

JOSÉ HAMILTON DA COSTA FILHO

**NOVAS ABORDAGENS ESTATÍSTICAS NA ANÁLISE DE
EXPERIMENTOS DE CONSÓRCIOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de DoctorScientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C837n
2014 Costa Filho, José Hamilton, 1986-
Novas abordagens estatísticas na análise de
experimentos de consórcios / José Hamilton Costa Filho. -
Viçosa, MG, 2014.
vi, 23f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Luiz Antônio dos Santos Dias.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Fitotecnia. 2. Cultivo consorciado. 3. Pinhão manso.
4. Feijão Caupi. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação
em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 630

JOSÉ HAMILTON DA COSTA FILHO

**NOVAS ABORDAGENS ESTATÍSTICAS NA ANÁLISE DE
EXPERIMENTOS DE CONSÓRCIOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Aprovada: 14 de agosto de 2014.

Robson Fernando Missio

Larissa de Oliveira Fontes

Felipe Lopes da Silva
(Coorientador)

Leonardo Duarte Pimentel

Luiz Antônio dos Santos Dias
(Orientador)

À meu avô Jonas Regis (in memorian),
À minha sobrinha e afilhada Ana Letícia,
À meus pais José Hamilton e Francisca Regis, pelo amor incondicional, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus em sua infinita bondade por todas as oportunidades a mim dadas.

À Universidade Federal de Viçosa, em particular ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização desse curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Luiz Antônio dos Santos Dias pela orientação, compreensão, apoio, paciência, ensinamentos, confiança e valiosa contribuição.

Aos professores Felipe Lopes da Silva, Carlos Nick Gomes, Leonardo Duarte Pimentel e Carlos Eduardo Magalhães dos Santos pela disponibilidade para participar de minha banca de qualificação e pelas relevantes contribuições.

Ao professor Felipe Lopes da Silva pela disponibilidade para Coorientação deste trabalho de tese.

À professora Larissa de Oliveira Fontes pela participação efetiva na síntese deste trabalho.

Ao professor Manoel Abilio de Queiroz pela disponibilidade para contribuição técnica e aconselhamento profissional a pronto momento.

Aos meus grandes amigos Leandro de Souza Rocha, Danilo Batista Pinho, AthusDiêgo e Diêgo Rodrigues Soares Nogueira por todo apoio e companheirismo neste período difícil de permanência em Viçosa.

Aos meus pais José Hamilton da Costa, mãe Francisca das Chagas Regis da Costa, irmã Micaelly Regis da Costa e sobrinha Leticia Regis de Paula pelas orações, torcida e incentivo.

Aos amigos do grupo Jatropha de pesquisa de melhoramento de oleaginosas da UFV.

E, finalmente, a todos aqueles que de forma direta ou indireta colaboraram para realização desta pesquisa.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi

ARTIGO

NOVAS ABORDAGENS ESTATÍSTICAS PARA ANÁLISE DE DADOS EXPERIMENTAIS DE CONSÓRCIOS	1
RESUMO	2
ABSTRACT	3
1 INTRODUÇÃO	3
2 MATERIAL E MÉTODOS	5
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
4 CONCLUSÃO	18
REFERÊNCIAS	18

RESUMO

COSTA FILHO, José Hamilton da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2014. **Novas abordagens estatísticas na análise de experimentos de consórcios.** Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias. Coorientador: Felipe Lopes da Silva.

A avaliação de métodos estatísticos de determinação da eficiência de consórcios é recente. Trabalhos com o tema ainda são insipientes na literatura. Em geral, as aplicações foram feitas para avaliação de métodos paramétricos e não paramétricos. Entretanto, ainda existe a demanda por um método generalizado para processar dados desta natureza. Dados experimentais de consórcio de cultivos são frequentemente analisados pelo método convencional de análise de variância (anava), seguido de teste comparativo de médias. No presente trabalho foram abordados este e outros métodos estatísticos para processamento de dados simulados de um consórcio pinhão manso x feijão caupi, visando compará-los entre si e com o método convencional, e recomendar um método de aplicação geral em experimentos com sistemas consorciados. O banco de dados foi obtido por simulação de parcelas com o software R. O delineamento experimental considerado foi blocos completos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 2×7 , sendo dois níveis (90 e 100% da população recomendada no cultivo solteiro - PRCS) de pinhão manso, espaçamento 4×2 m e sete níveis (40; 50; 60; 70; 80; 90 e 100% da PRCS) de feijão caupi. As variáveis analisadas no pinhão manso foram rendimento em consórcio ($t\ ha^{-1}$), massa de sementes ($t\ ha^{-1}$), rendimento de óleo ($L\ ha^{-1}$) e renda bruta (R\$). No feijão caupi foram determinados rendimento ($t\ ha^{-1}$) e renda bruta (R\$). As metodologias avaliadas foram anava com aplicação do teste de Tukey, análise multivariada de variâncias, análise bivariada de variâncias, índice de eficiência do uso da terra (UET), índice de competitividade, índice de eficiência DEA, Análise multicritério de apoio à decisão de Copeland e análise de agrupamento hierárquico de Ward. A utilização do UET_{TOTAL} , associado à análise gráfica bivariada ou de agrupamento hierárquico, pode ser aplicada com sucesso ao processamento de dados de qualquer sistema consorciado.

ABSTRACT

COSTA FILHO, José Hamilton da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August of 2014. **New statistical approaches in analysis of the intercroppings experiment.** Adviser: Luiz Antônio dos Santos Dias. Co-adviser: Felipe Lopes da Silva.

The evaluation of statistical methods for determining the efficiency of intercroppings is recent. Studies with the theme are still incipient in the literature. In general, applications were made for evaluating parametric and non-parametric methods. However, the demand for a generalized method for processing data of this nature is there. Experimental data of intercropping are frequently analyzed by the conventional method of variance analysis (ANOVA), followed by comparative means test. In the present study were discussed this and other statistical methods for processing simulated data of a consortium *Jatropha* x Bean Cowpea, in order to compare them with other and with the conventional method, and to recommend a general application method in experiments with intercropping systems. The database was obtained by simulation plots with the software R. The experimental design was a randomized block design with four replications. The treatments were arranged in a factorial 2x7, being two levels (90 and 100% of the recommended population in monocropping - PRCS) of *jatropha*, with 4 x 2 m and seven levels (40; 50; 60; 70; 80; 90 and 100% of PRCS) of bean cowpea. The variables analyzed in *jatropha* were consortium yield ($t\ ha^{-1}$), seed mass ($t\ ha^{-1}$), oil yield ($L\ ha^{-1}$) and gross income (R\$). In bean cowpea were determined yields ($t\ ha^{-1}$) and gross income (R\$). The evaluated methodologies were anava with application of the Tukey test, multivariate analysis of variance, bivariate analysis of variance, land use efficiency index (UET), competitiveness index, efficiency index DEA, multicriteria analysis to support decision of Copeland and Ward hierarchical cluster analysis. The use of UET_{TOTAL} associated with the bivariate graphical analysis or hierarchical cluster can be successfully applied in the data processing of any intercropping system.

ARTIGO

**NOVAS ABORDAGENS ESTATÍSTICAS PARA ANÁLISE DE
DADOS EXPERIMENTAIS DE CONSÓRCIOS**

1 **Novas abordagens estatísticas para análise de dados experimentais de consórcios**

2

3 **RESUMO** – Dados experimentais de consórcio de cultivos são frequentemente
4 analisados pelo método convencional de análise de variância (anava), seguido de teste
5 comparativo de médias. No presente trabalho foram abordados este e outros métodos
6 estatísticos para processamento de dados simulados de um consórcio pinhão manso x
7 feijão caupi, visando compará-los entre si e com o método convencional, e recomendar
8 um método de aplicação geral em experimentos com sistemas consorciados. O banco de
9 dados foi obtido por simulação de parcelas com o software R. O delineamento
10 experimental considerado foi blocos completos ao acaso, com quatro repetições. Os
11 tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 2x7, sendo dois níveis (90 e 100% da
12 população recomendada no cultivo solteiro - PRCS) de pinhão manso, espaçamento 4 x
13 2 m e sete níveis (40; 50; 60; 70; 80; 90 e 100% da PRCS) de feijão caupi. As variáveis
14 analisadas no pinhão manso foram rendimento em consórcio ($t\ ha^{-1}$), massa de sementes
15 ($t\ ha^{-1}$), rendimento de óleo ($L\ ha^{-1}$) e renda bruta (R\$). No feijão caupi foram
16 determinados rendimento ($t\ ha^{-1}$) e renda bruta (R\$). As metodologias avaliadas foram
17 anava com aplicação do teste de Tukey, análise multivariada de variâncias, análise
18 bivariada de variâncias, índice de eficiência do uso da terra (UET), índice de
19 competitividade, índice de eficiência DEA, Análise multicritério de apoio a decisão de
20 Copeland e análise de agrupamento hierárquico de Ward. A utilização do UET_{TOTAL} ,
21 associado à análise gráfica bivariada ou de agrupamento hierárquico, pode ser aplicada
22 com sucesso ao processamento de dados de qualquer sistema consorciado.

23 **Palavras-chave:** Uso eficiente da terra. Análise envoltória de dados. Método
24 multicritério de apoio à decisão. Análise bivariada de variância. Análise univariada de
25 variância.

26 **ABSTRACT** - Experimental data of intercropping are frequently analyzed by the
27 conventional method of variance analysis (ANOVA), followed by comparative means
28 test. In the present study were discussed this and other statistical methods for processing
29 simulated data of a consortium *Jatropha* x Bean Cowpea, in order to compare them with
30 other and with the conventional method, and to recommend a general application
31 method in experiments with intercropping systems. The database was obtained by
32 simulation plots with the software R. The experimental design was a randomized block
33 design with four replications. The treatments were arranged in a factorial 2x7, being two
34 levels (90 and 100% of the recommended population in monocropping - PRCS) of
35 *jatropha*, with 4 x 2 m and seven levels (40; 50; 60; 70; 80; 90 and 100% of PRCS) of
36 bean cowpea. The variables analyzed in *jatropha* were consortium yield ($t\ ha^{-1}$), seed
37 mass ($t\ ha^{-1}$), oil yield ($L\ ha^{-1}$) and gross income (R\$). In bean cowpea were determined
38 yields ($t\ ha^{-1}$) and gross income (R\$). The evaluated methodologies were anova with
39 application of the Tukey test, multivariate analysis of variance, bivariate analysis of
40 variance, land use efficiency index (UET), competitiveness index, efficiency index DEA,
41 multicriteria analysis to support decision of Copeland and Ward hierarchical cluster
42 analysis. The use of UET_{TOTAL} associated with the bivariate graphical analysis or
43 hierarchical cluster can be successfully applied in the data processing of any
44 intercropping system.

45 **Key words:** Land use efficiency index. Data envelopment analysis. Multicriteria decision
46 support method. Bivariate analysis of variance. Univariate analysis of variance.

47 **INTRODUÇÃO**

48 Definição de hipóteses, planejamento, condução experimental, e análise de
49 dados são procedimentos essenciais para a confiabilidade de resultados obtidos em um
50 experimento. De forma geral, delineamento experimental e procedimentos analíticos

51 para processamento de dados são definidos ainda na etapa de planejamento
52 experimental (DIAS e BARROS, 2009). A definição prévia destes procedimentos é
53 simplificada para os delineamentos básicos e seus arranjos. No entanto, essa definição
54 pode ser complexa para a avaliação de mais de uma fonte de variação no mesmo
55 experimento. Ensaio com sistemas de cultivos em consórcio caracterizam este fato e
56 geram controvérsias quanto à definição da metodologia de processamento de dados
57 adequada.

58 Cultivo consorciado consiste na exploração de duas ou mais espécies vegetais
59 simultaneamente (tratamentos) em uma parcela experimental. Trabalhos de avaliação de
60 métodos de determinação da eficiência de consórcios são recentes e raros na literatura.
61 De forma geral, estão voltados para avaliação de métodos não paramétricos e
62 multivariados. Isso se deve à natureza multivariada dos dados resultantes da avaliação
63 conjunta de caracteres agrônômicos e econômicos (BEZERRA et al., 2007a).
64 Contrastando com os métodos paramétricos apresentados por Federer (1993), a análise
65 estatística em nível de parcela foi sugerida por Bezerra et al. (2007a) com modelos de
66 análise envoltória de dados (DEA). O processamento do modelo DEA em cada parcela é
67 justificado pela probabilidade de existência de correlação positiva ou negativa entre
68 elas. Dessa forma, métodos que utilizam apenas a média aritmética são colocados em
69 dúvida para o processamento de dados de consórcios (MELO et al., 2005).

70 A viabilidade na utilização de técnicas como DEA, Análise Bivariada de
71 Variância, Multicritério de Apoio à Decisão, (BEZERRA et al., 2007a; 2007b) e de
72 indicadores agro-econômicos para a produtividade biológica do consórcio cenoura x
73 alface (BEZERRA et al., 2007c) foi verificada pelos respectivos autores. Os métodos
74 recomendados, exceto o de análise bivariada, são objeto de estudo da relação funcional
75 entre recursos e produtos pela pesquisa operacional, subárea da engenharia de produção.

76 Dessa forma, fica explícita a demanda fitotécnica por aplicação das técnicas
77 recomendadas e de outras passíveis de aplicação, em dados biométricos de consórcios.

78 O objetivo deste trabalho foi à aplicação de novos métodos analíticos para
79 processamento de dados de um consórcio pinhão manso (*Jatropha curcas*) x feijão caupi
80 (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e a recomendação de um método de aplicação geral para
81 sistemas consorciados.

82 MATERIAL E MÉTODOS

83 O processamento foi realizado no laboratório de dados da Universidade Federal
84 do Piauí (UFPI), Campus Professora Cinobelina Elvas (CPCE), município de Bom
85 Jesus, estado do Piauí.

86 O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos ao acaso, com
87 quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 2x7. O
88 primeiro fator foi composto por dois níveis referentes a 90 e 100% da população
89 recomendada no cultivo solteiro (PRCS) do pinhão manso, cujo espaçamento padrão
90 considerado foi 4 x 2 m (DIAS et al., 2007). O segundo fator foi composto por sete
91 níveis referentes a 40; 50; 60; 70; 80; 90 e 100% da PRCS de feijão caupi, cujo padrão
92 foi de, aproximadamente, 50 mil plantas (CARDOSO et al., 1997).

93 As variáveis analisadas no pinhão manso foram rendimento, em $t\ ha^{-1}$, no
94 consórcio (RPC), massa de sementes (MSPC) ($t\ ha^{-1}$), rendimento de óleo (ROPC), em
95 $L\ ha^{-1}$, baseado no teor máximo de 38,9% relatado por Kaushik et al. (2007) e renda
96 bruta (RBPC) estimada a partir de R\$ 1,85 L^{-1} de óleo (BARROSO et al., 2014). No
97 feijão caupi, o rendimento (RFC) ($t\ ha^{-1}$) e a renda bruta (RBFC) estimada a partir do
98 valor de R\$ 2,30 kg^{-1} no mercado público do município de Bom Jesus, Piauí, em
99 novembro de 2014.

Os dados do experimento foram obtidos por simulação utilizando a função `rnorm()` do software R versão 3.2.0. A função foi inserida na expressão `y<-matrix(rnorm(), mean = (), sd = sqrt()))` para obtenção dos valores estimados das parcelas. Onde `y` é um vetor de quatro números pseudo-aleatórios, `mean` é a média estabelecida, `sd = sqrt` corresponde à variância na distribuição normal. De forma que a distribuição de parcelas (Y_i) em cada tratamento tem distribuição aproximadamente normal, ou seja,

Para utilização da função `rnorm()` foram determinadas, arbitrariamente, as produtividades médias de tratamentos do pinhão manso e do feijão caupi em consórcio e as respectivas variâncias e . A produtividade máxima do pinhão manso no consórcio correspondeu a produtividade média em cultivo solteiro (5 t ha^{-1}) (TEIXEIRA, 2005). A produtividade máxima para o feijão, com base na região Nordeste do Brasil, foi $0,03 \text{ t ha}^{-1}$ (ANDRADE JÚNIOR et al., 2003). As produtividades médias de pinhão manso com 90 e 100% da PRCS em consórcio com 100; 90; 80; 70; 60; 50 e 40% PRCS de feijão caupi foram, respectivamente, T1 (), T2 (), T3 (), T4 (), T5 (), T6 (), T7 (), T8 (), T9 (), T10 (), T11 (), T12 (), T13 (,50) e T14 (). Considerou-se, arbitrariamente, 10% de perda em produtividade do pinhão manso a cada 10% de aumento na população de feijão.

Os métodos estatísticos utilizados para processamento foram à análise univariada de variância (ANAVA) (FISHER, 1971; FEDERER, 1993), com aplicação do teste de Tukey ($p < 0,05$), análise multivariada de variância (MANAVA), análise bivariada de variância (FEDERER, 1993; PEARCE e GILLIVER, 1979), índice de eficiência do uso da terra (UET) de Willey (1979), índice de competitividade (IC) de

125 Willey e Rao (1981), índice de eficiência DEA (Data Envelopment Analysis) de Charnes
 126 e Cooper (1962), aplicado às médias de tratamentos após a ANAVA, análise
 127 multicritério de apoio à decisão de Copeland e análise de agrupamento hierárquico de
 128 Ward (WARD, 1963).

129 A análise univariada de variância (ANAVA) e o teste de Tukey foram
 130 processados com o software R versão 3.2.0 (R CORE TEAM, 2014). A análise
 131 bivariada de variâncias foi realizada utilizando o módulo estatístico do Excel, para
 132 processamento do método de Pearce e Gilliver (1979). Foi feita a transformação das
 133 variáveis Y_A e Y_B referentes às produtividades em consórcio do pinhão manso (RPC) e
 134 do feijão caupi (RFC). Foram utilizados o quadrado médio do resíduo da ANAVA do
 135 RGPC (QMRPC), quadrado médio do resíduo da ANAVA do RGFC (QMRFC) e
 136 produto médio do resíduo da análise dos rendimentos do pinhão manso e feijão caupi
 137 consorciados (PMRPFC) (1):

$$\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{A_i} - \bar{Y}_A)^2}{n-1} + \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{B_i} - \bar{Y}_B)^2}{n-1}$$

138 As variáveis X_A e X_B , não correlacionadas, foram obtidas, respectivamente, por 2 e 3:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{A_i} - \bar{Y}_A)^2}{n-1} \quad \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{B_i} - \bar{Y}_B)^2}{n-1}$$

139 atendendo as restrições ortogonalidade e .

140 Os índices de eficiência baseados no uso eficiente da terra (UET) foram
 141 calculados utilizando Excel. O UET (WILLEY, 1979; OYEJOLA e MEAD, 1982) foi
 142 obtido por 4:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{A_i} - \bar{Y}_A)^2}{n-1} \quad \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{B_i} - \bar{Y}_B)^2}{n-1}$$

143 onde, Y_{RPC} é o rendimento de grãos do pinhão manso em consórcio; Y_{RPS} é o
 144 rendimento de grãos do pinhão manso solteiro; Y_{RFC} é o rendimento de grãos do feijão

caupi em consórcio, Y_{RFS} é o rendimento de grãos do feijão caupi solteiro. O UET parcial (UET_{PARC}) do pinhão manso (UET_{PARCp}) e do feijão caupi (UET_{PARCi}) foram obtidos, respectivamente, por 5 e 6:

onde, UET_{PARC} próximo de 1 indica eficiência do cultivo consorciado em relação ao solteiro. O índice de competitividade entre culturas de Willey e Rao (1981) foi obtido por 7:

A eficiência produtiva de cada parcela foi obtida com modelo DEA com retornos constantes a escala (COOPER et al., 2004), utilizando o aplicativo SIAD - sistema de apoio a decisão (ANGULO MEZA et al., 2005a), com inputs unitários (LOVELL e PASTOR, 1999). Para cada média de tratamentos foi rodado o modelo (8):

com restrições (9 e 10):

onde, v_i e u_j são os pesos de inputs (recursos ou tratamentos) i ($i = 1, \dots, r$) e outputs (produtos ou variáveis) $j = 1, \dots, s$, respectivamente. São as incógnitas do modelo; x_{ik} : é o valor do recurso i ($i = 1 \dots s$) para a parcela k ($k = 1 \dots n$); y_{jk} : é o valor do produto j ($j = 1 \dots r$) (output da DMU), para a parcela k ($k = 1, \dots, O$); O : é a parcela em análise. Para uso da expressão para determinação da eficiência máxima foi realizada a linearização do modelo fracionário (CHARNES e COOPER, 1962) (11): ; com restrições ao modelo (12; 13; 14 e 15): ; e e . Para entrada de

164 variáveis no modelo foi realizada a transformação ortogonal pelo método de Pearce e
165 Gilliver (1979).

166 A análise multicritério pelo método de Copeland foi realizada com o software
167 Preferências Ordinais Agregadas - WebPROA (ANGULO MEZA et al., 2005b).
168 Realizou-se a comparação por pares de médias e obtenção da matriz da decisão de
169 Condocert para 14 tratamentos. Cada elemento a_{ij} da matriz foi obtido atribuindo-se 0
170 quando o elemento i (para $i = 1, 2, \dots, i$ -ésima alternativa) é igual a j ($j = 1, 2, \dots, j$ -ésima
171 alternativa); 1 quando um elemento i é preferido em relação a j e -1 quando um
172 elemento i é preterido em relação a j . A definição dos ranks foi feita com base nas
173 somas das linhas da matriz de decisão de Condocert para cada tratamento. O método foi
174 aplicado para 14 critérios referentes aos tratamentos (T1, T2, ..., T14).

175 A análise de agrupamento foi realizada pelo método hierárquico de Ward (1963)
176 utilizando o software R versão 3.2.0. (R CORE TEAM, 2014).

177 RESULTADOS E DISCUSSÃO

178 Com base na a análise de variância foi verificado efeito significativo da
179 interação ($P < 0,01$) para todas as variáveis. Para efeitos simples, o pinhão manso, em
180 consórcio, apresentou efeito significativo para RPC, RBPC, MSPC e ROPC ($p < 0,05$) e
181 RFC e RBFC ($p < 0,01$). Efeito significativo para feijão caupi, em consórcio, foi
182 observado para RFC e RBFC ($p < 0,01$) (Tabela 1).

183 Tabela 1. Resumo da análise univariada de variância e teste de Tukey para os caracteres
184 RPC, RBPC, MS, RO, RFC e RBF

FV	gl	¹ F					
		RPC	RBPC	MSPC	ROPC	RFC	RBFC
Pinhão (PS)	1	7,41*	7,41*	7,38*	7,41*	124,35**	126,39**
Feijão (FS)	6	1,45	1,45	1,46	1,45	4,95**	4,99**
PS x FS	6	6,96**	6,96**	6,97**	6,96**	5,42**	5,29**
Blocos	3	0,80	0,80	0,81	0,80	0,22	0,306

Resíduo	39	-	-	-	-	-	-
PF (%)	RPC		MSPC		ROPC		
	² I	³ II	I	II	I	II	
100	2,04aB	2,27aC	1,33aB	1,80aC	53,51aB	72,52aC	
90	2,56aB	3,31aBC	1,66aB	2,15aBC	67,21aB	86,82aBC	
80	3,12aAB	3,83aABC	2,03aAB	2,49aABC	81,97aAB	100,59aABC	
70	3,78aAB	3,91aABC	2,27aAB	2,54aABC	91,74aAB	102,69aABC	
60	3,52aAB	3,92aABC	2,29aAB	2,55aABC	92,33aAB	102,95aABC	
50	3,52aAB	5,09aAB	2,46aAB	3,30aAB	99,15aAB	133,44aAB	
40	5,13aA	5,90aA	3,37aA	3,83aA	134,69aA	154,95aA	
PF (%)	RBPC		RFC		RBFC		
	I	II	I	II	I	II	
100	98,99aB	134,17aB	0,03aA	0,02aC	443,4cA	624cC	
90	124,34aB	160,61aAB	0,02bA	0,18aB	462bA	4236aB	
80	151,64aAB	186,09aAB	0,02bA	0,19aB	462bA	4434aB	
70	169,71aAB	189,97aAB	0,02bA	0,21aB	498bA	4980aB	
60	170,80aAB	190,46aAB	0,02bA	0,23aAB	552bA	5520aAB	
50	183,42aAB	246,87aAB	0,04bA	0,26aAB	648bA	6240aAB	
40	249,17aA	286,29aA	0,02bA	0,35aA	846bA	8460aA	

185 ¹Teste F de Snedecor; *: Significativo a 5% pelo teste F; **: Significativo a 1% pelo teste F. PF(%):

186 população de feijão caupi. ²90% da população recomendada de pinhão manso; ³100% da população

187 recomendada de pinhão manso. Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna para igualdade

188 estatística de médias a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

189 Examinada a interação, os melhores rendimentos (t ha⁻¹) de pinhão manso nas

190 PRCS de 90 e 100% foram obtidos com 40% da PRCS de feijão caupi. Entretanto, não

191 foi verificada diferença estatística entre as duas densidades populacionais. RPC com 90

192 e 100 % da PRCS superaram em até 2,5 vezes os rendimentos com 100% da PRCS de

193 feijão caupi.

194 O mesmo contraste foi observado para MSPC, ROPC e RBPC. De forma geral, a

195 análise da eficiência biológica de consórcios considera a produtividade como caráter de

196 importância principal. No entanto, algumas espécies apresentam particularidades que

197 devem ser consideradas antes da recomendação de um cultivo consorciado. No caso do

198 pinhão manso, o rendimento de óleo extraído da amêndoa está diretamente associado

199 com a viabilidade do sistema. Portanto, a hipótese de que a produtividade pode não

200 estar associada proporcionalmente à manutenção do teor médio de óleo nas amêndoas,
201 após a inserção do feijão na parcela, deve ser verificada. Neste trabalho, no entanto, a
202 associação proporcional entre RPC e ROPC foi de .

203 Os melhores rendimentos de feijão caupi foram obtidos com PRCS de 40% a 90
204 e 100% da PRCS de pinhão manso. Dessa forma, fica clara a interferência exercida pelo
205 pinhão manso sobre a produtividade do feijão caupi. Por outro lado, a recíproca não se
206 mostrou verdadeira.

207 Interferência da mesma natureza foi relatada por Matos et al. (2014). Avaliando
208 plantas de pinhão manso de 4 anos de idade espaçadas 4 x 2 m, no consórcio com soja
209 inserida à 1 m da linha de pinhão, verificaram perda de produtividade de
210 aproximadamente 50% para soja. Por outro lado, Souza et al. (2013) verificaram perda
211 de aproximadamente 17% para o feijão inserido há 1,5 m da linha de pinhão manso,
212 com espaçamento 4 x 2 m e plantas com seis meses de idade. Neste caso, o
213 sombreamento sobre o feijoeiro foi reduzido e observado desempenho vigoroso do
214 pinhão manso.

215 O consórcio com espécies forrageiras também tem sido estudado. Mas, assim
216 como o para culturas alimentares, ainda demanda investigação multidisciplinar. Neste
217 processo, a sua utilização como cultura energética integrante de sistemas
218 agrossilviculturais e agrossilvipastoris representa uma alternativa para sustentabilidade
219 da exploração pelo agricultor familiar.

220 Avaliando diferentes arranjos de plantio do pinhão manso, Muller et al. (2014)
221 verificaram maior desenvolvimento vegetativo das plantas no espaçamento 6 x 3 m. Em
222 safra subsequente maior ganho em altura de plantas foi obtido no espaçamento 8 x 2 m.
223 Em ambas safras, o consórcio pinhão manso x milho x pastagem proporcionou maior
224 desenvolvimento das plantas de pinhão manso para todas as variáveis avaliadas. No

mesmo contexto, Silva et al. (2012) observaram viabilidade no consórcio de gramíneas e leguminosas inseridas a 0,5 m das plantas de pinhão manso, no espaçamento 3 x 2 m.

O uso de variáveis fitotécnicas e econômicas para simulação de parcelas exibiu resultados consistentes. De forma geral, apresentou resultados coerentes e que corroboram com os da literatura. Todavia, o ganho com a previsão do desempenho das 14 combinações testadas, sem dispor efetivamente o experimento no campo, reforça a acurácia da técnica utilizada. De forma que, sem dúvida, pode ser utilizada como ferramenta auxiliar para a seleção ou descarte de tratamentos similares.

Para utilização da análise gráfica foi realizada a análise de variância multivariada (Tabela 2). Com base nos testes para os vetores de médias de tratamentos, foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,01$) pelos critérios de Wilks ($\Lambda < 1$) e Pillai para os vetores de médias de rendimentos PS e FS e para interação entre as densidades populacionais avaliadas (PS x FS).

Tabela 2. Resumo da análise de variância multivariada dos rendimentos combinados do consórcio pinhão manso x feijão caupi

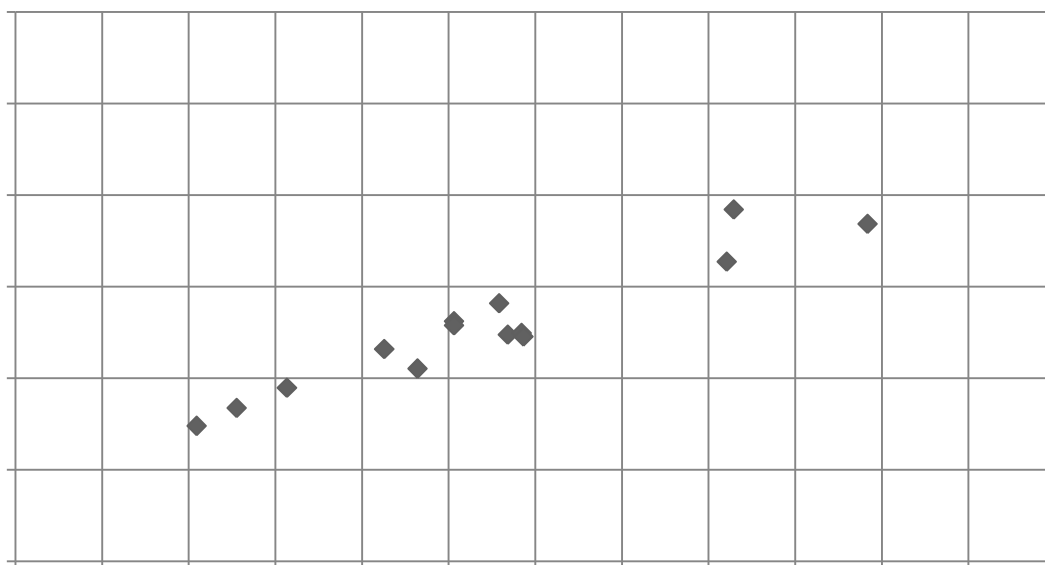
FV	¹ Λ (Wilks)	¹ Pillai	² Aproximação F	Pr> F
Pinhão (PS)	0,34	0,66	49,00	0,0001
Feijão (FS)	0,79	0,21	6,65	0,0001
PS x FS	0,50	0,50	24,78	0,0001
Blocos	0,97	0,03	0,83	0,4437

¹Testes para a hipótese de nulidade da MANOVA; ²Aproximação do teste F de Snedecor

O resultado da MANOVA corrobora com o obtido com a ANAVA para os vetores e sua interação. Dessa forma, foi viabilizada a análise bidimensional dos escores de tratamentos (Figura 1).

Figura 1. Coordenadas não ortogonais de tratamentos [$T_n(X_A; X_B)$] equivalentes aos rendimentos combinados de RPC e RFC [T1 (2,05; 0,74), T2 (2,57; 0,95), T3 (3,13;

247 1,16), T4 (3,79; 1,41), T5 (3,53; 1,31), T6 (3,53; 1,29), T7 (5,14; 1,92), T8 (2,28; 0,84),
 248 T9 (3,32; 1,05), T10 (3,84; 1,24), T11 (3,92; 1,25), T12 (3,93; 1,23), T13 (5,10; 1,64),
 249 T14 (5,92, 1,84)]



250

251 I, II, III e IV: Quadrantes um (Q I), dois (Q II), três (Q III) e quatro (Q IV) que
 252 subdividem a área total do gráfico em quatro subáreas de dimensões iguais.

253 A análise descritiva do gráfico de dispersão reafirmou T14 como a melhor
 254 combinação para RPC. Outros dois tratamentos também foram agrupados no Q I (T7 e
 255 T13), representando alternativas para ganhos no RPC.

256 Embora de interpretação mais simples, a análise bidimensional também exige o
 257 atendimento de pressuposições paramétricas. Além das pressuposições para realização
 258 da ANAVA, são requeridas distribuição normal bivariada (LAVORENTI, 1998),
 259 igualdade de matrizes de covariância e independência dos erros (PALLANT, 2001).

260 A qualidade e aplicabilidade da técnica de análise bidimensional a dados de
 261 consórcios foi reforçada por Bezerra et al. (2007a) em estudo comparativo entre
 262 metodologias de análise para o sistema cenoura x alface. Todavia, trabalhos avaliando a

263 aplicabilidade e eficiência de métodos estatísticos para o processamento de dados desta
264 natureza ainda são incipientes.

265 Índices de eficiência e métodos multivariados não paramétricos tem sido
266 utilizados como ferramentas auxiliares para inferência sobre consórcios. Índices
267 fundamentados no uso eficiente da terra explorada por parcela (WILLEY, 1979;
268 WILLEY e RAO, 1981) e na análise envoltória de dados (CHARNES e COOPER,
269 1962), assim como o ordenamento de tratamentos obtido pelo método multicritério de
270 apoio à decisão de Copeland (GOMES e BEZERRA NETO, 2008) foram obtidos no
271 presente trabalho (Tabela 3).

272 Tabela 3. Índices de eficiência DEA, UET_{TOTAL} , IC e Ranks de Copeland utilizando
273 RPC e RBPC como variáveis para tomada de decisão

PF (%)	DEA		UET _{TOTAL}		IC								
	I	II	I	II	I	II							
100	0,35	0,47	1,00	2,05	1,76	16,85							
90	0,43	0,56	1,13	7,18	1,67	15,92							
80	0,53	0,66	1,39	7,20	1,46	15,65							
70	0,59	0,66	1,40	7,68	1,25	8,96							
60	0,60	0,65	1,52	8,33	1,06	8,66							
50	0,64	0,86	1,79	9,22	0,88	6,33							
40	0,87	1,00	1,90	12,53	0,74	0,74							
Ranks de Copeland													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T14	T7	T13	T12	T11	T10	T	T6	T4	T5	T9	T3	T8 T2	T1

274

275 A análise descritiva dos valores absolutos dos índices, DEA, UET_{TOTAL} e IC
276 manteve T14 como combinação mais eficiente. Por conseguinte, o decréscimo em
277 eficiência média dos tratamentos foi verificado com o aumento da PF (%). Os maiores
278 índices de eficiência DEA foram verificados para T7 e T14 com, respectivamente, 0,87
279 e 1,00.

280 Para UET_{TOTAL} , T7 e T14 apresentaram o melhor desempenho quanto ao
281 aproveitamento da terra pelas culturas consorciadas com, respectivamente, 1,90 e 12,53.
282 Segundo Caballero et al. (1995), UET_{TOTAL} maior que 1 sugere que o consórcio
283 favorece ambas culturas. O UET é índice mais utilizado por pesquisadores para aferição
284 da viabilidade de consórcios (BEZERRA NETO e GOMES, 2008)

285 Da mesma forma que os índices DEA e UET_{TOTAL} , os melhores IC foram
286 obtidos pelos tratamentos T8 e T14 com, respectivamente, 0,74 e 0,74. Contrastando
287 com DEA e UET_{TOTAL} , valores de IC menores do que a unidade indicam reduzida
288 interferência da cultura secundária no rendimento da principal. Não obstante, Bezerra et
289 al. (2007c) destacaram que IC não deve ser considerado como critério único, devendo o
290 consórcio apresentar viabilidade econômica para ambas as culturas consorciadas.

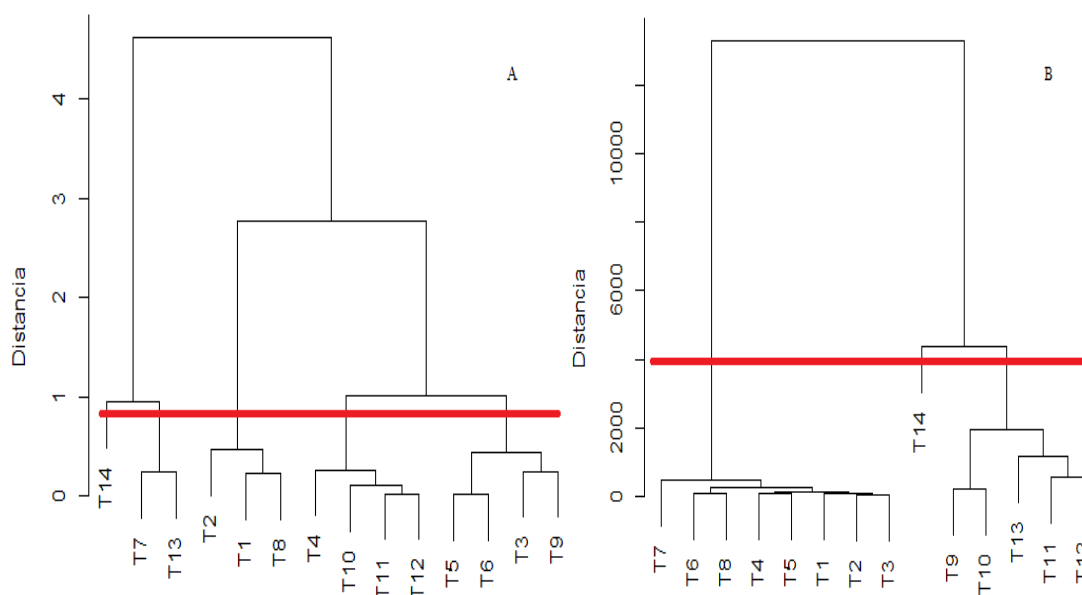
291 Bezerra et al. (2007a) e Gomes e Souza (2005) destacaram que medidas
292 resultantes do modelo DEA CCR tem natureza univariada e podem ser processadas por
293 técnicas paramétricas. No entanto, foi verificado neste trabalho que apenas os valores
294 absolutos dos índices permitiram o ordenamento dos tratamentos. E, ainda, que os
295 resultados não divergiram dos obtidos com os métodos da ANAVA, MANOVA e
296 análise gráfica bidimensional.

297 Os resultados convergentes dos índices estão associados à utilização da média
298 como estatística de tendência central dos tratamentos. Os UET_{TOTAL} e IC são medidas
299 exigentes no atendimento de pressuposições paramétricas, no entanto, o mesmo não se
300 aplica para o índice DEA (MELO et al., 2005). De acordo com Melo et al. (2005),
301 modelos DEA e o método Multicritério de Apoio a Decisão de Copeland figuram como
302 alternativas não paramétricas para processamento (MELO et al, 2005). Todavia, neste
303 trabalho a hipótese de aplicação do modelo DEA CCR às parcelas foi preterida em
304 relação às médias de tratamentos. O procedimento foi adotado pelo fato de o

305 experimento ter sido simulado conforme delineamento experimental e atender às
 306 pressuposições básicas para ANAVA e MANOVA. Portanto, o processamento ao nível
 307 de parcelas, nesta óptica, se tornaria redundante à utilização das valores médios.

308 Por fim, o resultado do Método Multicritério de Apoio a Decisão de Copeland,
 309 derivado do método de Condorcet (BARBA-ROMERO e POMEROL, 1997), não
 310 divergiu dos resultados obtidos com as demais metodologias avaliadas. Entretanto, sua
 311 aplicação retornou grande valor agregado à análise, considerando a obtenção de
 312 medidas lineares obtidas pela análise conjunta de variáveis de naturezas distintas. Neste
 313 caso, a combinação de uma variável econômica (RBPC) com uma variável agrônômica
 314 (RPC). A viabilidade da utilização da técnica não paramétrica também foi verificada por
 315 Bezerra et al. (2007b) para o consórcio cenoura x alface.

316 Por fim, foi avaliada a aplicabilidade do método multivariado de agrupamento
 317 hierárquico de Ward (Figura 2).



318
 319 Figura 2. Dendrogramas de agrupamento hierárquico de Ward para dissimilaridade
 320 entre grupos de tratamentos de pinhão manso x feijão caupi obtidos por,
 321 respectivamente, RPC; RFC (A) e RPC; RFC; MSPC; ROPC; RBP; RFC e RBF (B).

322 Não foi verificada divergência entre os resultados obtidos com a análise de
323 agrupamento e as demais metodologias avaliadas. Dentre os cinco grupos formados no
324 dendrograma A, T14 define o grupo I e apresenta as maiores médias para pinhão manso
325 (5,90) e feijão caupi (0,35). Os demais grupos formados foram compostos pelos
326 tratamentos T7 e T13 (grupo II), T2, T1 e T8 (grupo III), T4, T10, T11 e T12 (grupo 4)
327 e T5, T6, T3 e T9 (grupo 5). Embora os tratamentos T14, T7 e T13 tenham sido
328 reunidos no Q I do gráfico da análise bivariada, o método não consiste em análise de
329 agrupamento. De forma que, aplicado o procedimento de Ward, apenas T14 definiu o
330 grupo I na Figura 2A e B.

331 O dendrograma A apresentou o grupo dois formado por T7 e T13, indicando
332 similaridade entre os tratamentos, já sugerida no Q I da análise bivariada. Considerando
333 todas as variáveis determinadas no ensaio (B), T14 manteve-se como melhor
334 combinação pinhão manso x feijão caupi. Em B, foi observada a formação de apenas
335 três grupos dissimilares, sugerindo que o aumento no número de variáveis analisadas,
336 simultaneamente, favoreceu o agrupamento de combinações similares e destacou a
337 divergente (T14).

338 A utilização do método de agrupamento hierárquico permitiu a observação do
339 efeito de resposta multivariada do consórcio. Métodos hierárquicos são frequentemente
340 utilizados para discriminação de grupos de indivíduos com atributos agronômicos
341 similares. Neste trabalho, foi aplicado para discriminação de combinações com escores
342 médios similares e apresentou resultados coerentes e consistentes.

343 De forma semelhante, o índice como DEA e a análise multicritério de apoio à
344 decisão de Copeland também apresentaram resultados coerentes e consistentes.
345 Entretanto, ambos são utilizados para avaliação de sistemas produtivos pela pesquisa

operacional, linha de pesquisa da engenharia de produção. Por conseguinte, ainda demandam mais estudos com processamento de dados de experimentos de consórcios.

CONCLUSÃO

A utilização do UET_{TOTAL} , associado à análise gráfica bivariada ou de agrupamento hierárquico, aplica-se ao processamento de dados de qualquer sistema consorciado.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SANTOS, A.A.; SOBRINHOS, C.A.; BASTOS, E.A.; MELO, F.B.; VIANA, F.M.P.; FREIRE FILHO, F.R.; CARNEIRO, J.S.; ROCHA, M.M.; CARDOSO, M.J.; SILVA, P.H.S.; RIBEIRO, V.Q. **Cultivo do feijão caupi**. Teresina: EMBRAPA MEIO NORTE, 2003. (Sistemas de produção, 2).
- ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G. ISYDS - Integrated System for DecisionSupport (SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a softwarepackage for data envelopmentanalysismodel. **Pesquisa Operacional**, v.25, n.3, p.493-503, 2005a.
- ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; COELHO, P.H.G. Free software for decisionanalysis: a softwarepackage for data envelopmentmodels. **Anais...** In: 7th International Conference on Enterprise Information Systems - ICEIS 2005b, v.2, p. 207-212.
- BARBA-ROMERO, S.; POMEROL, J.C. **Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos e utilizaciónpráctica**. Alcalá: Servicio de Publicaciones de laUniversidad de Alcalá, 1997. 420p.
- BARROSO, A.C.; RESENDE, A.C.; RODRIGUES, W.; PAIXÃO, A.N. Viabilidade financeira e análise de risco do cultivo de pinhão manso para produção de biodiesel no estado de Tocantins. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.7, n.1, p.61-81, 2014.

371 BEZERRA NETO, F.; GOMES, E.G. Índices de desempenho de sistemas agrícolas
372 consorciados: uso eficiente da terra, indicadores econômicos e eficiência de
373 XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP 2008. **Anais...**
374 Rio de Janeiro, 2008, 1 – 10p.

375 BEZERRA NETO, F.; GOMES, E.G.; NUNES, G.H.S.; OLIVEIRA, E.Q. Desempenho
376 de sistemas consorciados de cenoura e alface avaliados através de métodos uni e
377 multivariados. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.4, p.500-506, 2007b.

378 BEZERRA NETO, F.; GOMES, E.G.; NUNES, M.V.R.; BARROS JUNIOR, A.P.
379 Análise multidimensional de consórcios cenoura-alface sob diferentes combinações
380 de densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.12, p.
381 1697-1704, 2007a.

382 BEZERRA NETO, F.; GOMES, E.G.; OLIVEIRA, A.M. Produtividade biológica em
383 sistemas consorciados de cenoura e alface avaliada através de indicadores
384 agroeconômicos e métodos multicritério. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.2, p. 193-
385 198, 2007c.

386 CABALLERO, R.; GOICOECHEA, E.L.; HERMAIZ, P.J. Forage yields and
387 quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding
388 rates of common vetch. **Crops Research**, v.41, n.2, p.135-140, 1995.

389 CARDOSO, M.J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Densidade de
390 plantas de caupi em regime irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,
391 v.32, n.4, p.399-405, 1997.

392 CHARNES, A.; COOPER, W.W. Programming with linear fractional functionals. **Naval**
393 **Research Logistics Quarterly**, v.9, n.3, p.181-185, 1962.

394 COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; ZHU, J. **Handbook on data envelopment**
395 **analysis**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004, 608p.

DIAS, L.A.S.; BARROS, W.S. **Biometria experimental**. Viçosa: Suprema, 2009, 408p.

DIAS, L.A.S.; LEME, L.P.; LAVIOLA, B.G.; PALLINI, A.; PEREIRA, O.P.; DIAS, D.C.F.S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C.E.; SANTOS, A.S.; SOUSA, L.C.A.; OLIVEIRA, T.S.; PRETTI, L.A. **Cultivo de pinhão manso (Jatropha curcas L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa: UFV, 2007, 40p.

FEDERER, W.T. **Statistical design and analysis for intercropping experiments**. New York: Springer-Verlag, 1993, 298p.

FISHER, R.A. **The design of experiments**. 9. ed. London: Macmillan, 1971, 250p.

GOMES, E.G.; BEZERRA NETO, F. Método de apoio a decisão em experimentação agrícola: o caso de sistemas consorciados. In: XI Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha – SPOLM 2008. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008, p.1-12.

GOMES, E.G.; MELO, J.C.C.B.S; MANGABEIRA, J.A.C. Avaliação de desempenho de agricultores familiares com o método multicritério de Copeland. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v.1, n.2, p.159-168, 2009.

KAUSHIK, N.; KUMAR, K.; KUMAR, S.; KAUSHIK, N.; ROY, S. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions. **Biomass and Bioenergy**, v.31, n.7, p.497-502, 2007.

LAVORENTI, N.A. Fitting models in a bivariate analysis of intercropping. Thesis (Ph.D.) - University of Reading, Inglaterra. 1998. 310p.

LOVELL CAK; PASTOR, J.T. Radial DEA models without inputs or without outputs. **European Journal of Operational Research**, v.118, n. 1, p. 46-51, 1999.

MATOS, F.S.; CARVALHO, D.D.C.; SOUZA, A.C.; NEVES, T.G; CRUVINEL, C.K.L.; ROSA, V.R.; SANTOS, P.G.F. Viabilidade agrônômica do consórcio entre pinhão manso e soja. **Revista Agrarian**, v.7, n.24, p.226-232, 2014.

421 MELO, J.C.C.B.S.; MEZA, L.A.; GOMES, E.G.; NETO, L.B. Curso de análise de
 422 envoltória de dados. In. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional,
 423 Gramado, 2005. **Anais...** Corumbá, 2005, p. 2520-2547.

424 MULLER, M.D.; PACIULLO, D.S.C.; MARTINS, C.E.; ROCHA, W.S.D.; CASTRO,
 425 C.R.T. Desenvolvimento vegetativo de pinhão-manso em diferentes arranjos de
 426 plantio em sistemasagrosilvopastoris.**Pesquisa agropecuária brasileira**, v.49, n.7,
 427 p.506-514, 2014.

428 OYEJOLA, B.A; MEAD, R.
 429 Statisticalassessmentofdifferentwaysofcalculatinglandequivalentratios (LER).
 430 **Experimental Agriculture**, v.18, n.2, p.125-138, 1982.

431 PALLANT, J. **SPSS survival manual**. Buckingham and Philadelphia: Open University
 432 Press, 2001. 286p.

433 PEARCE, S.C.; GILLIVER, B. Graphical assessment of intercropping methods.**Jounal**
 434 **of Agricultural Science**, v.93, n.1, p.51-68, 1979.

435 R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation
 436 for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. URL <http://www.R-project.org/>.

437 SILVA, J.A.N.; SOUZA, C.M.A.; SILVA, C.J.; BOTTEGA, S.P. Crescimento e
 438 produção de espécies forrageiras consorciadas com pinhão-manso.**Pesquisa**
 439 **agropecuária brasileira**, v.47, n.6, p.769-775, 2012.

440 SOUZA, A.C.; RIBEIRO, R.P.; JACINTO, J.T.D.; CINTRA, A.D.A.R.; AMARAL,
 441 R.S.; SANTOS, A.C.; MATOS, F.S. Consórcio de pinhão manso e feijoeiro:
 442 alternativa para agricultura familiar. **Revista Agrarian**, v.6, n.19, p.36-42, 2013.

443 TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Inf.**
 444 **Agropec.**, v. 26, n. 229, p. 18-27, 2005.

445 WARD, J.H. Hierarquical grouping to optimize an objective function. **Journal of the**
446 **American Statistical Association**, v.58, n. 301, p.236-244, 1963.

447 WILLEY, R.W. Intercropping – Its importance and research needs. Part. 1 -
448 Competition and advantages. **Field Crop Abstracts**,v.32, n.01, p.1-10, 1979.

449 WILLEY, R.W.; RAO, R.A Systematic design to examine effects of plant population
450 and special arrangement in Intercropping, illustred by an experiment on chick
451 pea/sunflower.**Expertimental Agriculture**, v.17, n.2, p.63-73, 1981.

452

453

454

455

456

457

458