada (3h - 43,2mm). O mês de Maio foi muito húmido com 84,5 mm, por isso apenas se regou uma vez na última semana (1h - 14,4mm). Não se efectuaram mais regas até à colheita. O ensaio de Primavera foi regado até ao início de floração (15 de Maio), efectuaram-se 6 regas de 1hora de três em três dias durante o mês de Abril (6h - 86,4mm). Em Maio voltou-se a regar apenas duas vezes na última semana (2h - 28,8mm).

Quadro VI.A.2 – Datas de sementeira e de regas e dotações de rega dos ensaios da época de Outono/Inverno e da época de Primavera de 1995/96 (EEP-WR-96 e EEP-SPR-96), de 1996/97 (EEP-WR-97 e EEP-SPR-97) e de 1997/98 (EEP-SPR-97 e EEP-SPR-98)

	EEP-WR-96	EEP-SPR-96	EEP-WR-97	EEP-SPR-97	EEP-WR-98	EEP-SPR-98
Datas de rega e Dotação	4/4 – 14,4mm 10/4 – 14,4mm 16/4 – 14,4mm 26/5 – 14,4mm	4/4 – 14,4mm 7/4 – 14,4mm 10/4 – 14,4mm 13/4 – 14,4mm 16/4 – 14,4mm 19/4 – 14,4mm 23/5 – 14,4mm 28/5 – 14,4mm	De 22 de Janeiro até 17 de Abril 22 dias – 237,6	25 dias de rega a partir de 22 de Janeiro até 15 de Maio (4 em 4 dias) De 29 de Abril até 15 de Maio 5 dias – 54mm	2/3 – 10,8mm 6/3 – 10,8mm 10/3 – 10,8mm 14/3 – 10,8mm 18/3 – 10,8mm 22/3 – 10,8mm 26/3 – 10,8mm 6/4 – 10,8mm 8/4 – 10,8mm 28/4 – 10,8mm 30/4 – 10,8mm 6/5 – 10,8mm 8/5 – 10,8mm 18/5 – 10,8mm	6/4 – 10,8mm 8/4 – 10,8mm 28/4 – 10,8mm 30/4 – 10,8mm 6/5 – 10,8mm 8/5 – 10,8mm 18/5 – 10,8mm 9/6 – 14,4mm 16/6 – 14,4mm
TOTAL	57,6mm	115,2mm	291,6mm	270mm	151,2	104,4mm

O ano 1996/97 foi um ano de Primavera muita seca, de 1 de Março a 30 de Junho a precipitação foi de apenas 139,2 mm, ocorrendo 59,4 mm durante o final do mês de Maio e o restante em dois períodos, 3 dias em Abril (30,1 mm) e um período de 5 dias em Junho (49,3 mm). Foi necessário recorrer a rega no ensaio de Out/Inv antes da entrada em floração, em Janeiro e Fevereiro (entre 1 de Fevereiro e 8 de Abril não choveu). Foram efectuadas regas desde 22 de Janeiro, de quatro em quatro dias com 45 min de duração, até 17 de Abril (22 dias – 237,6 mm), voltou-se a regar, 45 min por dia, a 29 de Abril até 15 de Maio (5 dias – 54 mm). As sementeiras de Primavera foram efectuadas em condições de temperatura elevada e grande secura. Assim, no mês de Março verificaram-se alguns dias com temperatura superior a 30 °C havendo também déficit hídrico no solo (medido com tensiómetro). Os ensaios foram regados com mais frequência. O ensaio de Primavera foi regado até ao início da floração, desde a sementeira e continuamente regado até 15 de Maio (25 dias de regas de quatro em quatro dias com 45 min – 270 mm).

O ano 1997/98, foi dos três, o mais regular em distribuição da precipitação. O Inverno foi húmido (325,2 mm entre 15 de Novembro e fim de Fevereiro). As sementeiras de Out/Inv efectuaram-se com boas condições hídricas, não havendo necessidade de regar até ao início de floração. O solo na data em que se realizaram as sementeiras de Primavera (4 de Março), tinha disponibilidade hídrica para uma boa instalação das plantas. Porém durante o mês de Março a precipitação apenas 10 mm nos últimos três dias. Foi necessário recorrer a rega, durante este mês, nos dois ensaios (45 min de quatro em quatro dias; 7 regas - 75,6mm). No mês de Abril choveram 34,8 mm durante o mês, no entanto realizaram-se 4 regas, duas no inicio e duas no fim do mês, em ambos os ensaios, durante 45 min - 43,2mm). No mês de Maio realizaram-se três regas de 45 min (32,4mm). O ensaio de Primavera foi regado a partir de 6 de Abril, nas mesmas datas do ensaio de Outono/Inverno. Em Junho só se regou o ensaio de Primavera, nos dias 9 e 16 (2h - 28,8mm).

2. RESULTADOS

2.1. RENDIMENTO, COMPONENTES DO RENDIMENTO E OUTROS PARÂMETROS DE INTERESSE AGRONÓMICO

Os anos em que decorreram os ensaios caracterizaram-se por uma grande variação no que respeita à quantidade de precipitação e temperatura a partir de Março, ilustrando o tipo de variabilidade que é possível encontrar na região Mediterrânica.

Nos quadros VI.A.3, VI.A.4 e VI.A.5 apresentam-se por ano os valores de rendimento e componentes do rendimento, intervalo reprodutivo (IR), sementes por m^2 (Sem/ m^2), peso de 100 sementes (P100S), biomassa total por parcela (PST) índice de colheita (IC), obtidos em cada ensaio efectuado. A análise de variância revelou uma forte influência quer do genótipo quer do ambiente, nos parâmetros medidos.

No ano 1995/96 (quadro VI.A.3), o ano mais chuvoso, os rendimentos foram muito inferiores aos obtidos nos ensaios dos anos mais secos. O excesso de chuva antes da entrada em floração, desencadeou o aparecimento do fungo *Ascochyta rabiei* (ABL) nos ramos e vagens, conduzindo à perda de matéria seca nas parcelas que reduziu indirectamente o rendimento final. O efeito do fungo conduziu a um elevado erro experimental traduzido num alto coeficiente de variação em todas as variáveis analisadas.

Neste ano e nomeadamente nos ensaios de Outono/Inverno, a média dos 20 genótipos verificada para as componentes IR e PST, é baixa devido ao ataque de ABL, no entanto a rega durante o início de Abril, neste ensaio, permitiu que as plantas recuperassem do ataque da doença, que havia provocado quebra dos ramos e perda de área foliar. As plantas recuperaram emitindo novos ramos de nós vegetativos da base das plantas. Não ficaram muito altas, nem com IR grandes, no entanto os novos ramos produziram flores, vagens e sementes. No ensaio não regado (EEP-WNR), as plantas atacadas perderam folhas, não conseguindo recuperar a biomassa atacada, atingiram o fim de floração mais cedo e as sementes ficaram enrugadas.

Não se efectuaram registos do número de sementes por m^2 nem de peso de 100 sementes devido à grande irregularidade verificada dentro da parcela e entre genótipos.

Quadro VI.A.3 – Valores de rendimento (Rend – kg/ha) e seus componentes (IR – intervalo reprodutivo (cm), Sem/m² – sementes por m², P100S – peso de 100 sementes (g), PST – biomassa total por parcela (kg/parc), IC – índice de colheita (%)) para 20 genótipos em cada ensaio no ano agrícola 1995/96. Estão também representados o resumo da análise de variância, média, limites de variação e coeficiente de variação (CV-%). * , ** , *** são os valores das diferenças obtidas entre genótipos para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância

		EEP-WR-96	EEP-WNR-96	EEP-SPR-96	EEP-SPNR-96
IR (cm)	Média	23 ns	19 ns	25 **	19 ns
	Limites de variação	11-28	10-25	21-29	15-25
	CV (%)	31,00%	18,85%	10,02%	19,14%
Sem/m ²	Média			358 ***	157 *
	Limites de variação	-	-	216-568	59-330
	CV (%)			21,22%	46,16%
P100S (g)	Média			33,7 ***	29,8 ***
	Limites de variação	-	-	26,1-49,5	23,9-44,4
	CV (%)			2,96%	6,05%
PST (kg/parc)	Média	1,1 ns	0,7 ns	1,4 ns	0,6 **
	Limites de variação	0,63-1,80	0,35-1,40	0,92-1,92	0,37-1,36
	CV (%)	44,05%	47,97%	24,76%	41,07%
IC (%)	Média	41,2 ns	39,2 *	42,5 ns	37,7 ns
	Limites de variação	26-55	20-67	37-56	25-54
	CV (%)	37,19%	38,61%	16,58%	31,87%
Rend (kg/ha)	Média	967 *	580 **	1171 **	456 **
	Limites de variação	478-1410	188-1161	854-1654	207-1146
	CV (%)	36,24%	48,20%	18,90%	43,51%

Nos ensaios de Primavera a rega de Abril, antes do IF, conduziu, nos ensaios regados, a uma boa instalação da cultura, em relação aos ensaios de sequeiro, onde se verificou perda de plantas à emergência. Os 91,4 mm de precipitação, durante o período vegetativo, concentrada entre o fim de Abril e o início de Maio, não foram suficientes para desencadear o ataque de *Ascochyta*. Assim a quebra de produção nos ensaios não regados de Primavera, pode-se também atribuir à perda de plantas (fraca emergência) causada pela seca verificada no início do desenvolvimento vegetativo. Por outro lado, neste ano, a precipitação durante o período reprodutivo foi muito baixa (24,8 mm), acelerando o ciclo, as plantas atingiram o fim de floração mais cedo e o rendimento médio do ensaio foi baixo. Em relação à componente P100S, nos ensaios regados foram obtidos sementes com maior calibre.

No ano 1996/97 (quadro VI.A.4) a seca que se instalou a partir de 21 de Janeiro conduziu à aceleração da entrada em floração que ocorreu em meados de Março (15 de Março) e início de Abril (8 de Abril) nos ensaios das duas épocas de sementeira.

O fim de floração foi antecipado para 8 de Abril nos ensaios de Outono/Inverno, tendo o período reprodutivo decorrido apenas com 1,7 mm de precipitação; as plantas ficaram mais pequenas com IR médios de 17 cm e biomassa total baixa (1,7 kg/parcela). Nos ensaios regados (R) com a rega instalada a partir de 22 de Janeiro, as plantas desenvolveram-se mais atingindo IR e PST superiores relativamente ao ensaio NR. IR e PST maiores conduziram ao maior número de sementes e posteriormente ao rendimento médio final.

No ensaio de Primavera o período reprodutivo desenvolveu-se com 62,5 mm. Apesar da precipitação ter sido baixa houve uma boa distribuição durante o período reprodutivo das plantas. Neste ano destaca-se o ensaio de sequeiro de Primavera, com rendimentos

superiores aos verificados no ensaio de sequeiro de Outono/Inverno, devido à maior precipitação durante o período reprodutivo.

Quadro VI.A.4 – Valores de rendimento (Rend – kg/ha) e seus componentes (IR – intervalo reprodutivo (cm), Sem/m² – sementes por m², P100S – peso de 100 sementes (g), PST – biomassa total por parcela (kg), IC – índice de colheita (%)) para 20 genótipos em cada ensaio no ano agrícola 1996/97. Estão também representados o resumo da análise de variância, média, limites de variação e coeficiente de variação (CV-%). *, **, *** são os valores das diferenças obtidas entre genótipos para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância

		EEP-WR-97	EEP-WNR-97	EEP-SPR-97	EEP-SPNR-97
IR (cm)	Média	27 **	17 ns	25*	23 *
	Limites de variação	22-33	13-22	20-33	17-30
	CV (%)	13,05%	21,16%	16,38%	17,48%
Sem/m ²	Média	1138 ***	284 ***	919 ns	601 ***
	Limites de variação	759-1563	158-369	567-1196	243-952
	CV (%)	11,40%	15,28%	7,23%	33,31%
P100S (g)	Média	36,3 ***	30,2 ***	35,0 ***	36,6 ***
	Limites de variação	26,0-50,5	23,9-40,1	26,1-45,8	27,9-48,8
	CV (%)	5,50%	4,16%	28,45%	10,08%
PST (kg/parc)	Média	3,5 ***	1,7 *	3,2 *	2,1 **
	Limites de variação	2,5-4,4	0,67-2,78	1,8-5,1	1,6-2,5
	CV (%)	13,16%	40,46%	32,98%	12,42%
IC (%)	Média	41,9 ***	32 ***	37,6 ***	42,0 ns
	Limites de variação	33-47	21-42	24-50	34-52
	CV (%)	6,66%	14,71%	14,71%	14,46%
Rend (kg/ha)	Média	4043 ***	1687 ***	3189 *	2122**
	Limites de variação	2972-5208	1002-2324	2389-5065	778-3445
	CV (%)	12,66%	15,76%	27,14%	28,21%

O ano de 1997/98 (quadro VI.A.5), a distribuição regular da precipitação total conduziu à obtenção de resultados mais regulares. Nestes ensaios não se determinou o IR, no entanto nos ensaios regados seja de Outono/Inverno ou de Primavera obtiveram-se maiores peso em biomassa total, maior número de sementes e rendimento médio final.

Quadro VI.A.5 – Valores de rendimento (Rend – kg/ha) e seus componentes (IR – intervalo reprodutivo (cm), Sem/m² – sementes por m², P100S – peso de 100 sementes (g), PST – biomassa total por parcela (kg), IC – índice de colheita (%)) para 20 genótipos em cada ensaio no ano agrícola 1997/98. Estão também representados o resumo da análise de variância, média, limites de variação e coeficiente de variação (CV-%). *, **, *** são os valores das diferenças obtidas entre genótipos para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância

		EEP-WR-98	EEP-WNR-98	EEP-SPR-98	EEP-SPNR-98
Sem/m ²	Média	663 ***	406 ***	609 ***	455 ns
	Limites de variação	426-879	282-553	363-759	222-643
	CV (%)	12,68%	14,50%	11,17%	30,28%
P100S (g)	Média	31,4 ***	29,5 ***	35,8 ***	41,4 ***
	Limites de variação	24,2-43,3	24,0-38,0	27,1-50,3	31,7-57,1
	CV (%)	5,85%	6,12%	4,17%	3,30%
PST (kg/parc)	Média	3,8 ***	2,1 ***	4,7 ***	1,6 ns
	Limites de variação	3,1-4,6	1,3-2,7	3,5-6,4	0,67-2,30
	CV (%)	12,04%	14,23%	12,43%	29,29%
IC (%)	Média	38,5 **	42,4 ***	33,2 ***	42,8 **
	Limites de variação	32-45	30,8-56,9	27-40	34,7-55,2
	CV (%)	9,43%	11,24%	11,32%	15,95%
Rend (kg/ha)	Média	4089 ***	2366 ***	4233 ***	1848 ns
	Limites de variação	2968-5211	1485-2925	2973-5373	917-2370
	CV (%)	12,91%	12,39%	12,51%	28,95%

Nos anos 1996/97 e 1997/98, os altos níveis de significância mostram forte fiabilidade nos ensaios.

Ao observar os resultados obtidos nos ensaios submetidos a regadio, constata-se que os rendimentos reflectem o efeito da água nos processos de determinação da produção. A rega que se iniciou em Janeiro uma vez mais é traduzida em aumentos de rendimento comparando com os ensaios não regados. Mesmo assim, a variação das produções médias dos ensaios evidencia problemas ligados à adaptação dos diferentes genótipos.

No quadro VI.A.6 apresentam-se os valores médios, diferença significativa mínima (d.s.m.) do rendimento de cada um dos 20 genótipos estudados em relação à média obtida por todos os genótipos em cada ensaio. Destacam-se neste quadro o ensaio EEP-SPR-98 como maior rendimento médio e os genótipos **ChK 3213** apresentando rendimento superior à média nos anos 1996/97 e 1997/98 e valores perto da média geral no ano 1995/96, **ChK 3203** com valores acima da média nos anos 1996/97 e 1997/98, mas sensível ao ataque de *Ascochyta rabiei* (ABL), **ChK 3226**, **ChK 3221** e **ChK 2381** com rendimentos sempre acima da média dos ensaios em qualquer ano e **ChK 2909** com boa resposta ao regadio e boa adaptação à secura. O genótipo **ChK 1695** apresenta boa tolerância à secura, verificada nos rendimentos elevados nos ensaios de sequeiro, porém, não está muito adaptado ao regadio.

Quadro VI.A.6 – Valores médios e diferença significativa mínima (d.s.m.) do rendimento (kg/ha) dos 20 genótipos de grão de bico e média de cada ensaio nos 3 anos. Destaca-se a vermelho o rendimento inferior e a 'bold' o rendimento superior em cada ano e ensaio

	1995/96				1996/97				1997/98			
	WR	WNR	SPR	SPNR	WR	WNR	SPR	SPNR	WR	WNR	SPR	SPNR
ChK 2983	706	217	1357	439	3130	1728	2449	1634	3725	1944	4212	1722
ChK 508	1004	604	1065	253	3866	1272	3419	2708	4085	2146	3909	1856
ChK 309	732	304	1154	465	4620	1772	2952	2408	3151	2765	4405	2356
ChK 3252	854	425	1292	353	4625	1509	3243	1981	2968	2786	4120	2083
ChK 3203	512	338	851	454	4523	2294	3347	2583	3643	2696	4349	2023
ChK 3213	740	507	1022	438	5208	2324	5065	3449	4355	2801	4785	2315
ChK 3226	1331	876	1654	604	4944	1635	3539	2949	5211	2792	4731	2019
ChK 3221	1193	1161	1567	590	4991	2102	4449	3157	5191	2767	5031	1907
ChK 504	506	419	957	403	3727	2025	2438	2059	3397	2038	3526	2333
ChK 301	910	538	1337	463	3319	1272	2574	2574	3623	1485	3666	1532
ChK 1150	1337	497	1231	479	3231	1816	2868	3000	4252	1893	4475	1463
ChK 1104	1199	657	1060	364	3458	1882	2389	778	4586	1819	3456	1074
ChK 933	1201	917	1113	329	3565	1002	2639	1806	3546	1976	3974	2046
ChK 2909	1410	497	1249	407	4736	1142	3896	2060	4843	2596	5373	2370
ChK 2381	1112	839	1274	446	4963	1599	2750	2438	4809	2450	4944	1898
ChK 2844	1410	822	1069	281	3653	1792	3444	1361	4559	2688	4344	1838
ChK 3087	1125	719	1078	413	3139	1342	2810	819	4782	2771	4057	1288
ChK 3099	576	428	1063	207	4157	1564	3143	2005	3762	2925	4632	917
ChK 1695	478	188	1146	1146	2972	1885	2620	1556	3519	1995	3687	1435
ILC 3279	999	656	886	586	4032	1776	3726	1116	3772	1981	2773	1681
<i>d.s.m.</i>	762	457	481	431	1113	578	1414	1318	1147	637	1151	874
<i>Média</i>	967	580	1171	456	4043	1687	3189	2122	4089	2366	4233	1848

O ano de 1997/98, foi um ano muito estável e resume o referido anteriormente. O aumento da estabilidade de produção pode ser atingido com a irrigação durante o período vegetativo,

quando a secura se estabelece cedo, e no período reprodutivo, para homogeneizar o desenvolvimento reprodutivo.

No quadro VI.A.7, apresentamos os resultados da análise de variância combinada (ANOVA factorial) para a biomassa total por parcela (PST, kg), intervalo reprodutivo (IR, cm) e o rendimento e componentes: número de sementes por m² (Sem/m²) e peso de 100 sementes (P100S, g). A análise de variância foi baseada em 4 factores: épocas de sementeira (W e SP), anos (1995/96, 1996/97 e 1997/98), tratamentos (R e NR) e genótipos (20).

Nos ensaios de outono/Inverno em qualquer ano e tratamento os valores médios obtidos são sempre superiores, com diferenças altamente significativas para 0,001, para o rendimento, biomassa total, intervalo reprodutivo e sementes/m². O melhor ano foi o ano 1997/98, com rendimento superior, independentemente da época de sementeira e do tratamento. A diferença altamente significativa entre os anos de ensaio mostra-nos a grande irregularidade climática do clima Mediterrânico. A ausência de stresse hídrico permite aumentar as produções para o dobro.

Quadro VI.A.7 – ANOVA factorial da biomassa total por parcela (PST - kg), intervalo reprodutivo (IR - cm), rendimento e seus componentes (sementes por m²- Sem/m²) e peso de 100 sementes (P100S - g), para a época de sementeira (W e SP), anos (1995/96, 1996/97 e 1997/98), tratamentos (R e NR) e genótipos (20). *, **, *** são os valores das diferenças obtidas entre factores para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indicam ausência de significância

	Rendimento	PST	IR	Sem/m ²	P100S
Ensaios W	2315 ***	2,283 ***	22,9 ***	666 ***	34,6
Ensaios SP	2143	2,135	20,3	603	34,4 ns
Ensaios do ano 95/96	794	0,958	20,4	-	-
Ensaios do ano 96/97	2800 ***	2,509 ***	22,9 ***	778 ***	37,3 ***
Ensaios do ano 97/98	3093	3,159	-	490	31,7
Ensaios R	2948 ***	2,949 ***	23,3 ***	832 ***	34,6
Ensaios NR	1510	1,469	20,0	437	34,4
Genótipos	2229 ***	2,210 ***	21,6 ***	634 ***	34,5 ***
Época x ano	***	***	ns	*	***
Época x tratamento	***	**	***	***	***
Ano x tratamento	***	***	ns	***	***
Época x genótipo	***	ns	ns	*	ns
Ano x genótipo	***	***	ns	***	***
Tratamento x genótipo	***	***	ns	***	ns
Coeficiente de variação (%)	22,02	23,95	20,23	22,52	6,37

Os ensaios regados apresentaram rendimentos superiores bem como os respectivos componentes do rendimento estudados. Destaca-se neste quadro a estabilidade no comportamento do peso do grão em relação ao regadio e à época de sementeira. É um componente do rendimento que depende essencialmente do genótipo, denotando elevada heritabilidade.

A diferença altamente significativa verificada entre genótipos indica-nos a presença de uma grande variabilidade genética.

2.2. ESTABILIDADE DO RENDIMENTO

Para a análise da estabilidade de produção usou-se o método de regressão conjunta. A estabilidade de produção, foi estudada para 36 ambientes distintos obtidos pelos 3 anos, 2 épocas de sementeira por ano, 2 tratamentos hídricos por ano e 3 repetições. Cada situação referida constituiu um ambiente.

No quadro VI.A.8 apresentam-se os valores do coeficiente de determinação, intercepção e declive da recta, erro padrão do declive e rendimento médio do genótipo, para todos os ensaios, nas três repetições realizados durante os três anos.

Os valores de r^2 mostram um bom ajustamento das regressões. Os declives (b) variam entre 0,812 e 1,234 para os genótipos ChK 1695 e ChK 3213, respectivamente e os valores de a variam entre -344,9 e 206,2 para os genótipos ChK 3099 e ChK 3221, respectivamente.

Quadro VI.A.8 – Análise de regressão conjunta para os 20 genótipos em 36 ambientes distintos (3 anos, 2 épocas de sementeira, 2 tratamentos hídricos e 3 repetições); rendimento médio do genótipo (kg/ha), coeficiente de determinação (r^2), intercepção (a), declive da recta (b) e erro padrão do declive

	Rendimento (kg/ha)	r^2	Parâmetros da regressão		
			a	b	Erro padrão do declive
1-ChK 2983	1938	0,891	-78,5	0,905	0,054
2-ChK 508	2182	0,908	-28,8	0,992	0,054
3-ChK 309	2257	0,871	-11,0	1,017	0,067
4-ChK 3252	2187	0,857	19,3	0,972	0,068
5-ChK 3203	2301	0,901	-33,7	1,053	0,061
6-ChK 3213	2751	0,830	0,05	1,234	0,096
7-ChK 3226	2691	0,891	141,1	1,143	0,068
8-ChK 3221	2842	0,893	206,2	1,182	0,070
9-ChK 504	1986	0,853	114,4	0,839	0,060
10-ChK 301	1941	0,866	106,0	0,823	0,055
11-ChK 1150	2212	0,841	128,0	0,935	0,070
12-ChK 1104	1935	0,805	-55,9	0,893	0,075
13-ChK 933	2009	0,863	86,3	0,862	0,059
14-ChK 2909	2548	0,921	-197,7	1,231	0,062
15-ChK 2381	2460	0,898	-119,7	1,157	0,067
16-ChK 2844	2272	0,889	4,4	1,017	0,061
17-ChK 3087	2054	0,800	-103,7	0,967	0,083
18-ChK 3099	2115	0,903	-344,9	1,103	0,062
19-ChK 1695	1886	0,767	75,7	0,812	0,077
20-ILC 3279	2016	0,798	93,9	0,862	0,075

Na fig. VI.A.2 apresenta-se graficamente o potencial produtivo dos 20 genótipos em relação a todos os ambientes estudados. A média de 2294 kg/ha separa os genótipos por mais ou menos produtivos e permite a interpretação da análise de regressão conjunta.

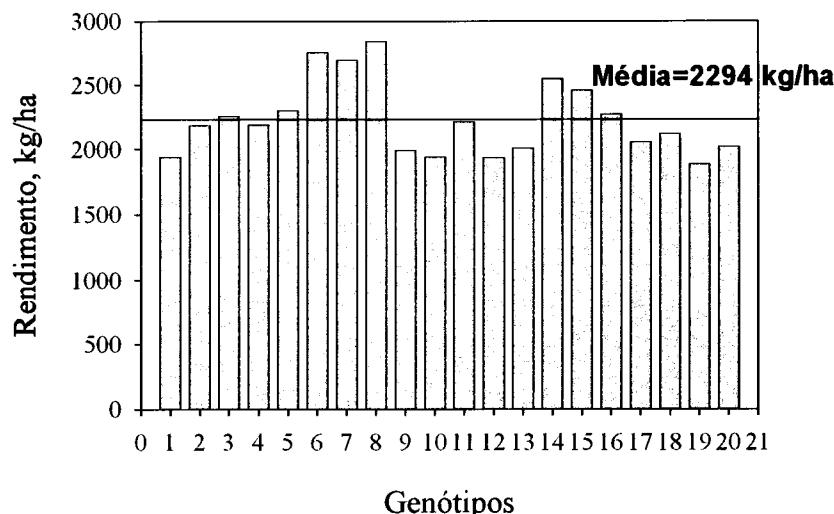


Figura VI.A.2 – Produção média dos 20 genótipos nos 36 ambientes.

Nesta análise, a maior parte de interacção ‘genótipo x ambiente’ é representada pelo declive b , visto a intercepção, a , não estar dependente do potencial de produção (fig. VI.A.3).

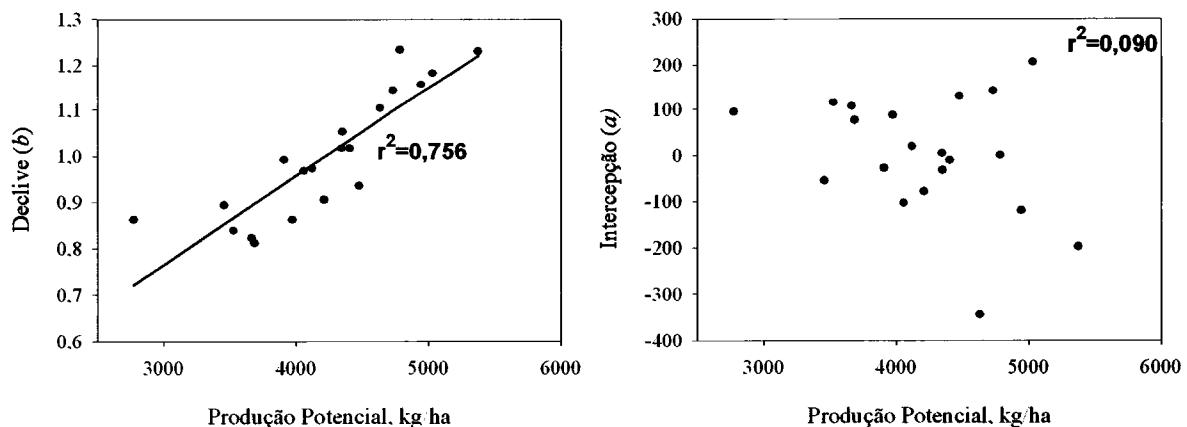


Figura VI.A.3 – Declive e intercepção de cada genótipo, em 36 ambientes, versus o potencial máximo de produção representado pelo rendimento do genótipo no ambiente de maior produção (EEP-SPR-98).

As diferenças verificadas entre estes dois índices, alertam-nos para o declive b como o parâmetro principal na interpretação desta análise. Todos os genótipos manifestam comportamento semelhante quando se desenvolvem em ambientes fracos e produzem sempre menos em situações de estresse abiótico ou biótico. Não nos podemos esquecer que os 12 ambientes de 1995/96 (2 épocas x 2 tratamentos x 3 repetições) foram afectados pelo excesso de precipitação que conduziu ao decréscimo do rendimento por ataque do fungo *Ascochyta rabiei*. Os mesmos genótipos em situação de regadio, com humidade relativa do ar baixa (estas condições não favorecem o desenvolvimento do fungo), aumentam os rendimentos relativamente aos obtidos nas condições de sequeiro.

Na figura VI.A.4 apresenta-se o comportamento de cada genótipo, em relação ao índice ambiental, obtido pela média de cada genótipo em todos os ambientes referidos (36 ambientes = 3 anos x 2 épocas de sementeira x 2 tratamentos x 3 repetições).

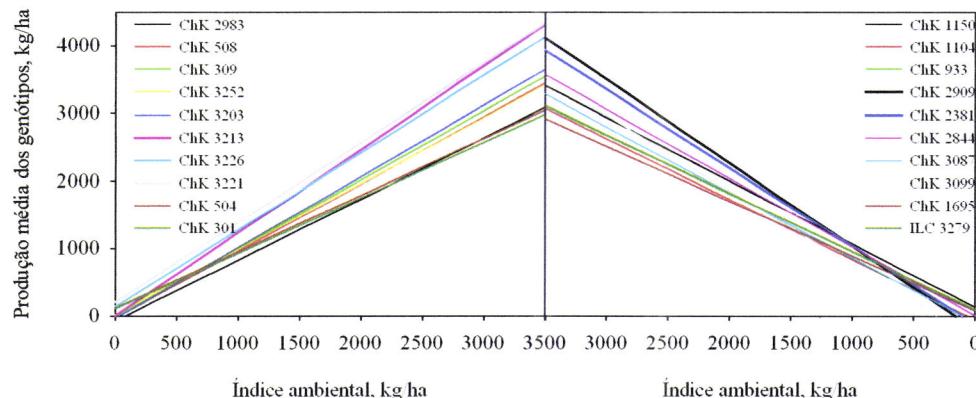


Figura VI.A.4 – Comportamento relativo dos genótipos em relação ao ambiente; o rendimento médio dos 20 genótipos obtido em cada uma das 36 situações constitui o índice ambiental.

O valor de b elevado está associado ao elevado rendimento potencial de cada genótipo. No entanto, no nosso conjunto de genótipos podem-se separar 5 grupos a partir do conhecimento da média do rendimento verificado na análise de regressão conjunta:

- 1) com elevado rendimento, alto declive b e alta intercepção a : 'ChK 3226' e 'ChK 3221';
- 2) com elevado rendimento, alto declive b e baixa intercepção a : 'ChK 3203', 'ChK 3213', 'ChK 2909', 'ChK 2381' e 'ChK 2844';
- 3) baixo rendimento, alto declive b e alta intercepção a : 'ChK 3252' e 'ChK 1150';
- 4) baixo rendimento, alto declive b e baixa intercepção a : 'ChK 2983' 'ChK 508', 'ChK 309', 'ChK 1104', 'ChK 3087' e 'ChK 3099';
- 5) baixo rendimento, baixo declive b e alta intercepção a : 'ChK 504', 'ChK 301', 'ChK 933', 'ChK 1695' e 'ILC 3279'.

Apesar da intercepção não estar correlacionada com os rendimentos obtidos, verifica-se que apesar de alguns genótipos apresentarem potenciais produtivos superiores (acima da média), não estão potencialmente bem adaptados a ambientes mais pobres. Este é o caso do grupo 2). Estes últimos revelam baixa adaptação a ambientes mais desfavoráveis e uma incapacidade de conseguir elevada produção nestes ambiente, conjugada com uma boa resposta à melhoria do ambiente. Por outro lado, os genótipos do grupo 5) revelam uma boa adaptação a ambientes mais pobres.

2.3. CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA

Na figura VI.A.5 apresentam-se os valores da evolução do potencial hídrico ao amanhecer (ψ_b) e do teor relativo em água (RWC) ao longo do tempo desde o início de floração (IF) até ao fim de floração (FF), para 6 genótipos de grão de bico (ChK 3213, ChK 3226, ChK 3221,

ILC 3279, ChK 1695 e ChK 2909) nos tratamentos hídricos submetidos (regado e não regado).

Os nossos resultados revelam que em ambos os tratamentos, as plantas sofreram de stresse hídrico, apesar de no tratamento regado as plantas se encontrarem sempre bem hidratadas. As plantas sofreram de stresse térmico, por aumento da temperatura do ar dentro da estufa, (até cerca de 40°C), resultando nos baixos potenciais hídricos ao meio dia solar e teores relativos em água, obtidos nas últimas fases do ciclo (fig.VI.A.5).

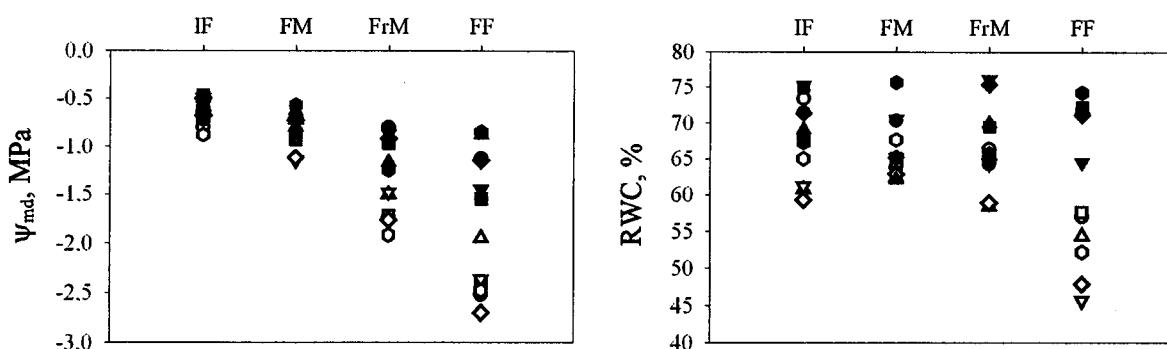


Figura VI.A.5- Evolução do potencial hídrico ao meio dia solar (Ψ_{md}) e teor relativo em água (RWC) ao longo do tempo (IF – início de floração, FM – floração média, FrM – frutificação média e FF – fim de floração), para 6 genótipos de grão de bico (● – ChK 3213, ■ – ChK 3226, ▲ - ChK 3221, ▼ - ILC 3279, ♦ - ChK 1695 e ◆ - ChK 2909) nos tratamentos regado (branco) e não regado (preto).

Este stresse culminou na redução da expansão foliar com paragem do crescimento apical, as plantas fecham os estomas e as taxas de fotossíntese são reduzidas (fig. VI.A.6).

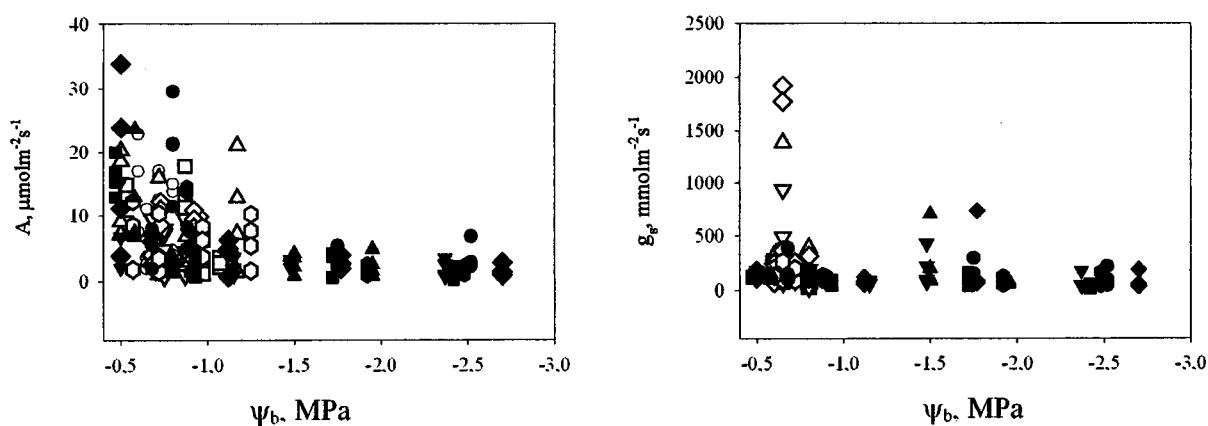


Figura VI.A.6 - Evolução da fotossíntese líquida (A) e condutância estomática (g_s), ao longo do tempo (IF – início de floração, FM – floração média, FrM – frutificação média e FF – fim de floração) e em todos os horários do dia (8h, 12h, 16h e 20h) em função do potencial hídrico foliar ao meio dia solar (Ψ_b), para 6 genótipos de grão de bico (● – ChK 3213, ■ – ChK 3226, ▲ - ChK 3221, ▼ - ILC 3279, ♦ - ChK 1695 e ◆ - ChK 2909), nos tratamentos regado (branco) e não regado (preto).

A fotossíntese é superior na primeira hora da manhã, quando as plantas ainda estão muito hidratadas. Os estomas, na mesma hora, ainda não se encontram completamente abertos, e não se encontram correlacionados com o decréscimo do ψ de base das plantas. No entanto, em alguns genótipos, os estomas abrem ao meio do dia e mantêm-se abertos (g_s mais elevada) em estádios de desenvolvimento mais avançados (ChK 3221 e ChK 1695).

Os níveis mais baixos de fotossíntese são obtidos na fase de frutificação média das plantas. Os valores de ψ nesta data variam entre -0,75 e -1,25 (tratamento R) e -1,50 e -1,95 (tratamento NR). Este período é determinante para definir o número total e o tamanho das sementes. Após esta fase, as plantas recuperam os níveis de fotossíntese, mostrando que a espécie tolera baixos teores de humidade de solo e elevadas temperaturas.

As plantas regadas apresentam taxas de fotossíntese e condutância estomática superiores às plantas em condições de déficit hídrico.

No quadros VI.A.9 apresenta-se a análise factorial dos 6 genótipos estudados ao longo do tempo, dias de observação (Dia) nos dois tratamentos (R – regado e NR – não regado), para o estado hídrico das plantas, potencial hídrico ao meio dia (ψ_{md}) e teor relativo em água (RWC).

Quadro VI.A.9 – ANOVA factorial, dos 6 genótipos estudados ao longo do tempo, nos dois tratamentos (R – regado e NR – não regado), para o estado hídrico das plantas, potencial hídrico ao meio dia (ψ_{md}) e teor relativo em água (RWC). *, **, *** são os valores dos níveis de significância entre factores para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância e GL os graus de liberdade

	GL	ψ_{md} -R	ψ_{md} -NR	RWC-R	RWC-NR	Probabilidade
Dia	4	***	***	ns	***	
Genótipo	5	***	***	ns	***	
Dia x Genótipo	20	***	***	**	***	
C.V. (%)		-9,49	-7,92	7,61	7,45	

No quadros VI.A.10 apresenta-se ANOVA factorial dos 6 genótipos estudados, ao longo do tempo (Dia) e 4 horários ao longo do dia (hora do dia), nos dois tratamentos (R – regado e NR – não regado), para as trocas gasosas da planta, fotossíntese (A) e condutância estomática (g_s).

Quadro VI.A.10 – ANOVA factorial dos 6 genótipos estudados, ao longo do tempo, nos dois tratamentos (R – regado e NR – não regado), para as trocas gasosas da planta: fotossíntese (A) e condutância estomática (g_s). *, **, *** são os valores dos níveis de significância entre factores para os níveis de probabilidade 0,05, 0,01 e 0,001; ns indica-nos ausência de significância

	GL	A-R	A-NR	g_s -R	g_s -NR	Probabilidade
Dia	3	***	***	***	***	
Hora do dia	3	***	***	***	***	
Genótipo	5	***	***	***	***	
Dia x hora	15	***	***	***	***	
Dia x genótipo	15	***	***	***	***	
Hora x genótipo	15	***	***	***	***	
Dia x hora x genótipo	45	***	***	***	***	
C.V. (%)		40,8	38,6	35,3	40,1	

Nestas análises verificam-se diferenças altamente significativas para os diferentes parâmetros fisiológicos estudados, ao nível do estado hídrico e das trocas gasosas nas plantas dos 6 genótipos de grão de bico, independentemente da hora de observação.

O decréscimo acentuado do potencial hídrico ao meio dia solar (ψ_{md}) com a secura do solo conduz às diferenças altamente significativas entre genótipos, dias e a interacção entre dias e genótipos em ambos os tratamentos. Com o RWC não se verificaram diferenças significativas quer entre genótipos, quer entre as fases do ciclo, no tratamento regado, no entanto, no tratamento de stresse verificou-se um decréscimo acentuado para o fim do ciclo.

À medida que o potencial hídrico do solo decresce (ψ_b), o rendimento para cada genótipo é menor, as plantas ficam menos hidratadas e tanto o teor relativo em água (RWC), como o potencial hídrico foliar (ψ_{md}), são inferiores. Estas respostas encontram-se correlacionadas com o rendimento dos mesmos genótipos nos ensaios de campo (fig. VI.A.7). Quando o solo se encontra suficientemente irrigado as correlações são não significativas (quadro VI.A.11).

Quadro VI.A.11 – Coeficientes de correlação verificados entre os parâmetros fisiológicos, potencial hídrico ao amanhecer (ψ_b), teor relativo em água (RWC), fotossíntese (A) e condutância estomática (g_s) e o rendimento; para $n=6$ os níveis de significância são 0,001 para $r \geq 0,9507$, 0,01 para $r \geq 0,8745$, 0,05 para $r \geq 0,7545$ e 0,1 para $r \geq 0,6694$

	Ensaios regados	Ensaios não regados
ψ_b	0,002	-0,400
RWC	0,345	0,484
g_s	0,587	0,915
A	0,337	0,452

Na figura VI.A.7 apresenta-se ainda a taxa de fotossíntese (A) e a condutância estomática (g_s) em função do rendimento médio obtido em cada genótipo, por tratamento, no campo (18 ambientes de cada tratamento) e os parâmetros fisiológicos estudados. À medida que decrescem os níveis hídricos do solo (ψ_b) e os níveis hídricos das plantas (ψ_{md} e RWC), o rendimento diminui acentuadamente.

Nos ensaios regados, destacam-se com RWC elevado os genótipos ChK 3221, ChK 2909, ChK 3213 e ChK 3226; com potencial hídrico mais alto os genótipos ChK 3221 e ChK 3213; com fotossíntese elevada os genótipos ChK 3221 e ChK 3213 e com condutância estomática elevada os genótipos ChK 3221, ChK 3213 e ChK 1695.

Nos ensaios em stresse, destacam-se com RWC elevado os genótipos ChK 3221, ChK 3213 e ChK 3226; com potencial hídrico mais alto, o genótipo ChK 3221; com fotossíntese elevada, o genótipo ChK 3213 e com condutância estomática elevada, o genótipo ChK 3213.

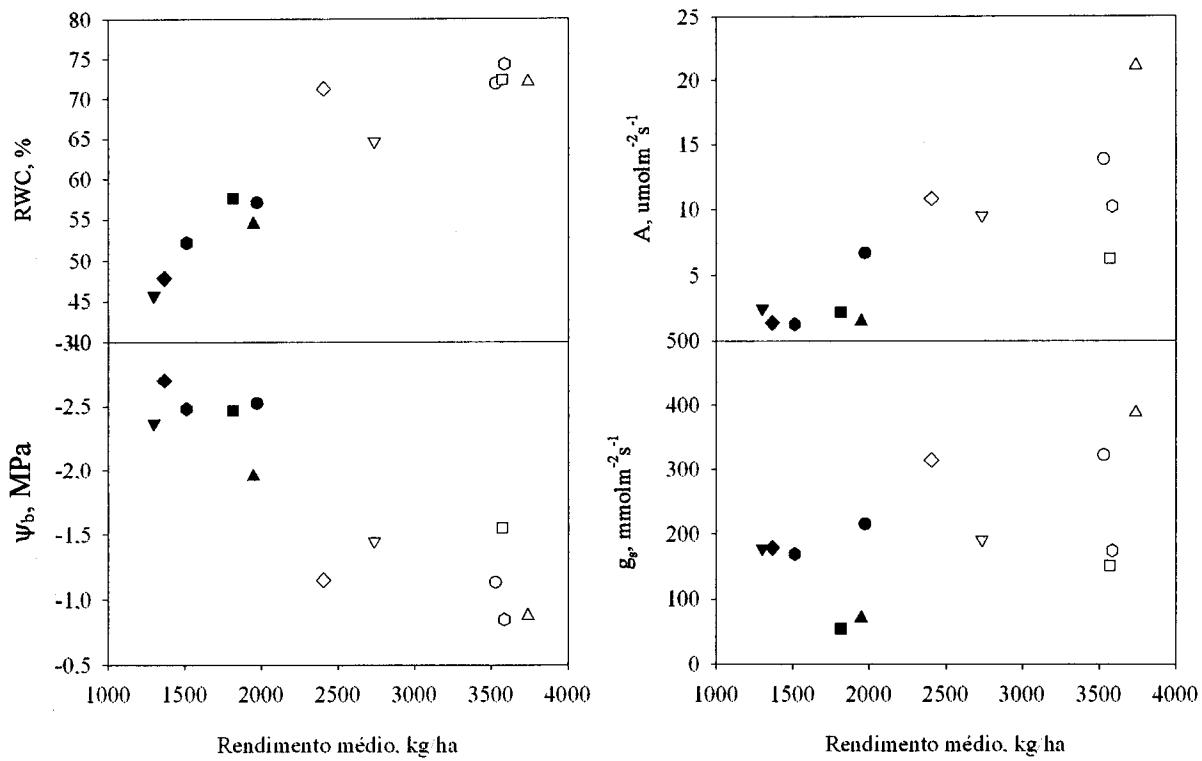


Figura VI.A.7 – Relação entre os parâmetros fisiológicos, potencial hídrico foliar ao amanhecer (ψ_b), teor em água relativo (RWC), fotossíntese (A) e condutância estomática (g_s), nos dois tratamentos realizados, e o rendimento médio dos 6 genótipos de grão de bico (● - ChK 3213, ■ - ChK 3226, ▲ - ChK 3221, ▼ - ILC 3279, ♦ - ChK 1695 e ◆ - ChK 2909), nos tratamentos regado (branco) e não regado (preto).

3. DISCUSSÃO

O ensaio decorreu durante 3 anos, representativos do clima Mediterrâneo. No nosso trabalho, a informação recolhida em qualquer dos ensaios em sequeiro, mostra o que pode acontecer nos anos mais desfavoráveis seja qual for a data de sementeira em que se estabelecer a cultura do grão de bico. A resposta dos diferentes genótipos, confirma a existência de germoplasma tolerante e sensível à seca. Os genótipos tolerantes para ambientes pobres, destacam-se apresentando produções unitárias superiores à média nestes ambientes e genótipos sensíveis apresentam normalmente rendimentos inferiores à média para os mesmos ambientes.

A intensidade do stresse não é fácil de quantificar, como afirmou Wery (1999). Por um lado o excesso de água, por outro, a secura, são níveis de stress que afectam a cultura do grão de bico de modos muito distintos. O excesso de água pode ser prejudicial desde que a chuva não seja bem distribuída, pois tal como foi verificado por Humphreys (2001), as plantas de tipo indeterminado desenvolvem ramos muito longos com poucos nós reprodutivos, produzindo um reduzido número de flores e vagens e posteriormente rendimentos baixos. Em situação de excesso de água, as plantas não diferenciam gomos reprodutivos definitivos, as flores formam-se mas não se desenvolvem, abortando na forma de botão floral. O grão de

bico, como cultura de hábito de crescimento indeterminado, responde à dotação hídrica, desde que a temperatura máxima do ar não seja muito elevada, com crescimento vegetativo contínuo. Por outro lado, o desenvolvimento de fungos é outro aspecto a considerar em situações de muita precipitação.

No decurso da nossa experimentação, o ano de 1997/98 destacou-se como o ano mais regular; a precipitação esteve bem distribuída, quer durante o Inverno, quer durante a Primavera. O aumento de rendimento foi uniforme em praticamente todos os genótipos; é de salientar o efeito da chuva nos ensaios não regados EEP-WNR-98 e EEP-SPNR-98, com rendimento médio de 2366 kg/ha e 1848 kg/ha, respectivamente. A estabilidade ambiental, deste ano, em termos hídricos e de temperatura máxima do ar, foi fundamental para o bom desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de todos os genótipos.

Em qualquer um dos ensaios regados, a rega exerceu um efeito positivo bastante marcado no rendimento de todos os genótipos estudados.

A interacção do genótipo com o ambiente, que se observou através do método de regressão conjunta, proposto por Finlay e Wilkinson (1963), conduziu-nos a respostas não muito distintas em relação à dotação hídrica entre os diferentes genótipos em estudo. A interacção do genótipo x ambiente está mais dependente do declive da recta obtida pela correlação entre o índice ambiental, obtido em 36 ambientes distintos e a produção média do genótipo esperada para cada ambiente, do que dependente da intercepção da mesma, o que significa que os genótipos atingem sempre rendimentos superiores em melhores ambientes. Apesar do comportamento dos genótipos ser semelhante, alguns desenvolvem-se melhor em ambientes mais pobres e outros em ambientes com melhor distribuição pluviométrica. Este tipo de "resposta cruzada", surge sempre que estamos na presença de genótipos com diferente resposta de adaptação. Este acontecimento, segundo Ceccarelli (1994), coloca normalmente o melhorador perante o dilema da escolha do genótipo mais adequado e da escolha das condições mais convenientes para exercer a pressão de selecção. Esta situação, é porém, pouco frequente no caso da cultura do grão de bico, o que nos facilita a selecção. Todos os nossos genótipos respondem bem ao regadio, apresentando rendimentos superiores à medida que o ambiente se vai tornando mais favorável. Genótipos com intercepção superior a zero são normalmente melhores em ambientes mais desfavoráveis.

Outro aspecto a considerar na análise dos resultados da regressão conjunta, no caso em questão, com produções obtidas em condições favoráveis (regadio) é o estudo da resposta genotípica à deficiência hídrica, para avaliar se o comportamento do genótipo nas condições de estresse se deve à sua resistência à falta de água ou se o seu potencial produtivo é baixo.

Um dos primeiros objectivos, para a selecção destes genótipos, é saber como se caracteriza o ambiente e para onde se destinam os materiais seleccionados. Para ambientes mais secos, procuram-se genótipos que acelerem o ciclo vegetativo, para escapar ao estresse final, de modo a iniciar e a finalizar o período reprodutivo mais cedo e atingir rendimentos mais estáveis em situação de déficit de fim de ciclo. No entanto, o que se verifica pela análise do clima Mediterrânico, para os últimos anos, é a tendência para a diminuição na quantidade de precipitação a partir de Janeiro e uma maior precipitação, relativamente a Março, nos meses de Abril e Maio. Com o programa de melhoramento de grão de bico, procuramos seleccionar genótipos que estejam bem adaptados à secura verificada durante o fim do período

vegetativo, esta que conduz a uma aceleração, dos processos fisiológicos e morfológicos, para a entrada em floração. Porém, muitas vezes este material vegetal não se encontra adaptado à chuva que ocorre posteriormente durante os meses de Abril e Maio, por isso, a selecção para estabilidade de produção nas condições de sequeiro do Alentejo deve ser efectuada para eleição de genótipos que expressem produtividades altas em duas situações bem distintas que ocorrem na natureza: segura no final do Inverno e início da Primavera e resposta positiva à rehidratação posterior.

Para locais onde a Primavera é húmida (condições de regadio) já a orientação de selecção deve ser no sentido de promover o máximo potencial produtivo genético de produção. Uma regra de recurso, com o intuito de manter as plantas sem carências durante o período de falta de água referido, é benéfica para manter as plantas com níveis elevados de potencial hídrico foliar e com elevada capacidade fotossintética. Deste modo, desenvolvem-se mais ramos e um maior número de flores, de vagens e sementes.

Srivastava (1987) refere que o conhecimento profundo das limitações causadas por falta de água no solo, na expressão do potencial óptimo, deve marcar decisivamente a estratégia e filosofia de melhoramento. Assim, Srivastava (1987) sugere que em bons ambientes (isentos de stresse hídrico) a selecção pode ser efectuada, com eficiência, em condições óptimas para a expressão do potencial genotípico máximo. No entanto, em regiões com potencial limitado, a selecção será mais eficaz se efectuada localmente. Esta assumpção considera que as características morfológicas e fisiológicas das plantas relacionadas com o potencial máximo de produção em condições óptimas são diferentes daquelas que determinam a produção em condições limitantes, as quais em princípio deverão estar predominantemente associadas a mecanismos de sobrevivência.

Nas condições deste estudo, as linhas com maior potencial produtivo foram 'ChK 3213', 'ChK 3226', 'ChK 3221', 'ChK 2909' e 'ChK 2381'. Estes genótipos evidenciaram elevada resposta à melhoria do ambiente, mas mesmo assim, razoável comportamento no tratamento de sequeiro.

Apesar de tratarmos dados fisiológicos de um ano apenas, os genótipos ChK 3221, ChK 3213 e ChK 2909 parecem ser os mais promissores, por manterem RWC mais elevados e deste modo realizarem fotossíntese na última fase do ciclo vegetativo. França *et al.* (2000) verificaram em estudos realizados com *Phaseolus vulgaris* que a variação da taxa fotossintética está pouco dependente da variação hídrica e do fecho estomático. A g_s está directamente correlacionada com o RWC, mais do que com qualquer outro parâmetro fisiológico. Quando o stresse é moderado os estomas fecham como uma resposta adaptativa das plantas, no entanto quando a intensidade do stresse é prolongada desenvolvem-se mecanismos ao nível celular que tornam as plantas mais resistente. Estes genótipos serão incluídos como testemunhas, em futuros estudos quer de fisiologia, quer em programas de melhoramento.

Este trabalho revela o interesse de realizar estudos de fisiologia em populações alargadas provenientes dos programas de melhoramento com vista a assegurar o valor das sinergias que se podem criar entre a fisiologia e o melhoramento. Os progressos no melhoramento podem depender, em larga escala, de uma melhor compreensão dos processos que limitam as produções em ambientes onde a água é um factor limitante.

Tal como expressa Gonzalez e outros (1998) os resultados sugerem que a selecção da cultivar mais apropriada para um ambiente específico é muito mais efectiva pelo aumento do rendimento do que pela melhoria dos aspectos agronómicos da cultura por si só.

PARTE – B:

ESTUDO DA ESTABILIDADE E ADAPTAÇÃO DE GENÓTIPOS – SELEÇÃO PARA O CATÁLOGO NACIONAL DE VARIEDADES

O objectivo deste sub-capítulo foi *confirmar* a boa adaptação do germoplasma seleccionado, e que possua elevado potencial produtivo para ser inscrito no CNV e posteriormente fornecido aos agricultores e introduzido na rotação com outras culturas tradicionais do Mediterrâneo. As novas linhas serão avaliadas no que respeita à sua fenologia, morfologia e fisiologia. O conhecimento dos parâmetros fisiológicos e morfológicos de adaptação ao estresse hídrico são importantes para a selecção no programa de melhoramento de grão de bico. Este trabalho foi efectuado no âmbito do programa PIDDAC, no projecto número 406, intitulado – “*Tolerância à secura em grão de bico (Cicer arietinum L.): caracterização morfológica, fisiológica e química*”, que está em curso no Departamento de Forragens, Pastagens e Outras Culturas (DFP&OC) da Estação Nacional de Melhoramento de Plantas (ENMP).

Este projecto está a decorrer em três instituições do INIAP – ENMP, EAN e EZN, e tem como principal objectivo estudar as novas linhas de *Cicer arietinum L.*, seleccionadas em anos anteriores na ENMP, com o objectivo de identificar as mais tolerantes à secura do solo, nas diferentes fases do ciclo vegetativo.

1. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

1.1. MATERIAL VEGETAL

Estudaram-se 21 genótipos de grão de bico (quadro III.3, capítulo Material e Métodos), 5 dos quais, ChK 3213, ChK 2381 ChK 2909, ChK 3221 e ChK 3226, foram seleccionados na PARTE-A deste capítulo.

1.2. METODOLOGIA

Tal como estava previsto no projecto PIDDAC-406, foram realizados dois anos de ensaios (1999/00 e 2000/01) em duas épocas de sementeira: sementeira de Outono/Inverno (W) e sementeira de Primavera (SP); no ano 1999/00 apenas na época de Primavera e no ano 2001/02 nas duas épocas previstas. Nos ensaios com os 21 genótipos de grão de bico realizaram-se três repetições (blocos), com delineamento estatístico de blocos completamente casualizados, em cada ano e época de sementeira. As parcelas de 2m² (2 linhas, espaçadas a 50cm e 2m de comprimento) foram semeadas à mão com 20 sementes por linha (ver anexo 4). A sementeira dos campos experimentais quer de Outono/Inverno, quer de Primavera foram efectuadas, manualmente, em Fevereiro (dia 27), Novembro (dia 14) e Março (dia 15) respectivamente, conforme protocolo (anexo 4).

Durante os anos agrícolas foram realizadas observações morfológicas e fisiológicas em todos os ensaios (quadro VI.B.1), conforme é descrito no capítulo III (Material e Métodos).

As determinações de fenologia (data de emergência, data de início de floração, data de fim de floração e maturação) foram efectuadas nas datas em que as plantas, nos diferentes ensaios atingiram os estádios definidos. O porte foi determinado ao início e fim de floração e as restantes determinações de morfologia externa foram determinadas no fim de floração. Os componentes do rendimento foram determinados à colheita e transformados ao nível da planta, por fim determinou-se o índice de colheita (IC) pela razão do peso das sementes com a biomassa total. As determinações fisiológicas (potencial hídrico de base, potencial hídrico ao meio dia solar e teor relativo em água) foram realizadas em 4 fases do estádio de desenvolvimento, entre o início e o fim de floração e denominadas por 1, 2, 3 e 4.

Quadro VI.B.1 – Lista de observações morfológicas e fisiológicas efectuadas ao longo do ciclo

FENOLOGIA E MORFOLOGIA EXTERNA DA PLANTA		FISIOLOGIA	RENDIMENTO E COMPONENTES
Fenologia	Data de emergência (E)	Potencial hídrico ao amanhecer (ψ_b)	Número de Plantas
	Data de Início de floração (IF)	Potencial hídrico ao meio dia solar (ψ_{md})	Peso total
	Data de Fim de Floração (FF)	Teor Relativo em Água (RWC)	Peso dos caules
	Data de Maturação (M)		Peso das vagens
Porte	IF FF		Nº total de vagens
	Altura total da planta		Nº vagens com semente
	Altura da 1 ^a vagem		Nº de sementes
	Intervalo reprodutivo (IR)		% de abortamento (%abort)
			Peso total das sementes
			Peso de 100 sementes (P100S)

Todas as variáveis medidas foram analisadas estatisticamente por análise de variância (ANOVA) considerando cada ensaio separadamente.

Para o cálculo das correlações entre características usaram-se os valores médios de cada genótipo. Este tratamento estatístico indica o rumo da selecção e os efeitos que cada variável pode provocar, por exemplo no rendimento.

A realização da análise “path-coefficient” (Dewey e Lu, 1959), ao provocar o desdobramento das associações entre variáveis ou componentes, em causas directas e indirectas, permite examinar a interacção de cada componente no rendimento e entre componentes de um determinado coeficiente de correlação e simultaneamente avaliar a importância relativa de cada um dos componentes na determinação do rendimento.

O índice de susceptibilidade à secura (S) foi calculado para relacionar a produção do ambiente mais favorável com a produção do mesmo genótipo na situação desfavorável (Fischer e Maurer, 1978). Foi calculado através da equação:

$$S = (1 - \text{Prod}_p / \text{Prod}_m) / (1 - \text{Prod}_{\text{méd}p} / \text{Prod}_{\text{méd}m}),$$

para todos os genótipos nos 2 anos e três datas de sementeira. Prod_p e Prod_m são a produção do genótipo no pior ensaio (ensaio com média mais baixa) e no melhor ensaio (ensaio com melhor média) respectivamente e $\text{Prod}_{\text{méd}p}$ / $\text{Prod}_{\text{méd}m}$ são a produção média do pior e do melhor ensaio respectivamente.

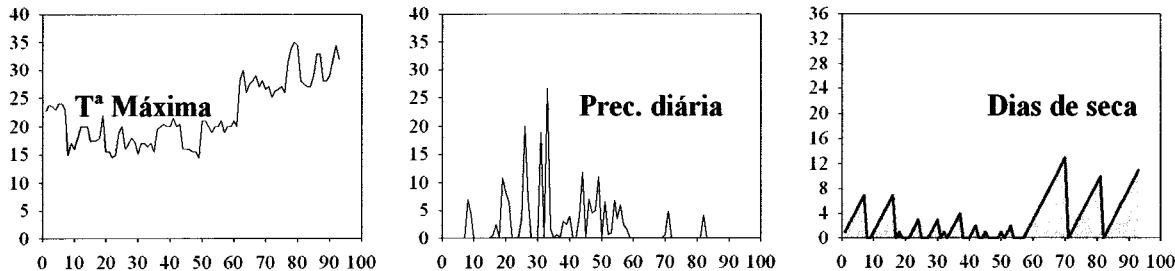
1.3. CLIMA

No quadro VI.B.1 e na fig. VI.B.1 apresentam-se os dados meteorológicos diários para os anos agrícolas 1999/00 e 2001/02, correspondentes à duração desta experimentação. As sequências de seca indicam-nos a distribuição da chuva em cada ano.

Quadro VI.B.1 – Dados fenológicos e precipitação total (desde a sementeira - S até ao fim de floração - FF), precipitação da fase vegetativa (desde a sementeira - S até ao início de floração - IF) e da fase reprodutiva (desde o início de floração – IF até ao fim de floração - FF); temperatura máxima a partir de Março, dos anos em que decorreram os ensaios

		1999/00		2001/02	
		SP	W	SP	W
Fenologia	Data de sementeira	27/02/00		14/11/01	15/03/02
	IF	25/5		20/3	10/5
	FF	15/6		10/5	12/6
Precipitação (mm)	Total (S – FF)	209,2		253,8	159,9
	S – IF	199,6		187,2	156,3
	IF – FF	9,6		66,6	3,6
Precipitação/ Temperatura (mm/°C)	Março	14 / 26,0		90,2 / 28,5	
	Abril	140,6 / 22,0		50,8 / 31,0	
	Maio	49,8 / 34,0		17,1 / 34,0	
	Junho	4,2 / 38,5		1,8 / 39,0	

1999/00, data de sementeira – 27 de Fevereiro



2001/02, data de sementeira – 14 Novembro (dia 0) e 15 de Março (dia 121)

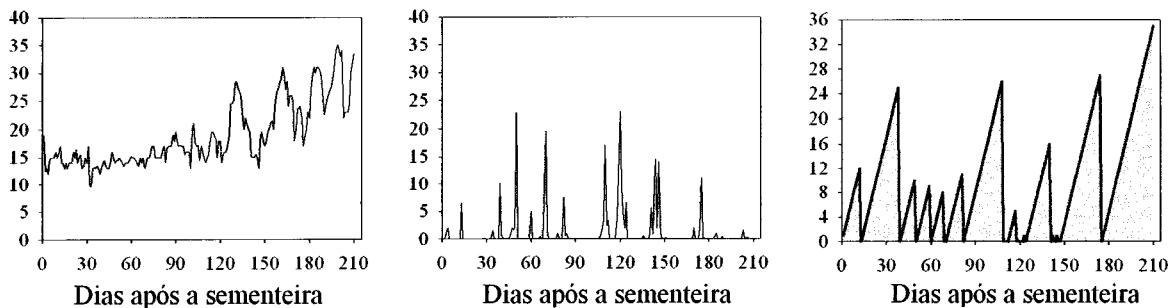


Figura VI.B.1 - Temperatura máxima, precipitação e número de dias de seca dos ano agrícolas 1999/00 e 2001/02, durante o ciclo cultural.

Os dois anos agrícolas em questão foram ambos secos. O ano 1999/00 com 463,5mm de precipitação total (entre Setembro/99 e Agosto/00), teve um Inverno húmido, e apesar do mês de Março ter sido seco, a precipitação distribuída nos meses de Abril e Maio, conduziu à boa instalação e desenvolvimento das plantas.

Por outro lado no ano agrícola 2001/02 com 436,4 mm de Setembro/01 a Agosto/02, o Inverno foi mais seco que a ano de 1999/00 em que o mês de Março foi mais húmido, permitindo que o período reprodutivo nos ensaio de Outono/Inverno decorresse com alguma humidade no solo, e, os meses de Abril e Maio mais secos. A precipitação de Março conduziu a uma boa instalação do ensaio de Primavera (fig. VI.B.2).

2. RESULTADOS

2.1. COMPONENTES DO RENDIMENTO, RENDIMENTO E SUSCEPTIBILIDADE À SECURA

Nos quadros VI.B.3 (ensaio de Primavera de 1999/00), VI.B.4 (ensaio de Outono/Inverno de 2001/02) e VI.B.5 (ensaio de Primavera de 2001/02) apresentam-se as observações referentes aos componentes do rendimento: intervalo reprodutivo (IR), número de vagens por planta (Vg/pl), percentagem de abortamento (%Abort), número de sementes por planta (Sem/pl), índice colheita (IC), peso de 100 sementes (P100S), rendimento (Rend) e índice de susceptibilidade à secura (S) dos três ensaios nas duas épocas de sementeira e respectiva análise de variância.

Quadro VI.B.3 – Valores médios e análise de variância: média, coeficiente de variação (CV, %), significância e diferença significativa mínima (d.s.m.), dos componentes do rendimento: intervalo reprodutivo (IR, cm), número de vagens por planta (Vg/pl), percentagem de abortamento (%Abort), número de sementes por planta (Sem/pl), índice colheita (IC, %), peso de 100 sementes (P100S, g), rendimento (Rend, kg/ha) e índice de susceptibilidade à secura (S) determinados nos 21 genótipos de grão de bico do ensaio no ensaio de Primavera de 1999/00; sementeira a 27 de Fevereiro de 2000

Genótipos	IR	Vg/pl	% Abort	Sem/pl	IC	P100S	Rend	S
ILC 72	16	26	10,8	26	48.0	24,8	759	1,143
ILC 391	13	22	8.7	21	53.3	31,5	754	0,977
ILC 588	21	21	11.4	22	53.3	30.4	1088	0,945
ILC 1171	11	18	8.0	17	43.3	31.3	611	1,055
ILC 1306	19	21	4.1	23	51.3	34.7	1440	0,936
ChK 3213	20	21	4.1	20	53.7	36.5	1638	0,949
ILC 2516	16	33	7.5	31	59.3	22.5	1250	0,990
ChK 2381	18	30	8.2	26	55.7	32.7	1363	0,926
ILC 3832	18	31	5.2	30	60.3	33.3	1649	0,859
ChK 2909	18	18	4.1	18	55.3	43.9	1224	0,865
ILC 4236	17	25	6.9	24	54.5	34.3	1211	1,017
Elvar	14	9	7.8	9	48.5	41.0	799	1,193
FLIP87-8C	21	25	17.5	21	54.2	41.1	1712	1,084
FLIP87-58C	16	25	11.7	23	582	33.0	1231	1,042
FLIP87-59C	16	16	8.0	15	57.9	30.1	851	0,989
FLIP87-85C	18	16	10.1	17	57.3	34.4	1519	0,872
FLIP88-42C	15	16	10.2	16	59.0	32.3	648	0,995
ILC 360	11	20	10.1	21	52.3	24.2	658	0,857
ChK 3221 T	19	32	9.5	32	49.1	30.7	1528	1,158
ChK 3226 T	23	33	9.8	33	51.2	30.5	1654	1,098
ILC 3279 T	18	27	7.2	25	57.0	28.8	1206	1,004
Média	17	23	8.6	22	54	32.5	1181	0,998
cv(%)	13.3	7.38	9.07	6.44	2.05	4.11	11.13	10,35
Significância	***	***	***	***	***	***	***	**
d.s.m.	4.92	3.70	1.70	3.12		2.89	285	

Quadro VI.B.4 – Valores médios e análise de variância: média, coeficiente de variação (CV, %), significância e diferença significativa mínima (d.s.m.), do número de plantas, dos componentes do rendimento, rendimento e índice de susceptibilidade à secura (*S*) determinados nos 21 genótipos de grão de bico do ensaio no ensaio de Outono/Inverno de 2001/02; sementeira a 14 de Novembro de 2001

Genótipos	Nº Plantas	IR	PT/pl	Vg/pl	% Abort	Sem/pl	Peso/pl	IC	P100S	Rend	<i>S</i>
ILC 72	19	46	59,6	116	8,1	121	31,0	50,2	24,9	2944	1,137
ILC 391	17	39	65,5	118	7,3	110	35,8	58,5	32,7	3044	0,392
ILC 588	15	45	60,5	86	6,0	90	29,6	48,7	33,2	2224	0,809
ILC 1171	16	49	83,1	100	14,1	90	30,7	37,3	34,2	2454	0,590
ILC 1306	17	45	57,6	66	10,2	65	25,5	44,5	38,9	2166	1,056
ChK 3213	17	45	62,1	83	12,2	83	32,7	52,9	39,3	2778	1,010
ILC 2516	18	41	54,7	104	5,3	107	27,4	49,9	25,9	2468	0,911
ChK 2381	18	40	68,4	99	7,4	98	33,8	49,4	34,9	3041	0,738
ILC 3832	17	36	59,6	86	5,5	86	29,1	49,0	34,0	2474	0,884
ChK 2909	19	38	50,2	53	9,2	53	23,7	47,4	44,7	2217	0,750
ILC 4236	17	37	71,6	104	5,9	101	36,8	52,2	36,6	3130	0,867
Elvar	18	40	45,3	51	10,5	50	20,2	45,1	40,0	1816	1,503
FLIP87-8C	17	35	54,0	45	6,1	55	25,6	47,5	46,9	2178	1,405
FLIP87-58C	18	41	44,5	57	5,5	58	23,4	52,7	40,8	2110	1,209
FLIP87-59C	19	43	44,6	55	5,7	58	23,4	52,7	40,2	2228	0,801
FLIP87-85C	16	36	44,9	50	4,7	56	23,3	52,2	42,4	1865	1,157
FLIP88-42C	17	39	49,9	65	8,4	72	25,8	51,7	36,1	2196	0,513
ILC 360	17	35	47,8	76	4,9	81	20,3	42,3	25,0	1728	0,313
ChK 3221 T	19	33	51,0	75	7,5	79	26,3	51,7	33,5	2498	1,498
ChK 3226 T	19	44	65,7	103	12,8	101	32,6	49,7	32,3	3096	1,321
ILC 3279 T	18	39	60,0	109	7,8	102	31,4	52,6	30,8	2826	0,962
Média	18	40	57,1	81	7,8	82	28,1	49	35,6	2447	0,935
cv(%)	10	12	24	21	32	23	23	11	3,8	19	40,28
Significância	n.s.	**	*	***	***	***	*	*	***	**	**
d.s.m.	2,9	8,0	23,3	39,9	5,8	43,7	10,8	9,0	2,2	769,5	

Quadro VI.B.5 – Valores médios e análise de variância: média, coeficiente de variação (CV, %), significância e diferença significativa mínima (d.s.m.), do número de plantas, dos componentes do rendimento e rendimento determinados nos 21 genótipos de grão de bico do ensaio no ensaio de Primavera de 2001/02; sementeira a 15 de Março de 2002

Genótipos	Nº Plantas	IR	PT/pl	Vg/pl	% Abort	Sem/pl	Peso/pl	IC	P100S	Rend
ILC 72	11	21	9,5	21	20,8	22	4,35	43,4	20,0	246
ILC 391	13	22	18,5	40	6,2	35	9,98	52,8	28,5	658
ILC 588	14	20	14,8	29	8,4	32	9,29	55,9	25,4	568
ILC 1171	10	12	15,9	30	5,6	30	7,98	50,3	26,6	387
ILC 1306	12	18	16,4	28	8,7	27	9,38	57,2	37,7	549
ChK 3213	13	21	18,1	29	9,5	30	10,46	58,0	34,7	663
ILC 2516	12	20	13,6	37	8,0	41	9,04	68,1	31,1	556
ChK 2381	13	23	20,5	38	7,5	38	11,55	56,3	30,6	768
ILC 3832	12	19	21,3	44	7,6	39	12,54	58,7	32,2	771
ChK 2909	13	24	18,5	29	13,7	26	10,13	54,6	38,8	674
ILC 4236	13	17	15,2	29	13,4	29	8,94	58,0	31,1	581
Elvar	14	13	4,5	4	17,8	3	1,15	21,4	36,8	83
FLIP87-8C	14	18	8,2	9	13,9	11	4,24	48,1	38,4	291
FLIP87-58C	11	17	11,3	21	7,6	19	6,21	54,4	32,4	351
FLIP87-59C	11	21	15,1	27	12,1	24	8,25	54,3	32,4	454
FLIP87-85C	14	21	12,8	22	9,4	20	7,00	55,2	34,9	479
FLIP88-42C	11	21	15,4	24	5,8	26	8,60	50,4	31,6	473
ILC 360	14	21	14,0	32	12,5	32	7,45	53,2	23,5	533
ChK 3221 T	12	20	8,0	12	15,1	11	3,01	34,3	27,1	180
ChK 3226 T	8	20	16,6	36	20,7	33	8,39	48,4	26,5	335
ILC 3279 T	11	20	18,4	41	11,0	37	9,56	52,0	26,3	512
Média	12	19	14,4	27	11,9	26	7,8	52	30,2	481
cv(%)	22	28	40	43	43	45	42	17	6,4	45
Significância	n.s.	ns	ns	*	***	*	*	***	***	*
d.s.m.	4,5	9,3	9,7	27,2	11,9	20,3	7,7	15,3	3,1	500,9

O ensaio de época de sementeira de Primavera de 2001/2002 foi o que apresentou rendimentos mais baixos, com 481 kg/ha de média e o melhor foi o ensaio realizado com sementeira de Outono/Inverno em 2001/02, com 2447 kg/ha de média. Realizámos o teste do Índice de Susceptibilidade à Secura (S) com o intuito de avaliar, neste conjunto de genótipos aqueles que melhor respondem ao ambiente, foi calculado para relacionar a produção do ambiente mais favorável com a produção do mesmo genótipo na situação desfavorável (ensaio de Primavera de 2001/02).

Na fig. VI.B.2 apresentam-se os rendimentos de cada genótipo obtidos em cada um dos três ensaios, bem como as médias de todos os genótipos para cada ensaio.

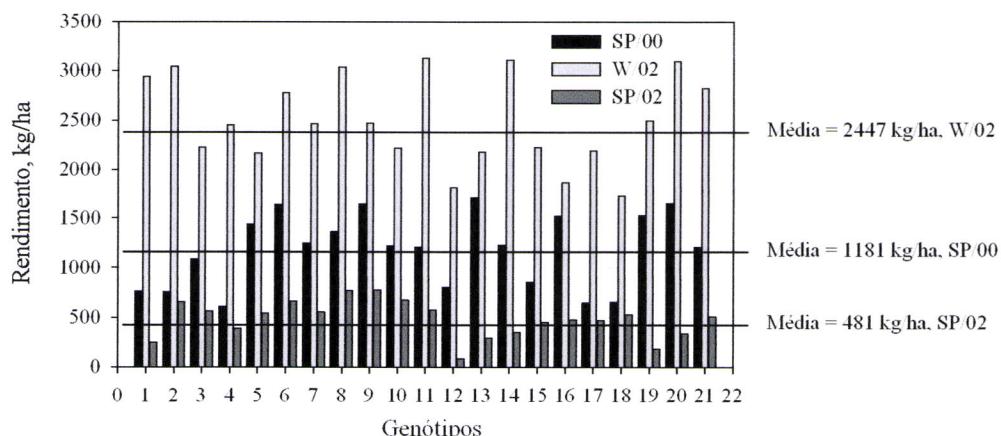


Figura VI.B.2 - Comparação dos rendimentos obtidos nos três ensaios, ensaio de Primavera de 1999/00 (SP/00), ensaio de Outono/Inverno de 2001/02 (W/02) e ensaio de Primavera de 2001/02 (SP/02) e médias dos vários genótipos por ensaio.

No grupo de genótipos em estudo o valor de S varia entre 0,857 (ILC 360) e 1,193 (Elvar) no ensaio SP/00 e 0,313 (ILC 360) e 1,503 (Elvar) no ensaio W/02. Os genótipos com valores mais baixos de S não correspondem aos genótipos com rendimentos mais elevados, como foi verificado por Fischer e Maurer (1978) em trigo. Segundo estes autores, menores valores de S indicam maior tolerância à secura.

Na figura VI.B.3 apresentam-se os dados do índice de susceptibilidade à secura S , para o grão de bico, relativos aos ensaios Primavera de 1999/00 e ensaio de Outono/Inverno de 2001/02 em função do rendimento obtido por cada genótipo nos mesmos ensaios. Os genótipos com rendimento mais elevado não correspondem ao menor S , como também apresentam S superior.

Quase todos os genótipos que apresentaram os melhores rendimentos em sementeira de Outono/Inverno também produziram melhor em condições de sementeira de Primavera. No entanto, não foram aqueles que apresentaram um melhor estabelecimento no terreno. O povoamento à colheita (número de plantas na linha) verificado no ensaio de Outono/Inverno 2001/02 foi superior ao verificado no ensaio de Primavera do mesmo ano.

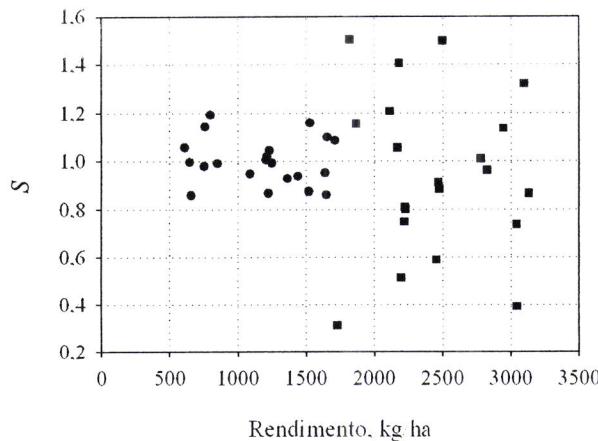


Figura VI.B.3 – Índice de susceptibilidade à secura S , versus rendimento dos 21 genótipos obtidos no ensaio de Primavera de 1999/00 (●) e ensaio de Outono/Inverno de 2001/02 (■).

As plantas quando semeadas no Outono/Inverno crescem mais, respondendo às boas condições hídricas do solo, e apresentam intervalos reprodutivos (IR - distância em centímetros entre a altura total da planta e a altura de inserção da 1^a vagem) superiores. Um maior IR conduz ao maior número de flores, de vagens e de sementes por planta reflectidos no aumento do rendimento final.

A variedade Elvar (FLIP 85-17C) que se usou no capítulo IV, apresentou boa adaptação em sementeira de Outono/Inverno, mas revelou-se muito pouco produtiva quando semeada na Primavera.

A fertilidade das plantas, medida pelo número de sementes por planta, foi bastante diferente de genótipo para genótipo e muito significativo para níveis de probabilidade de 0,001 (***) nos ensaios de Primavera/00 e de Outono/Inverno/02. Nos ensaios de Primavera/02, a secura verificada durante o período reprodutivo, associada às temperaturas elevadas, acelerou o ciclo vegetativo para a maturação das plantas, condicionando o desenvolvimento e o aparecimento de novos gomos reprodutivos. Assim, desenvolvem-se IR mais curtos com menos flores e vagens e consequentemente menos sementes por unidade de superfície. A maior percentagem de abortamento verificada nos ensaios SP, sobretudo no ano 2001/02 deve-se ao aumento da temperatura de Abril que atingiu 31°C. Este aumento esterilizou o ápice vegetativo da maior parte das plantas e simultaneamente ao não enchimento das vagens.

O índice de colheita (IC) como a razão entre o peso total das sementes por planta e a biomassa total por planta é superior nos ensaios SP com valores de 54% e 52%, correspondentes aos ensaios SP/00 e SP/02, relativamente a 49% no ensaio W/02. As plantas da época de Outono/Inverno/02 desenvolvem maior massa vegetativa traduzida no aumento da biomassa total com peso total por planta de 57,1g relativamente a 14,4g no ensaio de SP/02. O número de sementes por planta e correspondente peso das sementes das mesmas é inferior nos ensaios de Primavera, no entanto, o aumento superior de biomassa do ensaio W é superior tornando os IC inferiores.

A componente que manifestou maior regularidade, entre ensaios, em todos os genótipos, foi o peso de 100 sementes (P100S), sendo no entanto inferior em sementeira de Primavera.

2.2. CORRELAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS ESTUDADOS E O RENDIMENTO

O objectivo do estudo dos componentes do rendimento é determinar a importância relativa de cada componente na expressão final do rendimento. O quadro VI.B.6 indica os coeficientes de correlação entre o rendimento e os diferentes componentes do rendimento, além de alguns caracteres morfológicos e fisiológicos estudados, nos três ensaios interpretados conjuntamente.

Quadro VI.B.6 – Matriz de correlação da interacção dos três ensaios entre o rendimento, os componentes do rendimento (peso de 100 sementes – P100S, número de vagens por planta - Vg/pl, número de sementes por planta – Sem/pl), alguns caracteres morfológicos (intervalo reprodutivo – IR, percentagem de abortamento - %abort, índice de colheita – IC,), fisiológicos (potencial hídrico de base – ψ_b , potencial hídrico ao meio dia solar ψ_{md} e teor relativo em água – RWC) e índice de susceptibilidade à secura nos ensaios de Primavera de 1999/00 (SSP/00) e de Outono/Inverno de 2001/02 (SW/02); significância para n=189 de 0,001 para $r \geq 0,3211$, 0,01 para $r \geq 0,2540$ e 0,05 para $r \geq 0,1946$

	IR	Vg/pl	%Abort	Sem/pl	IC	P100S	ψ_b	ψ_{md}	RWC	SSP/00	SW/02	Rend
IR	1.000											
Vg/pl	0.821	1.000										
%Abort	-0.158	-0.220	1.000									
Sem/pl	0.836	0.991	-0.244	1.000								
IC	-0.083	0.013	-0.372	0.022	1.000							
P100S	0.280	0.020	-0.147	0.032	-0.066	1.000						
ψ_b	0.582	0.515	-0.249	0.532	-0.179	0.315	1.000					
ψ_{md}	0.328	0.297	-0.133	0.309	0.050	0.096	0.276	1.000				
RWC	0.134	0.140	-0.302	0.139	0.228	0.074	0.156	0.257	1.000			
SSP/00	0.138	0.015	0.241	0.027	0.037	-0.024	0.007	0.237	-0.227	1.000		
SW/02	0.442	0.100	0.173	0.146	-0.120	0.188	0.136	-0.033	0.000			
Rend	0.795	0.856	-0.314	0.864	0.021	0.313	0.651	0.261	0.098	0.066	0.413	1.000

Verifica-se que o rendimento está positivamente correlacionado com todas as características observadas à excepção da % de abortamento das vagens. Entre as variáveis estudadas também se observam correlações negativas, destacando-se a relação que existe entre a % de abortamento das vagens e todas as variáveis estudadas. Quanto maior é a % de abortamento das vagens menor será o rendimento esperado no final do ciclo, a tendência é perder as vagens ou as vagens não encherem o grão.

O número de vagens por planta, o número de sementes por planta e o intervalo reprodutivo foram os componentes com maior peso no rendimento final. Os parâmetros fisiológicos estudados, potencial hídrico ao amanhecer (ψ_b), potencial hídrico ao meio dia solar (ψ_{md}) e teor relativo em água (RWC) foram variáveis que se mostraram positiva e altamente correlacionadas com o rendimento.

Existe uma baixa correlação positiva do rendimento com o peso de 100 sementes (P100S) reflecte a grande dificuldade em obter genótipos com elevadas fertilidades e elevado peso de sementes em simultâneo. Esta baixa correlação pode resultar da correlação não significativa que existe entre o peso das sementes e o número de sementes por planta.

2.3. ANÁLISE DO “PATH-COEFFICIENT”

Para compreender o significado das correlações anteriormente referidas efectuámos a análise do desdobramento das associações entre variáveis, em causas directas e indirectas. Esta análise denominada “path-coefficient” permite examinar as influências que actuam entre parâmetros para dar um determinado coeficiente de correlação e simultaneamente avaliar a importância relativa de cada uma das componentes mais importantes na determinação do rendimento (Dewey e Lu, 1959). Assim, o diagrama apresentado na fig. VI.B.3, facilita a compreensão da natureza do sistema causa-efeito, mostra que o rendimento é o resultado do intervalo reprodutivo (IR), que representa o espaço que contém vagens, do número de vagens por planta (Vg/pl), do número de sementes por planta (Sem/pl), do potencial hídrico foliar ao amanhecer (ψ_b) que representa o potencial hídrico do solo ao fim de floração e do peso de 100 sementes (P100S), e ainda, de uma variável que inclui todos os outros factores que afectaram o rendimento em grão, o efeito residual.

As primeiras cinco variáveis, denominadas de P_1 , P_2 , P_3 , P_4 e P_5 estão interrelacionadas e consequentemente cada uma influencia a produção por uma contribuição directa e outra indirecta que resulta da actuação em conjunto com as outras quatro.

O erro medido pelo coeficiente atribuído aos factores residuais foi obtido através da equação:

$$P_6^2 = 1 - P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 + P_4^2 + P_5^2 + 2P_1r_{12}P_2 + 2P_1r_{13}P_3 + 2P_1r_{14}P_4 + 2P_1r_{15}P_5 + 2P_2r_{23}P_3 + 2P_2r_{24}P_4 + 2P_2r_{25}P_5 + 2P_3r_{34}P_4 + 2P_3r_{35}P_5 + 2P_4r_{45}P_5 \quad (\text{Dewey e Lu, 1959}).$$

P_6 representa uma pequena parte da variação total o que confirma de certo modo, a fiabilidade dos resultados.

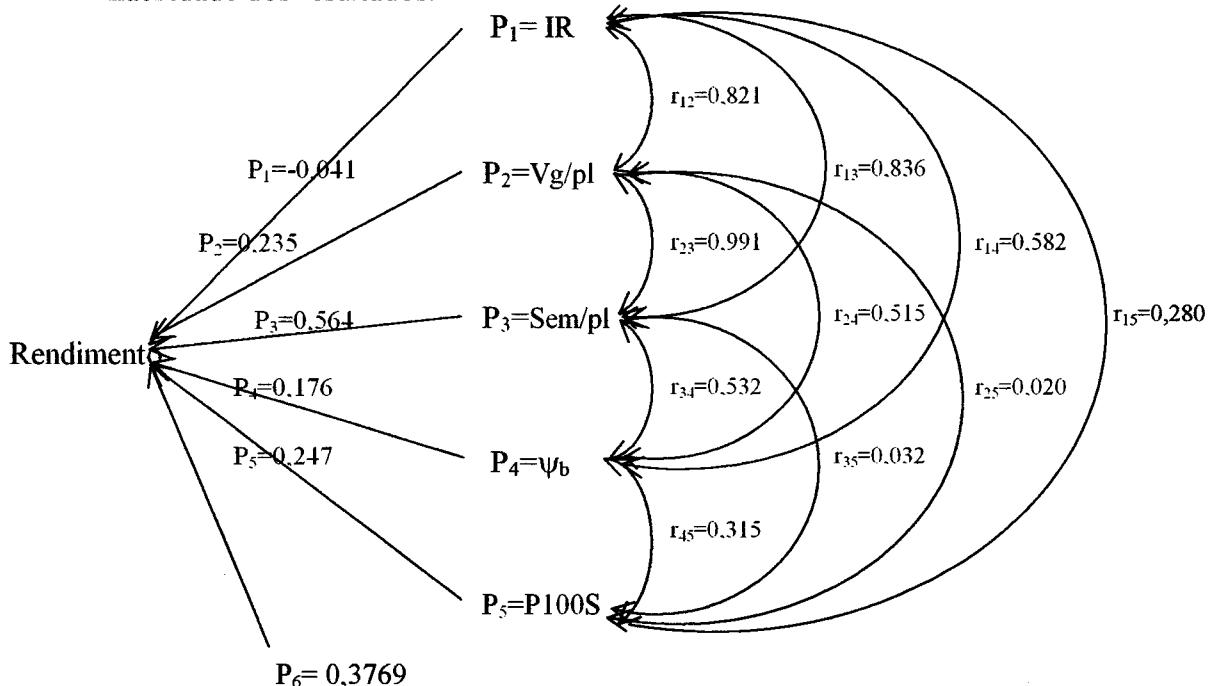


Figura VI.B.4 – Diagrama de “path-coefficient”, baseado nos coeficientes de correlação entre os factores que mais afectaram o rendimento de 21 genótipos por ensaio e no conjunto dos três ensaios, P_1 , P_2 , P_3 , P_4 e P_5 , representam os efeitos directos que cada factor tem no rendimento, P_6 representa o erro medido pelo coeficiente atribuído aos factores residuais.

Cada coeficiente de correlação consiste em cinco parcelas, distribuídas por um efeito directo e quatro efeitos indirectos via as outras componentes (VI.B.6).

Os números a cheio e entre parêntesis, representam o efeito directo da componente sobre o rendimento. Os restantes números medem a influência indirecta de cada componente via da influência exercida de outra componente no rendimento.

Quadro VI.B.6 - Análise do “path-coefficient” mostrando os efeitos directo (entre parêntesis) e influência directa (em percentagem) e efeitos indirecto e influência indirecta (em percentagem), dos componentes do rendimento, parâmetros morfológico e fisiológicos com maior coeficiente de correlação na análise de multiregressão

Componentes	Efeitos directo e indirecto no rendimento via:				
	IR (P_1)	Vg/pl (P_2)	Sem/pl (P_3)	ψ_b (P_4)	P100S (P_5)
IR (P_1)	(-0,041)	-0,034	-0,034	-0,024	-0,011
Vg/pl (P_2)	0,193	(0,235)	0,232	0,121	0,005
Sem/pl (P_3)	0,472	0,559	(0,564)	0,300	0,018
ψ_b (P_4)	0,102	0,091	0,094	(0,176)	0,055
P100S (P_5)	0,069	0,005	0,008	0,078	(0,247)
Correlação simples com rendimento	0,795	0,856	0,864	0,652	0,314
Influência directa (%)	0,17	5,52	31,81	3,10	6,10
Influência indirecta (%)	6,86	29,19	33,84	16,72	3,31

Toma-se como exemplo o número de sementes por planta por ser o componente do rendimento com coeficiente de correlação simples mais significativo. A correlação simples entre o número de sementes/m² e o rendimento ($r=0,864$), resulta da soma algébrica do efeito directo com os quatro efeitos, assim repartidos:

Efeito directo P_3 -----	0,564
Efeito indirecto via IR ($P_1 \times r_{13}$) -----	-0,034
Efeito indirecto via Vg/pl ($P_2 \times r_{23}$) -----	0,232
Efeito indirecto via ψ_b ($P_4 \times r_{43}$) -----	0,094
Efeito indirecto via P100S ($P_5 \times r_{53}$) -----	0,008
Correlação total -----	0,864

O efeito directo 0,564 mede a influência directa do número de sementes por planta no rendimento e os efeitos indirectos. O valor -0,034 mede a influencia indirecta do número de sementes/planta no rendimento via influência exercida no Intervalo reprodutivo, o número 0,232 mede a influência indirecta do número de sementes/planta no rendimento via influência exercida no número de vagens/planta, o número 0,094 mede a influência indirecta do número de sementes/planta no rendimento via influência exercida no potencial hídrico de base e o número 0,008 mede a influência indirecta do número de sementes/planta no rendimento via influência exercida no peso de 100 sementes.

Desta análise o número de sementes/planta determina directamente 31,8 % (0,564)² da variação da produção de grãos/ha e o efeito do número de sementes/planta via as outras variáveis medem 33,84%, representado pela equação: $(2 \times 0,564 \times (-0,034)) + (2 \times 0,564 \times 0,232) + (2 \times 0,564 \times 0,094) + (2 \times 0,564 \times 0,008)$.

Em relação aos restantes componentes, parâmetros morfológicos e fisiológicos, o intervalo reprodutivo (IR) determina directamente 0,17 % da variação do rendimento e o efeito do IR via as outras variáveis medem 6,86 %; o número de vagens/planta determina directamente 5,52 % da variação do rendimento e o efeito do Vg/pl via as outras variáveis medem 29,19 %; o potencial hídrico de base (ψ_b) determina directamente 3,10% da variação do rendimento e o efeito do ψ_b via as outras variáveis medem 16,72 %; o P100S determina directamente 6,10 % da variação do rendimento e o efeito do P100S via as outras variáveis medem 3,31 % da variação. Qualquer um destes componentes e parâmetros morfológicos e fisiológicos por via simples influenciam pouco o rendimento, necessitando de ser interpretados conjuntamente com os outros parâmetros.

O número de sementes por planta é o componente do rendimento mais importante para interpretar o aumento ou decréscimo deste. Situações de secura conduzem a reduções significativas do rendimento, no entanto este decréscimo é devido ao efeito indireto que o potencial hídrico tem no número de sementes e por sua vez este no decréscimo do rendimento. O mesmo se verifica com o intervalo reprodutivo e número de vagens por planta.

O peso de 100 sementes é um componente que apesar de manifestar uma relação muito baixa com o rendimento, exerce uma influência directa, razoavelmente elevada, quando avaliada pelo método do desdobramento dos coeficientes de correlação. Os efeitos indiretos desta componente têm, no entanto, uma magnitude de certo modo baixa. É um componente dependente do efeito do genótipo e não do ambiente, visto estar pouco correlacionado com o potencial hídrico de base.

Equação do “path coefficient”:

$$y = 848 - 3,33 X_1 + 6,69 X_2 + 16,06 X_3 + 1346 X_4 + 37,70 X_5 \quad (r^2 = 0,848 ***)$$

3. DISCUSSÃO

Do ponto de vista meteorológico o ano 2001/02 foi muito irregular, como é característico na região interior do país, conduzindo à irregularidade verificada no estabelecimento da cultura no ensaio de Primavera. Brown *et al.* (1989) e Saxena *et al.* (1990) verificaram que o estabelecimento do grão de bico, avaliado pelo número de plantas à emergência, varia entre anos e com as datas de sementeira. O povoamento verificado no ensaio de Outono/Inverno 2001/02 foi superior ao verificado no ensaio de Primavera do mesmo ano, devido à secura do solo após a sementeira. A maior parte das sementes semeadas não emergiram. Por outro lado, a precipitação após a germinação das sementes é importante não apenas para manter uma reserva hídrica adequada do solo, como também para conduzir a um adequado estabelecimento das plantas. No entanto, segundo Saxena *et al.* em 1983 e posteriormente em 1985 Sharma, a humidade exigida para a germinação da cultura do grão de bico é inferior à capacidade de campo. Sementeiras de Primavera, onde a humidade residual do solo é baixa conduzem sempre a baixos estabelecimentos e povoamentos, contribuindo para o decréscimo da produção final.

Na ervilha o crescimento de ramos, flores e vagens em ervilheira é constante desde que o solo e a temperatura do ar seja superior a 15°C e inferior a 30°C (Guilioni, comunicação pessoal). Quando a humidade do ar é elevada e a temperatura inferior a 15°C há uma tendência para as flores, vagens e sementes de qualquer leguminosa para grão de tipo indeterminado, abortarem (Siddique *et al.*, 1999). A percentagem de abortamento das vagens em ervilha, segundo Ney e Turc (1993), está directamente correlacionada com a água do solo durante o período reprodutivo. No nosso ensaio, esta variável apesar de estar correlacionada negativamente com o potencial hídrico de base e o teor relativo em água, não confirma o verificado pelos autores citados porque o ensaio que sofreu de maior déficit hídrico foi onde se verificou maior percentagem de abortamento das sementes. Este abortamento pode estar ligado à temperatura elevada que se fez sentir nos meses de Abril e Maio, conduzindo ao não enchimento da semente; o mesmo foi verificado por Saxena (1980) em grão de bico. Uma situação semelhante foi verificada em ervilha por Lecoeur e Sinclair (2001) e Guilioni *et al.* (em publicação). Foi verificado pelos mesmos autores que situações de excessivo abortamento conduzem a quebras de rendimento elevadas. A correlação significativa e negativa entre a percentagem de abortamento das sementes e o rendimento confirma nos nossos ensaios o verificado pelos autores citados. No entanto, em todos os ensaios realizados, alguns dos genótipos que apresentaram uma percentagem de abortamento superior, não foram os que produziram rendimentos mais baixos (quadros VI.B.3, VI.B.4 e VI.B.5). Isto deve-se à grande capacidade de recuperação da variedade e à grande capacidade das mesmas produzirem sementes, por exemplo o genótipo ChK 3226, no ensaio SP/02. O mesmo foi verificado por Leport *et al.* (1998) em algumas variedades australianas de grão de bico.

As plantas da época de Outono/Inverno desenvolvem maior massa vegetativa traduzida no aumento da biomassa total. Apesar do número de sementes/m² ser superior em relação ao número de sementes/m² dos ensaios de sementeira de Primavera, o IC é superior na SP devido à biomassa reduzida que as plantas atingem.

O enchimento das sementes do grão de bico é segundo Simorte *et al.* (1996) assegurado pela folha associada ao nó reprodutivo, bem como da vagem e caules enquanto verdes. Em sementeiras realizadas na Primavera as plantas como apresentam um número inferior de flores e vagens, as sementes ficam com um tamanho superior. Neste trabalho, verificou-se porém que nos ensaios de Primavera se obtiveram sementes de menor peso. A capacidade da planta para remobilizar assimilados acumulados na fase de pré-floração segundo Siddique *et al.* (1999) é fraca quando durante o período reprodutivo existe stresse. O déficit afectou a fonte primária através da restrição na fotossíntese corrente e as reservas dos órgãos vegetativos não foram remobilizadas para manter a corrente de assimilados para a semente. As sementes ficam engelhadas sem conseguir aproveitar os hidratos de carbono disponíveis.

Apesar de Güler e Adak (2001) terem verificado que o peso de 100 sementes apresentava um coeficiente de determinação de 89,6% com o rendimento, nestes ensaios verificou-se uma baixa correlação positiva entre os mesmos factores. O rendimento está sobretudo correlacionado positivamente com o número de sementes. Esta situação reflecte-se na grande dificuldade em obter genótipos com elevada fertilidade e elevado peso de sementes em simultâneo. À semelhança do que foi verificado por Leport *et al.* (1998), no grão de bico de sequeiro o número de vagens e o número de sementes por unidade de área foram os

componentes do rendimento que apresentaram correlações mais fortes com o rendimento em todos os genótipos.

No entanto, a interpretação da análise do path-coefficient, realizado para as variáveis que apresentaram coeficientes de correlação simples superiores com o rendimento, mostra que o rendimento é o resultado da interacção de todas as componentes (número de vagens por planta - Vg/pl, número de sementes por planta - Sem/pl e peso de 100 sementes - P100S) e os parâmetros morfológicos (intervalo reprodutivo - IR), e fisiológicos (potencial hídrico foliar ao amanhecer no fim de floração - ψ_b) observados e não apenas uma resposta simples directa às variáveis referidas. Comparando os valores obtidos pela influência directa de cada variável estudada no rendimento, com os valores pela influência indirecta, verifica-se que as variáveis por si só têm baixa influência directa no rendimento e que cada correlação simples é função da interacção das outras variáveis. Esta análise sugere que todas as variáveis referidas influenciam o rendimento final e apesar do número de sementes e de vagens serem os componentes mais importantes, a medição do ψ_b é fundamental porque nos indica o estado hídrico do solo e a redução dos restantes componentes.

O aumento da secura do solo, analisado pelo potencial hídrico ao amanhecer (ψ_b), conduziu à redução acentuada do rendimento em todos os genótipos, confirmando o verificado nos capítulos anteriores. Observa-se a redução do intervalo reprodutivo que é um indicador da paragem do crescimento das plantas, à redução do número de vagens e sementes por planta e simultaneamente do índice de colheita. No entanto, a quantificação da resistência ao stresse aparece-nos como um dos principais problemas no melhoramento para condições sujeitas a falta de água. A forma mais comum baseia-se no cálculo de um índice de resistência que tem em consideração a produção. Este índice de susceptibilidade à secura (S) é altamente afectado pela interacção do rendimento com o ambiente. Segundo Fischer e Maurer (1978) um valor baixo de S indica uma elevada tolerância ou capacidade de escape à secura, porém, no nosso caso existe uma grande irregularidade nos valores de S tal como já verificado por Duarte e Tavares-de-Sousa (1998). Os genótipos ChK 3226 e ChK 3221 com rendimentos mais elevados apresentaram índice de susceptibilidade à secura superiores. A partir desta situação pensamos que este índice não é um bom indicador para identificar genótipos de grão de bico tolerantes ou não tolerantes à secura.

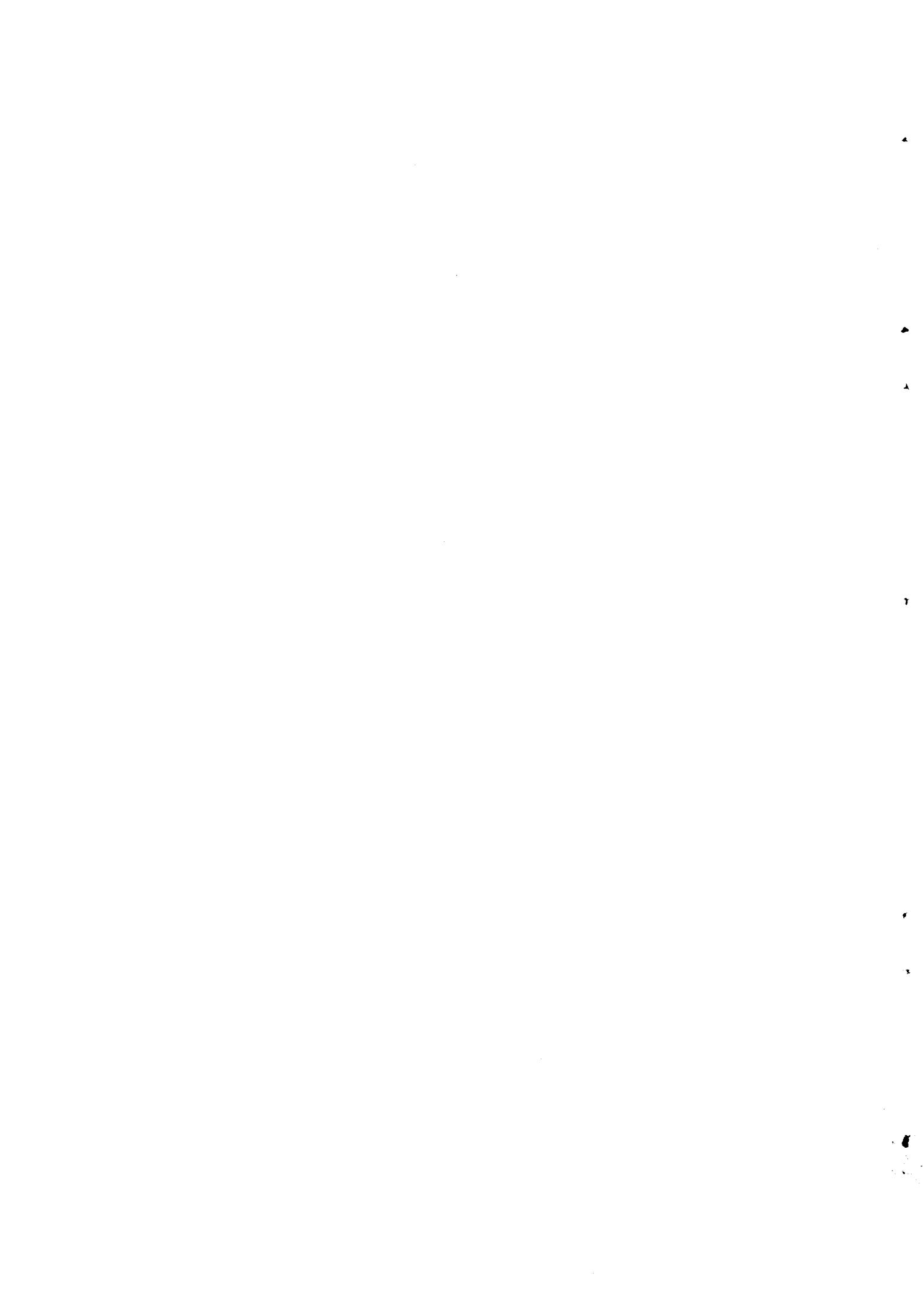
4. CONCLUSÃO

Com este trabalho, baseado na análise das componentes do rendimento em grão de bico, pretendemos confirmar os resultados obtidos nos genótipos previamente eleitos e clarificar alguns pontos importantes conducentes à maximização do rendimento.

O uso de germoplasma bem adaptado a sementeiras antecipadas, mas de igual modo adaptadas à secura terminal, favorece por razões fisiológicas (RWC e ψ_b maiores durante mais tempo) o crescimento indeterminado das plantas, e logo o número de sem/pl. Os genótipos a usar em sementeira antecipada devem possuir um padrão de bom estabelecimento no terreno, com a entrada em floração cedo de modo a conseguir um grande intervalo reprodutivo. Se o período reprodutivo se desenvolver durante um período não muito seco e fresco obtém-se um rendimento superior; por maior número de vagens e sementes por planta. Por outro lado, se os genótipos possuírem um padrão de

desenvolvimento adequado ao ambiente existente, em que o período reprodutivo ocorra numa época favorável (isto é, nem demasiado cedo, quando os perigos de geadas tardias seriam de temer, nem muito tarde devido aos riscos de secura terminal), faz sentido admitirmos a importância do Intervalo reprodutivo (IR). Com efeito este comportamento foi a 3º variável em ordem de grandeza a influenciar o rendimento do grão.

Tendo em conta todos os aspectos que referimos neste capítulo, ressalta a confirmação dos bons resultados que os genótipos ChK 3213, ChK 2381, ChK 2909, ChK 3221 e ChK 3226 mostraram desde a sua selecção há cerca de 7 anos, em distintas condições ambientais. Os genótipos ChK 3226, ChK 3221 e ChK 3213 foram identificadas com elevada tolerância ao ataque de fungos, *Ascochyta rabiei* e *Fusarium oxysporum*. As linhas ChK 3226 e ChK 3221 por possuírem elevada plasticidade de adaptação em diferentes datas de sementeira encontram-se actualmente em multiplicação e purificação, pelo método de linhas de plantas para que em Junho de 2003 se proceda à sua candidatura ao Catálogo Nacional de Variedades (CNV).



CAPÍTULO VII

CONCLUSÃO FINAL

Com este trabalho procurámos abrir caminhos para futuras linhas de investigação e ajudar a responder a algumas das questões que os agricultores nos colocam sobre a adaptação das novas variedades às suas condições.

Uma situação de déficit hídrico acentuado durante o período vegetativo conduz ao decréscimo da biomassa total, normalmente desenvolvem-se poucos ramos e um menor número de flores, vagens e sementes. Por outro lado, a secura estabelecida durante o período reprodutivo, conduz igualmente a quebras acentuadas no rendimento.

Este trabalho revelou o interesse de realizar estudos de fisiologia em populações alargadas, provenientes dos programas de melhoramento com vista a assegurar o valor das sinergias que se podem criar entre a fisiologia e o melhoramento. Os progressos no melhoramento podem depender, em larga escala, de uma melhor compreensão dos processos que limitam as produções em ambientes onde a água é um factor limitante. O melhoramento genético e o uso de práticas agronómicas adequadas têm sido usados para alterar a adaptação do grão de bico a ambientes secos.

Da comparação dos resultados obtidos em sequeiro e regadio, verifica-se que à medida que o ambiente se torna mais seco, as características que promovem a plasticidade de adaptação dos genótipos tornam-se mais importantes. Os valores das correlações entre as características estudadas forneceram algumas indicações importantes para o processo de selecção. Estes apontam a componente número de sementes por planta como a mais determinante para a produção de grão. A análise de correlação sugere que as variáveis número de vagens por planta, número de sementes por planta, peso de 100 sementes, intervalo reprodutivo e potencial hídrico foliar ao amanhecer no fim de floração, são necessárias para quantificar o rendimento final e apesar do número de sementes e de vagens serem os componentes mais importantes, a medição do ψ_b é fundamental porque nos indica o estado hídrico do solo a partir do qual há redução dos diversos componentes. É importante reforçar o estudo da fase reprodutiva e da data de entrada em floração, de modo a maximizar o intervalo reprodutivo (IR), sobretudo nas situações de sequeiro.

Os critérios de selecção devem por isso ser múltiplos e complementares, conjugando resistência à secura, resposta de recuperação, elevado potencial produtivo e estabilidade de produção com o objectivo de produzir variedades adequadas às condições de sequeiro das regiões Mediterrânicas. Assim, os aspectos fenológicos e morfológicos devem constituir critério de selecção para a situação de sequeiro, a implementar no programa da ENMP. Dos primeiros devem ser considerados a avaliação do crescimento vegetativo, a duração do período reprodutivo, a sobrevivência das plantas por unidade de superfície, a altura da 1^a

vagem e a altura total, a % de abortamento das vagens, das sementes e a maximização do índice de colheita. Em relação aos aspectos fisiológicos estes devem ser realizados ao longo do ciclo e particularmente no fim da floração para além da avaliação fisiológica das plantas ao longo do ciclo (nomeadamente no início e fim de floração).

Para ambientes mais secos, procuram-se genótipos que acelerem o ciclo vegetativo, para escapar ao stresse final, de modo a iniciar e a finalizar o período reprodutivo mais cedo e atingir rendimentos mais estáveis em situação de déficit de fim de ciclo. Com o programa de melhoramento de grão de bico, procuramos seleccionar genótipos que estejam bem adaptados à secura verificada durante o fim do período vegetativo, a qual conduz a uma aceleração dos processos fisiológicos e morfológicos, para a entrada em floração. Porém, muitas vezes este material vegetal não se encontra adaptado à precipitação que ocorre posteriormente durante os meses de Abril e Maio, por isso, a selecção para estabilidade de produção nas condições de sequeiro do Alentejo deve ser efectuada para eleição de genótipos que expressem produtividades altas em duas situações bem distintas que ocorrem na natureza: secura no final do Inverno e início da Primavera e resposta positiva à rehidratação posterior. A necessidade de rega, como recurso durante os períodos secos, mantém as plantas hidratadas (potenciais hídricos elevados) permitindo que estas se mantenham verdes (fotossinteticamente activas) e em crescimento durante mais tempo. Quando o potencial hídrico das plantas decresce abaixo de $-0,7\text{ MPa}$ o rendimento esperado será reduzido. A rega torna-se necessária desde que se atinjam valores críticos de $-0,7\text{ MPa}$ de potencial hídrico de base. A partir deste valor, o potencial hídrico do meio dia solar, o teor relativo em água e a condutância estomática decrescem acentuadamente.

Como foi dito, do ponto de vista da selecção é necessário ter em conta as plantas e/ou variedades que mantenham níveis hídricos elevados de modo a prolongar o crescimento das plantas e assim, o aumento do potencial produtivo. Por outro lado, quando se privilegiam genótipos tolerantes à secura normalmente está a sacrificar-se o factor genotípico na sua adaptação, devido à forte interacção 'genótipo x ambiente' a que estão sujeitos. Nas condições deste estudo, as linhas com maior potencial produtivo foram 'ChK 3213', 'ChK 3226', 'ChK 3221', 'ChK 2909' e 'ChK 2381'. Estes genótipos evidenciaram rendimentos superiores em situações de secura e elevada resposta à melhoria do ambiente.

A selecção para hábitos indeterminados com data de floração antecipada deve ser orientada no sentido da obtenção de linhas de grão de bico que produzam flores, vagens e sementes antecipadamente, desde que as condições hídricas sejam desfavoráveis. Esta aproximação no entanto, levará ao desenvolvimento de cultivares de curta duração que podem sofrer uma redução de rendimento em anos mais húmidos. Por isso, procuramos que estas mesmas linhas em selecção, apresentem paralelamente uma resposta positiva à rega de recurso, isto é, rega suplementar em condições de déficit prolongado. Do mesmo modo, as novas linhas produzirão superiormente se a estação húmida se prolongar. O uso de germoplasma bem adaptado a sementeiras antecipadas, mas de igual modo adaptadas à secura terminal, favorece por razões fisiológicas (RWC e ψ_b mais elevados durante mais tempo) o crescimento indeterminado das plantas, e logo o número de sem/pl.

No futuro o programa de melhoramento para tolerância aos stressses deve atender às seguintes estratégias :

1. Tirar melhor partido das colecções existentes e procurar introduzir novo material seleccionado ou colhido em ambientes mais degradados, pobres e secos. Estas linhas deverão ser caracterizadas em função do ambiente de onde são provenientes. Os Centros Internacionais e muitos programas nacionais, possuem grandes colecções que permanecem, no entanto, pouco utilizadas. Podem no entanto constituir uma reserva importante, se exploradas convenientemente, para promover resistência genética à secura e outros stresses bióticos e abióticos.
2. “Refinar” a selecção para os ambientes secos e pobres. A estratégia é desenvolver e combinar, no material seleccionado, a tolerância à secura bem como a outros caracteres que conduzem às perdas de rendimento, tais como resistência foliar às doenças mais importantes (*Ascochyta rabiei* e *Fusarium oxysporum*).
3. Desenvolvimento e implementação de práticas adequadas de manuseamento da cultura, baseado no ganho genético em condições de secura, em campos de agricultores. Por outro lado, as práticas que promovam a conservação de água, tais como sementeira directa e cobertura do solo com resíduos da cultura anterior devem ser privilegiados. A rotação de culturas, alternando espécies com necessidades distintas é outra prática que merece destaque. O controle de infestantes, ao reduzir o consumo de água por espécies que competem com o grão, pode também contribuir para maximizar as produções nesses ambientes.
4. A interpretação das diferenças entre genótipos tolerantes e não tolerantes à secura poderá ser um primeiro passo para entender as bases moleculares para a tolerância à secura, com vista a garantir futuros ganhos genéticos.
5. Desenvolvimento e implementação de estratégias moleculares. O melhor conhecimento do genoma pode contribuir para identificar genes ou zonas particulares do DNA com interesse para resistência à secura, permitindo aos melhoradores dirigir com maior rigor o desenvolvimento e selecção de genótipos com adaptação a vários tipos de secura. A resistência em cultigen pode ser melhorada graças à transferência de genes de resistência de espécies selvagens usando técnicas de engenharia genética e de culturas de tecidos. Especial prioridade deve ser dada à combinação de genes de resistência múltipla aos diferentes stresses em linhas simples.

O melhor caminho para seleccionar genótipos tolerantes é realizar sementeiras em datas de sementeira que garantam a existência de stresse terminal em vários anos e avaliar o material visualmente numa escala de 1 a 9 (escala ICARDA). Os genótipos com escala entre 1 e 4 são os melhores adaptados e que claramente apresentam rendimentos mais elevados. No futuro o melhoramento da produtividade desta espécie em condições de ambientes secos requer a integração multidisciplinar, nomeadamente através de equipas de melhoradores de plantas, fisiologistas, patólogos, agrónomos, engenheiros moleculares e economistas com o único objectivo de aumentar a produção agrícola da cultura do grão de bico em condições ambientais desfavoráveis.

Deste modo são aconselhados alguns tipos de sementeira a efectuar:

- a) Sementeira de Outono/Inverno em regiões onde a elevação seja entre baixa a média. Este tipo de sementeira requer o uso de cultivares resistentes à *Ascochyta rabiei* e ao frio.
- b) Como substituição do alqueive tradicional nos sistemas de agricultura do Alentejo, em regiões onde a precipitação seja moderada. Este tipo de sementeira requer igualmente o uso de cultivares resistentes à *Ascochyta rabiei*, ao frio e à secura terminal.

Tendo em conta todos os aspectos que referimos neste trabalho, ressalta dele a confirmação dos bons resultados que os genótipos ChK 3213, ChK 2381, ChK 2909, ChK 3221 e ChK 3226 mostraram desde a sua selecção há cerca de 7 anos, em distintas condições ambientais. Os genótipos ChK 3226, ChK 3221 e ChK 3213 foram identificados como possuidores de elevada tolerância ao ataque do fungo *Ascochyta rabiei* bem como plasticidade de adaptação a diferentes datas de sementeira. Daí terem sido seleccionadas para candidatar ao Catálogo Nacional de Variedades (CNV). As linhas ChK 3226 e ChK 3221 encontram-se actualmente em multiplicação e purificação, pelo método de linhas de plantas para que em Junho de 2003 se proceda à sua candidatura ao CNV.

A exigência de introdução de proteína vegetal imposta pela Política Agrícola Comum até ao ano 2005, nos alimentos compostos para animais, estimula-nos para o avanço do programa de melhoramento de grão de bico, no sentido de contribuir para a obtenção de novas variedades ajustadas ao ambiente do Sul da Europa.

O presente trabalho deu uma contribuição para o avanço da cultura do grão de bico no nosso País.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Acevedo E, Fereres E, Hsiao TC, Henderson DW (1979) Diurnal growth trends, water potential and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. *Plant Physiology* **64**, 476-480.
- Allard RW (1960) 'Principles of plant breeding.' (John Wiley & Sons: New York, NY)
- Barradas MT (1987) 'Programa de melhoramento de cevada para malte.' (INIA, ENMP: Elvas)
- Bates LM, Hall AE (1981) Stomatal closure and soil water depletion not associated with changes in bulk leaf water stress. *Oecologia* **50**, 62-65.
- Begg JE, Turner NC (1976) Crop water deficits. *Advances in Agronomy* **28**, 161-217.
- Behboudian MH, Ma Q, Turner NC, Palta JA (2000) Discrimination against $^{13}\text{CO}_2$ in leaves, pod walls, and seeds of water-stressed chickpea. *Photosynthetica* **38**(1), 155-157.
- Benseddik B, Benabdelli K (2000) Impacts du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride: approche éco-physiologique. *Science et Changements Planétaires/ Sécheresse* **11**(1), 45-51.
- Biarnes-Dumoulin V, Gaillard B, Mangin M, Ney B, Wery J (1998) Modeling field pea yield: a tool for crops diagnostic and prospects. In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 322-323.
- Blum A (1985) Breeding crop varieties for stress environments. *CRS critical review in plant sciences* **2**(3), 199-238.
- Blum A (1999) Towards standard assays of drought resistance in crop plants. In 'Workshop on Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environments. CIMMYT, México, 21 a 25 de Junho de 1999'. (Ed CIMMYT)
- Board JE (1987) Yield components related to seed yield in determinate soybean. *Crop Science* **27**, 1296-1297.
- Boyer BS (1970 a) Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybeans and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology* **46**, 233-235.
- Boyer BS (1970 b) Differing sensitivity of photosynthesis low leaf water potentials in corn and soybean. *Plant Physiology* **46**, 236-239.
- Boyer JS (1982) Plant productivity and environment. *Science* **218**, 443-448.
- Boyer JS (1988) Cell enlargement and growth induced water potentials. *Physiologia Plantarum* **73**, 311-316.
- Boyer JS, Mcpherson HG (1975) Physiology of water deficits in cereal crops. *Advances in Agronomy* **27**, 1-23.
- Bradford KJ, Hsiao TC (1982) Physiological responses to moderate water stress. In 'Physiological plant ecology. II. Water relations and carbon assimilation.' (Eds OL Lange, PS Nobel, CB Osmond, H Ziegler) pp. 246-324. (Encyclopedia of Plant Physiology: Berlin)

- Brown SC, Gregory PJ, Cooper PJM, Keatinge JDH (1989) Root and shoot growth and water use of chickpea (*Cicer arietinum*) grown in dry land conditions: Effects of sowing date and genotype. *Journal Agricultural Science* **113**, 41-49.
- Bunce JA (1982) Effects of water stress on photosynthesis in relation to diurnal accumulation of carbohydrate in source leaves. *Canadian Journal of Botany* **60**, 195-200.
- Carvalho MJGPR (1994) A contribuição conjunta do melhoramento e da fitotecnia na produção de trigo em Portugal face à Política Agrícola Comum. *Melhoramento* **33**(2), 577-608.
- Ceccarelli S (1994) Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica* **77**, 205-219.
- Chandras, 1980 Effect of edaphic factors on chickpea. In 'Proceedings of International Workshop on Chickpea Improvement. Hyderabad, Índia, 28 de Fevereiro a 2 de Março de 1979'. (Ed ICRISAT) pp. 97-105.
- Chaves MM (1991) Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany* **42**, 1-16.
- Chaves MM, Maroco JP, Pereira, JS (2003) Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology* **30**, 239-264.
- Christiansen JL, Jornsgard B, Peterson T, Als F, Gade C (1998) Effects of drought on yield components in *Lupinus ALBUS* AND *Lupinus angustifolius*'. In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 312-313.
- Clarke JM, De Pauw RM, Townley-Smith TF (1992) Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science* **32**, 723-728.
- Collatz GJ, Ball JT, Grivet C, Berg JA (1991) Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis, and transpiration: a model that includes a laminar boundary layer. *Agricultural and Forest Meteorology* **54**, 107-136.
- Corbin EJ (1976) Present status of chickpea research in Australia. In 'Proceedings International Workshop on Grain Legumes. Hyderabad, Índia, 13 a 16 de Janeiro de 1975'. (Ed ICRISAT) pp. 87-94.
- Cornic G (2000) Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science* **5**(5), 187-188.
- Costa ACBD (1998) 'Comportamento de duas variedades de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) para sementeira de Outono em ensaios de demonstração'. (Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa: Lisboa)
- Costa-Pinto LMR, Tavares-de-Sousa MM, Rodrigues FLM, Duarte IMV, Pereira MG (1990) Épocas e densidade de sementeira de grão de bico e fava. *Pastagens e Forragens* **11**(2), 147-163.
- Cotton WR, Pielke RA (1995) 'Human Impacts on Weather and Climate'. (Cambridge University Press: Cambridge)
- Crespo DG (2001) Man-made stresses in the grazing resources of the Mediterranean region. In: 'Proceedings of the 23rd Meeting of the Fodder Crops and Amenity Grasses Section of

- EUCARPIA: Breeding for stress tolerance in fodder crops and amenity grasses. Ilha Terceira, Açores, Portugal, 1 a 4 de Outubro de 2001'. (Eds P Monjardino, A da Câmara, V Carnide) pp. 199-206.
- Cubero JI (1987) Morphology of chickpea. In 'The chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 35-66. (CAB International: Wallingford, UK)
- Cubero JI (2003) 'Introducción a la Mejora Genética Vegetal'. (Ediciones Mundi-Prensa: Madrid)
- Davies WJ, Zhang J (1991) Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soils. *Annual Review of Plant Physiology* **42**, 55-76.
- Davies WS, Pereira JS (1992) Plant growth and water use efficiency. In 'Crop photosynthesis: spacial and temporal determinants.' (Eds NR Baker, H Thomas) pp. 213-233. (ISBN: 0521368863)
- Dewey DR, Lu KH (1959) A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. *Agronomy Journal* **51**, 515-518.
- Dileanis PD, Groeneveld DP (1989) Osmotic potential and projected drought tolerances of four phreatophytic shrub species in Owens Valley, California, with a section on plant-water relations: U.S'. *Geological Survey Water-Supply Paper* 2370-D, p. 21.
- Duarte I, Tavares de Sousa MM (1998) Identification of chickpea varieties, adapted to favorable and unfavorable water conditions. In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 318.
- Duarte I, Pereira G, Tavares-de-Sousa MM (2001) Chickpea crop facing spring drought on mediterranean climate. In '4th European Conference on Grain Legumes: Towards the sustainable production of healthy food, feed and novel products, Cracóvia, Polónia, 8 a 12 de Julho de 2001'. (Ed AEP)
- Duarte-Maçãs I (1994) 'Seleção morfológica e fisiológica para a resistência à secura em grão de bico (*Cicer arietinum* L)'. (Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa: Lisboa)
- Eberhart SA, Russel WA (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* **6**, 36-40.
- Evans LT (1986) Oportunidades de aumentar el potencial de rendimiento del trigo. In 'Comemorações do 20º Aniversário do CIMMYT. Ciudad de México, México, 22 a 24 de Setembro de 1986'. (mimeografado)
- FAO (2000) www.fao.org.
- Finlay KW, Wilkinson GN (1963) The analyses of adaptation in plant breeding programme. *Australian Journal Agricultural Research* **14**, 742-758.
- Fischer RA, Maurer RO (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal Agricultural Research* **29**, 897-912.
- Fogal W, Hutchinson TC, Thriscutt AM (2000) Bioindicators of forest heath and sustainability review report and project implementation strategies. *Forest Research Information* **138**.

- Fouilloux G, Bannerot H (1988) Selection methods in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In 'Curso de Mejora Genética de Leguminosas Grano. CIHEM/IAMZ, Saragoça, Espanha, 2 a 26 de Fevereiro de 1988'. (mimeografado)
- França MGC, Thi ATP, Pimentel C, Rossiello ROP, Zulily-Fodil Y, Laffray D (2000) Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environmental and Experimental Botany* **43**, 227-237.
- Freeman GH, Perkins JM (1971) Environmental and genotype environmental components of variability. VIII – Relations between genotypes in different environments and measures of these environments. *Heredity* **27**, 15-23.
- Gomes MCPB (1999) 'Identificação de variabilidade genética para resistência/tolerância a elevadas temperaturas na fase final do ciclo, em genótipos de trigo'. (Universidade de Évora, Évora)
- Gonzalez MR, Manzanares M, Laguna R, Tenório JL, Caminero C, Martin JA, Ayerbe L, Ramos A (1998) Genotype x environmental interactions for grain yield of pea (*Pisum sativum* L.). In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 316-317.
- Goodess CM, Jones PD (2002) Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *International Journal of Climatology* **2**, 1593-1615.
- Grafius JE (1978) Multiple characters and correlated response. *Crop Science* **18**: 931-934.
- Güler M, Adak MS (2001) Determining relationships among yield and some yield components using path coefficient analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy* **14**(2), 161-166.
- Gusmão L (1985) An adequate design for regression analysis of yield trials. *Theoretical Applied Genetic* **71**, 314-319.
- Gusmão L (1986) Inadequacy of blocking in cultivars yield trials. *Theoretical Applied Genetic* **71**, 98-104.
- Gusmão L (1988) Assessing small grain cultivars for yield at variable environment through joint regression analysis. *Rachis* **7**(1,2), 22-25.
- Hall AE, Ziska LH (2000) Crop breeding strategies for the 21st Century. In 'Climate change and global crop productivity'. (Eds KR Reddy, HF Hodges) pp. 407-723. (CAB International: Wallingford)
- Hanson AD, Hitz WD (1982) Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology* **33**, 163-203.
- Harris HC, Goebel W e Cooper PJM (1987) Crop genotype – environment interaction. In 'Drought tolerance in winter cereals.' (Eds PJ Srivastava, E Porceddu, E Acevedo, S Varma) pp. 37-53. (John Wiley & Sons: New York, NY)
- Haware, MP Nene YL (1982) Races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. *Plant Disease* **66**, 809-810.

- Hawtin GC Singh KB, Saxena MC (1978) Some recent developments in the understanding and improvement of Cicer and Lens. In 'Avances in legume science'. (Eds RJ Summerfield, AH Bunting) pp. 613-624. (University of Reading: Reading)
- Hossain A, Joarder N, Joarder OI (1984) Interrelation-ship and path-coefficient of yield and yield components with lodging index in some rice cultivars. *Cereal Research Community* 12(1,2), 81-87.
- Hsiao TC (1973) Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24, 519-570.
- Humphreys MW (2001) Breeding for drought tolerant grasses. In: 'Proceedings of the 23rd Meeting of the Fodder Crops and Amenity Grasses Section of EUCARPIA: Breeding for stress tolerance in fodder crops and amenity grasses. Ilha Terceira, Açores, Portugal, 1 a 4 de Outubro de 2001'. (Eds P Monjardino, A da Câmara, V Carnide) pp. 236.
- Hussain MM, Reid JB, Othman H e Gallagher JN (1990) Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a Sub-humid Climate. I - Root and shoot adaptation to drought stress. *Field Crops Research* 23: 1-17.
- INE, 2003 - www.ine.pt.
- Jiménez-Díaz RM (2000) Screening for resistance to Fusarium wilt diseases of grain legumes. In 'AEP workshop on disease evaluation: Standardization diseases resistance screening in grain legumes germplasm banks. Valladolid, Espanha, 27 a 28 de Novembro de 2000'. (Ed AR Monreal, RL Redondo) pp. 45-59.
- Jiménez-Díaz RM, Porta-Puglia A, Tivoli B (1998) New approaches in the integrated disease management of legume diseases: toward sustainable crop health. In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 89-93.
- Jiménez-Gasco MM, Pérez-Artés E, Rodríguez-Jurado D, Jiménez-Díaz RM (1998) Characterization of pathotypes and races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* and nonpathogenic *F. oxysporum* infecting chick-pea by RAPD-PCR. In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 96-97.
- Jodha NS e Subba Rao KV (1987) Chickpea: World importance and Distribution. In 'The chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 1-10. (CAB International: Wallingford)
- Joppa LR, Lebsack KL, Busch RH (1971) Yield stability of selected spring wheat cultivars (*Triticum aestivum* em Thell) in the uniform regional nurseries, 1959-1968. *Crop Science* 11, 238-241.
- Kaiser WM (1987) Non-stomatal, primary dehydration effects on photosynthesis: possible mechanisms for reversible and irreversible damage. *Plant Biochemistry and Physiology* 6, 119-133.
- Khanna-Chopra R, Sinha SK (1987) Chickpea: Physiological aspects of growth and yield. In 'The chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 163-190. (CAB International: Wallingford)
- Knights EJ (1980) Kabuli-Desi introgression: The experience in Australia. In 'Proceedings of International Workshop on Chickpea Improvement. Hyderabad, Índia, 28 de Fevereiro a 2 de Março de 1979'. (Ed ICRISAT) pp. 70-74.

- Kraft J (2000) Fusarium root rot. In 'AEP workshop on disease evaluation: Standardization diseases resistance screening in grain legumes germplasm banks. Valladolid, Espanha, 27 a 28 de Novembro de 2000'. (Ed AR Montreal, RL Redondo) pp. 61-65.
- Kramer PJ (1963) Water stress and plant growth. *Agronomy Journal* **55**, 31-35.
- Lecœur J (1991) 'Mise en évidence d'ajustement osmotique en réponse à un déficit hydrique modéré chez le pois chiche (*Cicer arietinum* L.)'. (ENSA.M-INRA, LECSA: Montpellier)
- Lecœur J, Sinclair TR (2001) Harvest index increase during seed growth of field pea. *European Journal of Agronomy* **14**, 173-180.
- Lecœur J, Ney B (2002) Change with time in potential radiation-use efficiency in field pea. *European Journal of Agronomy* **19**, 91-105.
- Lecœur J, Ney B, Sinclair TR (2001) A conceptual framework to analyze the variability in yield of field pea. In 'Proceedings of 4th European Conference on Grain Legumes: Towards the sustainable production of healthy food, feed and novel products, Cracóvia, Polónia, 8 a 12 de Julho de 2001'. (Ed AEP) pp. 23-27.
- Lecœur J, Wery J, Turc O, Tardieu F (1995) Expansion of pea leaves subjected to short water deficit: cell number and cell size are sensitive to stress at different periods of leaf development. *Journal of Experimental Botany* **46**(290), 1093-1101.
- Leport L, Davies SL, Turner NC, French RJ, Shackel KA, Siddique KHM (1998) Physiological tools aid in understanding chickpea adaptation to low-rainfall Mediterranean-type environments. In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 30-31.
- Leport L, Turner NC, French, RJ, Barr MD, Duda R, Davies SL, Tennant D, Siddique KHM (1999) Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. *European Journal of Agronomy* **11**, 279-291.
- Li CC (1956) The concept of path coefficient and its impact on population genetics. *Biometrics* **12**, 190-210.
- López-Bellido L (1998) Role of grain legumes in Mediterranean agricultural systems. In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 127-131.
- López-Bellido L, García MF (1986) Garbanzo para alimentación humana. *Agricultura* **647**, 402-409.
- Loss SP, Siddique KHM (1994) Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environment. *Advances in Agronomy* **52**, 229-276.
- Lourenço ME (2000) 'Relatório Final do projecto PAMAF 1016 – Avaliação de culturas Alternativas não alimentares'. (Universidade de Évora: Évora)
- Ludlow MM (1989) Strategies of response to water stress. In 'Structural and functional responses to environmental stresses'. (Eds KH Kreeb, H Ricther, TM Hinckley) pp. 269-291. (SPB Academic: The Hague)

- Maçãs B (1996) 'Definição de critérios de selecção de trigo mole (*Triticum aestivum* L) para as condições do ambiente Mediterrânico do sul de Portugal'. (ENMP, INIA: Elvas)
- Mackey J (1986) Shoot, root and shoot: root interrelations in cereals and the ideotype concept. In 'New genetical approaches to crop improvement'. (Eds KA Siddique, AM Faruqui) pp.811-833. (PIDC printing Press (PVT) Ltd.: Karachi)
- Manzanares M, Sánchez FJ, De Andrés EF, Tenório JL, Ayerbe L (1998) Contribution of some physiological traits to drought tolerance in peas (*Pisum sativum* L.). In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 38-39.
- Maurer AR, Ormrod DP, Fletcher HF (1968) Response of peas to environment. IV. Effect of five soil water regimes on growth and development of peas. *Canadian Journal of Plant Science* **48**, 129-137.
- Meinzer FC, Rundel PW, Sharifi MR, Nielsen ET (1986) Turgor and osmotic relations of the desert shrub. *Larrea tridentata*. *Plant Cell & Environmental* **9**, 467-475.
- Mendes JC, Coelho MFES (1993) Variabilidade climática em Portugal Continental. Quantidade de precipitação. In 'Monografia de Meteorologia e Geofísica 43'. (Ed INMG) pp. 158 (INMG: Lisboa)
- Mohapatra PK, Turner NC, Siddique KHM (2003) Assimilate Partitioning in chickpea (*Cicer arietinum* L.) in drought-prone environments. In 'Management of Agricultural Drought: Agronomic and Genetic Options'. (Ed NP Saxena) pp. 173-188. (Science Publishers Inc. Enfield: NH)
- Moreno MT, Cubero JI (1978) Variation in *Cicer arietinum* L.. *Euphytica* **24**, 465-485.
- Morgan JM (1984) Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* **35**, 299-319.
- Morgan JM, Rodriguez-Maribona B, Knights EJ (1991) Adaptation to water-deficit in chickpea breeding lines by osmorregulation: relationship to grain-yields in the field. *Field Crops Research* **27(1,2)**, 61-70.
- Muehlbauer FJ, Singh KB (1987) Genetics of Chickpea. In 'The chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 99-126. (CAB International: Wallingford)
- Nene YL, Reddy MV (1987) Chickpea diseases and their control. In 'The chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 233-270. (CAB International: Wallingford)
- Ney B, Turc O (1993) Heat unit based description of the reproductive development of pea. *Crop Science* **33**, 510-514.
- Ney B, Wery J (1998) How does a grain legume work? A simulation model to integrate our knowledge and to solve agronomic problems. In 'Proceedings of 3rd European Conference on Grain Legumes: Opportunities for high quality healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Espanha, 14 a 19 de Novembro de 1998'. (Ed AEP) pp. 25-29.
- Nicholson SE (1980) The nature of rainfall fluctuations in subtropical West Africa. *Monthly Weather Review*, **108**, 1646-1654.

- Nielsen ET, Muller WH (1981) The influence of low plant water potential on the growth and nitrogen metabolism of the native California *Lotus scoparius* (Nutt. in T&G) Ottley. *American Journal of Botany* **68**, 402-407.
- Nielsen ET, Muller WH (1982) The influence of photoperiod on drought induction of dormancy in *Lotus scoparius* (Nutt. in T&G). *Oecologia* **53**, 79-83.
- Nielsen ET, Orcutt DM (1996) 'Physiology of plants under stress. Abiotic factors'. (John Wiley & Sons Inc.: New York, NY)
- Nielsen ET, Sharifi MR, Rundel PW (1984) Comparative water relations of *phreatophytes* in the Sonora desert of California. *Ecology* **65**, 767-778.
- Oliveira H (1994) 'Fusariose do tomateiro causadas por *formae speciales* de *Fusarium oxysporum* Schlecht.'. (Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa: Lisboa)
- Perkins JM, Jinks JL (1968) Environmental and genotype environment components of variability. III – Multiple lines and crosses. *Heredity* **23**, 339-356.
- Rashke K (1975) Stomatal action. *Annual Review of Plant Physiology* **26**, 309-340.
- Reed W, Cardona C, Sithanantham S, Lateef SS (1987) Chickpea insect pests and their control. In 'The chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 283-318. (CAB International: Wallingford)
- Reiad MSh, Yasein M, Mohamed AA (1987) Correlation and path coefficient analysis between wheat grain yield and some characters at specific ages of growth. *Annals Agric. Science* **32**(1), 165-178.
- Richards RA, Rebetzke GJ, Appels R, Condon AG (1999) Physiological traits to improve the yield of rainfed wheat: can molecular genetics help? In 'Workshop on molecular approaches for the genetic improvement of cereals for stable production in water-limited environments. CIMMYT, México, 21 a 25 de Junho de 1999'. (Ed CIMMYT)
- Robertson LD, Singh KB, Ocampo B (1995) 'A catalogue of annual wild *Cicer* species'. (ICARDA: Aleppo)
- Roessler PG, Monson RK (1985) Midday depression in net photosynthesis and stomatal conductance in *Yucca glauca*: relative contributions of leaf temperature and leaf-to-air water vapour concentration difference. *Oecologia* **67**, 380-387.
- Rosenzweig C, Tubiello FN (1997) Impacts of global climate change on Mediterranean agriculture: current methodologies and future directions. An introductory essay. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **1**(3), 219-232.
- Rupela OP, Saxena MC (1987) Nodulation and nitrogen fixation in chickpea. In 'The chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 191-206. (CAB International: Wallingford)
- Salgado P, Lallès JP, Freire JPB (2000) Comparaçao do valor azotado e energético das proteaginosas mediterrâneas (ervilha, fava, tremoço e grão de bico) e da soja para o leitão recém desmamado. In 'X Congresso de Zootécnia, Santarém, Portugal, 2 a 4 de Novembro de 2000'.
- Sánchez FJ, Manzanares M, F de Andres E, Tenorio JL, Ayerbe L (1998) Turgor maintenance osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research* **59**(3), 225-235.

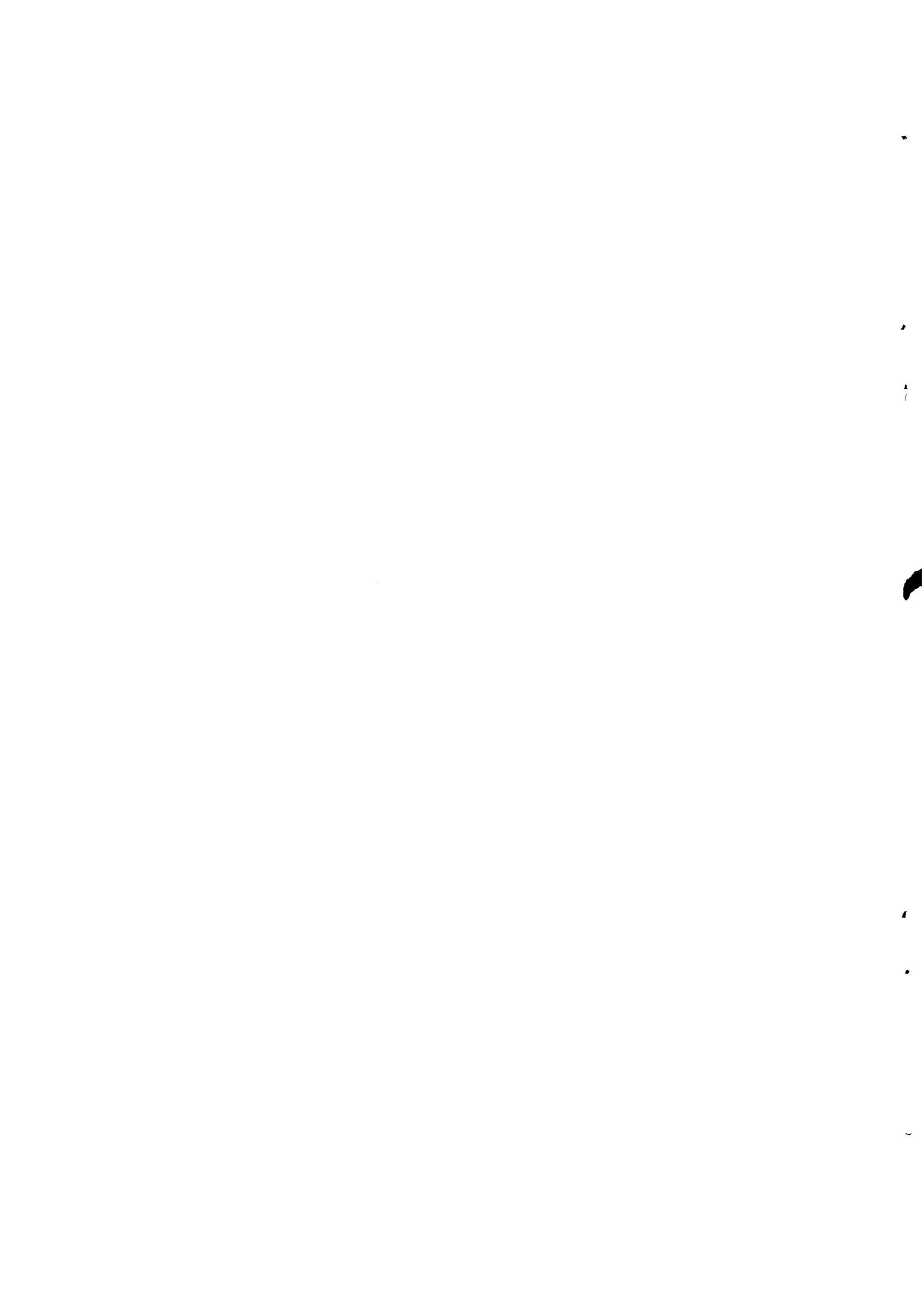
- Saxena AK, Rewari RB (1993) Effect of potassium on growth and nodulation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under different levels of salinity. *Tropical Agriculture* 70(4), 372-374.
- Saxena MC (1980) Pod setting relation to temperature at Hissar. *International Chickpea Newsletter*, 2:1.
- Saxena MC (1987) Agronomy of Chickpea. In 'The chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 207-232. (CAB International: Wallingford)
- Saxena MC (1993) The challenge of developing biotic and abiotic stress in cool-season food legumes. In 'Breeding for stress tolerance in cool season food legumes'. (Eds KB Singh, MC Saxena) pp. 3-13. (John Wiley & Sons: New York, NY)
- Saxena MC, Yadav DS (1976) Some agronomic considerations in pigeonpeas and chickpeas. In 'Proceedings of International Workshop on Chickpea Improvement. Hyderabad, India, 13 a 16 Janeiro de 1975'. (Ed ICRISAT) pp. 31-62.
- Saxena MC, Silim SN, Singh KB (1990) Effect of supplementary irrigation during reproductive growth on winter and spring chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Mediterranean environment. *J. Agricultural Science (Cambridge)* 114, 285-293.
- Saxena NP, Johansen C, Saxena MC, Silim NC (1993) Selection for drought and salinity tolerance in cool-season food legumes. In 'Breeding for stress tolerance in cool season food legumes'. (Eds KB Singh, MC Saxena) pp. 245-270. (John Wiley & Sons: New York, NY)
- Saxena NP, Kapoor SN, Bisht DS (1983) Emergence of chickpea seedlings in sub-optimal seedbed moisture. *International Chickpea Newsletter* 9, 13-14.
- Scholander PF, Hammel HT, Hemmingsen EA, Bradstreet ED (1965) Sap pressure in vascular plants. *Science* 148, 339-346.
- Sharkey TD (1985) Photosynthesis in intact leaves of C3 Plants: Physics, physiology and rate limitations. *The Botanical Review* 51 (1), 53-104.
- Sharma RA (1985) Influence of drought stress on the emergence and growth of chickpea seedlings. *International Chickpea Newsletter* 12, 15-16.
- Siddique KHM, Sedgley KH (1985) The effect of reduced branching on yield and water use of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a Mediterranean type environment. *Field Crops Research* 12, 251-269.
- Siddique KHM, Loss SP, Regan KL, Jettner RL (1999) Adaptation and seed yield of cool season grain legumes in Mediterranean environments of South-Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 50, 375-387.
- Siddique KHM, Regan KL, Tennant D, Thomson BD (2001) Water use and water use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean-type environments. *European Journal of Agronomy* 15(4), 267-280.
- Silim SN, Saxena MC (1997) Adaptation of spring-sown chickpea to the Mediterranean basin. II. Factors influencing yield under drought. *Field Crops Research* 34(2), 137-147.
- Simmonds NW (1981) 'Principles of crop improvement'. (Longman: London e New York)

- Simorte T, Alarcón R, Lacasta C (1996) Perspectivas de nuevas variedades de garbanzo de invierno (*Cicer arietinum* L.) en la agricultura ecológica de secano. In 'Proceedings do II Congresso de la Sociedade Espanhola de Agricultura Ecológica: Agricultura ecológica y desarrollo rural. Pamplona-Iruña, Espanha, Setembro de 1996.
- Sinclair TR, Ludlow MM (1985) Who taught plants thermodynamics? The unfilled potential of plant water potential. *Australian Journal Plant Physiology* 12, 213-218.
- Singh KB (1987) Chickpea breeding. In 'The chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 127-162. (CAB International: Wallingford)
- Singh KB (1990) Winter chickpea: problems and potential in the Mediterranean region. *Options Méditerranéennes, Serie Seminários* 9, 25-34.
- Singh KB (1993) Problems and prospects of stress resistance breeding in chickpea. In 'Breeding for stress tolerance in cool season food legumes'. (Eds KB Singh, MC Saxena) pp. 17-35. (John Wiley & Sons: New York, NY)
- Singh KB (1997) Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research* 53 (1,3), 161-170.
- Singh KB, Ocampo B (1997) Exploitation of wild *Cicer* species for yield improvement in chickpea. *Theoretical and Applied Genetics* 95(3), 418-423.
- Singh KB, Pandey RK (1980) Production and distribution of assimilate in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Australian Journal of Plant Physiology* 7, 727-735.
- Singh KB, Reddy MV (1995) Improving chickpea yield by incorporating resistance to *Ascochyta* blight. *Theoretical and Applied Genetics* 92(5), 509-515.
- Singh KB, Malhotra RS, Saxena MC, Bejiga G (1997) Superiority of winter sowing of chickpea in the Mediterranean region. *Agronomy Journal* 89, 112-118
- Singh KB, Reddy MV, Haware MP (1992) Breeding for resistance to *Ascochyta rabiei* blight in chickpea. In 'Disease resistance breeding in chickpea'. (Eds KB Singh MC Saxena) pp.23-54.
- Singh P (1991) Influence of water-deficits on phenology, growth and dry-matter allocation in chickpea (*Cicer arietinum*). *Field Crops Research* 28(1,2), 1-15.
- Srivastava JP (1987) Barley and wheat improvement for moisture limiting areas in West Asia and North Africa. In 'Drought tolerance in winter cereals. (Eds JP Srivastava, E Porceddu, E Acevedo S Varma) pp. 61-78. (John Wiley & Sons: New York, NY)
- Stallknecht PM, Neill K, Bussan AJ, Riesselman J (2000) Growing chickpeas (garbanzo beans) in Montana. In 'www.montana.edu/wwwpb/pubs/mt9908.html'.
- Stephens DJ, Lamond MH (1999) Reducing the impact of major droughts in the Indonesian-Australian region through the monitoring of atmospheric pressure anomalies in the preceding year. In 'Disaster Prevention for the 21st Century: Proc. Aust. Disaster Conf., South Perth, Australia', pp. 399-404 (ver www.agric.wa.gov.au/climate).
- Summerfield RJ, Roberts EH (1985) *Cicer arietinum*. In 'Handbook of flowering'. (Ed AH Halevy) pp. 92-99. (CRC, Press Inc.: Florida)
- Summerfield RJ, Minchin, FR, Roberts EH, Hadley P (1980). The effects of photoperiod and air temperature on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). In 'Proceedings of

- International Workshop on Chickpea Improvement. Hyderabad, India, 28 de Fevereiro a 2 de Março'. pp. 121-149.
- Tavares-de-Sousa MM (1989) 'O Melhoramento do grão de bico (*Cicer arietinum* L.) – algumas linhas programáticas'. (ENMP, INIA: Elvas)
- Tavares-de-Sousa MM (1999) 'Programa de melhoramento de proteaginosas'. (ENMP, INIA: Elvas)
- Tavares-de-Sousa MM, Duarte I, Pereira G (1996) O interesse do grão de bico em sementeira de Outono nos sistemas de agricultura extensiva. In 'XVII reunião de Primavera da Sociedade Portuguesa de Pastagens e Forragens: Estratégias e diversidades da produção de pastagens e forragens em pequenas e médias explorações. Vila Real, Portugal, 10 a 12 de Abril de 1996'. (Ed SPPF)
- Tavares-de-Sousa MM, Duarte IM, Pereira MG, Carita TP (2000) 'Grão de bico'. (ENMP, INIA: Elvas)
- Trethowan R, Pfeiffer WH (1999) Challenges and Future Strategies in Breeding Wheat for Adaptation to Drought Stressed Environments: A CIMMYT Wheat. In 'Workshop on Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environments. CIMMYT, México, 21 a 25 de Junho de 1999'. (Ed CIMMYT)
- Turc O, Lecoeur J (1997) Leaf primordium initiation and expanded leaf production are coordinated through similar response to air temperature in pea (*Pisum sativum* L). *Annals of Botany* **80**, 2 65-273.
- Turner NC (1981) Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil* **58**, 339-366.
- Turner NC (1986) Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Australian Journal of Plant Physiology* **13**, 175-189.
- Turner NC, Schulze E-D, Gollan T (1984) Response of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. I. Species comparisons at high soil water contents. *Oecologia* **63**, 338-342.
- Udupa SM, Weigand F, Hüttel B, Winter, P, Kahl G (1996) Germoplasm Program Legumes. In 'Annual Report for 1996'. (Ed ICARDA) pp 120-139.
- Van der Maesen LJG (1972) 'Cicer. L. a monograph on the genus with special reference to the chickpea (*Cicer arietinum* L.), its ecology and cultivation'. (Mededelingen landbouwhogeschool: Wageningen)
- Van der Maesen LJG (1987) Origin, History and taxonomy of chickpea. In 'The Chickpea' (Eds MC Saxena, KB Singh) pp. 11-34. (CAB International: Wallingford)
- Vavilov NI (1997) 'Five continents'. (IPGRI: Rome.
- Wery J (1986) Un pois pas si chiche que cela! *Bulletin FNAMS Semences* **97**, 32-35.
- Wery J (1990) Adaptation to frost and drought stress in chickpea and implications in plant breeding. *Options Méditerranéennes – Série Séminaires* **9**: 77-85.
- Wery J (1999) Improvement of tolerance of grain legume crops to drought and heat stresses. *Grain Legumes* **23**, 20-21.

- Wery J (2001) Improvement of tolerance of grain legume crops to drought and heat stresses. In 'Proceedings of 4th European Conference on Grain Legumes: Towards the sustainable production of healthy food, feed and novel products: Special report outputs, Cracóvia, Polónia, 8 a 12 de Julho de 2001'. (Ed AEP) pp. 23-27.
- Wery J, Deschamps M, Legen-Cresson N (1988) Influence of some agroclimatic factors and agronomic practices on nitrogen nutrition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) In 'Nitrogen fixation by legumes in Mediterranean agriculture' (Eds DP Beck, LA Matheron) pp. 287-301. (ICARDA: Aleppo)
- Wery J, Turc O, Lecoeur J (1993) Mechanisms of resistance to cold, heat and drought in cool season food legumes, with special reference to chickpea and pea. In: 'Breeding for stress tolerance in cool-season food legume'. (Eds KB Singh, MC Saxena) pp.271-292. (John Wiley & Sons: New York, NY)
- Windt CW, Van Hasselt PR (1999) Development of frost tolerance in winter wheat as modulated by differential root and shoot temperatures. *Plant Biology* 1, 573-579.
- Winter P (2002) Chickpea: Constraints, priorities and maps. In 'Congress on legumes for sustainable agriculture. Workshp 1 II – Breeding and genetics of grain legumes in the EU. Strasbourg, França, 26 a 28 de Setembro de 2002'. (Ed AEP)
- Zohary D (1970) Centers of diversity and centers of origin. In 'Genetic resources in plants – their exploration and conservation'. (Eds OH Frankel, E Bennet) pp. 33-42. (International Biological Programme: London)

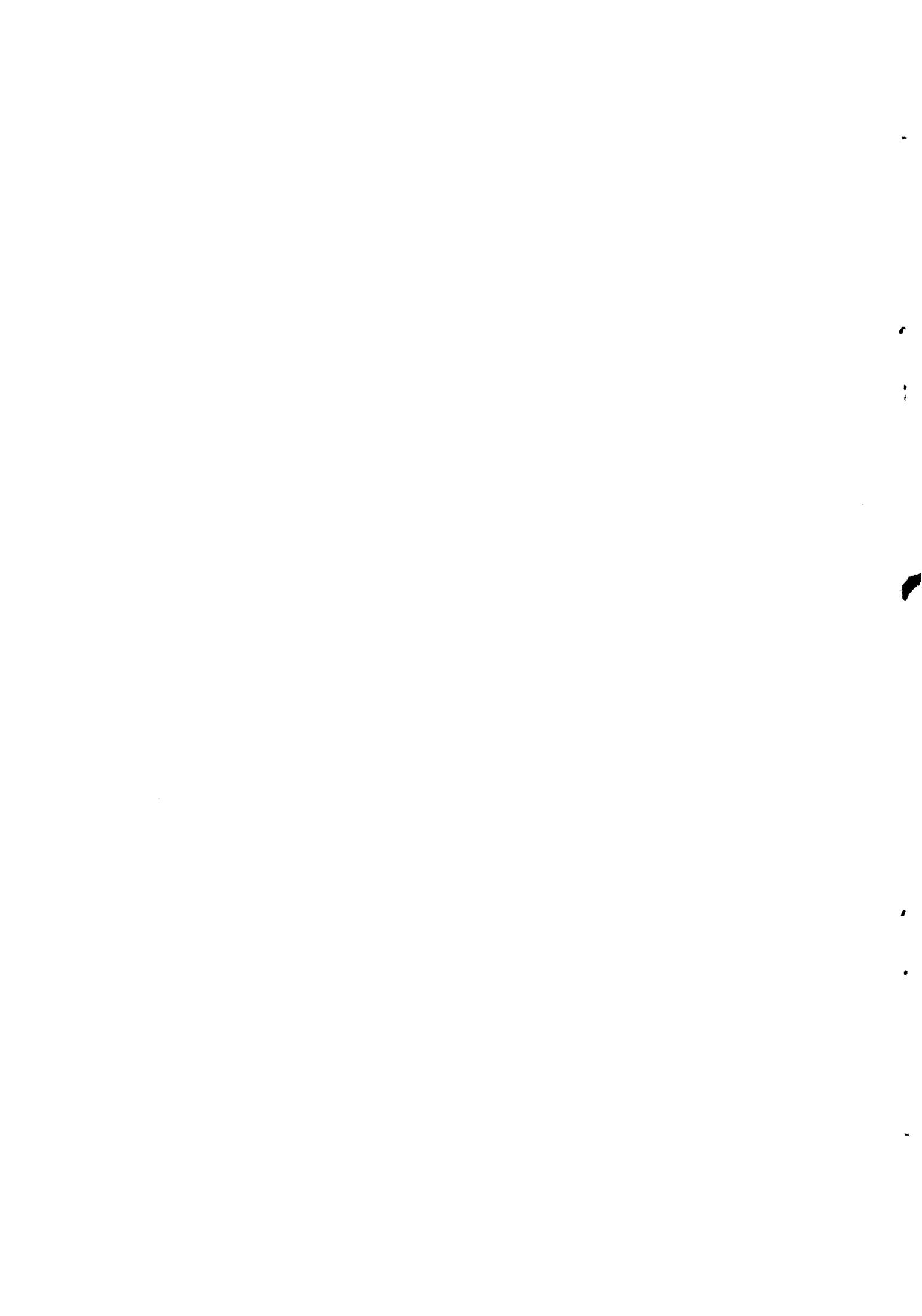
ANEXOS



ANEXO 1

Quadro 1 - Área, Produção e Rendimento de grão de bico nos principais países produtores (ano 2001)

Países Produtores	Área (ha)	Produção (Mt)	Rendimento (kg/ha)
Argélia	27.000	13.000	482
Argentina	2.700	2.700	1000
Austrália	213.000	198.000	930
Bangladesh	84.025	59.900	713
Bolívia	465	325	699
Bosnia e Herzegovina	300	100	333
Bulgária	6.000	4.000	667
Canadá	131.500	187.200	1424
Chile	2.266	776	343
Chipre	90	150	1667
Egipto	8.700	15.000	1724
Eritréia	1.100	1.000	909
Espanha	76.500	52.000	678
Etiópia	165.000	135.000	818
Grécia	1.600	2.300	1438
Índia	8.400.000	6.700.000	798
Iraque	12.500	8.000	640
Israel	5.500	8.000	1455
Itália	4.137	4.899	1184
Jordão	1.325	120	91
Kasaquistão	1.000	500	500
Líbano	4.950	12.000	2424
Líbia	400	250	625
Malawi	89.000	36.000	405
Marrocos	71.000	28.000	394
México	211.295	211.295	1000
Myanmar	125.000	85.995	688
Nepal	16.046	13.000	810
Paquistão	1.100.000	664.500	604
Peru	2.216	3.131	1413
Portugal	2.200	2.000	909
Rep. da Tanzânia	61.000	23.000	377
República Islâmica do Irão	480.000	200.000	417
Síria	75.000	40.000	533
Sudão	6.500	10.000	1539
The Fmr Yug Rp Macedónia	216	274	1269
Tunísia	25.000	22.000	880
Turquia	630.000	600.000	952
Uganda	6.200	3.200	516
Yemen	33.318	38.534	1157
MUNDO	12.085.549	9.392.899	777



ANEXO 2

INFORMAÇÃO DO ENSAIO

Ensaio Chickpea International Drought Tolerance Nursery

Abreviatura **CIDTN-95 e CIDTN-96**

Local ENMP

Total de Genótipos 29

Nº de Testemunhas – 1 (testemunha ICARDA susceptível repetida de dois em dois genótipos)

Nº de Repetições 2

Delineamento experimental blocos completamente casualizados

Linhas/parcela 1

Comprimento da linha 2

Largura da entrelinha 30 cm

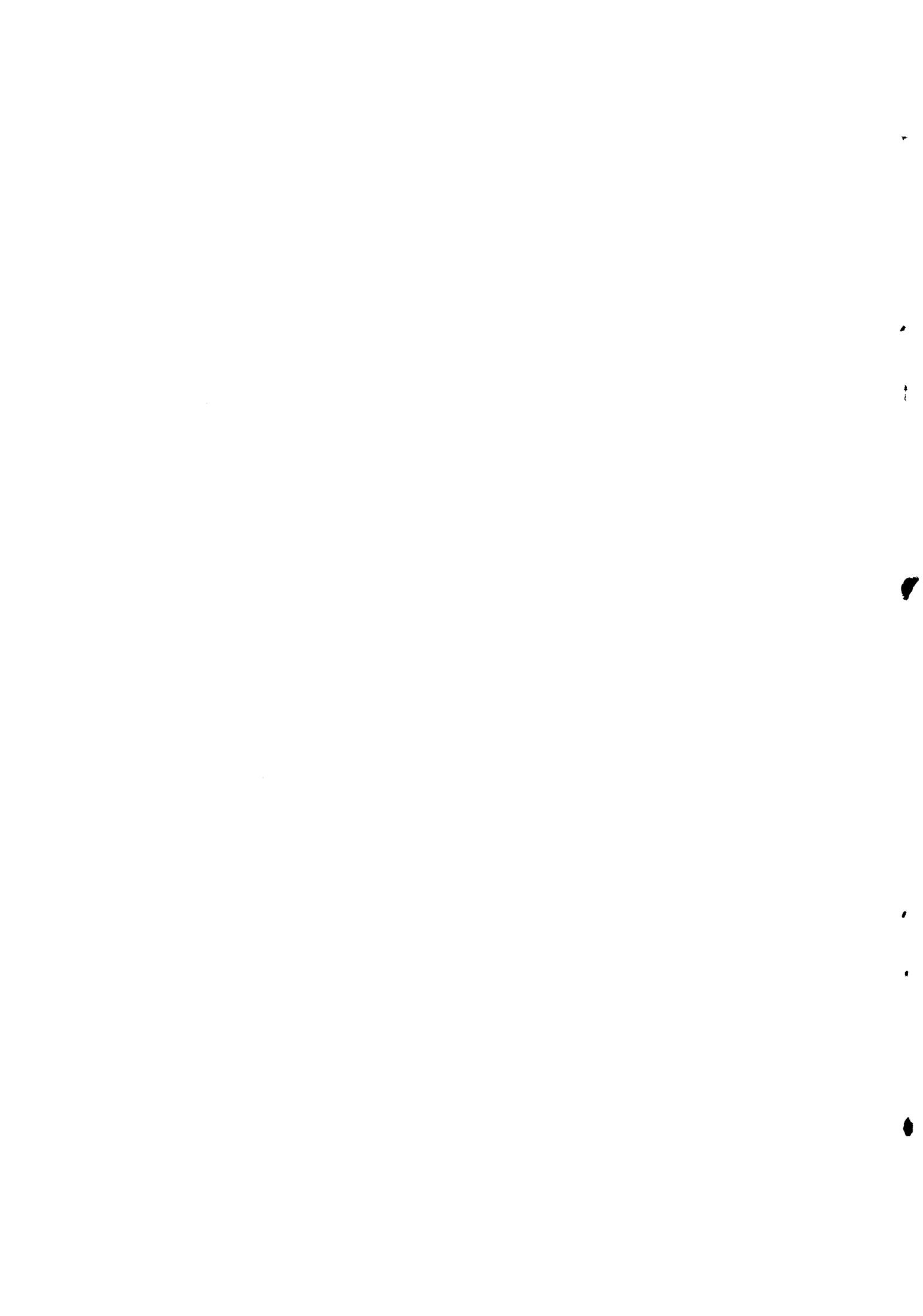
Área útil da parcela 0,6 m²

Sementes/m² 33

Tratamento das sementes – Fungicida – Derosal (s.a. carbendazime 69%)
Pomarsol (s.a. tirame 80%)

Herbicida aplicado Igran (3 kg/ha) + Kerb (1 kg/ha)

Nota: As parcelas serão semeadas manualmente:
1 linhas de 2 metros (**20 sementes/parcela**)



ANEXO 3

INFORMAÇÃO DO ENSAIO

<i>Ensaio</i>	Ensaio Estabilidade de Produção
<i>Abreviatura</i>	EEP-PR-9?
<i>Local</i>	ENMP

Total de Genótipos	20
Nº de Testemunhas	1 (ILC 3279)
Nº de Repetições	3
Delineamento experimental	blocos completamente casualizados
Linhas/parcela	2
Comprimento da linha	6
Largura da entrelinha	30 cm
Área útil da parcela	3,6 m²
Sementes/m²	40
Tratamento das sementes – Fungicida – Derosal (s.a. carbendazime 69%) Pomarsol (s.a. tirame 80%)	
Herbicida aplicado Igran (3 kg/ha) + Kerb (1 kg/ha)	

Nº de parcelas : Rep. I : 101 - 110; 111 - 120
 Rep II : 201 - 210; 211 - 220
 Rep III : 301 - 310; 311 - 320

Plano do ensaio:

Rep III

13 311	3 312	9 313	17 314	10 315	7 316	2 317	1 318	11 319	12 320
-----------	----------	----------	-----------	-----------	----------	----------	----------	-----------	-----------

18 301	20 302	4 303	8 304	6 305	15 306	16 307	19 308	14 309	5 310
-----------	-----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------

Rep II

6 211	7 213	8 213	9 214	15 215	11 216	18 217	16 218	17 219	20 220
----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

3 201	4 202	14 203	2 204	10 205	19 206	13 207	5 208	1 209	12 210
----------	----------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------	-----------

Rep I

14 111	2 112	5 113	13 114	10 115	4 116	9 117	12 118	8 129	6 120
-----------	----------	----------	-----------	-----------	----------	----------	-----------	----------	----------

1 101	16 102	17 103	19 104	20 105	11 106	3 107	15 108	7 109	18 110
----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------

ANEXO 4

INFORMAÇÃO DO ENSAIO

<i>Ensaios</i>	Confirmação de resultados
<i>Abreviatura</i>	<i>Piddac 406/00 e Piddac 406/02</i>
<i>Local</i>	ENMP

Total de Genótipos	21
Nº de Testemunhas	1 (ILC 3279)
Nº de Repetições	3
Delineamento experimental	blocos completamente casualizados
Linhas/parcela	2
Comprimento da linha	2
Largura da entrelinha	30 cm
Área útil da parcela	1,2 m ²
Sementes/m ²	33
Tratamento das sementes – Fungicida – Derosal (s.a. carbendazime 69%) Pomarsol (s.a. tirame 80%)	
Herbicida aplicado Igran (3 kg/ha) + Kerb (1 kg/ha)	

Nº de parcelas : Rep. I : 101 - 110; 111 - 121
 Rep II : 201 - 210; 211 - 221
 Rep III : 301 - 310; 311 - 321

Plano do ensaio:

Rep III

21 311	13 312	3 313	9 314	17 315	10 316	7 317	2 318	1 319	11 320	12 321
-----------	-----------	----------	----------	-----------	-----------	----------	----------	----------	-----------	-----------

18 301	20 302	4 303	8 304	6 305	15 306	16 307	19 308	14 309	5 310
-----------	-----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------

Rep II

21 211	6 212	7 213	8 214	9 215	15 216	11 217	18 218	16 219	17 220	20 221
-----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

3 201	4 202	14 203	2 204	10 205	19 206	13 207	5 208	1 209	12 210
----------	----------	-----------	----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------	-----------

Rep I

21 111	14 112	2 113	5 114	13 115	10 116	4 117	9 118	12 119	8 120	6 121
-----------	-----------	----------	----------	-----------	-----------	----------	----------	-----------	----------	----------

1 101	16 102	17 103	19 104	20 105	11 106	3 107	15 108	7 109	18 110
----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------

AGRADECIMENTOS

É nos momentos em que somos postos à prova que mais precisamos dos poderes revitalizantes, renovadores e reconstituintes da gratidão. Assim, não posso deixar de manifestar o meu agradecimento a todos aqueles que me acompanharam e de algum modo contribuíram para a realização desta tese.

Ao Director da Estação Nacional de Melhoramento de Plantas (ENMP) Eng.º José Mira Potes e Sub-Directora Eng.º Dolores del Rocio Navas por todas as facilidades prestadas e sobretudo amizade que me foi transmitida durante a execução da tese.

À professora Manuela Chaves, minha orientadora, o grato reconhecimento pelos seus ensinamentos e ajuda bem como pelo estímulo e indispensável aconselhamento que sempre me ofereceu, sobretudo na fase final da tese.

Ao Engenheiro Manuel Tavares de Sousa, meu orientador na ENMP, porque sempre me acompanhou muito de perto e que ao me proporcionar contactos com outras instituições, me ofereceu oportunidades únicas de aprender e aprofundar conhecimentos técnicos e científicos. O meu agradecimento especial pela sua amizade e confiança que me tem dado ao longo da minha passagem pela ENMP.

Ao Professor Jacques Wery, da École National Supérieur Agronomique de Montpellier (ENSA.M) pelos ensinamentos e pela experiência inovadora que me proporcionou nas diversas visitas que fiz ao laboratório de que é responsável e pela ajuda na interpretação dos resultados.

À Doutora Maria do Céu Matos da EAN/INIAP pela revisão crítica realizada em todo o trabalho escrito.

À Engenheira Ana Isabel Cordeiro, estagiária no Departamento de Forragens, Pastagens & Outras Culturas (DFP&OC) no ano 1997/98, porque colaborou incansavelmente na obtenção dos resultados naquele ano de ensaios.

À Áurea Saraiva, auxiliar no DFP&OC, pelo seu valioso apoio na obtenção dos dados e dedicação ao trabalho que me estava confiado no Departamento. A sua amizade e compreensão permitiram que eu pudesse dedicar mais tempo aos trabalhos da tese.

A todos os colaboradores do DFP&OC pelo zelo e empenho que demonstraram na execução das tarefas agronómicas relacionadas com o trabalho experimental.

À colega Raquel do Valle, aluna de Mestrado no Instituto Superior de Agronomia, pela ajuda telefónica em momentos de dificuldade na execução dos gráficos.

Por fim ao Maçãs, meu marido, pelas grandes "discussões" que me proporcionou sobre o tema melhoramento de plantas, que muito me ajudaram a superar as dificuldades encontradas durante todo o trabalho experimental; pelos conselhos e ajuda na interpretação estatística dos resultados e sobretudo pelo respeito, apoio moral e compreensão que sempre me soube dedicar.

A todos, aqui fica a minha reconhecida gratidão!

