

OTIMIZAÇÃO NA LAVOURA SOB CRITÉRIOS MÚLTIPLOS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA

ANTÔNIO HÉLIO DE MENEZES
JOSÉ CÉSAR VIEIRA PINHEIRO

RESUMO: Este trabalho propõe uma metodologia simples e prática para subsidiar a tomada de decisão na agricultura. Com base na Programação Linear e usando o Módulo Solver e outros recursos do Microsoft Excel, são feitas otimizações e análises de sensibilidade, com dados simulados para um produtor típico de lavoura irrigada do Estado do Ceará, Brasil. Este exercício busca não apenas otimizar um único objetivo, mas alcançar uma solução de compromisso ótima que consiga não necessariamente otimizar, mas satisfazer a um conjunto de objetivos, muitas vezes conflitantes. Os resultados obtidos são iguais aos conseguidos com o emprego outros softwares. O método é de fácil operação e emprega um instrumental de informática disponível nos computadores dos mais distantes locais do Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: OTIMIZAÇÃO, CRITÉRIOS MÚLTIPLOS, PROPOSTA METODOLÓGICA.

1. INTRODUÇÃO

A complexidade que permeia os negócios agrícolas, envolvendo componentes econômicos, sociais (especialmente geração de empregos) e questões ambientais, faz da tomada de decisões um processo. Como tal envolve etapas a serem cumpridas, as quais transcendem a simples otimização de uma função objetivo, de forma pontual e isolada.

O problema clássico de maximizar, por exemplo, a renda líquida na lavoura, sujeita a um conjunto de restrições de recursos produtivos, ao invés de ser a questão única, passa a constituir apenas um dos critérios no processo decisório. Com efeito, a existência de um recurso produtivo mais limitante pode tornar inadequada esta solução do ponto de vista dos múltiplos critérios do produtor, devendo-se identificar qual é este recurso, qual a viabilidade da sua expansão e até que nível o produtor pode relaxá-lo.

Dufumier (1990), admite que para determinar os critérios de gestão que os produtores utilizam no manejo de suas explorações deve ser considerado um postulado teórico básico: "*Os produtores têm interesse em economizar o máximo possível, os recursos de que dispõem em quantidades relativamente limitadas. Isto significa que buscam maximizar o emprego dos recursos relativamente abundantes, com baixos ou inexistentes custos de oportunidade, em suas atividades produtivas*".

Assim, pode-se afirmar que é muito mais regra do que exceção, os produtores buscarem desenvolver as mais diversas estratégias para relaxarem as restrições impostas aos recursos limitados. Se existe pouca terra própria recorrem aos

arrendamentos, se for a força de trabalho busca-se a contratação de serviços temporários, se a restrição for o capital procura-se captar recursos de terceiros através das mais distintas fontes de financiamento.

Sob o campo de variação do recurso a ser expandido, o problema agora é gerar não apenas uma, mas um conjunto de soluções, visando subsidiar o tomador de decisão, na escolha daquela que mais se aproxime das suas pretensões. Como os objetivos e metas pretendidos podem conflitar, será preciso neste caso sacrificar certo nível de alcance de um, para favorecer outro.

Esta abordagem mais abrangente da tomada de decisão é válida tanto no campo microeconômico, como para programas de desenvolvimento regional ou de natureza estrutural como Colonização e Reforma Agrária. Em qualquer caso, a tomada de decisão tende a exigir mais do que modelos teóricos requerendo deles uma adequação.

Além da adequação da resposta dos modelos aos problemas enfrentados, é preciso também que as mudanças nos tratamentos tradicionais, como é o caso da Programação linear, não resultem em abstrações teóricas de difícil entendimento e operacionalização pelos produtores. É recomendável pois, que os recursos de informática empregados utilizem aplicativos já contidos nas planilhas eletrônicas que acompanham os usuais programas já instalados.

No presente trabalho não se cogita de modificar o modelo de Programação linear, mas de agregar alguns procedimentos simples que a tornem mais útil e adequada à resolução de problemas de decisão em nível de unidade de produção agrícola, que implicam interações com o ambiente sócio-econômico.

Feitas estas considerações, o presente trabalho tem por objetivo demonstrar um tratamento metodológico simples e prático, capaz de subsidiar a tomada de decisão na lavoura quanto à escolha da melhor combinação de culturas sob critérios simultâneos de maximização de renda líquida, atendimento a compromissos de mercado e geração de oportunidades de trabalho para toda a mão de obra disponível. Especificamente pretende-se: i) maximizar a renda líquida sujeita a um conjunto de restrições; ii) identificar qual recurso é o mais limitante ao alcance do conjunto de objetivos do tomador de decisão; iii) Desde que viável parta o tomador de decisão, relaxar o recurso mais limitante e gerar um conjunto de soluções correspondentes a cada nível de disponibilidade desse recurso e, iv) Selecionar uma entre as soluções encontradas e avaliá-la do ponto de vista da sua adequação ao processo decisório.

2. REVISÃO DE LITERATURA

HOFFMANN et Alli (1978) referem-se à Programação Linear enquanto método de planejamento previsional, aplicado a estudos à priori, visando auxiliar nas tomadas de decisão e na programação das ações a serem executadas revelando-se um caminho para maximizar ou minimizar determinado objetivo. Por outro lado, a precisão e o rigor técnico do planejador, ainda que indispensáveis não parecem ser suficientes para a obtenção de metas coerentes se não estiverem de acordo com os interesses dos usuários do planejamento.

FATURETO e SANTOS (1997) consideram que em problemas de tomada de decisão o que se pretende muitas vezes, não é a otimização de um único objetivo, mas de diversos objetivos, que algumas vezes podem ser conflitantes. Assim, metodologias que

permitam relaxar algumas restrições e ainda, operar com objetivos múltiplos podem constituir um campo de pesquisas interessante e promissor.

Para ZELENY (1982) apenas quando se está diante de atributos, objetivos, critérios e funções múltiplas é que se pode falar em processo de tomada de decisão e sobre as teorias que as explicam. À medida que as alternativas de escolha se tornam mais complexas e implicam objetivos múltiplos, torna-se mais difícil e menos prático planejar com uma única medida de utilidade. Este processo envolveria uma complexa busca de informações e análises, implicando desvios, riscos e incertezas, conceitos distintos e conflitantes.

Segundo GOICOCHEA et Alli (1982) ocorrem conflitos quando duas ou mais estratégias distintas que buscam atingir determinados objetivos e metas são mutuamente exclusivos. Assim, deve-se aceitar sacrificar certo nível do ótimo do alcance de um critério para que se obtenha uma melhora no nível de atendimento de outro critério.

Para SISCOS (1994) o planejamento agrícola, tanto no plano micro, como no macroeconômico, pode implicar objetivos econômicos com a maximização de lucro, sociais como a geração de emprego e renda ou a preservação ambiental. As políticas agrícolas e econômicas em geral podem ter efeitos nas tomadas de decisão em nível de unidade de produção agrícola, inclusive quanto à distribuição das culturas nos planos de produção.

PITEL (1990) defende que os propósitos econômicos da empresa agrícola devem harmonizar-se com os objetivos da política agrícola como um todo. Em geral, nos modelos de otimização no nível microeconômico, espera-se a maximização da produção, produção agrícola para o mercado, renda bruta, renda líquida ou lucro.

Para GAMEIRO e FILHO (1996) Pode haver conflitos relacionados com a formulação dos objetivos e a determinação da maneira pela qual a empresa deve buscar a sua concretização, não se devendo utilizar modelos muito sofisticados e de difícil operação, o que pode gerar resistência à sua utilização pelos empresários.

As planilhas eletrônicas podem vir a ser utilizadas para a resolução de alguns problemas de Programação Linear. A sua utilização pode ser efetivada no momento em que fique comprovada a sua eficiência mediante comparação dos seus resultados com aqueles fornecidos por um software especializado. Uma vez comprovada a sua eficiência, o seu uso é justificado pela facilidade em que podem ser operadas pelos tomadores de decisão, os quais muitas vezes não dominam técnicas de Pesquisa Operacional.

3. RESUMO DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE OTIMIZAÇÃO SOB CRITÉRIOS MÚLTIPLOS

Entre os métodos mais empregados para resolução de problemas de otimização sob critérios múltiplos, destacam-se: A Programação de Metas (Goal Programming), Programação com Objetivos Múltiplos, Programação de Compromissos e a Tomada de Decisão Interativa com Objetivos Múltiplos.

3.1. Programação de Metas (Goal Programming)

Em sua formulação matemática mais geral, o problema de otimização sob multicritérios, pela PMP, pode ser assim expresso:

$$F(X) + N - P = A$$

Onde:

A= Alvo ou meta a alcançar

X= Variável de decisão

N= Desvio para menos, entre a meta alcançada e a pretendida.

A PMP comporta duas abordagens distintas: A Programação de Metas Lexicográficas (PML) e a Programação de Metas Ponderada (PMP).

3.2 Programação com Objetivos Múltiplos

A formulação matemática geral para um problema objeto da POM é dada por:

$$Ef(X) = \{ Z_1(X), Z_2(X), \dots, Z_n(X) \}$$

Sujeito a X e F

Onde Ef representa a busca pela solução eficiente, cada Zi corresponde a um dos objetivos do problema e F representa o conjunto de soluções viáveis.

3.2. Programação de Compromissos

A expressão matemática deste método é dada por:

$$D_j = Z_j^* - Z_j(X) \text{ – para maximização do objetivo } j \text{ ou}$$

$$D_j = Z_j(X) - Z_j^* \text{ - Para minimização do objetivo } j$$

Onde Dj é o grau de proximidade entre o objetivo j e o seu ideal.

3.3. Tomada de Decisão Interativa com Objetivos Múltiplos

Este método orienta-se em sentido geral, para obter uma aproximação de máxima utilidade para o tomador de decisões. Desenvolve-se em etapas sucessivas de interação entre o TD, o analista e o modelo computadorizado, cabendo ao analista fazer conexões entre o TD e o modelo.

Inclui-se neste modelo entre as áreas de pesquisa mais promissoras em termos de otimização de objetivos múltiplos, em que pese as dificuldades da sua aplicação, devido à sofisticação matemática requerida para a operacionalização dos modelos.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1. Área Estudada

A área objeto do presente estudo em termos de aplicação da metodologia aqui proposta é a Chapada da Ibiapaba, com uma população atual de 251.449 habitantes, que se distribuem em 8 municípios, quais sejam: Carnaubal, Croatá, Guaraciaba do Norte, Ibiapina, São Benedito, Tianguá, Ubajara e Viçosa do Ceará. Com uma área de 4.121 Km², situa-se a noroeste do Estado do Ceará e faz fronteira com o Estado do Piauí.

Trata-se de uma região de planalto, de altitude de 800 a 1.100m, com solos em sua maioria latossólicos de média fertilidade. Nesta área situa-se a Sub-Bacia do Poti, composta de um conjunto de riachos que nascem no Ceará e deságuam no Rio Parnaíba, no Piauí. A temperatura varia de 17° a 24°C e a pluviosidade, de 800 a 1.100 mm / ano.

A principal atividade econômica é a lavoura irrigada, especialmente de tomate, maracujá, pimentão e flores, gerando anualmente 1.300 empregos diretos, numa área de 862 hectares. A Ibiapaba abastece de frutas e produtos hortícolas parte dos mercados de Teresina-Pi e Fortaleza-Ce.

4.2. Dados Básicos

O presente trabalho emprega dados sobre coeficientes técnicos de produção e Renda líquida por hectare das culturas do maracujá, pimentão e Tomate. As suas fontes são a Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento -SEAGRI, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA e Banco do Nordeste, com elaboração da SEAGRI.

O nível tecnológico das culturas é de médio a alto, compreendendo irrigação localizada, adubação organo-mineral e combate às pragas e doenças. Direciona-se para produtores com áreas e/ou volumes de produção que possibilitem pouco uso de mecanização, maior emprego de mão de obra e gerenciamento e controle simplificado.

As produtividades médias esperadas são:

Tomate: 60.000 Kg. /há.

Pimentão: 20.000 Kg. /há.

Maracujá: 24.000 Kg. /há.

4.3. Procedimentos metodológicos

O método ora proposto emprega a planilha eletrônica da Microsoft Versão 2000, tendo como software de otimização o Módulo Solver. Os procedimentos observados neste trabalho seguem os seguintes passos:

- a) Maximiza-se a renda líquida sujeita às restrições , com o emprego do Módulo Solver, já referido anteriormente;

- b) Desde que a solução encontrada na etapa anterior não seja adequada para os objetivos do tomador de decisão, identifica-se qual recurso produtivo é o mais limitante. Corresponde ao de menor relação Restrição de Recurso / Coeficiente Técnico da variável de decisão de maior renda líquida / hectare, em valores absolutos. Tal relação representa a área máxima a ser plantada com cada cultura, com o uso total do respectivo recurso nesta cultura;
- c) Identificado o recurso mais limitante e desde que seja viável obter aporte adicional do mesmo, faz-se uma análise de sensibilidade das soluções pontuais, em função de acréscimos constantes à disponibilidade do recurso mais limitante. Ou seja, haverá uma solução produzida pelo Solver, para cada nível desse recurso;
- d) Elabora-se uma planilha demonstrativa dos resultados obtidos com a solução, que entre as obtidas na análise de sensibilidade, mais se aproximar das pretensões do tomador de decisão;

O módulo Solver da Planilha Excel tem sido utilizado para resolver problemas de otimização em relações lineares, por autores, como é o caso de GAMEIRO & FILHO (1996), produzindo resultados iguais aos do Programa LINDO, já citado.

Pode-se constatar que o método proposto mantém sintonia com os objetivos do trabalho e ra produz resultados mais consentâneos com os propósitos perseguidos pelo tomador de decisão. Além disso, dado que se emprega um recurso de informática de fácil uso e já disponível nos microcomputadores em geral, certamente tende a não sofrer resistência pelos seus usuários potenciais.

4.4. Método de Análise

O modelo de otimização combinatória aqui empregado foi a programação linear. Ele procura otimizar uma função objetivo linear (Z), sujeita a um conjunto de restrições impostas por uma ou mais inequações lineares. Nos casos ora estudados, tratou-se sempre de maximizar z, conforme o modelo matemático abaixo:

$$Z=C1.X1+C2.X2+.....Cn.Xn \text{ (Maximizar)}$$

Sujeita a

$$A11.X1+A12. X2+.....A1n. Xn \leq B1$$

$$A21.X1+A12. X2+.....A2n. Xn \leq B2$$

.....

.....

$$\begin{aligned} &A_{m1}.X_1+A_{m2}.X_2+\dots+A_{m.n}. X_n \leq B_m \\ &X_1, X_2,\dots X_n \geq 0 \\ &C_j, A_{ij}, B_i = \text{Constantes} \end{aligned}$$

A PL é um instrumental de otimização combinatória de fundamentos simples e já empregado por vários autores, entre os quais BAZARAA et alli (1990), Este modelo implica, todavia, dificuldades em termos da extensão dos cálculos necessários à sua solução, à medida que se trabalha com muitas variáveis. O algoritmo empregado nestes cálculos é o Simplex, que inclui uma série de passos, que no caso de problemas mais complexos, demandam “softwares” específicos, como é o caso do LINDO (Linear Iterative and Discrete Optimizer).

A PL trabalha com os pressupostos de que as relações entre as variáveis são lineares, as restrições de recursos são fixas e há uma única função objetivo a otimizar.

O método proposto não processa qualquer mudança no modelo básico de PL, mas realiza algumas operações combinadas com a otimização tradicional para torná-la mais útil e adequada, como se viu nos procedimentos do trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Objetivando fazer uma aplicação prática do método proposto, apresenta-se um caso simulado a seguir descrito:

Um agricultor típico da Região da Ibiapaba, no Ceará, pretende fazer plantios irrigados de tomate, Pimentão e Maracujá e para tanto deverá trabalhar com os dados mostrados na Tabela 1.

O produtor tem como objetivos simultâneos, com os plantios:

- Maximizar a renda líquida;
- Incluir no plano de produção obrigatoriamente todas as culturas para atender ao mercado;
- Empregar toda a força de trabalho disponível.

Para obter subsídios quanto à área a ser plantada com cada cultura de modo a satisfazer aos três objetivos, o produtor contratou os serviços de um consultor em economia agrícola.

Tabela 1
Restrições de Recursos, Coeficientes Técnicos e Renda Líquida das Culturas

RECURSOS	CULTURAS			RESTRICÇÕES
	TOMATE	PIMENTÃO	MARACUJÁ	
	X1	X2	X3	
Terra (hectare)	1	1	1	40
M.Obra (h/d)	398	173	186	11.000
Água (Mil M3)	6	6	18	500
Energia (kW)	1.500	1.500	2.500	60.000
Capital próprio (R\$)	13.977	8.221	6.352	250.000
Hora de Trator	8	8	8	300
Renda Líquida - R\$/ha	6.903	3.539	3.368	-

Visando dar respostas adequadas ao seu cliente, o consultor procurou mostrar passo a passo, opções que pudessem ser analisadas por ele e pelo produtor, para se chegar àquela que melhor satisfizesse aos objetivos pretendidos.

1º Passo – Maximização da Renda Líquida

Como primeira aproximação, foi realizada uma maximização da renda líquida, para verificar até que ponto os demais objetivos seriam atendidos. Em sua formulação inicial, o problema mostra-se assim colocado:

Maximizar $Z = 6.903X1 + 3.539X2 + 3.368X3$

Sujeito a:

Terra em hectare $X1 + X2 + X3 \leq 40$
Mão de Obra –h/d $398 X1 + 173 X2 + 186 X3 \leq 11.000$
Água em Mil M³ $6 X1 + 6 X2 + 18 X3 \leq 500$
Energia em KW $1.500 X1 + 1.500 X2 + 2.500 X3 \leq 60.000$

$$\text{Capital (R\$)} \quad 13.977 X_1 + 8.221 X_2 + 6.352 X_3 \leq 250.000$$

$$\text{Hora de Trator} \quad 8 X_1 + 8 X_2 + 8 X_3 \leq 300$$

Processados os dados constantes do sistema de inequações acima com o auxílio do software já descrito no capítulo “Procedimentos Metodológicos”, obteve-se uma solução ótima para atender ao primeiro objetivo (maximização da renda líquida). Esta solução é ótima, de vez que não há outra que possibilite maior renda líquida por hectare. Os resultados obtidos com esta primeira solução foram os mostrados a seguir, na Tabela 2.

Tabela 2.

Maximização da Renda Líquida como Função Objetivo Única

RECURSOS	CULTURAS (EM HECTARE)			RESTRIÇÕES	SOBRA DE RECURSOS
	TOMATE	PIMENTÃO	MARACUJÁ		
	9,6	0	18,24		
Terra (hectare)	9,6	0	18,24	40	12,16
M.Obra (h/d)	3.820,8	0	3.392,64	11000	3.786,56
Água (Mil M3)	57,6	0	328,32	500	114,08
Energia (kW)	14.400	0	45.600	60.000	0
Crédito (R\$)	134.179,2	0	115.860,48	400.000	149.960,32
Hora de Trator	76,8	0	145,92	300	77,28
Renda Líquida - R\$	66.268,8	0	61.432,32	-	127.701,12

A solução encontrada não satisfaz ao produtor pois, apesar de a renda líquida haver sido maximizada para o conjunto de recursos disponíveis, restaram cerca de 3.787 homens / dia desempregados e com este plano o pimentão ficará de fora, desatendendo, portanto, a compromissos de mercado assumidos pelo produtor. Está claro, portanto, que apenas maximizando a renda líquida, a unidade de produção deixa de cumprir importantes compromissos que respondem na verdade, pela sustentabilidade deste agronegócio. Com efeito, caso não atenda a ajuste de natureza comercial com compradores, ofertando todos os produtos pactuados (Tomate, Pimentão e Maracujá), o produtor poderá perder esses mercados. É de seu interesse também empregar a mão de obra local, até para

assegurar que os rurícolas não vão migrar para outros locais em busca de trabalho, escasseando a força de trabalho para levar à frente a produção.

2º Passo – Identificação do Recurso mais Limitante

O consultor explicou ao seu cliente, que a solução poderia ser expandida, desde que algum fator mais limitante fosse relaxado. Visando identificar qual recurso produtivo estaria limitando o alcance de uma solução mais adequada aos objetivos do produtor, foram feitos os seguintes cálculos, expressos na Tabela 3.

Conforme a Tabela 3, que mostra as relações absolutas das restrições de recursos com os coeficientes técnicos da cultura de maior renda líquida (o tomate), a menor relação observada foi a do fator capital próprio, significando que o emprego de todo o capital financeiro disponível seria suficiente apenas para que fossem plantados 17,89 hectares de tomate, enquanto que para os demais recursos, as disponibilidades assegurariam áreas maiores.

Em razão desse fato (ser o capital financeiro o recurso mais limitante), o consultor indagou ao produtor qual a viabilidade de que fosse obtido aporte de crédito rural para que se chegasse a uma solução mais adequada às suas aspirações. Em consulta ao gerente do banco, foi informado de que, pelo seu cadastro , ele poderia conseguir até R\$ 250.000 de crédito.

Tabela 3
Dados das Culturas e Relações Restrição de Recurso / Coeficientes de X1

RECURSOS	CULTURAS (COEF. TÉCNICOS)			RESTRIÇÕES	RESTRICÇÃO / Coef. de X1
	TOMATE	PIMENTÃO	MARACUJÁ		
	X1	X2	X3		
Terra (hectare)	1	1	1	40	40,00
M.Obra (h/d)	398	173	186	11.000	27,64
Água (Mil M3)	6	6	18	500	83,33
Energia (KW)	1.500	1500	2.500	60.000	40,00
Capital (R\$)	13.977	8.221	6.352	250.000	17,89
Hora de Trator	8	8	8	300	37,50
Renda Líquida	6.903	3.539	3.368	-	

(R\$)					
-------	--	--	--	--	--

3º Passo – Obtenção de um conjunto de Soluções Ótimas

Para saber qual acréscimo de capital seria suficiente para obter uma solução consistente com a desejada, foi feita uma análise de sensibilidade, a qual é mostrada a seguir na Tabela 4.

Tabela 4
Análise de Sensibilidade das Soluções a Acréscimos de Crédito

▲.(%)	Capital R\$	Renda. R\$	Tomate ha	Pimentão ha	maracujá Ha	Sobras de M. Obra h/d
0	250.000	127.682	9,6	0	18,24	3.787,68
10	275.000	139.688	12,06	0	16,77	3.083,36
20	300.000	151.695	14,51	0	15,29	2.379,06
30	325.000	163.701	16,97	0	13,82	1.674,71
40	350.000	175.708	19,43	0	12,34	970,39
50	375.000	187.714	21,89	0	10,86	266,07
60	400.000	195.538	21,33	6,97	7,02	0,00
70	425.000	200.179	20,06	17,44	0,00	0,00
80	450.000	200.179	20,06	17,44	0,00	0,00
90	475.000	200.179	20,06	17,44	0,00	0,00
100	500.000	200.179	20,06	17,44	0,00	0,00

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que o crédito disponível, mesmo sofrendo elevações de até 50%, não será suficiente para atender aos objetivos buscados pelo produtor, apenas maximizando a renda líquida para cada estrutura de recursos. Com um aumento de 60%, nota-se que os três objetivos são atingidos ao mesmo tempo, ou seja: A renda líquida será maximizada,

todas as culturas serão produzidas e toda a mão de obra será empregada. Para além de 60%, os acréscimos de crédito não são aconselháveis, apesar de aumentarem a renda líquida, uma vez que implicarão descumprimento de um dos demais objetivos.

Vale esclarecer que no exemplo acima se trabalhou com intervalos de variação de 10%, para o capital, apenas para maior facilidade de demonstração. Intervalos menores certamente proporcionarão um conjunto mais amplo de opções para o tomador de decisão, dando mais subsídios quanto à decisão do melhor plano de produção e do volume de crédito que deverá obter.

É possível que o fator limitante não fosse o capital, mas a energia elétrica, a água ou outro recurso. Nesse caso o relaxamento poderia implicar decisões que extrapolariam o plano microeconômico, demandando ações do Setor Público, em termos de ampliação da rede de distribuição de energia elétrica, do volume de água represada, canais de irrigação ou demais investimentos necessários ao atendimento destes objetivos. De qualquer maneira, o método ora apresentado pode oferecer importantes subsídios ao Governo, desde que aplicado em programas de Desenvolvimento Regional, Reforma Agrária ou demais programas cujos óbices principais precisem ser removidos para que experimentem um processo de expansão coerente com os objetivos socioeconômicos que pretendem alcançar.

4º Passo – Apresentação da Melhor Solução para os Objetivos do Produtor

Foi dito anteriormente que solução que interessa ao produtor corresponde a um acréscimo de 60% no volume de capital financeiro a ser aplicado na produção. Esta solução, portanto, é que é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5

Solução de Multicritérios Obtida

Recursos	Culturas - Hectare			Restrições	Sobra de Recursos
	Tomate	Pimentão	Maracujá		
	21,33	6,97	7,02		
Terra (hectare)	21,326	6,97451	7,0196964	40	4,68
M.Obra (h/d)	8.487,746	1.206,59	1.305,6635	11.000	0,00
Água (Mil M3)	127,956	41,8471	126,35454	500	203,84
Energia (kW)	31.988,99	10.461,8	17.549	60.000	0,00
Capital (R\$)	298.073,4	57.337,5	44.589	400.000	0,00
Hora de Trator	170,608	55,7961	56,157571	300	17,44
Renda Líquida - R\$	-	-	-	-	195.538,00

Em números inteiros aproximados, nesta solução, o produtor deverá plantar 21 hectares de tomate, 7 hectares de pimentão e 7 hectares de Maracujá. Não haverá sobra de mão de obra e a renda líquida será de R\$ 195.538, um pouco inferior à renda máxima que pode ser obtida (R\$ 200.179), caso se aplicasse R\$ 425.000,00 ou mais, de crédito. No presente caso, para chegar à melhor solução do ponto dos critérios do produtor, foi preciso renunciar a uma renda líquida maior que adviria da aplicação de mais crédito. No entanto impõe-se esta renúncia para que se chegue a uma solução de compromisso.

Convém observar que os resultados obtidos em termos de otimização foram testados pela equipe deste trabalho, com aplicação do método Simplex, conseguindo-se exatamente os mesmos resultados produzidos pelo módulo Solver. Como se sabe, este algoritmo é a base dos softwares de otimização existentes no mercado, o que equivale a dizer que o presente método apresenta as mesmas soluções das obtidas com os demais programas computacionais.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia proposta neste trabalho pode ser considerada como um instrumento útil e adequado no processo de tomadas de decisão na agricultura. A sua aplicação mostrou perfeita sintonia com os objetivos do trabalho e as etapas desenvolvidas conduzem à escolha de uma solução que mais se aproxima da ideal, em termos de atendimento simultâneo de um conjunto de objetivos do produtor. Com efeito, a análise de sensibilidade aqui procedida disponibiliza um conjunto de soluções para escolha do tomador de decisão, resultando, na verdade, na obtenção de uma solução de compromisso capaz de conciliar o alcance de um conjunto de objetivos que podem ser conflitantes.

O tratamento complementar que é dado à Programação Linear, não implica sofisticação matemática ou operacional, dado que envolve o uso do Módulo Solver para otimização e de cálculos fundamentais nas planilhas do Excel, tudo isso de fácil execução.

Por estar disponível normalmente, em qualquer computador, a planilha de Excel é um recurso de software viável, não havendo necessidade que seja adquirido outro programa especificamente voltado para a otimização. Para os tomadores de decisão torna-se difícil dominar o uso de programas tais como o LINDO ou sucedâneos, e até mesmo conseguir adquiri-los no mercado, notadamente nas áreas interioranas.

Com a aplicação do Solver obteve-se o mesmo resultado produzido pelo algoritmo Simplex, básico para os softwares comumente presentes no mercado de informática. Convém, no entanto realizar mais pesquisas com a presente metodologia, para outros casos objetivando avaliar até que ponto ela é válida.

O emprego de planilhas de Excel ou congêneres (como é o caso do Star Office, da Sun), mostra-se uma alternativa de grande eficácia, pois além da já aludida facilidade operacional e rapidez, tem caráter dinâmico, possibilitando mudanças e prestando-se bastante para análises de sensibilidade. Vale ressaltar que O uso do Excel já está bastante difundido, inclusive pelas cidades interioranas, em grande parte das quais já existem cursos de computação ensinando o uso dos aplicativos da Microsoft.

A presente abordagem pode ser aplicada, por sua vez, não apenas em nível microeconômico, mas em programas de desenvolvimento regional ou de natureza estrutural como os projetos de Colonização e de Reforma Agrária. É relevante, para estes

programas, definir os recursos que mais limitam a expansão da produção agrícola e fazer análises de sensibilidade das soluções a acréscimos das disponibilidades desses recursos, na medida que seja viável e haja decisão política para tanto. É possível que o fator mais limitante seja água, terra ou energia elétrica. Para esses casos, é recomendável que sejam implementadas ações públicas objetivando tornar mais racional a composição de recursos produtivos, em especial em relação à força de trabalho disponível, resultando assim, em oferta de trabalho e fixação do homem no meio rural. Quando o recurso mais limitante é o capital financeiro torna-se mais rápido o ajustamento a ser procedido, desde que haja disponibilidade de crédito e o mesmo seja acessível aos produtores, notadamente o pequeno.

No campo das pesquisas recomenda-se o prosseguimento dos estudos na área aqui enfocada especialmente voltados para problemas prioritários com que se depara o meio rural.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAZARAA, M.S. J.J.; JARVIS, H.D.; SHERALI, D. Linear Programming a Networks Flows. 2ª E. USA: John Wiley & Sons, 1990.

CITYBRAZIL. Região da Ibiapaba. [http: www.citybrazil.com](http://www.citybrazil.com). Br. 2004

DUFUMIER, M. Importância de la tipologia de unidades de produccion agrícolas em el analisis de diagnóstico de realidades agrárias – Red internacional de metodologia de investigación de sistemas de producción (RIMISP) – Santiago de Chile, 1990.

FATURETO, C.R.C. & SANTOS, H.N. Otimização na Agricultura: Uma Abordagem sob Critérios Múltiplos. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, Natal-RN, 1997, 14 p.

GAMEIRO, A.H. & FILHO, J.V.C. A Logística de uma Cooperativa Orizícola: Uma Aplicação de Programação Linear. ESALQ/USP, Piracicaba-SP, 1996, 13 p.

GOICOCHEA, A; HANSEN, D.R. & DUCSTEINS, L. Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications. John Wiley & Sons, New York, 1982, 519 p.

HOFMANN, R; ENGLER, J.J.C; SERRANO, O; THAME, A.C.M & NEVES, E.M. Administração da Empresa Agrícola. Livraria Pioneira, 2ªm Edição, São Paulo, 1978, 325 p.

JUNIOR, A.C. & SOUZA, M.J.F. Softwares de Otimização: Manual de Referência, Departamento de Computação da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-Mg, 2003, 81p.

PITEL, J. Multicriterion Optimization and Utilization in Agriculture. Developments in Agricultural Economics, 8. Elsevier, Amsterdam, 1990,248p

SISCOS, y & REHMAN, T. Goal Programming and Multiple Criteria Decision-Making in farm Planning: An Expository Analysis. American Journal of Agricultural Economics, 35)May 1985: 177-190

ZELENY, M. Multiple Criteria Decision Making. Mc. Graw-Hill. Inc. New York, 1982, 563p.