



SPOLM 2008

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2008.

MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO EM EXPERIMENTAÇÃO AGRÍCOLA: O CASO DE SISTEMAS CONSORCIADOS

Eliane Gonçalves Gomes

Embrapa Sede – SGE

Parque Estação Biológica, Av. W3 Norte final, 70770-901, Brasília, DF

eliane.gomes@embrapa.br

Francisco Bezerra Neto

UFERSA – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia

Caixa Postal 137, 59625-900, Mossoró, RN

bezerra@ufersa.edu.br

Resumo

Este artigo teve como objetivo avaliar o desempenho de sistemas consorciados de cenoura e alface e indicar qual o melhor para o manejo dos recursos ambientais em relação a produtividade e indicadores econômicos. O modelo DEA CCR e o método multicritério ordinal de Copeland foram usados na análise. No primeiro, as variáveis foram as produtividades da alface e da cenoura e o índice de lucratividade. Na segunda abordagem, os critérios de decisão foram o índice de uso eficiente da terra e o índice de lucratividade. Observaram-se maiores valores de eficiência DEA nos sistemas consorciados que tinham a cenoura ‘Brasília’ como cultura componente, e aqueles baseados nas alfaces ‘Maravilha das 4 estações’ ou ‘Verônica’. A ordenação obtida do método de Copeland ratificou os resultados do modelo DEA.

Palavras-Chaves: Eficiência DEA; Método Multicritério de Copeland; Agricultura; Experimentos Consorciados.

Abstract

The objective of this paper was to evaluate intercropping systems of carrot-lettuce, as well as to indicate which system is the best for resource management with respect to productivity and economic indicators. The DEA CCR model and the Copeland ordinal multicriteria method were used in the analysis. DEA model variables were lettuce and carrot productivity indices and the profit margin. In the Copeland method, the decision criteria were the land equivalent ratio and the profit margin. Higher efficiency indices were observed in the intercropping systems that had the carrot ‘Brasilia’ as a component crop and those based on ‘Maravilha das 4 estações’ or ‘Verônica’ lettuces. The ranking obtained by the Copeland approach agrees to the DEA results.

Keywords: DEA Efficiency; Copeland Multicriteria Method; Agriculture; Intercropping Experiments.

1. INTRODUÇÃO

Para alcançar alta produtividade e promover a sustentabilidade no tempo de seus sistemas de produção agrícola, os produtores têm feito uso de cultivos consorciados (cultivo

de várias culturas na mesma área). A principal razão para uso destes sistemas é que permitem aumento na eficiência de uso dos recursos ambientais (PARK et al., 2002). Como consequência, há um aumento na produtividade biológica total por unidade de área de terra e na sustentabilidade. Recentemente, o interesse em sistemas de cultivo com associações de culturas envolvendo hortaliças tem recebido mais atenção por parte dos pesquisadores. Estas associações têm contribuído para o aumento da atividade olerícola, principalmente pelas vantagens de ordem econômica, devido ao uso intensivo de recursos renováveis ou não (CECÍLIO FILHO, MAY, 2002). Vários fatores podem ter impacto significativo no rendimento e na taxa de crescimento das culturas componentes em consorciação. Entre eles estão a competição entre as culturas, o tipo de cultivar semeada, o arranjo espacial de plantio, entre outros (DIMA et al., 2007).

Entre as hortaliças que podem ser combinadas, devido a razões biológicas, nutricionais, econômicas e sociais, por representarem uma alternativa de produção de alimentos e renda, estão a alface e a cenoura (OLIVEIRA et al., 2005a, 2005b; BARROS JÚNIOR et al., 2005; BEZERRA NETO et al., 2005, 2006). Com o aparecimento de novas cultivares tanto de alface como de cenoura, em fase de adaptação às condições do Nordeste brasileiro, torna-se importante a busca de informações sobre desempenho e vantagens destes sistemas agrícolas e, para tal, são de importância os experimentos em campo.

Reconhece-se que na avaliação de experimentos consorciados não há uma forma simples de análise estatística, que seja apropriada a todas as formas de dados de consorciação. Mesmo para um simples conjunto de dados experimentais será importante usar diferentes formas de análise, devido ao fato de as diferentes culturas componentes de um sistema consorciado terem dados que podem ocorrer em diferentes formas estruturais. Estas estruturas dos dados são complexas, com diferentes formas de informação sobre o rendimento disponível para diferentes subconjuntos de unidades experimentais (MEAD, 1990).

Um dos métodos de análise de dados é formar um índice de rendimentos combinados para cada parcela consorciada e, então, analisar a variável resultante destes rendimentos combinados. O índice de uso eficiente da terra (UET) tem sido utilizado neste tipo de análise para medir a eficiência biológica de um sistema consorciado (RILEY, 1984). Porém, os sistemas consorciados devem ser julgados não só através de indicadores agrônomicos, como a UET, mas também através de indicadores econômicos, como rendas bruta e líquida, índice de lucratividade, entre outros (BELTRÃO et al., 1984; ANANDAJAYASEKERAM, 1990). Uma alternativa para combinar os rendimentos advindos de um experimento sob consorciação é considerar a produção equivalente. Esta nova variável pode basear-se em diversas características, como quantidade total de proteínas e valor econômico, por exemplo.

Ainda assim, os agrossistemas consorciados não podem ser avaliados adequadamente somente pelos critérios de produção ou do valor econômico isoladamente. Avaliar diferentes alternativas sob a ótica de múltiplos critérios é um dos objetivos dos métodos do Apoio Multicritério à Decisão. Dentre esses métodos estão os chamados métodos ordinais, considerados bastante intuitivos. Eles são ainda pouco exigentes em termos computacionais e em relação às informações necessárias por parte dos decisores. Nessa classe de métodos estão os métodos de Borda, Condorcet e Copeland (BARBA-ROMERO, POMEROL, 1997).

Em Gomes, Souza (2005) foi proposta uma abordagem alternativa para agregar em um índice unidimensional tratamentos em situação experimental com resposta multidimensional, como o caso de consórcios. Os autores usaram modelos de Análise de Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis – DEA*) (COOPER et al., 2000) para esse fim, com o cálculo de uma medida que pode ser chamada de “eficiência produtiva”.

Posto isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar consórcios de cenoura e alface, produzidos na região oeste do estado do Rio Grande do Norte, através de critérios agrônomicos e econômicos. Para “agregar” a informação desses critérios e identificar qual sistema é melhor para o manejo dos recursos ambientais, foram usados tanto o método multicritério ordinal de Copeland, quanto modelos DEA.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAL

Dois experimentos, um consorciado e outro em cultivo solteiro, foram realizados na horta didática do Departamento de Ciências Vegetais, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, no período de setembro a dezembro de 2002. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (EMBRAPA, 1999). Foram retiradas amostras da área experimental, cujas análises foram processadas no Laboratório de Química e Fertilidade de Solos da referida instituição.

O delineamento experimental utilizado em ambos os experimentos foi o de blocos balanceados em grupos, com quatro repetições. Avaliaram-se as cultivares pertencentes aos grupos crespa ('Lucy Brown', 'Tainá', 'Laurel' e 'Verônica') e lisa ('Babá de Verão', 'Maravilha das 4 estações', 'Elisa' e 'Carolina'). No experimento consorciado foi utilizado o esquema de parcelas subdivididas, onde os tratamentos designados às parcelas foram as cultivares de cenoura 'Alvorada' e 'Brasília', e os designados às subparcelas foram as cultivares de alface do grupo crespa e as do grupo lisa. Em cada bloco foi plantada uma parcela solteira de cenoura 'Alvorada' e 'Brasília'.

No experimento consorciado, cada parcela foi constituída de quatro faixas alternadas (*strip-intercropping*), duas com cenoura e duas com alface, com quatro fileiras cada. A área total da parcela foi de 3,84 m² (3,20 x 1,20 m), com área útil de 1,60 m² (1,60 x 1,00 m), contendo 80 plantas de cenoura e 40 plantas de alface. Nas faixas, o espaçamento da cenoura foi de 0,20 x 0,05 m e de 0,20 x 0,10 m para a alface. As parcelas solteiras de cenoura foram constituídas por cinco fileiras, com área total de 1,20 m² (1,00 x 1,20 m) e área útil de 0,60 m² (0,60 x 1,00 m), contendo 30 plantas de cenoura no espaçamento de 0,20 x 0,10 m. No experimento de cultivo solteiro de alface, cada parcela foi constituída por cinco fileiras, com área total de 1,20 m² (1,00 x 1,20 m) e área útil de 0,48 m² (0,60 x 0,80 m), contendo doze plantas de alface no espaçamento de 0,20 x 0,20 m. Segundo Barros Júnior et al. (2005), a população recomendada para o cultivo solteiro da alface na região é de 250.000 plantas/ha e de 500.000 plantas/ha no cultivo da cenoura, sem considerar os 30% de área de trânsito, composta de corredores e estradas. Entretanto, para as características avaliadas nas culturas, foram feitas as correções para 70% da área plantada.

Foi feita solarização da área experimental durante 50 dias para desinfestação do solo em pré-plantio, como controle de fitopatógenos. Durante a condução do experimento foram efetuadas capinas manuais e irrigação pelo sistema de micro-aspersão. Na altura de 30 cm da parte aérea da cenoura, procedeu-se à colocação de um fitilho envolvendo as plantas, objetivando tornar mais ereto o seu crescimento, diminuindo assim o sombreamento das plantas de alface localizadas nas áreas adjacentes à cenoura (consórcio em faixas). Aplicou-se nos cultivos de cenoura e alface em consórcio e solteiro, esterco bovino, nitrogênio na forma de uréia e K₂O na forma de cloreto de potássio (IPA, 1998). Foi realizada adubação nitrogenada em cobertura na cenoura. Na alface efetuaram-se adubações foliares.

No experimento consorciado, as cultivares de alface foram transplantadas nas faixas adjacentes da cenoura em dois cultivos: o primeiro sete dias após o plantio da cenoura e o segundo, 82 dias após o plantio da cenoura. Este consórcio da alface em duas épocas de desenvolvimento de um só cultivo da cenoura foi realizado com o objetivo de estabelecer uma menor pressão de competição com a cultura principal (cenoura), de modo que sua produtividade fosse a máxima possível quando comparada ao cultivo solteiro. Isto permitiu um melhor desempenho do sistema consorciado.

2.2. MÉTODOS

A característica avaliada na alface foi a produtividade de folhas, ou seja, a massa fresca da parte aérea de todas as plantas da parcela útil e, na cenoura, a produtividade de raízes comerciais de plantas da parcela útil, livres de defeitos (rachaduras, bifurcações, galhas de nematóides e danos mecânicos).

O indicador econômico calculado para o sistema agrícola foi o índice de lucratividade (IL). É definido pelo quociente entre renda líquida e o custo total do sistema.

2.2.1. Uso Eficiente da Terra

O índice de uso eficiente da terra (UET) foi apresentado por Willey, Osiru (1972), para avaliação de vantagem em experimentos de consorciação de milho e feijão. Foi definido por Willey (1979) como a área relativa da terra, sob condições de plantio isolado, que é requerida para proporcionar as produções alcançadas no consórcio. Em particular, o UET indica a eficiência biológica do consórcio por usar os recursos do ambiente comparado com o cultivo isolado (MEAD, WILLEY, 1980). É, atualmente, o índice mais usado pelos investigadores na avaliação da eficiência de sistemas policulturais. O UET é calculado pela seguinte expressão: $UET = UET_c + UET_a$, onde UET_c e UET_a representam os índices de uso eficiente da terra das culturas individuais (no estudo em foco, cenoura e alface, respectivamente). Ainda, $UET_c = Y_{ca}/Y_c$ e $UET_a = Y_{ac}/Y_a$, onde Y_{ca} e Y_{ac} são os índices de produtividade da cenoura e da alface no consórcio, respectivamente, e Y_c e Y_a são as medidas de produtividade de cenoura e alface em cultivo solteiro. O valor unitário é o valor crítico. Quando a UET é maior que a unidade, o consórcio favorece o crescimento e a produção das culturas componentes. Em contraste, quando a UET é menor que um, o consórcio afeta negativamente o crescimento e a produção das culturas cultivadas na associação (CABALLERO et al., 1995).

Na obtenção dos UETs de cada parcela foi usada a padronização homogênea, considerando-se o valor da média das repetições dos genótipos solteiros sobre blocos no denominador dos UET_c e UET_a , conforme recomendação de Federer (2002). Esta padronização fora utilizada para evitar dificuldades com a possibilidade de se ter uma distribuição complexa da soma dos quocientes que definem os UETs e, assim, a análise de variância destes índices não ter representatividade, levando a erros relacionados à validade das pressuposições de normalidade e homogeneidade. Além disso, fora usada também para permitir a validação dos testes de significância e intervalos de confiança e, conseqüentemente, as comparações entre os diversos sistemas consorciados de cenoura e alface.

2.2.2. Índice de Eficiência DEA

O índice de eficiência foi calculado conforme proposta original de Gomes, Souza (2005) e com o uso do *software* SIAD (ANGULO MEZA et al., 2005). Foi usado o modelos DEA CCR (CHARNES et al., 1978), de *input* único e unitário (LOVELL, PASTOR, 1999; LETA et al., 2005). Este modelo agrega em um índice unidimensional tratamentos em situação experimental com resposta multidimensional, como o caso de consórcios.

Modelos DEA têm como objetivo calcular a eficiência relativa de unidades produtivas, conhecidas na literatura como DMUs. Usam-se em sua formulação problemas de programação linear (PPLs) que otimizam cada observação individual de modo a estimar a fronteira eficiente, linear por partes, composta das unidades que apresentam as melhores práticas dentro da amostra em avaliação (unidades eficientes). A definição de eficiência é baseada na relação entre os resultados obtidos e os recursos empregados por cada DMU. Conforme destacam Gomes, Souza (2005), as medidas univariadas de eficiência geradas pelos modelos DEA podem ser analisadas com as técnicas padrão de análise de variância e covariância. No caso de experimentos com resposta unidimensional, a análise é equivalente à prática usual. Além de generalizar os métodos clássicos de análise de experimentos, os autores destacam que DEA empresta propriedades econômicas ótimas a esses processos e facilita a interpretação de experimentos complexos pela redução da dimensão do vetor resposta. O uso de modelos DEA em consórcios agrícolas pode também ser visto em Bezerra Neto et al. (2007a, 2007b, 2007c).

No caso aqui em estudo as unidades em avaliação foram os tratamentos, em um total de 64 (provenientes da combinação dos cultivos de duas cultivares de cenoura com oito cultivares de alface, todos com quatro repetições). Os *outputs* foram a produtividade da

cenoura, a produtividade da alface e o índice de lucratividade do sistema. Considerou-se que cada DMU utiliza-se de um único recurso com nível unitário, seguindo abordagem semelhante à usada por Soares de Mello, Gomes (2004), já que os *outputs* incorporam os possíveis *inputs*. Esse modelo é equivalente a um modelo multicritério aditivo, com a particularidade de que as próprias alternativas atribuem pesos a cada critério, ignorando qualquer opinião de um eventual decisor. Ou seja, DEA é usado como ferramenta multicritério, e não como uma medida de eficiência clássica. Nesse caso, ao invés de um esquema de pesos fixos para cada critério, este seria um método com pesos variáveis, atribuídos da forma mais benevolente a cada DMU.

Uma modelagem alternativa seria desagregar os fatores componentes dos índices de produtividade (área e produção) e modelá-los como *input* (área) e *output* (produção), com manutenção das relações causais. Entretanto, no caso aqui analisado há um único tamanho de parcela, e considerar área e produção como variáveis desagregadas não alteraria o valor dos índices de eficiência.

A escolha do modelo DEA CCR deve-se à não existência de evidências de diferenças de escala significativas e ao fato de as variáveis disponíveis serem, tipicamente, valores ou quantidades produzidas. Adicionalmente, nesse caso de modelagem DEA com *input* único e unitário, conforme provado em Lovell, Pastor (1999), modelos DEA com retornos constantes à escala (DEA CCR) são equivalentes a modelos DEA com retornos variáveis à escala (DEA BCC).

No modelo DEA CCR, a eficiência relativa de uma DMU é definida como a razão da soma ponderada das componentes do vetor de produção pela soma ponderada das componentes do vetor de insumo usado no processo de produção. Os pesos usados nas ponderações das componentes de insumos e produtos (preços sombra) são distintos e obtidos da solução dos PPLs que atribuem a cada DMU os pesos que maximizam a sua eficiência, ou seja, são atribuídos da forma mais benevolente a cada DMU. A formulação matemática geral do modelo DEA CCR é apresentada em (1), na qual x_{ik} : valor do *input* i ($i=1\dots s$), para o tratamento k ($k=1\dots n$); y_{jk} : valor do *output* j ($j=1\dots r$), para o tratamento k ; v_i e u_j : pesos atribuídos a *inputs* e *outputs*, respectivamente; O : tratamento em análise.

$$\begin{aligned} & \text{Max} \quad \sum_{j=1}^r u_j y_{jO} \\ & \text{sujeito a} \\ & \sum_{i=1}^s v_i x_{iO} = 1 \\ & \sum_{j=1}^r u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^s v_i x_{ik} \leq 0, \quad k = 1\dots n \\ & v_i, u_j \geq 0, \quad i = 1\dots s, \quad j = 1\dots r \end{aligned} \tag{1}$$

Para que fossem usadas medidas de eficiência discriminantes (sem empates para DMUs eficientes) foi usada a proposta de Leta et al. (2005). Estes autores sugerem o uso da fronteira invertida como alternativa para desempatar unidades eficientes. Propõem um índice que agrega as duas eficiências (em relação às fronteiras clássica e invertida), chamado de índice composto. Segundo essa abordagem, uma DMU é considerada realmente a melhor se não tem somente bom desempenho nas variáveis em que é melhor (eficiência clássica); igualmente, não deve ter mau desempenho no critério em que é pior (eficiência em relação à fronteira invertida). Esse índice composto é calculado pela média aritmética entre a eficiência em relação à fronteira original e a ineficiência (1 menos eficiência) em relação à fronteira invertida.

2.2.3. Método Multicritério Ordinal de Copeland

Genericamente, métodos multicritério têm como objetivo avaliar diferentes alternativas sob a ótica de múltiplos critérios. Os chamados métodos ordinais (BARBA-ROMERO, POMEROL, 1997) são considerados bastante intuitivos e pouco exigentes tanto em termos computacionais, quanto em relação às informações necessárias por parte dos decisores. Do decisor não são necessárias mais do que as pré-ordens relativas a cada critério. Na literatura os três métodos mais referenciados são os de Borda, Condorcet e Copeland. O uso de métodos multicritério ordinais em agricultura pode ser visto, por exemplo, em Mangabeira et al. (2006), Bezerra Neto et al. (2007c) e Valladares et al. (2008).

Para o uso do método de Borda, o decisor deve ordenar as alternativas de acordo com as suas preferências. A alternativa mais preferida recebe um ponto, a segunda dois pontos e assim sucessivamente. Os pontos atribuídos pelos decisores a cada alternativa são somados e a alternativa que tiver obtido a menor pontuação é a escolhida. Todas as alternativas são ordenadas por ordem decrescente de pontuação, o que garante o respeito ao axioma da totalidade (ARROW, 1951).

No método de Condorcet também é exigido que cada decisor ordene todas as alternativas de acordo com suas preferências. Porém, em vez de se atribuir uma pontuação a cada alternativa, o método estabelece relações de superação. Para cada par de alternativas verifica-se qual delas foi preferida pela maioria dos decisores. Nesse caso, diz-se que esta alternativa é preferível em relação à outra. O método de Condorcet, considerado mais justo que o de Borda, tem a grande desvantagem de conduzir a situações de intransitividade, levando ao célebre “paradoxo de Condorcet”. Este ocorre quando A é preferível a B, B é preferível a C e C é preferível a A (“Tripleta de Condorcet”), ou seja, o método de Condorcet nem sempre induz uma pré-ordem no conjunto das alternativas.

O método de Copeland é derivado do método de Condorcet e consiste em calcular a soma das vitórias menos as derrotas em uma votação por maioria simples. As alternativas são então ordenadas pelo resultado dessa soma. O método de Copeland alia a vantagem de fornecer uma ordenação total ao fato de dar o mesmo resultado de Condorcet, quando este não apresenta nenhum ciclo de intransitividade. Quando esses ciclos existem, o método de Copeland permite fazer a ordenação e mantém a classificação das alternativas que não pertencem a nenhum ciclo de intransitividade. Entretanto, assim como o método de Borda, o método de Copeland não respeita um dos axiomas de Arrow (1951): a classificação final de duas alternativas não é independente em relação às suas classificações em relação a alternativas irrelevantes. Esta característica reforça, conforme destacado em Arrow (1951) e Barba-Romero, Pomerol (1997), o fato de não existir método multicritério “perfeito”, ou seja, que satisfaça simultaneamente aos cinco axiomas de Arrow (axioma da universalidade, axioma da unanimidade, axioma da independência em relação a alternativas irrelevantes, axioma da transitividade e axioma da totalidade).

Embora o método de Copeland tenha um algoritmo mais extenso que os demais, este método sempre gera um resultado e, embora não elimine, reduz a influência de alternativas irrelevantes. Estas características justificam sua escolha neste artigo. Ainda, apesar de originalmente os métodos ordinais terem sido propostos para problemas multidecisor, foram aqui usados como multicritério. Isto significa que não houve um decisor para ordenar as alternativas: foi usada a ordenação de cada critério na solução do algoritmo do método.

No método de Copeland aqui implementado foram considerados os critérios UET e IL (média das 4 repetições). Este modelo considera as mesmas dimensões das variáveis usadas no modelo DEA. As alternativas foram as 16 combinações de cultivares de cenoura e alface do experimento, quais sejam:

- Alface crespa ‘Lucy Brown’ e cenoura ‘Alvorada’;
- Alface crespa ‘Lucy Brown’ e cenoura ‘Brasília’;
- Alface crespa ‘Tainá’ e cenoura ‘Alvorada’;
- Alface crespa ‘Tainá’ e cenoura ‘Brasília’;
- Alface crespa ‘Laurel’ e cenoura ‘Alvorada’;

- Alface crespa ‘Laurel’ e cenoura ‘Brasília’;
- Alface crespa ‘Verônica’ e cenoura ‘Alvorada’;
- Alface crespa ‘Verônica’ e cenoura ‘Brasília’;
- Alface lisa ‘Babá de Verão’ e cenoura ‘Alvorada’;
- Alface lisa ‘Babá de Verão’ e cenoura ‘Brasília’;
- Alface lisa ‘Maravilha da 4 estações’ e cenoura ‘Alvorada’;
- Alface lisa ‘Maravilha das 4 estações’ e cenoura ‘Brasília’;
- Alface lisa ‘Elisa’ e cenoura ‘Alvorada’;
- Alface lisa ‘Elisa’ e cenoura ‘Brasília’;
- Alface lisa ‘Carolina’ e cenoura ‘Alvorada’;
- Alface lisa ‘Carolina’ e cenoura ‘Brasília’.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos índices de eficiência agrônômica e econômica dos sistemas consorciados de cenoura e alface testados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores médios dos índices de uso eficiente da terra do sistema (UET), de lucratividade (IL) e eficiência DEA em função de cultivares de cenoura, dos grupos de alface e de cultivares de alface testada dentro de cada grupo em cultivo consorciado. Mossoró-RN, UFERSA, 2002.

Cultivares de Cenoura	UET	IL	Eficiência DEA
Alvorada	1,18	76,71	0,5821
Brasília	1,24	93,27	0,6450
Grupos / Cultivares de Alface			
Crespa	1,24	88,25	0,6305
Lucy Brown	1,26	92,42	0,6635
Tainá	1,23	103,30	0,6542
Laurel	1,21	64,72	0,5798
Verônica	1,25	92,57	0,6243
Lisa	1,19	81,73	0,5967
Babá de Verão	1,16	86,57	0,6169
Maravilha das 4 estações	1,19	94,54	0,6196
Elisa	1,15	67,45	0,5620
Carolina	1,24	78,35	0,5881

Ao analisarem-se os critérios isoladamente, verificou-se que os índices de uso eficiente da terra (UET) nos diversos sistemas consorciados entre os fatores-tratamentos foram maiores que 1. Isto indica que nestes sistemas ocorreu um melhor aproveitamento dos recursos ambientais, quando comparado com o do sistema solteiro. Segundo Jagannath, Sunderaraj (1987), em qualquer comparação de benefícios entre sistemas consorciados com áreas de ocupação de terra diferentes, a vantagem da consorciação via UET, vem de duas fontes diferentes, geralmente, confundidas: a) do fator terra (área ocupada por cada cultura componente); b) do fator biológico/agronômico (advindo dos fatores-tratamentos testados). Esta vantagem no UET nos sistemas consorciados estudados variou de 15% a 26% (Tabela 1) e adveio do fator biológico/agronômico decorrente das cultivares de cenoura, grupo de cultivares de alface e de cultivares de alface testadas dentro de cada grupo, já que a área ocupada por cada cultura nos diversos sistemas foi a mesma.

O indicador de vantagem monetária IL dos sistemas consorciados de cenoura e alface estudados indicam maiores valores nos sistemas consorciados que tinham a cenoura ‘Brasília’ como cultura componente. Entre os grupos de alface, o grupo crespa sobressaiu-se em relação ao grupo de alface lisa em termos destes indicadores econômicos.

As medidas de eficiência calculadas por modelos DEA mostram que os tratamentos que consideraram a cultivar de cenoura ‘Brasília’ apresentaram eficiência média (valor médio absoluto) superior aos que cultivaram cenoura ‘Alvorada’. Em relação às cultivares de alface, a maior eficiência média foi a dos tratamentos cultivados com alface crespa ‘Lucy Brown’. Para o grupo de alfaces lisa, a ‘Maravilha das 4 estações’ é a de melhor eficiência média.

Ao compararem-se os resultados da medida de eficiência e do UET, índices que fornecem indicação de vantagem relativa da produção combinada, verifica-se que ambos foram coincidentes ao identificar a cenoura ‘Brasília’, as variedades de alface crespa e, dentre estas, a ‘Lucy Brown’, como as de melhor desempenho, e a variedade lisa ‘Elisa’ como a de desempenho inferior. Ressalta-se que na medida de eficiência, além das produtividades das culturas foi ainda considerado o índice de lucratividade, que insere o valor econômico ao indicador agregado.

Para comparar os diferentes cultivos consorciados de cenoura e alface, recorreu-se ao método de Copeland e aos resultados do modelo DEA. Conforme anteriormente descrito, no método de Copeland gerou-se uma ordenação das alternativas a partir da consideração conjunta dos resultados de UET e IL. No modelo DEA as variáveis consideradas foram as medidas de produtividade e o IL. Os resultados encontram-se na Tabela 2, onde os números inteiros referem-se à posição da alternativa ou *rank* (1 significa 1º colocado; 2, 2º colocado etc.; em caso de empate, foi atribuído o mesmo valor para as alternativas empatadas).

Tabela 2: Resultado do método de Copleand e DEA, segundo os sistemas de cultivo testados. Mossoró-RN, UFERSA, 2002.

Alternativas	Rank Copeland	Eficiência	
		Valor	Rank
Alface crespa ‘Lucy Brown’ e cenoura ‘Alvorada’	3	0,6821	3
Alface crespa ‘Lucy Brown’ e cenoura ‘Brasília’	5	0,6449	7
Alface crespa ‘Tainá’ e cenoura ‘Alvorada’	4	0,6446	8
Alface crespa ‘Tainá’ e cenoura ‘Brasília’	4	0,6638	5
Alface crespa ‘Laurel’ e cenoura ‘Alvorada’	6	0,6003	9
Alface crespa ‘Laurel’ e cenoura ‘Brasília’	10	0,5594	12
Alface crespa ‘Verônica’ e cenoura ‘Alvorada’	7	0,5528	14
Alface crespa ‘Verônica’ e cenoura ‘Brasília’	2	0,6958	2
Alface lisa ‘Babá de verão’ e cenoura ‘Alvorada’	8	0,5629	11
Alface lisa ‘babá de verão’ e cenoura ‘Brasília’	5	0,6709	4
Alface lisa ‘Maravilha 4 estações’ e cenoura ‘Alvorada’	11	0,5128	16
Alface lisa ‘Maravilha 4 estações’ e cenoura ‘Brasília’	1	0,7265	1
Alface lisa ‘Elisa’ e cenoura ‘Alvorada’	7	0,5712	10
Alface lisa ‘Elisa’ e cenoura ‘Brasília’	9	0,5529	13
Alface lisa ‘Carolina’ e cenoura ‘Alvorada’	9	0,5300	15
Alface lisa ‘Carolina’ e cenoura ‘Brasília’	3	0,6463	6

Ao analisarem-se os resultados por sistema de cultivo, verifica-se que os que usaram cenoura ‘Brasília’ em consórcio com as alfaces ‘Maravilha das 4 estações’, ‘Verônica’ e cenoura ‘Alvorada’ com alface ‘Lucy Brown’ foram os de melhor eficiência DEA média.

Pode-se verificar que os métodos de Copeland e DEA foram coincidentes ao indicar o sistema de cultivo composto de alface lisa ‘Maravilha das 4 estações’ + cenoura ‘Brasília’ como o de melhor desempenho, seguido dos consórcios entre alface crespa ‘Verônica’ + cenoura ‘Brasília’ e alface crespa ‘Lucy Brown’ e cenoura ‘Alvorada’. O consórcio entre alface lisa ‘Maravilha das 4 estações’ e cenoura ‘Alvorada’ foi classificado em última posição por ambas as abordagens. Os dois métodos também mostram que a cultivar de cenoura ‘Brasília’ é a de melhor desempenho. Nesses resultados observa-se a importância de não considerar somente um aspecto na avaliação de consórcios.

4. CONCLUSÕES

Maiores valores dos indicadores econômicos e agrônômicos são observados nos sistemas consorciados que tinham a cenoura ‘Brasília’ como cultura componente e aqueles baseados no grupo de alface crespa. Na análise dos consórcios, observa-se que os sistemas formados pela cenoura ‘Brasília’ + alface ‘Maravilha das 4 estações’ e cenoura ‘Brasília’ + alface ‘Verônica’, têm os melhores desempenhos.

O UET e a eficiência DEA são índices que fornecem indicação da magnitude de alguma vantagem relativa da produção combinada, além de terem aplicação em qualquer situação de cultivo consorciado.

A análise conduzida por DEA coincide com a clássica análise de variância para respostas univariadas e simplifica a análise estatística no caso multidimensional. O uso de modelos DEA mostra-se relevante na análise de experimentos consorciados, quando se busca a melhor combinação de duas ou mais culturas. A coincidência nas primeiras e últimas posições dos resultados de DEA com os do método de Copeland (que se utilizam aqui de variáveis que expressam as mesmas dimensões) demonstram a potencialidade das medidas de eficiência em análise de experimentos. Além disso, sugere que o uso isolado de indicadores agrônômicos e econômicos deve ser substituído por abordagens multidimensionais que possam agregar esses resultados em uma resposta unidimensional.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANANDAJAYASEKERAM, P. Appropriate experimental designs and treatments structures for intercropping. In: WADDINGTON, S. R., PALMER, A. F. E., EDJE, O. T. Research methods for cereal/legume intercropping. **Proceedings...** Lilongwe, Malawi: CIMMYT. p. 147-153, 1990.
- [2] ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G. ISYDS – Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for Data Envelopment Analysis model. **Pesquisa Operacional**, v. 25, p. 493-503, 2005.
- [3] ARROW, K. J. 1951. **Social choice and individual values**. New York: Wiley. 138p. 1951.
- [4] BARBA-ROMERO, S.; POMEROL, J. C. 1997. **Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos e utilización práctica**. Madrid: Universidad de Alcalá. 420p. 1997.
- [5] BARROS JÚNIOR, A. P.; BEZERRA NETO, F.; SILVA, E. de O.; NEGREIROS, M. Z. de; OLIVEIRA, E. Q. de; SILVEIRA, L. M. da; LIMA, J. S. S de; FREITAS, K. K. C de. Qualidade de raízes de cenoura em sistemas consorciados com alface sob diferentes densidades populacionais. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 290-293, 2005.
- [6] BELTRÃO, N. E. M.; NÓBREGA, L. B. da; AZEVEDO, D. M. P. de; VIEIRA, D.J. 1984. **Comparação entre indicadores agroecômicos de avaliação de agroecossistemas consorciados e solteiros envolvendo algodão “upland” e feijão “caupi”**. Campina Grande: CNPA. 21p. (Boletim de Pesquisa, 15).
- [7] BEZERRA NETO, F.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVA, E. O. de; NEGREIROS, M. Z. de; OLIVEIRA, E. Q. de; SILVEIRA, L. M. da; CÂMARA, M. J. T.; NUNES, G. H. S. Qualidade nutricional de cenoura e alface cultivadas em Mossoró-RN em função da densidade populacional. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 476-480, 2006.
- [8] BEZERRA NETO, F.; BARROS JÚNIOR, A. P.; NEGREIROS, M. Z. de; OLIVEIRA, E. Q. de; SILVEIRA, L. M. da; CÂMARA, M. J. T. Associação de densidades populacionais de cenoura e alface no desempenho agrônômico da cenoura em cultivo consorciado em faixa. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 233-237, 2005.

- [9] BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; NUNES, M. V. R.; BARROS JUNIOR, A. P. Análise multidimensional de consórcios cenoura-alface sob diferentes combinações de densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1697-1704, 2007a.
- [10] BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; NUNES, G. H. S.; OLIVEIRA, E. Q. Desempenho de sistemas consorciados de cenoura e alface avaliados através de métodos uni e multivariados. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 500-506, 2007b.
- [11] BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; OLIVEIRA, A. M. Produtividade biológica em sistemas consorciados de cenoura e alface avaliada através de indicadores agroeconômicos e métodos multicritério. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 193-198, 2007c.
- [12] CABALLERO, R.; GOICOECHEA, E. L.; HERMAIZ, P. J. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of common vetch. **Crops Research**, v. 41, p.135-140, 1995.
- [13] CECILIO FILHO, A. B.; MAY, A. Produtividade das culturas de alface e rabanete em função da época de estabelecimento do consórcio. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 501-504, 2002.
- [14] CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.
- [15] COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. 2000. **Data Envelopment Analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software**. Boston: Kluwer Academic Publishers. 318p. 2000.
- [16] DIMA, K. V.; LITHOURGIDIS, A. S.; VASILAKOGLU, I. B.; DORDAS, C. A. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratios. **Field Crops Research**, v. 100, p. 249-256, 2007.
- [17] EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA. 412p.
- [18] FEDERER, W. T. Statistical issues in intercropping. In: EL-SHAARAWI, A.H., PIEGORSCH, W.W., PIEGORSCH, W. **Encyclopedia of environmetrics**. 1st edition, New York: Wiley, 2002. p.1064-1069.
- [19] GOMES, E. G.; SOUZA, G. S. Avaliação de ensaios experimentais com o uso da análise de envoltória de dados: uma aplicação a consórcios. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS) e Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO), 50. - 11., Londrina. **Anais...**, Londrina, 2005.
- [20] IPA – Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. 1998. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2a aproximação**. 2. ed. Ver. Recife: IPA. 198p.
- [21] JAGANNATH, M. K.; SUNDERARAJ, N. Productivity equivalent ratio and statistical testing of its advantage in intercropping. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics**, v. 39, p. 289-300, 1987.
- [22] LETA, F. R.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; ANGULO MEZA, L. Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. **Investigação Operacional**, v. 25, n. 2, p. 229-242, 2005.

- [23] LOVELL, C. A. K.; PASTOR, J. T. Radial DEA models without inputs or without outputs. **European Journal of Operational Research**, v. 118, p. 46-51, 1999.
- [24] MANGABEIRA, J. A. de C.; GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B. Desempenho de produtores agrícolas com base em medidas de produtividade: uma abordagem multicriterial. In: XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2006, Fortaleza. Anais..., 2006.
- [25] MEAD, R.; WILLEY, R. W. The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. **Experimental Agriculture**, v. 16, p. 217-228, 1980.
- [26] MEAD, R. Appropriate experimental designs and treatments structures for intercropping. In: WADDINGTON, S.R.; PALMER, A.F.E.; EDJE, O.T. Research methods for cereal/legume intercropping. **Proceedings...**, Lilongwe, Malawi: CIMMYT, 1990. p. 131-138.
- [27] OLIVEIRA, A. M. de; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z. de; OLIVEIRA, E. Q. de. Cultivares de alface americana em segundo cultivo nos sistemas solteiro e consorciado com cenoura. **Caatinga**, v. 18, p. 47-51, 2005a.
- [28] OLIVEIRA, E. Q. de; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z. de; BARROS JÚNIOR, A. P.; FREITAS, K. K. C. de; SILVEIRA, L. M. da; LIMA, J. S. S de. Produção e valor agroeconômico no consórcio entre cultivares de coentro e de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 285-289, 2005b.
- [29] PARK, S. E.; BENJAMIN, L. R.; WATKINSON, A. R. Comparing biological productivity in cropping systems: a competition approach. **Journal of Applied Ecology**, v. 39: 416-426, 2002.
- [30] RILEY, J. A. General form of the land equivalent ratio. **Experimental Agriculture**, v. 20, n. 1, p. 19-29, 1984.
- [31] SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G. Eficiências aeroportuárias: uma abordagem comparativa com análise de envoltória de dados. **Revista de Economia e Administração**, v. 3, n. 1, p. 15-23, 2004.
- [32] VALLADARES, G. S; GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; EBELING, A. G. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008.
- [33] WILLEY, R. W. Intercropping – Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. **Field Crop Abstracts**, v. 32, p. 1-13, 1979.
- [34] WILLEY, R. W.; OSIRU, D. J. O. Studies on mixtures of maize and beans (*Phaseolus vulgaris*) with particular reference to plant population. **Journal of Agricultural Science**, v. 79, p. 519-529, 1972.