

Uma Análise Multicritério na Produção Rural: O Caso do Vale Trussu em Iguatu-CE

Maria Eliani Holanda Coelho

- * *Engenheira Civil pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR)*
- * *MS em Irrigação e Drenagem pela Universidade Federal do Ceará (UFC)*
- * *Professora da Escola Agrotécnica Federal de Iguatu-CE*

José César Vieira Pinheiro

- * *Doutor em Economia Aplicada pela Universidade de São Paulo (USP)*
- * *Professor Adjunto III do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará*

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido utilizando a metodologia de Programação Linear centrada em objetivos múltiplos, que otimiza simultaneamente vários objetivos sujeitos a um conjunto de restrições. Para implementação dessa metodologia foi escolhido o vale do rio Trussu, localizado no Município de Iguatu-CE, por apresentar condições propícias para que possa, através de um plano de cultivo que atenda objetivos múltiplos, transformar-se em um pólo de desenvolvimento agrícola. Tendo em vista uma combinação das culturas atualmente cultivadas no Vale com os objetivos de proporcionar uma elevação na margem bruta e no emprego, com um mínimo de sazonalidade, utilizou-se o método NISE, por este ser capaz de trabalhar com decisões envolvendo múltiplos atores e objetivos importantes para a região. Os resultados encontrados mostraram que o método NISE permitiu a indicação de um plano de cultivo que otimizou múltiplos objetivos.

Palavras-chave:

Análise Multicriterial; Objetivos Múltiplos; Método NISE.

1 - INTRODUÇÃO

No semi-árido nordestino, prevalece um regime pluvial irregular, no tempo e no espaço, ocasionando secas periódicas, que causam desorganização na estrutura socioeconômica do campo. Esta condição climática, conjugada à ausência de políticas públicas de longo prazo, traduz-se na queda sistemática da atividade econômica, reduzindo as oportunidades normais de emprego da população rural.

Uma agricultura de base familiar, que pretenda absorver novas técnicas e atrair mais investimentos, requer um plano de cultivo que atente, ao mesmo tempo, para aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Na concepção de sustentabilidade, está claramente comprovada a existência de conflitos entre aspirações, dadas as diferentes dimensões e interesses dos atores envolvidos no processo produtivo. A existência concreta desses conflitos requer que o estudo e a análise das políticas públicas devam considerar simultaneamente distintos objetivos.

A programação com objetivos múltiplos é utilizada em situações em que se deseja otimizar simultaneamente vários objetivos sujeitos a um conjunto de restrições. Quando for impossível encontrar uma solução ótima, indica-se um conjunto eficiente, cujos elementos são soluções alcançáveis, fornecendo opções que melhor atendam aos anseios da população-alvo. Como esta é plural por natureza, muitas vezes, a melhor solução poderá ocorrer pela negociação ou até mesmo pelo confronto político.

Sob esta perspectiva, pretende-se determinar a combinação ótima das culturas tradicionalmente exploradas pelos produtores residentes no Vale do Trussu, localizado no município de Iguatu-CE, onde foi construído o açude público "Roberto Costa", com capacidade de acumular 280.000.000 m³ de água. (Informações fornecidas pela sede da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH, em 2000). Espera-se obter o máximo possível de margem bruta e emprego com um mínimo de sazonalidade do trabalho requerido, atendendo às restrições do potencial de uso dos solos. Assim,

esperam-se o alcance e interação de objetivos ambientais, sociais e econômicos. Trata-se de um enfoque apropriado à pesquisa sobre desenvolvimento sustentável.

O trabalho contempla cinco seções, além dessa introdução. A segunda seção apresenta o método *Non Inferior Set Estimation* (NISE), Programação-compromisso e o modelo participativo, além de uma breve descrição da área de abrangência. Na terceira seção é feita a especificação empírica do modelo e descrição dos procedimentos metodológicos necessários a sua obtenção. A quarta seção contém os resultados traduzidos pelo conjunto de soluções alternativas e a solução compromisso, sendo analisadas as implicações da sua escolha, seguida pela seção conclusiva.

2 - METODOLOGIA

2.1 - Área de Estudo

O Vale do Trussu, localizado a jusante do açude público Roberto Costa, no Município de Iguatu, apresenta-se com uma faixa de aproximadamente 24 km do rio Trussu perenizado.

O citado município localiza-se na região centro-sul do Estado do Ceará, a cerca de 378 km de Fortaleza. Tem como principais vias de acesso à capital a BR 116, 282/404, 153/404. A área total do Município é de 1.042,60 km². Sua população é de 85.615 habitantes, sendo 62.366 (72,85%) residentes da zona urbana e 23.249 (27,15%) da zona rural. (Dados do Censo de 2000, fornecidos pelo escritório de Iguatu-CE do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE).

Segundo a classificação de Koeppen, a zona climática do Município de Iguatu é do tipo BSw'h' (clima quente e semi-árido). O período chuvoso é irregular, compreende os meses de janeiro a abril, com precipitação média de 870 mm. As temperaturas médias anuais situam-se entre 20 e 32°C, sendo o mês de junho o mais frio e o de novembro o mais quente.

Iguatu pertence às regiões das depressões sertanejas semi-áridas. Os solos variam de bruno não-

cálcico a planossolo e litólico, com alta fertilidade nos fundos dos vales. Em quase todo o território, está presente a caatinga arbustiva densa, exceto nos interflúvios, onde estão as matas ciliares. A disponibilidade de água, a topografia plana de suas terras, a fertilidade dos solos, a presença de extensas várzeas fazem de Iguatu, um lugar privilegiado, do ponto de vista agrícola. Sua economia, baseada na agricultura, apresenta potencial de localização estratégico pelo intercâmbio com outros Estados e a posição de pólo econômico da região centro-sul do Estado do Ceará.

2.1.1 - Estrutura do Vale do Trussu

O vale do Trussu é dividido em 16 comunidades, distribuídas ao longo das margens do rio Trussu. Existem, na área em estudo, 184 propriedades. Entre estas, 74,25% possuem energia elétrica e 87,13% não possuem máquinas agrícolas. A distribuição fundiária destas propriedades, normalmente, gera problemas no financiamento e implantação de grandes projetos, devido ao grande número de pequenos proprietários.

O número de proprietários que utilizam algum método de irrigação é elevado: 75,24%. Mas a prática da irrigação é feita sem um controle técnico, não existe preocupação com a quantidade de água útil admitida pelo solo e com as exigências hídricas das plantas necessárias para o seu pleno desenvolvimento.

Atualmente, são cultivadas a agricultura de subsistência e forrageiras. O policultivo é uma característica mesmo nas pequenas propriedades. Apenas 14% do potencial agricultável estão sendo cultivados.

As culturas mais importantes são: arroz, feijão e algodão (irrigado e inverno), milho, consórcios de milho-feijão e algodão-feijão, cana forrageira, capim e sorgo.

2.1.2 - Perfil dos proprietários

Aproximadamente 60% dos proprietários possuem uma faixa etária entre 50 e 70 anos e, na sua grande maioria, são pessoas que não tiveram oportu-

nidades de estudar, apresentando uma taxa de 50,49% de analfabetos e semi-analfabetos. Habitados a uma maneira tradicional de cultivar, esses proprietários se tornam relutantes em aceitar as inovações tecnológicas.

2.2 - Método NISE

Baseia-se fundamentalmente em uma associação de objetivos ponderados, que definem uma inclinação de uma reta. É a curva de *trade-offs*, que expressa a relação de intercâmbio dos dois objetivos.

Os valores concretos de intercâmbio entre os dois objetivos são representados pela inclinação das retas que unem os pontos extremos eficientes. Assim a inclinação de um segmento indica o trecho do incremento de um objetivo no outro.

O método NISE foi desenvolvido por Cohnon (1979) e permite determinar um conjunto eficiente de resultados quando existem somente dois objetivos a serem perseguidos. Um problema típico de Programação Linear é composto de uma função objetivo, que apresenta as variáveis a serem maximizadas ou minimizadas, sujeitas a restrições definidas. O que Cohnon (1979) propôs foi um artifício capaz de envolver dois objetivos, embora Romero e Rehman (1985) afirmem que permanece, na essência, o emprego de códigos normais da Programação Linear.

A otimização simultânea de vários objetivos dificilmente é convergente, exceto com a possibilidade de que todos estes objetivos sejam complementares, o que é uma hipótese pouco factível. Então, em vez de tentar determinar um objetivo ótimo, é mais razoável tentar estabelecer um contexto multi-objetivo, que se denomina conjunto eficiente, com soluções Pareto-ótimas (ROMERO, 1993).

Para encontrar o conjunto eficiente, em primeiro lugar, calculam-se os valores ideais, que correspondem aos valores ótimos de cada objetivo considerado individualmente e que seria a solução ótima na ausência do outro objetivo. De igual maneira, substituindo no objetivo, não considerados os valo-

res do vetor X, se definem os valores anti-ideais, ou seja, aqueles que alcançam um dado valor quando o outro é ideal.

O modelo matemático utilizado é o seguinte:

$$\begin{matrix} \text{MAX} & Z & = & W_1 Z_A(x) + W_2 Z_B(x) \\ \text{X} & & & \end{matrix} \quad (1)$$

Sendo:

$$W_1 = Z_B^*(X) - Z_B^{**}(X) \quad (2)$$

$$W_2 = Z_A^*(X) - Z_A^{**}(X) \quad (3)$$

onde:

$Z_A(X)$ - função objetivo de A

$Z_B(X)$ - função objetivo de B

$Z_A^*(X)$ - ponto ideal de A

$Z_A^{**}(X)$ - ponto anti-ideal de A

$Z_B^*(X)$ - ponto ideal de B

$Z_B^{**}(X)$ - ponto anti-ideal de B

Empregando o método Simplex, chega-se ao valor de um novo ponto C, que unido a A e B, origina dois segmentos de retas \overline{AC} e \overline{BC} . A inclinação destes novos segmentos é dada por W_1/W_2 e permite gerar novos pontos eficientes.

Uma vez definida a curva de *trade-offs*, o próximo passo consiste em determinar a solução ótima, que é aquela mais próxima do ponto ideal, ou, pelo menos, reduzir o tamanho do conjunto eficiente.

2.3 - Programação-compromisso

O ponto ideal geralmente é impossível de ser alcançado em virtude da existência de conflitos entre os objetivos. Assim, deve-se encontrar a Solução-compromisso, aquela mais próxima do ponto ideal. Este procedimento metodológico foi desenvolvido por Zeleny (1976) e consiste no cálculo da distância entre o j-ésimo objetivo e seu ideal (Z_j^*). Quando o j-ésimo objetivo se maximiza, o grau de proximidade é dado por:

$$d_j = Z_j^* - Z_j(x) \quad (4)$$

Quando o j-ésimo objetivo é minimizado, fica:

$$d_j = Z_j(x) - Z_j^* \quad (5)$$

Como os objetivos possuem unidades de medidas diferentes, Zeleny (1982) sugere transformar os desvios absolutos em relativos. Assim, se o j-ésimo objetivo passa a ser calculado por:

$$d_j = \frac{Z_j^* - Z_j(x)}{Z_j^* - Z_j^{**}} \quad (6)$$

Onde:

Z_j^* é o valor ideal para o j-ésimo objetivo e Z_j^{**} é o valor anti-ideal.

Para medir a distância (L_p) entre duas soluções e o ponto ideal, a Programação-compromisso emprega a seguinte família de medidas (L_p), dada pela seguinte função:

$$L_p(W, n) = \left[\sum_{j=1}^n W_j d_j \right]^{1/p} \quad (7)$$

Onde:

W_j - são coeficientes de ponderação da discrepância entre o j-ésimo objetivo e o seu valor ideal;

p - é um parâmetro que age como peso associado aos desvios e n é o número de soluções.

Essa família de funções de distância pode ser aplicada a um conjunto de alternativas eficientes e viáveis para escolher a melhor Solução-compromisso.

$$\text{Min } L_1 = \sum_{j=1}^n W_j \frac{Z_j^* - Z_j(x)}{Z_j^* - Z_j^{**}} \quad (8)$$

sujeito a $X \in x$ (restrições básicas).

Para L_∞ , isto é, para $p = \infty$, se procede à minimização do desvio máximo individual. A Solução-compromisso é obtida resolvendo a Programação Linear.

$$\text{Min } L = d \quad (9)$$

Sujeita a:

$$\frac{|Z_j^*(x) - Z(x)|}{Z_j^* - Z_j^{**}} \leq d$$

$$\frac{|Z(x) - Z_j^*(x)|}{Z_j^{**} - Z_j^*} \leq d$$

$X \in x$ (restrições básicas)

($J = 1, 2, \dots, n$)

2.4 - Os Dados Utilizados

Neste estudo, procurou-se inicialmente identificar as atividades produtivas já desenvolvidas na região através de questionários preenchidos com técnicos e produtores que atuam ou residem na área. Os objetivos prioritários a serem atendidos (aumento da renda e do emprego) sob restrições agroeconômicas (limites mínimos e máximos de tipos de exploração), foram identificados nos questionários e complementados em rodadas de encontros e discussão com os grupos de interesses.

Para indicar um plano de cultivo que possibilite maximizar simultaneamente a renda líquida/ha e o emprego do conjunto de produtores residentes no Vale do Trussu, procedeu-se à tabulação dos dados registrados na TABELA 1.

Deve-se destacar um ponto muito importante: a programação não será feita através da indicação de áreas absolutas, dado que as informações da matriz de entrada estão expressas em termos relativos, obedecendo ao pressuposto de linearidade das relações.

TABELA 1
RENDA LÍQUIDA/HA, NECESSIDADES E DISTRIBUIÇÃO DE MÃO-DE-OBRA NOS BIMESTRES POR TIPOS DE EXPLORAÇÃO

ATIVIDADE	Xi	MARGEM BRUTA (R\$/há)	MÃO-DE-OBRA (h/d/há)	MÃO-DE-OBRA POR PERÍODO					
				I	II	III	IV	V	VI
Arroz/inverno	X1	458.00	45	13	32				
Arroz/irrigado	X2	538.00	60				17	43	
Feijão/inverno	X3	255,00	42	22	20				
Feijão/irrigado	X4	350.00	60				34	26	
Milho	X5	311.00	46	20	14	12			
Algodão/inverno	X6	458,00	76	37	29	20			
Algodão irrigado	X7	691,32	86				41	33	12
Milho-feijão	X8	324.00	50	14	24	12			
Algodão-feijão	X9	484.22	78	30	30	18			
Cana-forrageira	X10	337,00	134	22	20	26	20	20	26
Capim	X11	320.00	102	32	14	14	14	14	14
Sorgo	X12	480.00	100	30	14	14	14	14	14

FONTE: Banco do Nordeste – Empresa de Assistência Técnica Extensão Rural do Ceará (EMATERCE) e produtores do Vale do Trussu. Dados do ano 2000.

3 - MODELO EMPÍRICO

3.1 - Método NISE

Considerando-se que o objetivo deste trabalho é elaborar um plano de cultivo para um desenvolvimento sustentável para o Vale do Trussu, utilizou-se o método NISE com culturas anuais representativas da região.

A formulação do método consistiu em construir uma matriz de programação linear, baseada em dois critérios, ou seja, como o método não permite que três objetivos sejam alcançados simultaneamente, e sim dois a dois, procurou-se encontrar um compromisso entre o nível de margem bruta e a sazonalidade de mão-de-obra e entre emprego e sazonalidade de mão-de-obra sob as restrições abaixo.

As linhas (1) – (5) do modelo matricial (TABELA 3) contemplam as restrições relacionadas com o uso do solo e estão inseridas em um plano de uso do solo tecnicamente recomendável. O solo é o principal recurso e vem sendo degradado e um plano de cultivo para um desenvolvimento sustentável requer um novo *layout* das áreas cultivadas dentro dos padrões conservacionistas, diversificando as atividades agrícolas.

Com observância da capacidade de uso sustentável do solo, com a implementação de técnicas de conservação, deve ser feita a rotação entre as culturas de arroz (X_1) e capim (X_{10}) linhas (1) e (2) em virtude de serem cultivadas em solos com mesmas características (aluvionais de textura argilosa).

À falta de conhecimentos técnicos, por parte dos produtores, no manejo com agrotóxicos, as culturas plantadas em sistemas de consórcios apresentam diferentes ciclos de produção, acarretando um uso indiscriminado de defensivos químicos em épocas de colheita da cultura de menor ciclo. A orientação é para que as áreas cultivadas com culturas isoladas (feijão, milho e algodão) sejam maiores do que as áreas plantadas em sistema de consórcio com estas culturas (linha 3).

Tendo em vista a segurança alimentar da população, as áreas cultivadas com alimentos básicos, como arroz, feijão e milho, devem ser maiores do que as plantadas com forrageiras, quando requerem o uso do solo com as mesmas características (linha 4).

A orientação técnica é de que a cultura do arroz não deva exceder a 25% da área total no inverno (linha 6) e a 20% no período em que será cultivada usando sistema de irrigação (linha 7), em virtude de ser uma cultura mais bem adaptada a solos aluvionais de textura argilosa e por estes abrangerem em torno de 25% da área total do vale do Trussu.

O limite máximo para as áreas de consórcios (linhas 8 e 9) de 2% da área total do vale baseia-se no uso indiscriminado de agrotóxicos.

Para atender o rebanho bovino da região, as áreas cultivadas com culturas do capim (X_{10}) e sorgo (X_{12}), observando as características de cada solo, devem ser no mínimo iguais a 5% da área total do vale do Trussu (linhas 10 e 11).

A linha (12) indica que qualquer cultura poderá participar do plano alternativo de cultivo.

Para resolver o problema da comunidade, que é a sazonalidade no emprego, com épocas de ociosidade de mão-de-obra e épocas de extrema necessidade (com falta de mão-de-obra), utilizou-se o método de Hazell (1971) (Linhas 13-18).

Este método permite determinar uma medida de sazonalidade do emprego compatível com o enfoque da Programação Linear. Hazell (1971) substituiu o binômio Esperança-Variância, que tem uma expressão quadrática, pelo seu equivalente Esperança-Desvio Médio Absoluto, que é de natureza linear. As restrições (13–18) mostram os desvios (TABELA 2) na utilização da mão-de-obra de cada cultivo em cada um dos 6 (seis) bimestres em relação ao requerimento médio para cada cultivo.

TABELA 2
PLANEJAMENTO DA SAZONALIDADE PELO MÉTODO DE HAZELL

ATIVIDADE	Xi	Emprego de mão-de-obra dias/há						Média	Valores de cada período-Média					
		I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI
Arroz/inverno	X1	13	32					7,5	5,5	24,5	-7,5	-7,5	-7,5	-7,5
Arroz/irrigado	X2				17	43		10	-10	-10	-10	7	33	-10
Feijão/inverno	X3	22	20					7	15	13	-7	-7	-7	-7
Feijão/irrigado	X4				34	26		10	-10	-10	-10	24	16	-10
Milho	X5	20	14	12				7,67	12,33	6,33	4,33	-7,67	-7,67	-7,67
Algodão/inverno	X6	37	29	10				12,67	24,33	16,33	-2,67	-12,67	-12,67	-12,67
Algodão/irrigado	X7				41	33	12	14,33	-14,33	-14,33	-14,33	26,67	18,67	-2,33
Milho-feijão	X8	14	24	12				8,33	5,67	15,67	3,67	-8,33	-8,33	-8,33
Algodão-feijão	X9	30	30	18				13	17	17	5	-13	-13	-13
Cana forrageira	X10	22	20	26	20	20	26	22,33	-0,33	-2,33	3,67	-2,33	-2,33	3,67
Capim	X11	32	14	14	14	14	14	17	15	-3	-3	-3	-3	-3
Sorgo	X12	30	14	14	14	14	14	16,67	13,33	-2,67	-2,67	-2,67	-2,67	-2,67

FONTE: Banco do Nordeste – Empresa de Assistência Técnica Extensão Rural do Ceará (EMATERCE) e produtores do Vale do Trussu. Dados do ano 2000.

As variáveis de decisão compõem-se das atividades reais (X_1 e X_{12}) e das variáveis de sazonalidade de mão-de-obra (X_{13} e X_{24}). Estas medem os desvios positivos e negativos (+ 1 e -1) com respeito a um desvio zero em cada bimestre considerado. Hazell (1971) mostrou que a minimização da soma das variáveis de desvio implica na minimização do desvio absoluto médio, mesmo em diferentes unidades. Assim, atende-se à minimização da sazonalidade de mão-de-obra ou função-objetivo Z_3 .

A primeira iteração é feita com cada objetivo isoladamente, para encontrar os valores ideais e anti-ideais de cada objetivo.

Maximizando a função objetivo Z_1 , obtém-se o plano de cultivo que maximiza a margem bruta, proporcionando um nível de sazonalidade de 67,86 h/d/ha. A minimização da função objetivo Z_3 traduz um plano de produção que minimize a sazonalidade, gerando um nível de margem bruta de R\$ 406,37.

A maximização do emprego gera uma sazonalidade de 17,29 h/d/ha, enquanto a minimização da sazonalidade proporciona um nível de emprego de 69,51 h/d/ha.

Na segunda fase, são feitas várias iterações para calcular os pontos eficientes segundo o método NISE.

A obtenção do ponto eficiente C é a partir da Programação Linear:

Para o ponto C, no caso Margem Bruta/Sazonalidade:

$$\text{Max } Z(X) = (67,86 - 11,94) Z_1 - (631,19 - 406,37) Z_3 \quad (10)$$

E no caso do Emprego/Sazonalidade, o ponto C é encontrado:

$$\text{Max } Z(X) = (17,29 - 11,94) Z_2 - (84,02 - 69,51) Z_3 \quad (11)$$

$$X \in x \text{ (restrições básicas)}$$

Os coeficientes de ponderação de Z_1 , Z_2 e Z_3 são os componentes da inclinação da reta \overline{AB} . O ponto C pode produzir novos pontos eficientes D e E, tomando a inclinação dos segmentos das retas \overline{AC} e \overline{BC} , respectivamente. Os pontos D e E podem ensejar novos segmentos.

TABELA 4
VALORES IDEAIS E ANTI-IDEAIS

VALORES IDEAIS			VARIÁVEIS DE DECISÃO												VALORES ANTI-IDEAIS		
MARGEM BRUTA	EMPREGO	SAZONALIDADE	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	MARGEM BRUTA	EMPREGO	SAZONALIDADE
631,19	-	-	0,10	0,05	-	-	-	-	0,75	-	-	-	0,05	0,05	-	-	67,86
-	84,02	-	0,05	0,05	-	-	0,28	-	0,28	-	-	0,24	0,05	0,05	-	-	17,29
-	-	11,94	0,05	0,05	-	-	0,51	-	0,17	-	-	0,12	0,05	0,05	406,37	69,51	-

FONTE: Dados da pesquisa.

TABELA 5
PONTOS EFICIENTES SEGUNDO O MÉTODO NISE

CASO	PONTOS	OBJETIVOS			VARIÁVEIS DE DECISÃO											
		Z1	Z2	Z3	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
MARGEM BRUTA/ AZONALIDADE	A	406,37	-	11,94	0,05	0,05	-	-	0,51	-	0,17	-	-	0,12	0,05	0,05
	B	631,19	-	67,86	0,10	0,05	-	-	-	-	0,75	-	-	-	0,05	0,05
	C	566,38	-	21,29	0,17	0,05	-	-	-	0,19	0,47	-	0,02	-	0,05	0,05
	D	426,61	-	12,43	0,05	0,05	-	-	0,38	-	0,21	0,02	0,02	0,17	0,05	0,05
EMPREGO/ SAZONALIDADE	A	-	69,51	11,94	0,05	0,05	-	-	0,51	-	0,17	-	-	0,12	0,05	0,05
	B	-	84,02	17,29	0,05	0,05	-	-	0,28	-	0,28	-	-	0,24	0,05	0,05
	C	-	82,94	14,73	0,14	0,05	-	-	0,18	-	0,27	0,02	0,02	0,22	0,05	0,05
	D	-	76,63	12,44	0,05	0,05	-	-	0,37	-	0,21	0,02	0,02	0,17	0,05	0,05

FONTE: Dados da pesquisa.

As soluções correspondem aos pontos situados na curva de intercâmbio dos objetivos: a curva de *trade-offs*.

3.2 - Programação Compromisso

Após o estabelecimento das curvas de *trade-offs*, utilizando a Programação-compromisso, foram determinadas as Soluções-compromisso através da equação (8).

L1 será obtida resolvendo a seguinte Programação Linear:

Para os objetivos margem bruta e sazonalidade,

$$\text{Min } L_1 \frac{W_1[631,19 - Z_1(x)]}{631,19 - 406,37} \quad W_2 \frac{[Z_3(x) - 11,94]}{67,86 - 11,94} \quad (12)$$

Considerando os objetivos margem bruta e sazonalidade com o mesmo grau de importância, $W_1 = W_2$ distância L_1 , para $P = 1$, a Solução-compromisso será igual ao ponto "C" da curva de *trade-offs*, que é a solução eficiente mais próxima do ponto ideal.

Segundo Romero (1993, p. 163), se $W_1 = W_2$ faz com que L_1 e L_∞ sejam iguais.

De maneira análoga, considerando com o mesmo grau de importância, $W_1 = W_2$ calcula para os objetivos emprego/sazonalidade.

$$\text{Min } L_1 \quad W_1 \frac{[84,02 - Z_2(x)]}{84,02 - 69,51} \quad W_2 \frac{[Z_3(x) - 11,94]}{17,29 - 11,94} \quad (13)$$

A solução compromisso $L_1 = L_\infty$ será igual ao ponto "C"

4 - RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 - Solução-compromisso

Soluções-compromisso são consideradas de máxima eficiência porque são os pontos que mais se aproximam do ponto ideal, que é inatingível, em virtude de os objetivos serem conflitantes.

Na escolha da Solução-compromisso, foi adotado o mesmo critério na atribuição de pesos da margem bruta/sazonalidade e no emprego/sazonalidade, considerando $W_1 = W_2 = 1$, tornando $L_1 = L_\infty$.

Para o caso de margem bruta e sazonalidade, a Solução-compromisso é representada pelo ponto “C” (TABELA 6), onde a margem bruta e a sazonalidade são iguais a R\$ 566,38/ha e a 21,29, respectivamente. A margem bruta é inferior ao valor obtido em B, conforme TABELA 5, mas possui sazonalidade quase o dobro do ideal. Mais de 80% da área deve ser explorada em ordem de importância pelas cultivadas com algodão irrigado, algodão de inverno e arroz de inverno.

No caso emprego e sazonalidade, a Solução-compromisso é representada pelo ponto D (TABELA 6), onde o nível de emprego é 76,63 h/d/ha e a sazonalidade de 12,44. A sazonalidade é próxima do ideal, por causa da maior diversificação de culturas e predominância em 37% da área potencial com milho. Mas apresenta uma redução no número de empregos/ha de 7,39 h/d/ha, em relação ao ponto B, em virtude da maior diversificação de culturas sugerida.

4.2 - Análise Margem Bruta/ Sazonalidade

O ponto A da curva de *trade-offs* (GRÁFICO 1) é o que apresenta menor sazonalidade de trabalho. Seus requerimentos são os mais constantes possíveis ao longo do ano. Isto decorre da maior diversificação de culturas, com a predominância do milho, ocupando metade da área potencial. Sua predominância, no entanto, faz com que, neste ponto, a renda esperada seja a menor (R\$ 406,37/ha) entre todas as opções apresentadas pela curva de *trade-offs* (GRÁFICO 1). Vale ressaltar que, entre todas as

culturas exploradas na área, o milho é a segunda menor margem bruta/ha (conforme TABELA 1).

No ponto B, ocorre exatamente o contrário. É onde a margem bruta é máxima, em virtude de o algodão irrigado participar com 75% da área potencial total, sendo a cultura mais rentável de todo o elenco disponível. Houve total substituição da cultura do milho, razão de este ponto ter maior sazonalidade em relação aos demais da curva de *trade-offs*.

Os pontos C e D situam-se entre estes extremos, ou seja, possuem menores margens brutas que o ponto B e sazonalidade superior ao ponto A. Todos estes pontos estão próximos do ideal, com margem bruta de R\$ 631,19/ha e sazonalidade igual a 11,94; portanto, são superiores A e B. O problema aqui consiste em escolher o que mais se aproxima dos anseios dos produtores e esta decisão envolve componentes políticos e técnicos.

Um grupo de produtores pode desejar um sistema de produção que privilegia a margem bruta e outro grupo a sazonalidade. O peso pode ser dado por um sistema de votação e o ponto selecionado pode ficar mais próximo de A ou de B, ou mesmo equidistante¹.

Comparando os resultados obtidos pelo modelo com a situação atual, para atender simultaneamente o aumento da margem bruta e redução da sazonalidade, preconiza-se aumentar as áreas com algodão irrigado. O modelo sugere pequena área de 2% para

TABELA 6
RESULTADO DA SOLUÇÃO-COMPROMISSO

MODELO	PONTOS	ÁREAS (taxas de ocupação)										IDEAL			
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	Margem	Sazon.
Margem bruta/ Sazonalidade	L ₁	0,17	0,05				0,19	0,47		0,02		0,05	0,05	566,38	21,29
	L	0,17	0,05				0,19	0,47		0,02		0,05	0,05	566,38	21,29
Emprego/ Sazonalidade	L ₁	0,05	0,05			0,37		0,21	0,02	0,02	0,17	0,05	0,05	76,63	12,44
	L	0,05	0,05			0,37		0,21	0,02	0,02	0,17	0,05	0,05	76,63	12,44

FONTE: Dados da pesquisa.

o consórcio algodão-feijão, com intuito de reduzir o risco proporcionado pelo feijão solteiro.

4.3 - Análise Emprego/Sazonalidade

O ponto A da curva de *trade-offs* (GRÁFICO 2) de emprego/sazonalidade, quanto à sazonalidade, apresenta o mesmo valor do ponto A da curva de *trade-offs* de margem bruta/sazonalidade, por ser formado pelo ponto ideal da sazonalidade e o anti-ideal do emprego.

O ponto B é onde o emprego é máximo (84,02 h/d/ha) e decorre da introdução de 23% da área total com cana forrageira, cultura de maior requerimento de mão-de-obra/ha (TABELA 1). Deve-se também da sugestão do aumento da área cultivada com algodão irrigado e diminuição da área com a cultura do milho. A diminuição da área cultivada com milho contribui para uma maior sazonalidade.

Para que a situação atual do Vale do Trussu possa apresentar os resultados do modelo de maximização do emprego e minimização da sazonalidade, seria necessário redistribuir as culturas e fazer uma maior diversificação.

4.3 - Análise da Curva de Trade-offs

Os pontos de *trade-offs* possibilitam aos produtores e tomadores de decisão escolher a alterna-

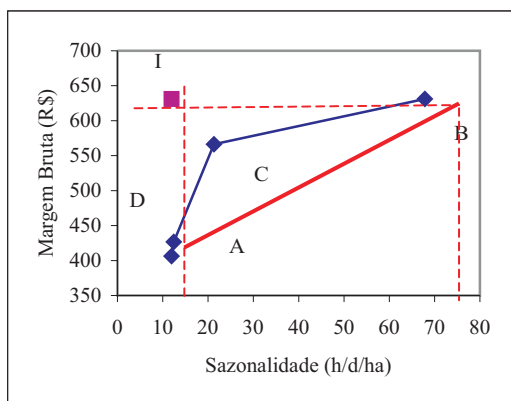


GRÁFICO 1 - CURVA DE TRADE-OFFS DA SAZONALIDADE/MARGEM BRUTA

FONTE: Dados da pesquisa.

tiva de cultivo que melhor atenda aos objetivos prioritizados na comunidade.

Os pontos A e B são os limites das curvas de *trade-offs* que medem as relações entre margem bruta e sazonalidade e entre emprego e sazonalidade. Esta curva é de grande interesse para conhecer os intercâmbios entre os objetivos predeterminados. São consideradas soluções eficientes ou Pareto-ótima. Ressalta-se que estas soluções são factíveis, de modo que não há outras soluções melhores no sentido de maior proximidade do ponto ideal resultantes dos objetivos prioritizados pelos produtores.

Mesmo assim, terá de haver uma ponderação entre estes dois objetivos para escolha do ótimo dentre os indicados pelo modelo.

5 - CONCLUSÃO

O método NISE permitiu a obtenção da taxa ótima de ocupação dos solos do Vale do Trussu. Comparadas com as taxas de uso atual, os sistemas de produção preconizados são superiores tanto em termo de margem bruta quanto na maximização do emprego e minimização da sazonalidade. Estes resultados focalizam as abordagens econômica e social. O aspecto ambiental focado neste estudo foi considerado no modelo na forma de restrição, visando ao uso racional do solo para as distintas culturas.

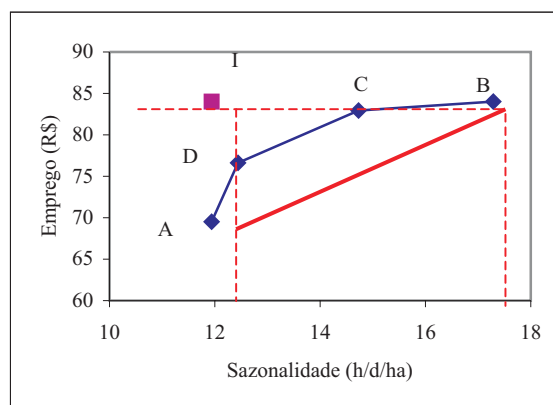


GRÁFICO 2 - CURVA DE TRADE-OFFS DA SAZONALIDADE/EMPREGO

FONTE: Dados da pesquisa.

¹ No limite, pode ser inclusive no ponto B, se 100% dos produtores preferirem maximizar a margem bruta. Neste caso extremo, utiliza-se modelo tradicional de Programação Linear.

Ressalta-se que o atendimento dos objetivos em termos de taxa de ocupação do solo ocorre de forma simultânea numa combinação dois a dois. Assim, a solução para a maximização da margem bruta e minimização da sazonalidade sugere a prioridade com a cultura do algodão de inverno e irrigado, seguida da cultura do arroz de inverno.

Quando as aspirações são de maximizar emprego e minimizar a sazonalidade do trabalho, a grande prioridade é a cultura do milho seguido do algodão irrigado e cana forrageira. As culturas complementares são quase similares em termos de taxas de ocupação nos sistemas de produção propostos.

Assim, terá de haver uma ponderação entre os objetivos para escolha do ótimo dentre os indicados pelo modelo.

Como se pode observar, os resultados obtidos não são definitivos, mas servem de base para discussão entre os distintos grupos de produtores, que, no mundo real, possuem objetivos conflitantes. Este seria um passo fundamental para se deflagrar um modelo de planejamento participativo, limitado, nos dias atuais, pelas soluções ótimas ditadas pelo tecnicismo.

Finalmente, os métodos constituem instrumentos úteis para o planejamento, desde que os técnicos responsáveis por sua implantação e os agricultores (principalmente os pequenos) saibam separar relações de causa e efeito, definam e priorizem os objetivos.

Abstract

This work was developed using the multiple-objective-centered Linear Programming methodology, which optimizes, simultaneously, several different objectives that are subject to a set of restrictions. This methodology was applied in the Trussu River Valley, located in the County of Iguatu-CE. Such location was chosen due to its bearing the necessary conditions to be turned into an agriculture development area, through a crop plan that can meet multiple objectives. Aiming at combining the crops

currently grown in the Valley with the objectives of promoting an increase in the gross margin and on the employment rate, with a minimum of seasonal variation, the NISE method was used as it is capable of dealing both with decisions involving different actors and with important objectives for the region. The findings demonstrated that the NISE method allowed a crop plan that optimized the multiple objectives.

Key words:

Multiple Criteria Analysis; Multiple Objective; Method NISE.

6 - REFERÊNCIAS

COHON, J. et al. Generating multiobjective trade-offs: and algorithm for bicriterion problems. **Water Resources Research**, v. 15, p. 1001-1010, 1979.

HAZELL, P. B. R. A linear alternative to quadratic and semi-variance programming for farm planning under uncertainty. **Amer. J. Agri. Econ.**, v. 53, p. 53-62, 1971.

ROMERO, C.; REHMAN, T. Goal programming and multiple criteria decision marking in farm planning: some extensions. **Journal of Agricultural Economics**, v. 36, p. 171-185, 1985.

ROMERO, C. **Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones**. Madrid: Alianza Editorial, 1993.

ZELNY, M. **Multiple criteria decision-marking**. New York: Mc Graw Hill., 1982.

_____. **The theory of the displaced ideal: multiple criteria decision making**. New York: Springer-verlag, 1976. p. 154-206.

Recebido para publicação em 09.AGO.2001.