Silva Lusitana ***14****(1): 1 - 21, 2006*
© EFN, Lisboa. Portugal

Desenvolvimento de Um Índice de Selecção de Proveniências de *Pinus pinaster* Aiton aos 8 Anos, na Mata Nacional do Escaroupim

Isabel Correia*, Helena Almeida, Alexandre Aguiar***, Eugénia Rocha****, João Pessoa*******

*Bolseira de Investigação

***Investigador Auxiliar

****Assessora Principal

***** Engº Técnico Especialista

Departamento de Ecofisiologia e Melhoramento Florestal. Estação Florestal Nacional, Quinta do Marquês

**Professora Associada

Departamento de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-018 LISBOA

Sumário. Foram analisadas características de crescimento e de forma num ensaio de proveniências de pinheiro bravo aos 8 anos, na Mata Nacional do Escaroupim, recorrendo a análises em componentes principais para representar graficamente o comportamento das proveniências no conjunto das características, e à elaboração de um índice primário para a selecção multicaracterística. São analisadas as relações entre as proveniências, regiões de proveniência e altitude.

As proveniências de altitude apresentam melhores características de forma mas crescimento menor, observando-se o melhor comportamento geral em material com origem em pomares de semente e em Monção. São efectuadas simulações com diferentes números de observações, pretendendo ajustar o número de observações a efectuar em futuras avaliações.

Palavras-chave: pinheiro bravo; proveniências; regiões de proveniência; índice primário de selecção

Development of an Index for Selection of Provenances of *Pinus pinaster* Aiton at 8 Years, in Mata Nacional do Escaroupim

Abstract. Growth and form characteristics were analysed in a provenance trial at age 8, in Mata Nacional do Escaroupim. Principal component analysis was used to obtain a graphic representation of the performance of provenances congregating characteristics. A primary selection index was developed aiming at multicharacteristic selection. Relationships between provenances, provenance regions and altitude were also analysed.

Highland provenances show better form but reduced growth, whereas material originating from seed orchards and Monção reveal the best general performance. Simulations with different numbers of observations were made, in order to adjust the number of observations that should be made in future evaluations.

Key words: Maritime pine; provenances; provenance regions; primary index of selection

1º Autor E-mail: isabel.correia@efn.com.pt

Développement d'un Indice de Sélection de Provenances de *Pinus pinaster* Aiton à 8 Ans, dans la Mata Nacional do Escaroupim

Résumé. Des caractères de vigueur et de forme ont été analysés dans un essai de provenances de pin maritime à 8 ans à la Mata Nacional do Escaroupim, utilisant des analyses à composants principaux pour représenter graphiquement le comportement des provenances dans l'ensemble des caractéristiques, et un indice de sélection primaire pour la sélection multicaractéristique. Les relations entre les caractéristiques, régions de provenance et altitude sont analysées.

Les provenances d'altitude présentent de meilleures caractéristiques de forme mais vigueur inférieure et le meilleur comportement général appartient au matériel originaire des vergers à semences et de Monção. Des simulations avec un nombre différent d'observations ont été effectuées, envisageant d'ajuster le nombre d'observations à effectuer lors de futures évaluations.

Mots clés: Pin maritime; provenances; régions de provenance; indice de sélection primaire

Introdução

Ocupando em Portugal uma área de um milhão e cinquenta mil hectares, que correspondem a cerca de um terço da área florestal do nosso País (DGF-IFN, 2000), o pinhal bravo constitui um importante factor económico de desenvolvimento dos espaços rurais, quer pela produção de bens directos como a madeira para vários fins, quer pelas actividades económicas que lhe estão associadas como a resinagem, a pastorícia, a apicultura, a caça, ou a produção de cogumelos, quer ainda pelos serviços que também proporciona.

A legislação actualmente em vigor que obriga à certificação do material florestal de reprodução, os compromissos adquiridos para a conservação de recursos genéticos florestais (Resoluções de Estrasburgo, Helsínquia e Lisboa), e a necessidade de garantir a sustentabilidade dos espaços florestais, abrem novas perspectivas de actuação nos campos do melhoramento genético e conservação dos recursos florestais, havendo que aprofundar aspectos como a relação entre o uso do material e os seus níveis de variabilidade genética.

Torna-se pois necessário caracterizar as proveniências da espécie e conhecer os objectivos que podem servir, permitindo assim identificar o nível de intensidade das acções de melhoramento a realizar em cada população, podendo ser definidas zonas de melhoramento para as populações que justifiquem a obtenção de material de reprodução (ALÍA *et al.*, 1999). As regiões de proveniência permitem identificar o material de reprodução pela sua localização geográfica precisa, pelas suas características ecológicas de clima e solo, e por características fenotípicas ou genéticas (crescimento, adaptação, ou outras). Esta consignação facilita a eleição do material de reprodução para uso em reflorestação, a qual foi recentemente efectuada a nível nacional para o pinheiro bravo (SOUSA, 1998). As regiões de proveniência de maior interesse podem ser utilizadas em programas que incluam aspectos de selecção, cruzamentos e avaliação, *i.e.* podem confundir-se com zonas de melhoramento da espécie e devem constituir a base de actuação a partir da qual se elegem os povoamentos produtores de semente e se estabelecem pomares de semente e de conservação de recursos genéticos.

A caracterização das populações de pinheiro bravo tem sido abordada através de ensaios de proveniências estabelecidos em vários países (HARFOUCHE

e KREMER, 2000; ALÍA *et al*., 1995; HOPKINS e BUTCHER, 1993; SIMSEK *et al*., 1985; MATZIRIS, 1982; DESTREMEAU *et al*., 1976) e de marcadores bioquímicos e moleculares (GONZÁLEZ-MARTÍNEZ *et al*., 2002; GONZÁLEZ-MARTINEZ *et al*., 2001; RIBEIRO, 2001; MARIETTE *et al*., 2001; SALVADOR *et al*., 2000; VENDRAMIN *et al*., 1998; PETIT *et al*., 1995; BAHRMAN *et al*., 1994; BAHRMAN *et al*., 1992; CASTRO, 1989; BARADAT e MARPEAU, 1988). O ensaio de proveniências desta espécie foi instalado em Portugal em 1993, encontrando-se em 5 locais de características ecológicas diferentes. A avaliação relativa do comportamento das proveniências em várias condições apenas pode ser efectuada através deste tipo de ensaios, possibilitando a selecção do material vegetal mais adequado para a silvicultura, para acções de melhoramento com determinados objectivos, ou para a conservação genética.

Materiais e métodos

Material vegetal

As trinta proveniências incluídas no ensaio encontram-se descritas em CORREIA *et al*., 2004, passando a resumir-se os aspectos principais. Estão representadas vinte e duas proveniências nacionais oriundas de povoamentos produtores de semente, e ainda duas espanholas, três francesas e três australianas. Estas últimas provêm de material resultante de cruzamentos com genótipos de Leiria. O ensaio inclui material vegetal de cinco pomares clonais, representando semente testada (D1097 e LANDPS62) e semente qualificada (PCSE0102, SN5063 e SN7901). As proveniências nacionais representam diferentes classes de altitude e algumas destas proveniências representam locais geograficamente muito próximos. Certas populações nacionais são oriundas de algumas das regiões de proveniência desta espécie em Portugal, que haviam sido esboçadas com base em critérios geográficos, ecológicos, climáticos, e em diferenças entre características fenotípicas entre povoamentos de pinheiro bravo (CARNEIRO *et al.,* 2000).

Os elementos climatológicos dos locais de colheita da semente das populações nacionais em ensaio encontram-se igualmente descritos no estudo referido, verificando-se que ocorrem diferenças apreciáveis, em especial relativamente às temperaturas, assegurando a representação de condições climáticas bastante variáveis.

Campo experimental

A descrição detalhada do dispositivo experimental e do campo experimental do Escaroupim foi anteriormente efectuada (CORREIA *et al*., 2004), recordando-se somente que neste local as 30 proveniências se distribuem por 8 blocos casualizados completos, estando cada proveniência representada por 30 árvores (unidade experimental) em cada bloco. Na Figura 1 pode ser observada a disposição relativa das árvores (medidas, não medidas e inexistentes). A competição com alguns elementos estranhos (pinheiros mansos, eucaliptos) anteriores à instalação do ensaio, veio a exercer uma influência negativa sobre as árvores mais próximas de 11 unidades experimentais. Estas unidades, assim como duas outras que não puderam ser plantadas por falta de plantas à data da instalação, foram tratadas como valores em falta na análise dos dados.

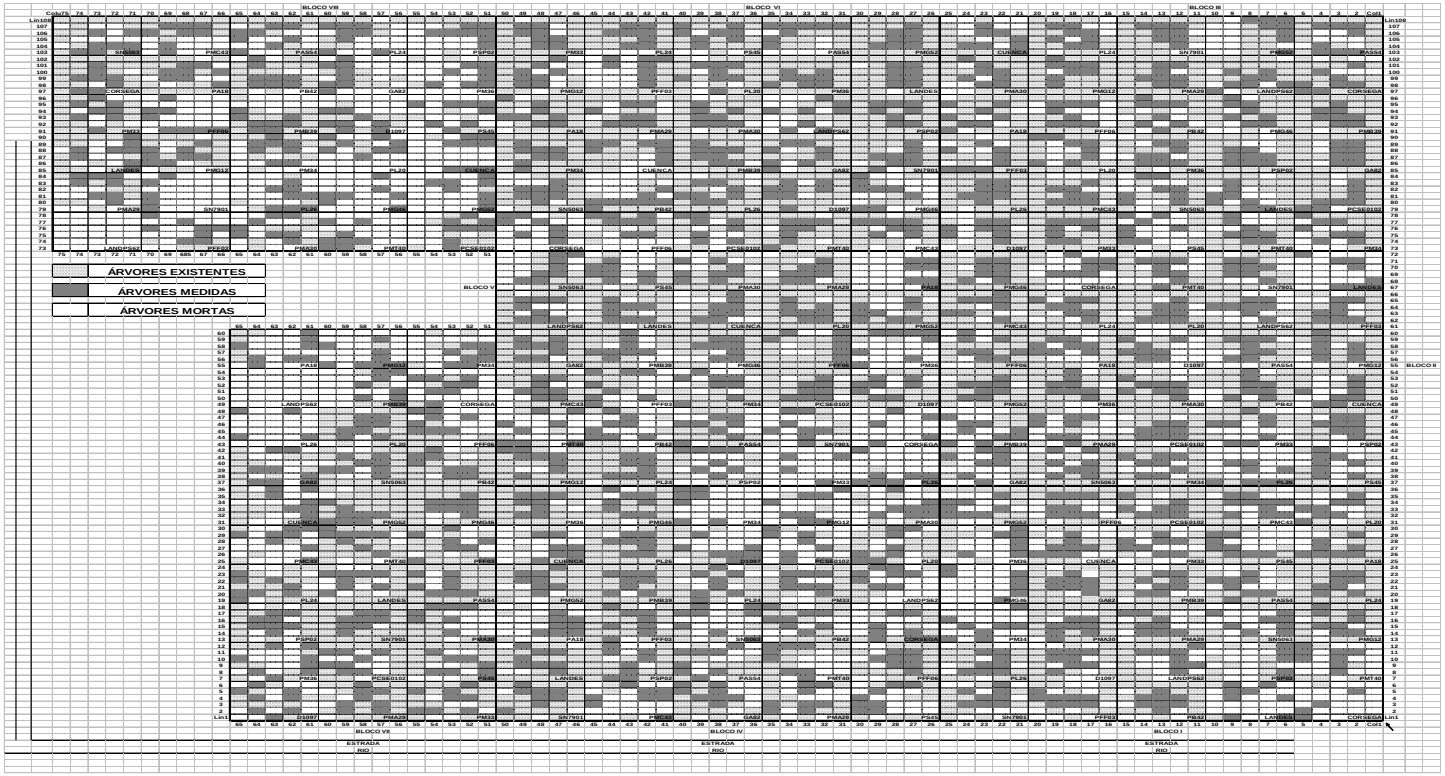


Figura 1 - Localização das árvores existentes, não existentes e observadas neste estudo

Medições

As medições foram efectuadas em 8 árvores escolhidas aleatoriamente no centro das unidades experimentais, evitanto a influência de bordadura e efeitos de competição entre proveniências, tendo sido medida a altura total e o diâmetro à altura do peito (DAP). As características de forma: rectidão do fuste, forma da copa, ângulo de inserção dos ramos e espessura dos mesmos, foram atribuídas recorrendo a uma escala de notação de 1 a 6, sendo 6 a pontuação máxima. A sobrevivência foi avaliada como a proporção do número de árvores sobreviventes em cada unidade experimental.

Análise de dados

Adoptando o critério usualmente utilizado em análises de populações, a análise estatística foi realizada com base nas médias das 8 observações efectuadas em cada unidade experimental.

Comparação do comportamento das proveniências no conjunto das características

Com o objectivo de evidenciar o comportamento das proveniências no conjunto das características, foram efectuadas análises em componentes principais (ACP) e efectuada a representação gráfica para o conjunto de todas as proveniências (e todas as características), para as proveniências com origem em algumas regiões de proveniência (*idem*), e para as proveniências nacionais com origem em diferentes classes de altitude (*idem*). Foi efectuado o agrupamento das proveniências por regiões de proveniência segundo o critério utilizado em (CORREIA *et al.*, 2004):

RegProv 1 – PM33, PM34, PM36

RegProv 6 – PL20, PL24, PL26

RegProv 7 – PMG12, PMG46, PMG52

RegProv 10 – PMA 29, PMA30

e o agrupamento por classes de altitude estabelecidas no mesmo estudo:

A (0-200m) – PA18, PAS54, PCSE0102, PFF03, PFF06, PMG12, PMG46, PMG52

B (201-400m) –PL24, PM33, PM34, PS45

C (401-600m) – PL20, PL26, PM36, PMB39

D (>600m) – PB42, PMA29, PMA30, PMC43, PMT40, PSP02

A análise em componentes principais explica a estrutura de variância-covariância através de algumas combinações lineares das variáveis originais, tendo como objectivo principal a redução de dimensionalidade e facilitar a interpretação (JOHNSON & WICHERN 1992). As variáveis observadas foram medidas em escalas com amplitudes muito diferentes, apresentando variâncias muito diversas. Por essa razão optou-se por utilizar a matriz de correlação das variáveis, que utiliza as variáveis padronizadas (retirar a média e dividir pelo desvio padrão), assegurando igual contributo das variáveis resultantes para a construção das componentes principais. Uma vez que a análise em componentes principais não pressupõe uma população multivariada normal, e que não são efectuados testes ou inferências sobre os resultados das ACP, foi utilizada a variável sobrevivência não transformada.

A matriz de correlação foi elaborada com base em valores aos quais foi retirada a variação ambiental entre blocos. Assim, para cada característica,

foram estimados novos valores $\hat{P}$ do seguinte modo: ao valor médio de cada unidade experimental (P) foi somado o valor da diferença entre a grande média geral ($\overline{P}$) e o valor médio do bloco dessa unidade experimental ($\overline{B}_X$) (COTERILL e DEAN, 1990)

$\hat{P} = P + (\overline{P} - \overline{B}_X)$.

Este novo conjunto de valores permite-nos assim obter análises em componentes principais com base nas médias das proveniências ajustadas aos efeitos dos blocos, recorrendo ao procedimento PROC PRINCOMP do programa SAS® V 8.2. A representação gráfica no plano dos dois eixos principais foi efectuada recorrendo aos valores médios das pontuações (*scores*) obtidos por proveniência, por região de proveniência, e por classe de altitude, agregando a informação dos 8 blocos num único ponto e permitindo assim uma melhor visualização dos resultados.

Relações entre as características

As correlações fenotípicas da árvore média entre unidades experimentais foram estimadas anteriormente (CORREIA *et al.*, 2004). Contudo a selecção por índice proposta neste estudo recorre, como se verá, ao valor fenotípico médio das proveniências, que foi obtido por ajustamento de um modelo misto (não equilibrado). O modelo utilizado considera os blocos como factores de efeitos aleatórios e as proveniências como factores de efeitos fixos, estimando para estas os valores fenotípicos médios, que são estimativas EBLUE (*Empirical Best Linear Unbiased Estimator*) ajustadas aos efeitos dos blocos. Com o objectivo de detectar dependências entre características podendo influenciar os resultados da selecção, são agora determinadas as correlações fenotípicas com base em valores aos quais foi retirada a variação ambiental entre blocos. Assim, para cada característica, foram estimados novos valores $\hat{P}$ através do procedimento acima descrito para a comparação do comportamento das proveniências no conjunto das características. Este novo conjunto de dados permite-nos obter correlações com base em valores ajustados aos efeitos dos blocos, permitindo indiciar o impacto que a selecção numa das características poderá ter noutra característica. As estimativas foram obtidas através dos coeficientes de correlação de Pearson, utilizando o procedimento PROC CORR do SAS® V 8.2.

Desenvolvimento de um índice de selecção

Com o objectivo de permitir a selecção das proveniências considerando simultaneamente algumas das características estudadas, foi elaborado um índice primário. Na elaboração deste índice não foram consideradas as características espessura dos ramos e sobrevivência, pelo facto de as respectivas estimativas de heritabilidade se encontrarem associadas a elevados erros padrão, como foi descrito em CORREIA *et al.* (2004). Este índice integra valores fenotípicos médios (P) das características para cada proveniência, as heritabilidades (H^2) das características, e pesos económicos (w) de cada característica, que são definidos adiante. A elaboração deste índice pressupõe que as proveniências representam grupos geneticamente uniformes que podem ser reutilizados indefinidamente (NANSON 1970). A expressão utilizada para o cálculo do índice primário I foi a

seguinte, adaptada de COTERILL e DEAN (1990):

$I = w_{Alt} H^2_{Alt} P_{n\,Alt} + w_{DAP} H^2_{DAP} P_{n\,DAP} + w_{Rectfuste} H^2_{Rectfuste} P_{n\,Rectfuste} +$

$+ w_{Formcopa} H^2_{Formcopa} P_{n\,Formcopa} + w_{Insramos} H^2_{Insramos} P_{n\,Insramos}$ em que:

w = Peso económico da característica

H^2 = Heritabilidade em sentido lato da característica

P_n = Valor fenotípico médio da característica para a proveniência n ($1 \leq n \leq 30$)

Alt = Altura; DAP = Diâmetro; Rectfuste = Rectidão do fuste; Formcopa = Forma da copa; Insramos = Ângulo de inserção dos ramos.

Esta expressão atribui um valor de índice a cada proveniência candidata a selecção, permitindo assim seleccionar as proveniências com melhor comportamento no conjunto das características.

Dado que não se dispõe de informação económica quantitativa que permita determinar com rigor a importância económica relativa de uma unidade de melhoramento em cada característica (por definição, peso económico), foram atribuídos factores que reflectem empiricamente a valorização de cada característica para o pinheiro bravo. Por esta razão seria mais adequado mencionarmos coeficientes ponderados (COTERILL e DEAN, 1990; SILVA, 1996).

Foi seguido o método da ênfase igual descrito por COTTERIL e DEAN (1990) e adoptado por vários autores (BORRALHO, 1991; SILVA, 1996) em que os coeficientes ponderados atribuem o mesmo valor económico à mudança de uma unidade de desvio padrão fenotípico (σ_P) para cada característica, com:

$\sigma_p = \sqrt{\sigma^2_{Pr} + \frac{\sigma^2_b}{b} + \frac{\sigma^2_e}{nb}}$ em que

σ^2_{Pr} = Componente da variância relativa à proveniência

σ^2_b = Componente da variância relativa ao bloco

σ^2_e = Componente da variância relativa ao erro residual

b = Número de blocos (8)

n = Número de observações de cada proveniência em cada bloco (8).

Estes valores, estimados segundo o método descrito em CORREIA *et al.* (2004), foram depois afectados por um factor empírico que reflecte importâncias económicas diferentes resultantes de uma unidade de incremento: optou-se por atribuir duas vezes mais importância à altura e diâmetro; uma vez e meia à rectidão do fuste; e uma vez às restantes características. Assim, o coeficiente ponderado para cada característica será obtido por meio do inverso do desvio padrão fenotípico para as médias das proveniências, afectado pelo valor dois, um e meio ou um correspondente.

Ganhos esperados com a selecção por índice

Com o fim de estimar os ganhos esperados com a selecção das 4 proveniências apresentando maior valor de índice, foi determinado o valor absoluto que representa a superioridade destas proveniências em relação ao conjunto das proveniências em ensaio, para cada característica, através da expressão $\left(\overline{X}_{Pr} - \overline{X}_{geral}\right) H^2$.

Comparação de resultados com diferentes dimensões da amostra

Com o objectivo de estimar a perda de rigor na selecção com diferentes

amostragens, foram efectuadas simulações dos índices obtidos utilizando 8, 7, 6, 5, e 4 observações por unidade experimental, e obtidos os respectivos escalonamentos de proveniências. As diferenças encontradas poderão sugerir critérios de selecção mais abrangentes, com redução de elevados custos financeiros, de tempo, e pessoal implicado nas campanhas de medições.

Resultados

Comportamento das proveniências no conjunto das características

As análises em componentes principais foram efectuadas recorrendo a valores das características ajustados aos efeitos dos blocos, como foi referido. A análise em componentes principais efectuada para todas as proveniências e para todas as características (Quadro 1, Quadro 2 e Figura 2) revelou que a primeira componente principal explica 39% da variância total e a segunda componente principal explica 23%; no seu conjunto explicam cerca de 63% da variância total. A altura e o diâmetro contribuem negativamente para a formação da componente principal 1, as características de forma contribuem positivamente, e a contribuição da sobrevivência é quase nula. Todas as variáveis, à excepção da sobrevivência, se encontram fortemente correlacionadas com este eixo. A componente principal 1 contrasta altura e diâmetro com características de forma – pode ser considerada a componente da forma. Todas as variáveis contribuem positivamente para a formação da componente principal 2. A altura, o diâmetro e a sobrevivência têm a maior contribuição, e, à excepção da rectidão do fuste, a contribuição das restantes características para a formação da componente principal 2 é fraca. Esta componente assemelha-se a uma média ponderada de todas as variáveis – pode ser considerada a componente do comportamento geral.

Quadro 1 - Vectores e valores próprios dos primeiros 4 eixos principais (Prin), e proporção simples e acumulada dos valores próprios, da análise em componentes principais efectuada para todas as proveniências, e todas as características

Vectores Próprios				
	Prin1	**Prin2**	**Prin3**	**Prin4**
Altura	-0,40	0,56	0,14	0,11
Diâmetro	-0,42	0,48	0,36	0,02
Rectidão do fuste	0,32	0,35	-0,13	-0,60
Forma da copa	0,36	0,24	0,30	-0,48
Inserção dos ramos	0,47	0,22	0,21	0,43
Espessura dos ramos	0,47	0,24	0,13	0,45
Sobrevivência	0,02	0,42	-0,83	0,13
Valores próprios	2,75	1,63	0,93	0,71
Proporção simples	0,39	0,23	0,13	0,76
Proporção acumulada	0,39	0,63	0,76	0,86

Quadro 2 - Coeficientes de correlação de Pearson e respectiva significância a 5% entre parênteses, entre as características e os primeiros 4 eixos principais (Prin) da análise em componentes principais efectuada para todas as proveniências, e todas as características

Coeficientes de Correlação de Pearson				
	Prin1	**Prin2**	**Prin3**	**Prin4**
Altura	-0,66 (<0,0001)	0,71 (<0,0001)	0,13 (0,0465)	0,09 (0,1712)
Diâmetro	-0,70 (<0,0001)	0,61 (<0,0001)	0,34 (<0,0001)	0,02 (0,8130)
Rectidão do fuste	0,52 (<0,0001)	0,45 (<0,0001)	-0,13 (0,0526)	-0,51 (<0,0001)
Forma da copa	0,59 (<0,0001)	0,31 (<0,0001)	0,29 (<0,0001)	-0,41 (<0,0001)
Inserção dos ramos	0,78 (<0,0001)	0,28 (<0,0001)	0,20 (0,0027)	0,36 (<0,0001)
Espessura dos ramos	0,77 (<0,0001)	0,31 (<0,0001)	0,13 (0,0563)	0,38 (<0,0001)
Sobrevivência	0,04 (0,5878)	0,53 (<0,0001)	-0,80 (<0,0001)	0,11 (0,1066)

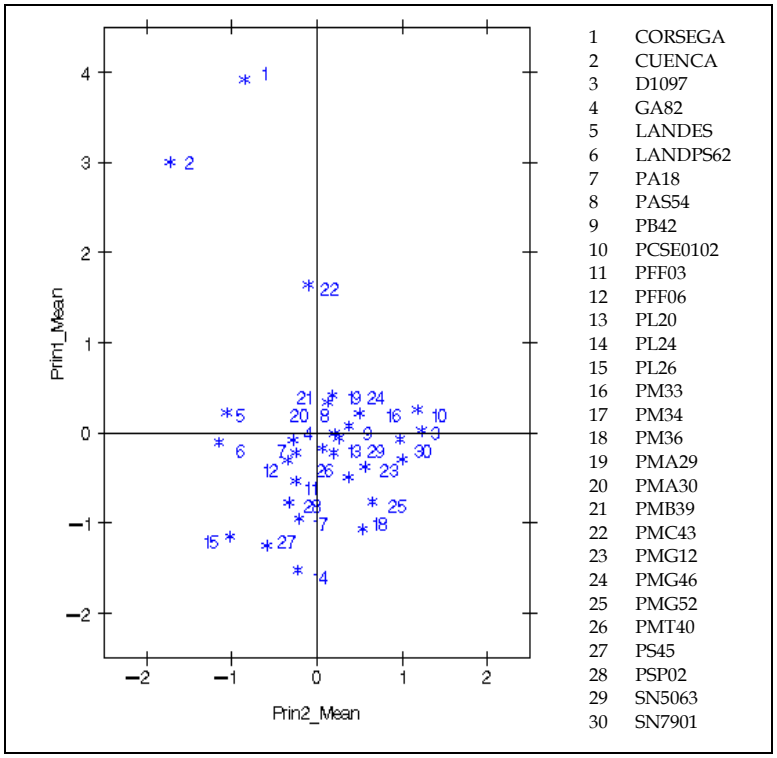


Figura 2 - Representação no plano dos dois eixos principais do comportamento de todas as proveniências relativamente a todas as características

À excepção de CORSEGA, CUENCA e PMC43 que se distanciam do agrupamento geral pela forma, não se detectam agrupamentos de proveniências no conjunto das características analisadas. PCSE0102, D1097, PM33 e SN7901 exibem um bom comportamento geral. As presentes inferências serão válidas apenas para condições edafo-climáticas semelhantes às do Escaroupim. A melhor selecção pela sobrevivência e por um compromisso equilibrado de volume e forma, será a das proveniências PCSE0102, D1097, PM33, SN7901. Se for pretendida uma selecção apenas pela forma sem atender ao volume e sobrevivência, as melhores candidatas serão as proveniências CORSEGA, CUENCA, e PMC43. A proveniência que apresenta pior comportamento no conjunto das características é PL26.

A análise em componentes principais das proveniências com origem em regiões de proveniência e todas as características (Quadro 3, Quadro 4 e Figura 3), incide apenas sobre 4 dessas regiões.

A componente principal 1 explica 39% da variância total, a componente principal 2 explica 28%; no seu conjunto explicam cerca de 67% da variância total. Como na análise anterior, revela-se uma oposição clara entre as características de crescimento e de forma na componente principal 1, com uma contribuição média a fraca, e negativa, das características diâmetro e altura, uma contribuição média e positiva da inserção dos ramos, espessura dos ramos e rectidão do fuste, e contribuições positivas progressivamente mais fracas da forma da copa e sobrevivência. As variáveis estão em geral medianamente correlacionadas com este eixo, verificando-se uma correlação muito forte para a inserção dos ramos, espessura dos ramos e rectidão do fuste. A altura e o diâmetro contribuem positiva e fortemente para a formação da componente principal 2; a contribuição da forma da copa, sobrevivência e rectidão do fuste é também positiva mas mais fraca, e a contribuição da inserção dos ramos e espessura dos ramos é praticamente nula.

Quadro 3 - Vectores e valores próprios dos primeiros 4 eixos principais (Prin), e proporção simples e acumulada dos valores próprios, da análise em componentes principais referente às proveniências com origem em 4 regiões de proveniência, e todas as características

Vectores Próprios				
	Prin1	**Prin2**	**Prin3**	**Prin4**
Altura	-0,18	0,65	-0,06	0,25
Diâmetro	-0,30	0,55	0,27	0,27
Rectidão do fuste	0,42	0,23	0,11	-0,18
Forma da copa	0,35	0,31	0,45	-0,58
Inserção dos ramos	0,52	0,03	0,18	0,34
Espessura dos ramos	0,50	-0,05	-0,04	0,57
Sobrevivência	0,25	0,34	-0,82	-0,23
Valores próprios	2,70	1,96	0,81	0,59
Proporção simples	0,39	0,28	0,12	0,08
Proporção acumulada	0,39	0,67	0,78	0,87

Quadro 4 - Coeficientes de correlação de Pearson e respectiva significância a 5% entre parênteses, entre as características e os primeiros 4 eixos principais (Prin), da análise em componentes principais referente às proveniências com origem em 4 regiões de proveniência, e todas as características

Coeficientes de Correlação de Pearson				
	Prin1	**Prin2**	**Prin3**	**Prin4**
Altura	-0,29 (0,0040)	0,91 (<0,0001)	-0,06 (0,5743)	0,19 (0,0611)
Diâmetro	-0,50 (<0,0001)	0,78 (<0,0001)	0,25 (0,0156)	0,21 (0,0391)
Rectidão do fuste	0,70 (<0,0001)	0,32 (0,0012)	0,10 (0,3336)	-0,14 (0,1758)
Forma da copa	0,57 (<0,0001)	0,43 (<0,0001)	0,41 (<0,0001)	-0,44 (<0,0001)
Inserção dos ramos	0,85 (<0,0001)	0,04 (0,6826)	0,16 (0,1179)	0,26 (0,0097)
Espessura dos ramos	0,82 (<0,0001)	-0,06 (0,5290)	-0,04 (0,7184)	0,44 (<0,0001)
Sobrevivência	0,41 (<0,0001)	0,48 (<0,0001)	-0,74 (<0,0001)	-0,17 (0,0890)

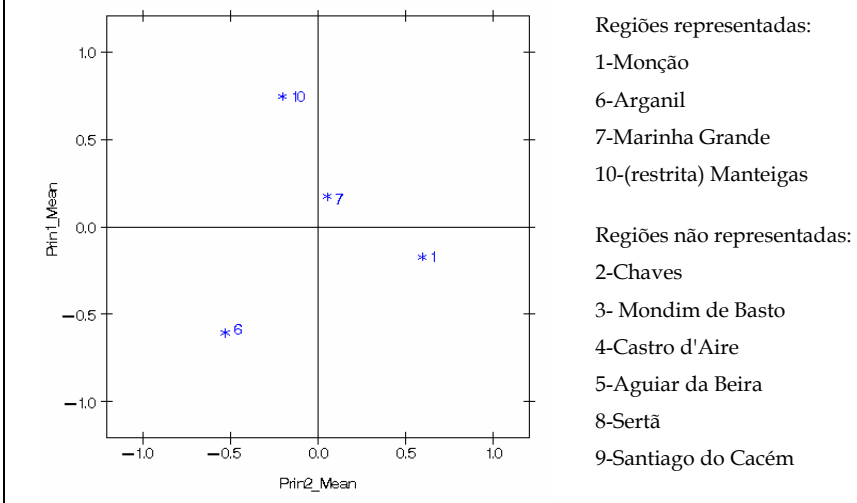


Figura 3 - Representação no plano dos dois eixos principais do comportamento das proveniências com origem em 4 regiões de proveniência, relativamente a todas as características. Regiões representadas: 1-Monção; 6-Arganil; 7-Marinha Grande; 10-(restrita) Manteigas. Regiões não representadas: 2-Chaves; 3- Mondim de Basto; 4-Castrod'Aire; 5-Aguiar da Beira; 8-Sertã; 9-Santiago do Cacém

Como anteriormente, a componente principal 1 pode ser considerada a componente da forma, e a componente principal 2 a do comportamento geral. A região de proveniência 10 reune proveniências com comportamento fraco em altura e diâmetro mas melhores características de forma. As regiões de proveniência 1 e 7 reunem proveniências com melhor comportamento geral, e a região 6 reune proveniências com comportamento geral mais fraco.

Tendo em atenção que as afirmações são válidas apenas para condições semelhantes às deste local, e que estamos perante uma subrepresentação das regiões de proveniência, pode-se sugerir a selecção de proveniências das regiões 1 e 7 se pretendermos seleccionar por um compromisso equilibrado de volume e forma; contudo se o critério favorecer a forma mas não o volume ou a sobrevivência, serão preferidas proveniências da região 10.

A análise em componentes principais das proveniências com origem nas 4 classes de altitude anteriormente definidas e todas as características, encontra-se representada no Quadro 5, Quadro 6 e Figura 4.

As contribuições das variáveis para a formação dos eixos são muito semelhantes às obtidas na análise anterior. A classe de altitude D reune proveniências com comportamento fraco em altura e diâmetro mas melhores características de forma. As proveniências da classe de altitude A revelam o melhor comportamento geral, as da classe B revelam crescimento razoável mas são inferiores em características de forma. A classe de altitude C reune as proveniências com comportamento geral mais fraco. Num estudo já referido de proveniências em Espanha, ALÍA *et al*. (1995) afirmam que as proveniências que apresentaram um comportamento inferior em características de forma foram as de planícies e áreas costeiras, estando de acordo com os resultados obtidos no presente estudo, em que as melhores características de forma foram evidenciadas por proveniências de altitude no Escaroupim.

Quadro 5 - Vectores e valores próprios dos primeiros 4 eixos principais (Prin), e proporção simples e acumulada dos valores próprios, da análise em componentes principais referente às proveniências com origem em 4 classes de altitude, e todas as características

Vectores Próprios				
	Prin1	**Prin2**	**Prin3**	**Prin4**
Altura	-0,28	0,62	-0,03	0,21
Diâmetro	-0,36	0,53	0,29	0,18
Rectidão do fuste	0,40	0,27	-0,03	-0,52
Forma da copa	0,33	0,33	0,47	-0,42
Inserção dos ramos	0,50	0,10	0,16	0,43
Espessura dos ramos	0,49	0,05	0,05	0,54
Sobrevivência	0,18	0,37	-0,82	-0,05
Valores próprios	2,77	1,82	0,88	0,63
Proporção simples	0,40	0,26	0,13	0,09
Proporção acumulada	0,40	0,66	0,78	0,87

Quadro 6 - Coeficientes de correlação de Pearson e respectiva significância a 5% entre parênteses, entre as características e os primeiros 4 eixos principais (Prin) da análise em componentes principais referente às proveniências com origem em 4 classes de altitude, e todas as características

Coeficientes de Correlação de Pearson				
	Prin1	**Prin2**	**Prin3**	**Prin4**
Altura	-0,46 (<0,0001)	0,84 (<0,0001)	-0,02 (0,7632)	0,17 (0,0300)
Diâmetro	-0,60 (<0,0001)	0,71 (<0,0001)	0,27 (0,0004)	0,14 (0,0652)
Rectidão do fuste	0,66 (<0,0001)	0,37 (<0,0001)	-0,03 (0,7254)	-0,41 (<0,0001)
Forma da copa	0,55 (<0,0001)	0,45 (<0,0001)	0,44 (<0,0001)	-0,33 (<0,0001)
Inserção dos ramos	0,83 (<0,0001)	0,13 (0,0822)	0,15 (0,0572)	0,34 (<0,0001)
Espessura dos ramos	0,82 (<0,0001)	0,07 (0,3545)	0,05 (0,5559)	0,43 (<0,0001)
Sobrevivência	0,30 (<0,0001)	0,50 (<0,0001)	-0,77 (<0,0001)	-0,04 (0,6122)

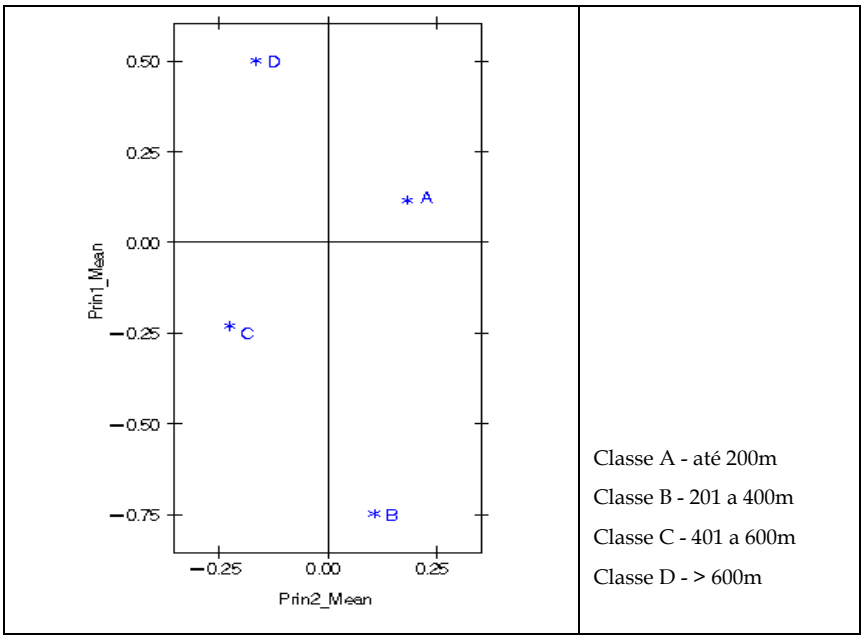


Figura 4 - Representação no plano dos dois eixos principais do comportamento das proveniências com origem em 4 classes de altitude (Classe A - até 200 m; Classe B - 201 a 400 m; Classe C - 401 a 600 m; Classe D - > 600 m), e todas as características

Relações entre as características

No Quadro 7 estão representadas as correlações fenotípicas obtidas com base em valores ajustados aos efeitos dos blocos, os quais permitem fornecer uma visão aproximada do impacto que a selecção de uma das características poderá ter noutra característica. Verifica-se que de um modo geral se mantêm as relações descritas em CORREIA *et al.* (2004) com base em valores não ajustados, observando-se agora correlações quase sempre um pouco mais fracas. Exceptuam-se a espessura dos ramos vs. forma da copa, e a sobrevivência vs. algumas das características, que apresentam agora correlações um pouco superiores.

Desenvolvimento de um índice de selecção

Foi desenvolvido um índice de selecção primário integrando todas as características estudadas à excepção da espessura dos ramos e sobrevivência, de acordo com o que foi exposto anteriormente em relação às estimativas de heritabilidade e erros padrão obtidos. Recorrendo à expressão apresentada e aos valores expressos no Quadro 8 , o índice utilizado foi o seguinte (COTERILL e DEAN 1990):

$I = 2{,}32\ P_{n\ Alt} + 1{,}12\ P_{n\ DAP} + 3{,}69\ P_{n\ Rectfuste} + 2{,}87\ P_{n\ Formcopa} + 2{,}55\ P_{n\ Insramos}$

Os índices atribuídos às proveniências encontram-se representados por ordem decrescente no Quadro 9, no qual se observa que, de acordo com os índices apresentados, a selecção das proveniências D1097, PCSE0102, PM33 E SN7901 poderá assegurar o melhor comportamento geral em crescimento e forma, tendo em conta os diferentes pesos atribuídos a estas características.

Quadro 7 - Coeficientes de correlação de Pearson e respectiva significância a 5% entre parênteses, das características analisadas recorrendo às médias das proveniências ajustadas aos efeitos dos blocos

Coeficientes de Correlação de Pearson							
	Altura	**Diâmetro**	**Rectidão do Fuste**	**Forma da Copa**	**Inserção dos Ramos**	**Espessura dos Ramos**	**Sobrevivência**
Altura	1,00						
Diâmetro	0,91 (<0,0001)	1,00					
Rectidão do fuste	-0,06 (0,3634)	-0,15 (0,0208)	1,00				
Forma da copa	-0,21 (0,0017)	-0,13 (0,0489)	0,34 (<0,0001)	1,00			
Inserção dos ramos	-0,26 (<0,0001)	-0,29 (<0,0001)	0,36 (<0,0001)	0,42 (<0,0001)	1,00		
Espessura dos ramos	-0,23 (0,0006)	-0,31 (<0,0001)	0,37 (<0,0001)	0,40 (<0,0001)	0,71 (<0,0001)	1,00	
Sobrevivência	0,24 (0,0003)	0,04 (0,5563)	0,18 (0,006)	0,05 (0,4624)	0,06 (0,3942)	0,10 (0,1272)	1,00

Quadro 8 - Valores do inverso do desvio padrão fenotípico ($1/\sigma_P$), coeficientes ponderados (w) e heritabilidades em sentido lato das várias características integrando o índice primário proposto

Característica	Inverso do Desvio Padrão Fenotípico ($1/\sigma_P$)	Coeficiente Ponderado (w)	Heritabilidade (H^2)	w . H^2
Altura	1,4936	2 x 1,4936 = 2,98	0,78	2,32
Diâmetro	0,8635	2 x 0,8635 = 1,72	0,65	1,12
Rectidão do fuste	3,5120	1,5 x 3,5120 = 5,27	0,70	3,69
Forma da copa	3,8238	3,8238	0,75	2,87
Inserção dos ramos	4,3945	4,3945	0,58	2,55

Quadro 9 – Valores dos índices atribuídos às proveniências

Proveniência	Índice	(cont.) Proveniência	(cont.) Índice
D1097	60,73	PMA30	55,53
PCSE0102	60,03	PM34	55,51
PM33	59,77	PL20	55,03
SN7901	59,57	PFF03	54,88
PM36	58,14	PA18	54,85
PMG46	57,54	PFF06	54,62
SN5063	57,26	PSP02	54,11
PMG12	57,12	CORSEGA	54,05
PMG52	56,98	PS45	53,97
PB42	56,85	GA82	53,69
PMC43	56,04	PL24	53,54
PMT40	56,00	PL26	52,33
PMA29	55,93	LANDPS62	52,04
PAS54	55,61	LANDES	51,59
PMB39	55,57	CUENCA	50,33

Ganhos esperados com a selecção por índice

As respostas esperadas pela selecção das proveniências D1097, PCSE0102, PM33 E SN7901, que apresentam os mais elevados valores de índice, encontram-se representadas no Quadro 10. Por exemplo, a selecção da proveniência D1097 poderá conduzir a um incremento de 0,56 m em altura (10,2% em relação à média do ensaio), 0,73 cm em diâmetro, mas a ganhos praticamente nulos nas características de forma (entre 2% a 6% em relação à média do ensaio).

Quadro 10 - Ganhos esperados com a selecção das 4 proveniências com os mais elevados valores de índice (entre parênteses: valor percentual em relação ao valor médio da característica)

	D1097	**PCSE0102**	**PM33**	**SN7901**
Altura	0,56 (10,2)	0,39 (7,0)	0,40 (7,2)	0,48 (8,6)
Diâmetro	0,73 (7,5)	0,42 (4,3)	0,67 (6,9)	0,73 (7,5)
Rectidão do fuste	0,24 (6,4)	0,35 (9,3)	0,23 (6,1)	0,25 (6,7)
Forma da copa	0,14 (4,3)	0,20 (6,0)	0,05 (1,5)	0,05 (1,6)
Inserção dos ramos	0,08 (2,3)	-0,02 (-0,6)	0,09 (2,6)	-0,06 (-1,8)

Comparação de resultados com diferentes amostragens

Uma vez que se pretende efectuar uma selecção por índice, em que são consideradas simultaneamente as características anteriormente referidas, este estudo seguiu o mesmo critério, a fim de poderem ser efectuadas comparações globais. No Quadro 11 são apresentados os escalonamentos dos índices obtidos utilizando um número diferente de observações por unidade experimental. Este estudo implicou, para cada grupo de observações, novos cálculos dos valores médios das unidades experimentais, de heritabilidades e valores médios estimados para as proveniências, de forma a permitir a construção dos respectivos índices.

Verifica-se que com as amostragens de 8, 7, 6 e 4 observações não houve alteração das proveniências que se encontram nos primeiros quatro lugares, excepto quanto à ordem em que se colocam. Na amostragem baseada em 5 observações, três das primeiras quatro proveniências são comuns a todas as amostragens, e a outra proveniência (PM36) ocupa o 5º lugar com a amostragem de 8 observações, podendo concluir-se que a sua selecção não representa um erro de graves proporções. Com 8 ou 7 observações, a ordem das primeiras quatro proveniências é exactamente igual. Com menor número de observações, vão ocorrendo permutas na ordem em que se dispõem as proveniências.

Quadro 11 - Escalonamento das proveniências segundo os índices calculados com diferentes dimensões da amostra

Proven	Índice 4 obs	Proven	Índice 5 obs	Proven	Índice 6 obs	Proven	Índice 7 obs	Proven	Índice 8 obs
PCSE0102	51,64	PCSE0102	54,40	PM33	56,89	D1097	59,87	D1097	60,73
D1097	51,45	D1097	54,00	D1097	56,26	PCSE0102	59,09	PCSE0102	60,03
PM33	51,27	PM36	53,45	PCSE0102	56,20	PM33	59,03	PM33	59,77
SN7901	50,91	SN7901	52,88	SN7901	56,09	SN7901	58,50	SN7901	59,57
PMG52	50,32	PM33	52,79	PMG46	54,76	PM36	56,95	PM36	58,14
PMG46	49,81	SN5063	51,84	SN5063	54,26	PMG46	56,64	PMG46	57,54
PMG12	49,54	PMG52	51,71	PM36	53,92	PMG12	56,25	SN5063	57,26
PM36	49,35	PB42	51,27	PMG12	53,90	PB42	56,18	PMG12	57,12
SN5063	49,06	PMG46	50,81	PB42	53,82	SN5063	56,05	PMG52	56,98
PMT40	48,69	PMG12	50,37	PMG52	53,44	PMG52	55,83	PB42	56,85
PM34	48,62	PM34	50,29	PMT40	52,94	PMA29	55,21	PMC43	56,04
PB42	48,51	PMC43	50,18	PAS54	52,64	PMC43	55,16	PMT40	56,00
PMC43	48,43	PAS54	50,04	PMC43	52,59	PM34	54,95	PMA29	55,93
PMA29	48,13	PMA29	49,94	PMA29	52,53	PMT40	54,91	PAS54	55,61
PL20	48,02	PMB39	49,81	PMA30	52,53	PMA30	54,66	PMB39	55,57
PAS54	47,97	PMT40	49,60	PMB39	52,21	PAS54	54,44	PMA30	55,53
PMB39	47,24	PL20	49,60	PM34	52,19	PMB39	54,15	PM34	55,51
PSP02	46,96	PFF03	49,48	PFF06	51,95	PFF06	54,06	PL20	55,03
PA18	46,91	PMA30	49,45	PL20	51,89	PA18	53,91	PFF03	54,88
PS45	46,71	PA18	49,12	PFF03	51,77	PL20	53,79	PA18	54,85
PFF06	46,71	PS45	48,79	PL24	51,14	PFF03	53,59	PFF06	54,62
PL24	46,70	PFF06	48,55	PA18	51,14	PSP02	53,29	PSP02	54,11
PMA30	46,56	PL24	48,31	PSP02	50,88	PS45	53,23	CORSEGA	54,05
CORSEGA	46,53	GA82	47,82	PS45	50,77	CORSEGA	53,12	PS45	53,97
PFF03	46,48	PSP02	47,42	GA82	50,68	GA82	52,18	GA82	53,69
GA82	46,20	CORSEGA	47,38	CORSEGA	50,29	PL24	52,04	PL24	53,54
PL26	45,10	LANDPS62	46,77	PL26	49,18	LANDPS62	51,61	PL26	52,33
LANDPS62	45,01	PL26	46,70	LANDPS62	48,90	PL26	51,00	LANDPS62	52,04
LANDES	43,78	LANDES	46,20	LANDES	48,75	LANDES	50,83	LANDES	51,59
CUENCA	42,57	CUENCA	44,20	CUENCA	46,19	CUENCA	49,18	CUENCA	50,33

Discussão

A análise gráfica do comportamento das proveniências no conjunto das características revelou que não se definem agrupamentos de proveniências, o que a nível nacional poderá em parte ser explicado pelo amplo fluxo génico verificado no século passado, consequência da utilização de mistura de semente para arborização (RADICH e ALVES, 2000). O distanciamento manifestado por CORSEGA, com menor vigor e superiores características de forma, está de acordo com os resultados obtidos por outros autores (DANJON, 1994; ALÍA *et al*., 2001; HOPKINS e BUTCHER, 1993). O melhor comportamento geral de PCSE0102, D1097, PM33, SN7901 confirma a obtenção de resultados superiores pela utilização de semente seleccionada ou testada e abre perspectivas para a integração de PM33 em acções de melhoramento. Assinala-se que o comportamento desta proveniência se revela superior ao das proveniências da Marinha Grande (Leiria), as quais se destacaram já em vários ensaios como líderes em crescimento (ALIA *et al.*, 1995; DANJON, 1994; HOPKINS e BUTCHER, 1993).

As regiões de proveniência que se encontram representadas no ensaio revelam uma oposição entre a região de proveniência restrita de Manteigas e a região de Monção. As populações analisadas de Manteigas detêm (no Escaroupim) melhores características de

forma mas menor vigor, às de Monção pertence o melhor comportamento geral, as da Marinha Grande produzem material com comportamento médio em relação às 11 populações aqui analisadas, as da região de Arganil (Lousã) demonstraram reduzidas aptidões nestas condições. Esta análise sugere que se considere a utilização de material de Monção para obter o melhor comportamento geral no Escaroupim, estando aqui desaconselhado material da região de Arganil (Lousã).

Foi também possível observar graficamente que as proveniências de altitude se associam a melhor forma e pior crescimento no Escaroupim, e que as proveniências que apresentam melhor comportamento geral são oriundas da mesma classe de altitude deste local. A altitude como factor influenciando o comportamento do pinheiro bravo foi referida por ALIA *et al.* (1995), tendo os autores verificado que os padrões de variação das proveniências para o conjunto das características estudadas (altura total, diâmetro, sobrevivência e frequência de policiclismo) não eram estritamente geográficos, uma vez que proveniências próximas mas de altitudes diferentes revelaram comportamentos muito diversos. O mesmo ensaio foi recentemente avaliado (ALÍA *et al*., 2001), confirmando-se, em linhas gerais, os resultados obtidos anteriormente.

As correlações fenotípicas obtidas com os valores das proveniências ajustados aos efeitos dos blocos parecem indiciar que a selecção para uma das características de crescimento (altura ou diâmetro) implica um melhoramento indirecto considerável na outra característica. Contudo a selecção para estas características de crescimento poderá implicar uma resposta negativa, embora fraca, das características forma da copa, ângulo de inserção dos ramos e espessura dos mesmos. A selecção para a rectidão do fuste ou para a altura poderá favorecer de forma fraca a sobrevivência.

O índice primário elaborado teve como objectivo possibilitar uma selecção mais eficiente das proveniências para o conjunto de algumas das características analisadas (altura, diâmetro, rectidão do fuste, forma da copa e ângulo de inserção dos ramos), atribuindo um peso maior a características de maior importância económica como altura, diâmetro e rectidão do fuste. É previsível que os ganhos em características individuais diminuam com o aumento do número de características incluídas no índice, pelo que poderá ser conveniente a utilização de índices de selecção com menos características. As futuras avaliações nos vários locais de ensaio implicarão a elaboração de índices diferentes para cada local, o que parece aconselhável uma vez que representam regiões distintas. Contudo, poderia ser vantajosa a elaboração dum único índice geral baseado em valores padrão que representassem o mais correctamente possível os parâmetros de vários locais (COTERILL e DEAN, 1990).

No escalonamento das proveniências segundo o índice proposto evidenciam-se as proveniências D1097, PCSE0102, PM33 e SN7901, com melhor comportamento geral neste local. Assinala-se que o mesmo conjunto já se revelava graficamente na análise em componentes principais, como aquele que apresentava o melhor comportamento geral. A existência das dependências anteriormente descritas entre características, poderão contudo influenciar a resposta esperada da selecção pelo índice proposto.

As simulações efectuadas com diferentes números de observações por unidade experimental conduziram a algumas diferenças no escalonamento das proveniências obtido através do índice. Os resultados sugerem que 4 observações por unidade experimental poderão ser suficientes para seleccionar as primeiras 4 proveniências em 30. Contudo não permitem a escolha da melhor proveniência para o local, uma vez que com 8 observações a ordem em que se colocam as 4 primeiras proveniências poderá ser diferente. O critério de escolha deverá ter em conta o rigor pretendido na selecção, o tempo implicado, a disponibilidade da equipa e os custos financeiros associados.

Conclusões

As proveniências D1097, PCSE0102, PM33 e SN7901 destacam-se, quer na representação gráfica da análise em componentes principais, quer no escalonamento segundo os índices estimados, como o material que apresenta o melhor comportamento geral em condições semelhantes ao Escaroupim, permitindo obter ganhos em altura e diâmetro até 0,56 m e 0,73 cm respectivamente. Ainda nestas condições e considerando as regiões de proveniência analisadas, deve ser dada preferência à utilização de material de Monção. Das proveniências de altitude podemos esperar melhores características de forma mas menor vigor.

Poderá ser considerada a redução do número de observações em cada unidade experimental neste local para 4, desde que o critério de selecção não exija a selecção da melhor proveniência, mas apenas dum grupo de 4 melhores proveniências para estas condições. Este critério permitiria uma importante redução de tempo, recursos financeiros e humanos despendidos, viabilizando as medições nos outros locais.

Bibliografia

ALÍA, R., GALERA, R., MARTÍN, S., 1999. *Mejora genética y masas productoras de semilla de los pinares españoles*. Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y alimentaria - MAPA.

ALÍA, R., GIL, L., PARDOS, J.A., 1995. Performance of 43 *Pinus pinaster* Ait. Provenances on 5 Locations in Central Spain. *Silvae Genetica* **44**(2-3) : 75-81.

ALÍA, R., GIL, L., PARDOS, J.A., CATALÁN, G., 1991. Interacción procedencia-edad en 52 procedencias de *Pinus pinaster* Ait. en España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* **0** : 11-24.

ALÍA, R., MORO, J., DENIS, J.B., 2001. Ensayos de procedencias de *Pinus pinaster* Ait. en el centro de España: resultados a la edad de 32 años. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* **10**(2) : 333-354.

BAHRMAN, N., BARADAT, P., PETIT, R., 1992. *Structuration de la variabilité génétique du pin maritime dans l'ensemble de son aire naturelle. Hypothèses explicatrices*. In Actes du colloque international, Paris 1992.

BAHRMAN, N., ZIVY, M., DAMERVAL, C., BARADAT, P., 1994. Organisation of variability of abundant proteins in seven geographical origins of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Theoretical and Applied Genetics* **88** : 407-411.

BARADAT, P., MARPEAU, A., 1988. *Le pin maritime Pinus pinaster* Ait.: *Biologie et génétique des terpènes pour la connaissance et l'amélioration de l'éspèce*. PhD Thesis, Université de Bordeaux.

BORRALHO, N.M., 1991. *Genetic Improvement of Eucalyptus globulus* Labill. ssp. *globulus for Pulp Production.* Ph.D. Thesis, Oxford.

CARNEIRO, M., LOBO, P., SOUSA, H., CARRASQUINHO, I., CORREIA, I., AGUIAR, A., 2001. Estudos de Base para a Delimitação de Regiões de Proveniência de Pinheiro Bravo. *Silva Lusitana* **9**(1) : 35-46.

CASTRO, L.F.T., 1989. *Isoenzimas da Pinus pinaster* Ait. *numa perspectiva de aplicação ao melhoramento genético da espécie.* Tese de doutoramento, Universidade de Trás-os--Montes e Alto Douro.

CORREIA, I., ALMEIDA, H., AGUIAR, A., ROCHA, E., PESSOA, J., 2004. Variabilidade do crescimento e da forma de proveniências de *Pinus pinaster* Aiton aos 8 anos, na Mata Nacional do Escaroupim. *Silva Lusitana* **12**(2) : 151-182

COTERILL P.P., DEAN, C.A., 1990. *Successful Tree Breeding with Index Selection*. Ed. CSIRO, Australia.

DANJON, F., 1994. Stand Features and Height Growth in a 36-Year-Old Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.) Provenance Test. *Silvae Genetica* **43** : 1:52-62.

DESTREMEAU, D.X., JOLLY, H., THARI, T., 1976. Contribution à la connaissance des provenances de *Pinus pinaster*. *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*. **16** : 101-153.

DIRECÇÃO GERAL DAS FLORESTAS, 2000. *Distribuição das Florestas em Portugal Continental: 3ª Revisão do Inventário Florestal Nacional*. Divisão de Inventário e Estatísticas Florestais.

GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C., AGÚNDEZ, D., ALÍA, R., SALVADOR, L., GIL, L., 2001. Geographical variation of gene diversity of *Pinus pinaster* Ait. in the Iberian Peninsula. In: Müller-Starck G, Shubert R (eds) - *Genetic Response of Forest Systems to Changing Environmental Conditions*. Kluwer Academic Press. Dordrecht, London.

GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C., ALÍA, R., GIL, L., 2002. Population genetic structure in a Mediterranean pine (*Pinus pinaster* Ait.): a comparison of allozyme markers and quantitative traits. *Heredity* **89** : 199-206.

HARFOUCHE, A., KREMER, A., 2000. Provenance hybridization in a diallel mating scheme of maritime pine (*Pinus pinaster*). I. Means and variance components. *Canadian Journal of Forest Research* **30** : 1-9.

HOPKINS, E.R., BUTCHER, T.B., 1993. Provenance comparisons of *Pinus pinaster* Ait. in Western Australia. *CalmScience* **1**(1) : 55-105.

JOHNSON, R.A., WICHERN, D.W., 1992. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 3rd edition, ed. Prentice-Hall International, Inc.

MARIETTE, S., CHAGNE, D., LEZIER, C., PASTUSZKA, P., BAFFIN, A., PLOMION, C., KREMER, A., 2001. Genetic diversity within and among *Pinus pinaster* populations: comparison between AFLP and microsatellite markers. *Heredity* **86** : 469-479.

MATZIRIS, D.I., 1982. Variation in growth and quality characters in *Pinus pinaster* provenances grown at seven sites in Greece. *Silvae Genetica* **31** : 168-173.

NANSON, A., 1970. L'Héritabilité et le gain d'origine génétique dans quelques types d'expériences. *Silvae Genetica*. 19, Heft 4.

PETIT, R.J., BAHRMAN, N., BARADAT, P., 1995. Comparison of genetic differentiation in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) estimated using isozyme, total protein and terpenic loci. *Heredity* **75** : 382-389.

RADICH, M.C.E., ALVES, A.M., 2000. *Dois Séculos da Floresta em Portugal*. Celpa-Associação da Indústria Papeleira, Lisboa.

RIBEIRO, M.M., 2001. *Genetics of Pinus pinaster Aiton with Cytoplasmic and Nuclear Markers*. PhD Thesis. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. *Silvestria* 177, Swedish Un. of Agr. Sciences.

SALVADOR, L., ALÍA, R., AGÚNDEZ, D., GIL, L., 2000. Genetic variation and migration pathways of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) in the Iberian peninsula. *Theoretical and Applied Genetics* **100** : 89-95.

SILVA, J.M., 1996. *Clonal Variation in Wood Quality, Growth and Growth Rhythm in Young Sitka Spruce (Picea sitchensis* (Bong.) Carr.*):Indirect Assessment of Wood Density and Lignin Amount, Estimation of Quantitative Genetic Parameters and Index Selection for Improved Pulpwood*. Ph.D. Thesis, Arboretum, Hørsholm.

SIMSEK, Y., TULUKCU, M., TOPLU, F., 1985. Studies on the variation in growth and quality characteristics of *Pinus pinaster* (Ait.) provenance trials in Turkey. *Ormancilik Arastirma Enstitusu Yayinlari*, Ankara, Tek. Bul. Ser. Nº 149.

SOUSA, H., 1998. *Catálogo nacional de materiais de base*. 1ª ed., Direcção Geral das Florestas. Lisboa.

VENDRAMIN, G.G., ANZIDEI, M., MADAGHIELE, A., BUCCI, G., 1998. Distribution of genetic diversity in *Pinus pinaster* Ait. as revealed by chloroplast microsatellites. *Theoretical and Applied Genetics* **97** : 456-463.

Entregue para publicação em Julho de 2004
Aceite para publicação em Fevereiro de 2005