

# **A ESTIMAÇÃO DE UM ÍNDICE DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL: O CASO DA AGRICULTURA IRRIGADA DO VALE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**

Andrea Sales Soares de Azevedo Melo\*

**Resumo:** O principal objetivo deste trabalho é a construção de um índice de sustentabilidade agrícola. O índice em questão é validado a partir de um estudo de caso baseado em dados de produtores colonos dos projetos da CODEVASF do Vale do Submédio São Francisco. Para a construção do índice utiliza-se indicadores do tipo DSR. Cada um dos indicadores foi especificamente construído para a região de interesse, que apresenta características agroecológicas e produtivas específicas. O método dos componentes principais é defendido como forma de agregação dos indicadores de estado da sustentabilidade para que se chegue a um índice de sustentabilidade. Estabelece-se ainda uma relação causal entre os indicadores das forças condicionantes e o índice de sustentabilidade estimado, utilizando-se um modelo de regressão linear.

## **1. INTRODUÇÃO**

Para que no âmbito do desenvolvimento sustentável as gerações futuras tenham acesso aos recursos que dão base à atividade agrícola, é preciso que esta se desenvolva de forma sustentável. Sustentabilidade que, neste caso, não implica necessariamente na criação de práticas que devam ser comuns a toda agricultura desenvolvida no mundo, mas sim que, principalmente, permita que alguns parâmetros básicos sejam satisfeitos em qualquer modelo de desenvolvimento agrícola. Os parâmetros em questão são os referentes principalmente a ganhos de produtividade dos recursos naturais, à produção de alimentos saudáveis, à capacidade de sustentação econômica do produtor e a um impacto positivo nas relações sociais que se desenvolvam em torno da atividade (EHLER, 1995).

A criação destes novos conceitos implica na necessidade de definição de indicadores e índices que possam caracterizar os modelos de desenvolvimento reais como sustentáveis ou não. É neste contexto que se insere este trabalho, o qual tem como principal objetivo a sugestão de uma metodologia que agregue indicadores de sustentabilidade na forma de um único índice de sustentabilidade.

A área escolhida para validação do método proposto é o Vale do Submédio São Francisco, o qual está entre uma das poucas alternativas de pólos de desenvolvimento do Nordeste brasileiro. Um pólo que tem instigado o desenvolvimento dos setores industrial e de serviços e que tem como base a atividade agrícola. Uma atividade agrícola que, por se estabelecer num ambiente de relativa falta de chuvas, depende fortemente da irrigação.

A irrigação tem sido vista e disseminada na literatura econômica principalmente por suas características de impactos positivos sobre o processo de desenvolvimento econômico (SOUZA, 1992). Mais recentemente entretanto, quando discutida dentro do escopo da sustentabilidade, fatores de criação de instabilidade ambiental resultantes da mesma têm sido ressaltados (GOMES ET ALLI, 1995). Dessa nova questão, nasce a dúvida de se a irrigação resolve problemas de falta de desenvolvimento ou se cria problemas de sustentabilidade. O uso da metodologia proposta neste trabalho permite que se responda a esta questão.

O artigo está dividido em 4 seções, sendo a primeira esta introdução. A segunda seção resume as questões metodológicas, referentes a indicadores, índice e relação causal entre indicadores e índice, a terceira apresenta os principais resultados encontrados e a finalmente a quarta aponta as principais conclusões.

## **2. METODOLOGIA**

O principal objetivo deste trabalho é a construção de um índice de sustentabilidade. Para isso, parte-se dos indicadores de sustentabilidade definidos e estimados em MELO (1999) para

---

\* Professora da Área de Economia da UFRPE.

a área de interesse. Os indicadores desenvolvidos se caracterizam por seu aspecto microeconômico e se relacionam com uma região que está atrelada a uma atividade específica.

MELO definiu OS indicadores de forma a conter aspectos ambientais, econômicos e sociais<sup>1</sup>. Os indicadores retratam não só as condições da sustentabilidade propriamente ditas, mas também as atividades humanas que têm impactos sobre esta sustentabilidade e as respostas dadas pelo homem para correção de situações de “insustentabilidade”. Este esquema é conhecido como *driving force-state-response indicators-DSR* (MOLDAN, BELDRICH E BILLARZ 1997).

A principal fonte de dados utilizada é a unidade produtiva e cada um dos indicadores propostos leva em consideração a melhor performance observada entre os produtores de forma geral. A idéia com este tipo de indicador é a de que cada produtor seja avaliado a partir de parâmetros reais, e não de metas traçadas em "laboratórios". Indicadores desta natureza captam de forma implícita as limitações impostas pelo ambiente e pela estrutura institucional da região de estudo. É que ao se considerar o ótimo realizável como um ponto já observado na prática, considera-se também que o ótimo objetivado está dentro dos limites impostos pelas condições sugeridas (FARRELL<sup>1957</sup>)<sup>2</sup>.

Os indicadores variam entre 0 e 1. Para a sua grande maioria a proximidade de 1 implica em níveis de insustentabilidade mais elevados e de zero em sustentabilidade. Contudo, em alguns casos a interpretação do indicador pode se dar também no sentido contrário. Esse fato se explica pela complexidade das questões de sustentabilidade. É que muitas vezes um indicador pode ter um impacto negativo sob um aspecto e positivo sob outro (GALLOPÍN, 1997).

A construção do índice de sustentabilidade incorre na estimação dos coeficientes que ponderarão no índice esses indicadores. Não se sabe, em princípio, a importância que cada indicador deve ter no índice. É nesta fase que o julgamento de valor se torna mais aparente, quando uma e outra variável ganham pesos diferentes a depender dos olhos e coração do estudioso.

Algebricamente, espera-se construir um índice de sustentabilidade  $S$  que seja uma combinação, digamos linear, dos indicadores:  $S = \beta_1 I_1 + \beta_2 I_2 + \dots + \beta_p I_p$ , onde  $I$  são os  $p$  indicadores de sustentabilidade e  $\beta$  os termos de ponderação dos indicadores no índice.

O grande problema de qualquer tipo de modelagem para questões de sustentabilidade está na natureza holística e altamente correlacionada das variáveis envolvidas. Desta forma, pode-se buscar a solução para o problema em um método que se componha exatamente da correlação entre as variáveis. Os métodos existentes que se baseiam na correlação entre as variáveis são o da Análise de Componentes Principais e o da Análise Fatorial (JOHNSON, 1982). Por conveniência estatística, por não se precisar supor um modelo estatístico básico de análise, julga-se neste trabalho que a Análise de Componentes Principais é a mais adequada.

O método dos componentes principais busca explicar a estrutura de variância-covariância de um certo conjunto de dados através de combinações lineares das variáveis originais. Assim, se existem  $p$  variáveis para um número  $n$  de informações, existirá um número  $k$ , menor ou igual a  $p$ , de combinações lineares não correlacionadas cujas variâncias são máximas. Estas combinações lineares são os componentes principais.

Quanto maior for a correlação entre as variáveis, menor será o número de combinações lineares. Para uma correlação perfeita pode-se ter uma única combinação linear, ou um único componente principal. Algebricamente, a análise dos componentes principais pode ser colocada da seguinte forma:

$$S_j = \beta_1 I_{1j} + \beta_2 I_{2j} + \dots + \beta_p I_{pj} \quad j = 1, 2, \dots, k, \text{ onde } S \text{ é um componente principal cujos}$$

<sup>1</sup> Em acordo com a Comissão de Desenvolvimento Sustentável da ONU (WORLD COMMISSION, 1987).

<sup>2</sup> Sustentabilidade é, assim, a alocação ótima da tecnologia existente (CUNHA, 1994).

coeficientes  $\beta$  são desconhecidos.

Os primeiros componentes principais são aqueles que apresentam variância máxima. Assim, se  $\text{Var}(S) = \beta'S\beta$ ,  $S_1$ , que é o primeiro componente principal, terá a maior variância. Contudo, para que se encontre esta variância máxima é preciso que restrições adicionais sejam colocadas sobre o problema. A solução encontrada no método em questão foi a de normalização do vetor de coeficientes, de forma que:  $\beta'\beta = (\beta_1)^2 + (\beta_2)^2 + \dots + (\beta_p)^2 = 1$ ; ou seja, ele deve ter extensão unitária.

Já foi evidenciado que a construção do índice de sustentabilidade se restringirá à agregação dos indicadores de estado. Fazendo desta forma deixa-se de lado os indicadores dos fatores condicionantes e os da resposta da comunidade. Com esta medida espera-se separar os indicadores em dois grupos que representam duas condições claramente distintas.

Com a construção do índice proposto é possível saber se os principais aspectos da (in)sustentabilidade são ambientais, econômicos ou sociais. Contudo, não é possível saber quais são os fatores que estão motivando este estado de (in)sustentabilidade. Objetivando esclarecer esta questão este trabalho se propõe ainda a uma análise de regressão para relacionar os indicadores dos fatores condicionantes e das respostas ao índice estimado.

A variável dependente é o índice de sustentabilidade, o qual foi estimado para cada uma das unidades produtivas. As variáveis independentes são os indicadores dos fatores condicionantes e das respostas dadas pelos proprietários das mesmas unidades. De maneira formal, têm-se a seguinte situação:  $S_j = f(FC_{ij}, R_{kj})$ ; onde  $S_j$  = índices de sustentabilidade das unidades produtivas;  $FC_{ij}$  = indicadores dos fatores condicionantes;  $R_{kj}$  = indicadores das respostas. Com o "i" e o "k" variando entre 1 e 6 e o "j" variando entre 1 e 63<sup>3</sup>.

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1 SUSTENTABILIDADE SOB VÁRIOS ASPECTOS: OS INDICADORES

Os indicadores estimados neste trabalho serão apresentados apenas de forma resumida<sup>4</sup>. A linha geral de análise pode ser dividida em dois grupos principais. O primeiro grupo reúne os dados que comparam o comportamento dos três níveis de indicadores nos dois perímetros estudados: Perímetro Irrigado de Bebedouro e Perímetro Irrigado Nilo Coelho. Busca-se com esta linha de análise ter uma idéia do aspecto global da natureza da sustentabilidade, assim como a força de suas condicionantes<sup>5</sup> em cada um dos dois perímetros. A *Tabela 1*, a seguir, apresenta estes dados resumidos.

**Tabela 1: Médias das categorias de Indicadores por Perímetro Irrigado - 1998**

Categorias de Indicadores	PIBE	PINC	Média <sup>6</sup>
Fatores Condicionantes	0,366	0,245	0,270
Estado	0,290	0,305	0,302
Resposta	0,557	0,510	0,520
<b>Média</b>	<b>0,404</b>	<b>0,353</b>	<b>0,364</b>

Se sustentabilidade pudesse ser retratada pela simples média alcançada pelos indicadores, poder-se-ia dizer que o Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC) apresenta uma ligeira superioridade em termos de sustentabilidade, com uma média dos indicadores de aproximadamente 0,353, com relação ao Perímetro Irrigado Bebedouro (PIBE), que tem um valor médio para os indicadores de 0,404.

Do ponto de vista de cada tipo de indicador em separado, o confronto dos dados apresenta

<sup>3</sup> Número total de unidades produtivas estudadas.

<sup>4</sup> A apresentação completa pode ser encontrada em (MELO, 1999).

<sup>5</sup> Forças condicionantes resume os fatores condicionantes e as respostas das comunidade.

<sup>6</sup> A média apresentada resulta de uma média ponderada, para a qual Bebedouro consta com 13 informações e Nilo Coelho 50.

uma situação que aparentemente se caracteriza como curiosa. O projeto Bebedouro, que tem o pior desempenho para os fatores condicionantes e para as respostas, retratado em suas piores médias (0,366 e 0,557 respectivamente contra 0,245 e 0,510 do PINC), apresenta, no entanto, uma melhor situação em termos do estado médio da sustentabilidade (0,290 para o PIBE contra 0,305 para o PINC).

O estado considerado médio da sustentabilidade, no entanto, pode estar um pouco distorcido pela inclusão nesta média de indicadores do tipo TC (trabalho de criança), PQ (perda da qualidade do produto) e VN (vegetação nativa). Os dois primeiros destes indicadores apresentaram valores muito próximos de zero e o último um valor muito próximo de um. Ao serem retirados estes indicadores os valores se modificam um pouco, passando para 0,289 para o Bebedouro e 0,292 para o Nilo Coelho. A modificação não elimina a diferença, mas ao diminuí-la, pode estar revelando alguns aspectos importantes deste tipo de análise. A saber, mais importante do que estabelecer uma relação entre as médias deve ser estabelecer uma relação entre os principais fatores que estão entrando na determinação do valor de cada indicador.

O segundo grupo de análise destaca os principais indicadores estimados a partir de suas proximidades de 1 e de zero. A tendência a assumir valores próximos a estes dois extremos implica em níveis mais elevados de insustentabilidade e de sustentabilidade, respectivamente.

Na *Tabela 2* estão reproduzidos os menores valores médios observados entre todos os indicadores. Em média esses indicadores representam um valor de 0,11, o que significa no caso do trabalho aqui realizado, uma condição bastante positiva de sustentabilidade. Entre os indicadores de melhor desempenho estão PQ (perda da qualidade do produto) e TC (trabalho de criança), ambos com o valor de 0,02.

**Tabela 2: Menores Valores Médios Observados por Indicadores em Média e nos Perímetros - 1998**

Indicador	Média	PIBE	PINC
PQ e TC	0,02	0,00	0,02
CO	0,05	0,26	0,00
DD	0,11	0,23	0,08
CR	0,14	0,25	0,11
TT	0,16	0,09	0,18
CT	0,19	0,37	0,14
<b>Média</b>	0,11	0,20	0,09

O valor de PQ representa a não contaminação visível por defensivos do produto produzido na região, tendo acontecido apenas um caso no Nilo Coelho. TC refletiria a total inexistência de trabalho infantil nas unidades produtivas em questão se não fosse um único caso observado também no Nilo Coelho.

A compactação do solo (CO) pode resultar de vários fatores, entre eles o da utilização de maquinaria pesada e do uso inadequado da irrigação. Não foram coletados dados com relação à utilização de água na irrigação dos colonos estudados, mas os valores do indicador da utilização de máquinas pesadas (MP) pode revelar alguma coisa neste sentido. Um indicador de utilização de maquinaria pesada médio de 0,238 revela que não existe uma pressão muito grande para este indicador em média. É no PIBE onde se encontra um maior índice de compactação dos solos ( $CO_{PIBE} = 0,26$ ), onde se encontra também o maior índice de utilização de máquinas pesadas ( $MP_{PIBE} = 0,31$  contra 0,22 do Nilo Coelho). Ou seja, a relativa maior compactação dos solos no PIBE pode resultar do maior número de máquinas pesadas naquele perímetro.

DD representa a contaminação dos trabalhadores por defensivos. Por ter sido um indicador binário seus valores mostram que houve apenas 7 casos de contaminação entre os colonos estudados, dos quais 3 estavam no PIBE, o que representa 23% da amostra do Bebedouro, e 4

no PINC, ou o equivalente a 8% da amostra do Nilo Coelho. O relativo baixo valor médio deste indicador esconde um relativo alto percentual de contaminação do Perímetro Bebedouro.

O indicador de concentração de renda, CR, e de concentração na posse da terra, CT, tiveram baixos valores médios, o que reflete, em certa medida a categoria do produtor estudado; ou seja, colonos dos projetos da CODEVASF. No entanto, mesmo em se tratando de produtores “homogeneizados”, o Perímetro Irrigado Bebedouro, sensivelmente acima da média nos dois casos ( $CR_{PIBE} = 0,25$  e  $CT_{PIBE} = 0,37$ , para  $CR_{médio} = 0,14$  e  $CT_{médio} = 0,19$ ), revela uma realidade um pouco mais destemperada neste sentido.

Com relação à contratação de trabalho temporário com relação ao emprego total (TT) o que se pode dizer é o mesmo que os estudiosos de agricultura e irrigação já vêm dizendo há algum tempo; isto é, que a irrigação, ao permitir um planejamento maior das atividades produtivas durante todo o ano possibilita que o trabalho permanente venha a substituir o trabalho temporário (SOUZA, 1990; COLLINS, 1994).

Os dados da *Tabela 3* reproduzem as piores performances média e por perímetro irrigado dos indicadores. O indicador de vegetação nativa (VN) apresenta o pior valor entre eles, mas deve-se destacar que para os casos em estudo este indicador não tem muita importância, já que se trata de áreas escolhidas para o único fim da irrigação e que a vegetação nativa pode ser preservada nos arredores destes perímetros.

Os outros indicadores que apresentam os resultados médios mais elevados são os indicadores classificados aqui como de resposta. A realização de consórcios (CC), o plantio de leguminosas (LE) e a diversificação da produção (PC) apresentaram resultados médios e por perímetro elevados (exceção ao plantio de leguminosas – feijão – no PIBE). Estes resultados refletem de alguma forma a própria característica da área de estudo: irrigação com tendência para culturas permanentes. Este fato inviabiliza, em certa medida, valores mais próximos de zero para todos estes indicadores.

**Tabela 3: Maiores Valores Médios Observados por Indicadores em Média e nos Perímetros - 1998**

Perímetro	Média	PIBE	PINC
VN	0,98	0,88	1,00
CC	0,77	1,00	0,71
LE	0,76	0,23	0,90
PC	0,75	0,69	0,76
Média	0,82	0,70	0,84

### 3.2 SUSTENTABILIDADE EM UMA MEDIDA: O ÍNDICE

#### 3.2.1 A ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A construção do índice de sustentabilidade pelo método dos componentes principais segue passos muito bem definidos, que têm interpretações e importâncias distintas em todo este processo. A partir da análise da matriz de variância-covariância das variáveis escolhidas para a análise, o método busca estimar um número de componentes principais, combinações lineares das variáveis escolhidas, num número que seja menor ou igual ao número total dessas variáveis.

Objetivamente, na análise em questão foram usadas 8 variáveis (que são os indicadores) pelo método dos componentes principais, a saber: CO (proporção de terras compactadas), CR (concentração de renda), CT (concentração na posse da terra), DD (ocorrência de doença por contaminação com defensivos), DS (diferença salarial entre homens e mulheres), PA

(produtividade por área), TT (proporção de trabalho temporário) e SA (proporção de terras salinizadas). Como deve ter ficado claro da seção anterior, TC (trabalho de criança), PQ (perda da qualidade do produto) e VN (vegetação nativa), muito embora sejam indicadores de estado e tenham sido estimados para todas as unidades produtivas, ficarão fora da construção do índice.

TC e PQ não representaram valores significativos para a região, sendo diferentes de zero para apenas uma unidade em cada caso. VN, pelo contrário, apresentou valores bastante altos de forma generalizada, o que poderia viesar a análise. Como para a região específica estudada este indicador pode ser desconsiderado, ele foi assim descartado da análise.

PP (preço unitário do produto) também foi eliminado da análise. Considera-se que este pode ser um indicador incompleto, caso o produtor escolha cultivar produtos relativamente caros e não apresente uma estrutura de produção eficiente. Nesse sentido seria necessário ter uma planilha de custos adequada à renda obtida com o produto, ou seja, apresentando uma lucratividade que, no mínimo, garantisse a sustentabilidade econômica de sua produção. Contudo, acreditava-se que em alguma medida este indicador pudesse indicar pelo menos a escolha, acertada ou não, que o produtor estivesse fazendo do produto a produzir.

No entanto, no momento em que se efetivou a análise com os nove indicadores, agora nove variáveis, e depois de uma análise de sensibilidade retirando alternadamente cada um dos indicadores, mantendo-se os oito indicadores restantes, verificou-se que os resultados estavam sendo alterados com a introdução do indicador PP. A introdução deste indicador na análise trazia transformações no índice de sustentabilidade final que seriam de difícil explicação, como a relação direta entre a média geral dos indicadores e o nível geral de sustentabilidade das unidades produtivas<sup>7</sup>.

O programa computacional utilizado foi o Minitab 11 para Windows, em sua seção de análise multivariada. A análise dos valores e vetores característicos resultantes da matriz de covariância para os oito indicadores apresentou-se como está na *Tabela 4*.

Os valores constantes da *Tabela 4* mostram a variância de cada um dos 8 componentes principais estimados pelo método. Esta variância, associada a cada um dos componentes e representada por seu valor característico, é máxima para o primeiro componente e decresce à medida que o número correspondente do componente aumenta. Este é um resultado natural do método, desde que os componentes foram construídos exatamente a partir da maximização das variâncias. Desta forma, a proporção da variância total das variáveis usadas para a construção dos componentes explicada por cada componente estimado também decresce à medida que o número do componente se eleva.

Da observação da tabela conclui-se que a proporção da variância total explicada pelos componentes à medida que estes vão sendo introduzidos cresce até atingir 100%. O que é também bastante claro e natural, desde que neste limite existem oito combinações lineares não correlacionadas das oito variáveis originais.

O teste realizado, para saber se a análise de componentes principais é de fato importante para este estudo, resultou nos seguintes valores:  $X^2_{\text{calculado}} = 142,55$ ;  $GL = 35$ ;  $X^2_{\text{tabelado}, \alpha=0,05} = 66,77$ . Ou seja, rejeita-se a hipótese nula e considera-se que existem variâncias diferentes entre si e, portanto, umas variâncias maiores do que outras, o que valida a utilização do método.

---

<sup>7</sup> Esperar-se-ia uma relação inversa, já que um valor mais próximo de um neste trabalho implica em insustentabilidade.

**Tabela 4: Valores característicos da matriz de covariância dos Indicadores de Estado - 1998**

Componente Principal	Valor Característico	Proporção da Variância	Variância Acumulada
CP <sub>1</sub>	0,161	27,0	27,0
CP <sub>2</sub>	0,130	21,8	48,8
CP <sub>3</sub>	0,095	16,0	64,8
CP <sub>4</sub>	0,071	11,9	76,6
CP <sub>5</sub>	0,061	10,3	86,9
CP <sub>6</sub>	0,039	6,5	93,5
CP <sub>7</sub>	0,028	4,8	98,3
CP <sub>8</sub>	0,010	1,7	100,0
<b>Total</b>	<b>0,595</b>	<b>100,0</b>	<b>-</b>

Os testes relacionados ao número de componentes a ser utilizado na análise foram também realizados e implicaram na permanência de todos os oito componentes. O poder explicativo da variância total de cada componente principal foi considerado significativamente importante, de forma que cada um deve ser ponderado na composição do índice de sustentabilidade.

Este resultado poderia levar a crer que a análise efetivada não se teria mostrado significativa para o caso em questão. Contudo, entende-se que o principal mérito do método neste caso foi o de fornecer os termos de ponderação para cada componente principal, e por consequência para cada variável considerada, na construção do índice de sustentabilidade. Este termo de ponderação é o poder de explicação da variância total de cada componente. O coeficiente resultante relacionado às variáveis será o termo de ponderação delas no cálculo do índice.

Sendo assim, após proceder-se ao cálculo de uma média aritmética dos componentes principais ponderada pelo poder explicativo da variância total de cada um desses componentes, obteve-se o resultado que se chama aqui de CIS (Coeficiente do Índice de Sustentabilidade), e que se apresentou da seguinte forma:

$$\text{CIS} = 0,271\text{CP1} + 0,218\text{CP2} + 0,160\text{CP3} + 0,119\text{CP4} + 0,103\text{CP5} + 0,065\text{CP6} + 0,048\text{CP7} + 0,017\text{CP8};$$

Que como resultado dá os coeficientes que devem ponderar os indicadores no índice:

$$\text{IS}_i = 0,057\text{CO}_i - 0,051\text{CR}_i + 0,022\text{CT}_i + 0,285\text{DD}_i + 0,205\text{DS}_i + 0,179\text{PA}_i - 0,079\text{SA}_i + 0,102\text{TT}_i$$

Onde os “i” variam entre 1 e 63 representando o número de unidades produtivas estudadas. Ou seja, têm-se agora um índice de sustentabilidade para cada unidade produtiva, o que corresponde a 63 índices de sustentabilidade. Todos estes índices calculados pelo método explicitado estão expostos na coluna IS da *Tabela 22* apresentada na seção seguinte.

### 3.2.2 SUSTENTABILIDADE CONTADA EM CASOS

Os índices de sustentabilidade calculados pelo método proposto variaram no intervalo de – 0,0654 a 0,5891. Os menores valores significam níveis de maior sustentabilidade, enquanto os valores mais elevados significam níveis de maior insustentabilidade. Os índices com valores negativos<sup>8</sup> foram transformados em zero, para que a classificação dos indicadores possa continuar a ser utilizada. Os índices de sustentabilidade padronizados (ISP) calculados estão na *Tabela 5* e variam no intervalo de 0 a 1, da mesma maneira que todos os indicadores.

A coluna à direita ao índice da tabela em questão representa a posição de cada unidade produtiva no *rank* do universo estudado. O conhecimento de que as treze primeiras unidades

<sup>8</sup> Dois índices apenas tiveram valores negativos: -0,041269 e -0,065362.

são as unidades representantes do Perímetro Irrigado Bebedouro permite que se observe que neste projeto se encontram 3 dos 10 piores resultados em termos de sustentabilidade, o que significa 23,08% do total estudado deste perímetro, sendo os 7 piores casos restantes equivalentes a 14% do PINC.

**Tabela 2: Índices de sustentabilidade padronizados e ranking entre as 63 unidades produtivas - 1998**

Unidade Produtiva	ISP	Rank	Unidade Produtiva	ISP	Rank
6	0,00000	1	22	0,20144	33
4	0,00000	2	53	0,20237	34
52	0,01089	3	51	0,20456	35
7	0,01145	4	18	0,20836	36
31	0,01719	5	20	0,20875	37
41	0,03195	6	24	0,20964	38
60	0,05271	7	43	0,21131	39
54	0,05517	8	38	0,21338	40
35	0,06130	9	37	0,21525	41
3	0,06564	10	25	0,22307	42
40	0,06594	11	62	0,22973	43
15	0,06844	12	28	0,23062	44
2	0,08256	13	13	0,23218	45
10	0,08672	14	49	0,25778	46
56	0,09213	15	58	0,27733	47
12	0,09598	16	61	0,31380	48
32	0,11760	17	19	0,32454	49
33	0,12141	18	48	0,33060	50
11	0,12716	19	63	0,35913	51
55	0,13612	20,5	59	0,37906	52
57	0,13612	20,5	5	0,38377	53
39	0,13710	22	14	0,39718	54
46	0,14404	23	1	0,40088	55
44	0,14657	24	26	0,40650	56
45	0,14671	25	17	0,41426	57
30	0,14780	26	50	0,42819	58
9	0,16247	27	8	0,46373	59
47	0,16884	28	27	0,48931	60
42	0,17051	29	21	0,51273	61
36	0,17188	30	16	0,57231	62
34	0,17487	31	23	0,58914	63
29	0,18316	32	-	-	-
<b>Média</b>	0,2108				
<b>Desvio Padrão</b>	0,1464				

Dos 10 primeiros colocados no *rank* da sustentabilidade, 4 são produtores do projeto Bebedouro e 6 do projeto Nilo Coelho, o que significa 30,8% e 12% de cada perímetro, respectivamente.

A média global de sustentabilidade entre os produtores se situa em torno de 0,21, o que, para um índice que varia entre zero e um, representa um resultado muito mais para sustentável do que para insustentável. Para que se possa tecer maiores considerações a esse respeito, no



entanto, é preciso que algumas medidas de padronização para classificação dos resultados obtidos sejam tomadas. Estas medidas devem girar em torno de se estabelecer os limites que devem ser colocados sobre os índices que serão considerados mais ou menos sustentáveis.

VASCONCELOS E TORRES FILHO (1994) sugerem uma classificação em cinco níveis: Sustentável, Sustentabilidade Ameaçada, Sustentabilidade Comprometida, Insustentável e Seramente Insustentável, os quais serão agora utilizados. Os valores de referência do trabalho desses autores não são, contudo, adequados para a análise que será feita no escopo deste trabalho. Aqui procede-se da forma exposta a seguir.

Como o índice pode potencialmente variar entre 0 e 1, esse intervalo foi dividido em cinco intervalos menores e iguais, de forma que pudessem conter todas as cinco categorias sugeridas pelos autores citados<sup>9</sup>. Como consequência, as unidades produtivas foram classificadas da seguinte forma:

- Sustentável:  $ISP < 0,20$ .
- Sustentabilidade Ameaçada:  $0,20 \leq ISP < 0,40$ .
- Sustentabilidade Comprometida:  $0,40 \leq ISP < 0,60$ .
- Insustentável:  $0,60 \leq ISP < 0,80$ .
- Seramente Insustentável:  $ISP \geq 0,80$ .

Na *Tabela 6* tem-se os resultados da agregação dos índices estimados.

**Tabela 3: Classificação dos produtores com relação à sustentabilidade - 1998**

Classificação	Número de Produtores	Proporção (%)	Proporção Acumulada
Sustentável	32	50,8	50,8
Sustentabilidade Ameaçada	22	34,9	85,7
Sustentabilidade Comprometida	9	14,3	100,0
Insustentável	0	0	100,0
Seramente Insustentável	0	0	100,0
<b>TOTAL</b>	<b>63</b>	<b>100,0</b>	<b>-</b>

A partir da classificação adotada percebe-se que mais da metade das unidades produtivas estudadas, 50,8%, se encontram numa situação de sustentabilidade relativamente tranqüila, ou equilibrada. Um grande percentual dos produtores, aproximadamente 35%, são ainda considerados sustentáveis, mas têm nesta condição uma ameaça, que pode advir de qualquer um dos fatores contabilizados no índice. 14,3% dos colonos pesquisados registram uma sustentabilidade que já se apresenta de alguma forma comprometida.

Uma inspeção adicional da tabela revela ainda com clareza o que a situação média já sugeria, isto é, que a situação do Vale do Submédio São Francisco, representado aqui pelos perímetros estudados, pode ser considerada como sustentável. Esta afirmação pode ser confirmada pela inexistência de produtores considerados insustentáveis; ou seja, a totalidade dos colonos entrevistados classificou-se entre as situações de sustentabilidade e sustentabilidade comprometida. Destes, 85,7% foram considerados entre sustentáveis e com a sustentabilidade apenas ameaçada.

O *rank* de sustentabilidade sugerido pelo ordenamento dos índices estimados na *Tabela 5* foi uma boa indicação das diferenças neste ramo encontradas entre os dois perímetro irrigados estudados. Entretanto, é preciso que se classifique aquela diferença para que se possa saber se os 14,3% de casos considerados com a sustentabilidade já comprometida, por exemplo, se encontram dispersos ou concentrados em algum dos dois perímetros. Estes dados estão resumidos na *Tabela 7* a seguir. Os dados agora classificados entre os perímetros mostram que mais de 84% dos casos estudados no PIBE são considerados entre sustentáveis e com a

<sup>9</sup> Procede-se dessa forma pela ausência de um padrão equivalente na literatura de sustentabilidade.

sustentabilidade ameaçada e que no PINC o percentual destes casos se eleva para 86%. Desses, nos dois perímetros, a maioria encontra-se numa situação de relativa tranquilidade, como mostram os dados da tabela.

Dos casos considerados sustentáveis do PINC, 46% se encontram em razoável situação de equilíbrio. A sustentabilidade de 40% dos colonos do Nilo Coelho encontra-se sob ameaça e 14% já se acha de alguma forma comprometida. No PIBE, a situação se mostra um pouco diferente, sendo 69,2% de sustentabilidade relativamente equilibrada, 15,4% de sustentabilidade de alguma forma ameaçada e 15,4% de sustentabilidade já comprometida.

**Tabela 4: Classificação dos índices de sustentabilidade por perímetro irrigado - 1998**

Classificação	Bebedouro			Nilo Coelho		
	N	%	% Acum.	N	%	% Acum.
Sustentável	9	69,2	69,2	23	46,0	46,0
Sustentabilidade Ameaçada	2	15,4	84,6	20	40,0	86,0
Sustentabilidade Comprometida	2	15,4	100,0	7	14,0	100,0
Insustentável	0	0	100,0	0	0	100,0
Seramente Insustentável	0	0	100,0	0	0	100,0
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>100,0</b>	<b>-</b>	<b>50</b>	<b>100,0</b>	<b>-</b>

### 3.2.3 SUSTENTABILIDADE EM MINÚCIAS

O interesse da análise se volta agora para entender como se comportam os indicadores usados para a construção do índice nos casos classificados como sustentáveis, com sustentabilidade ameaçada e nos casos classificados como com a sustentabilidade comprometida. A *Tabela 8* é bastante oportuna para uma análise neste sentido.

A média registrada em cada coluna da tabela que segue, refere-se à média das unidades produtivas que tiveram um índice de sustentabilidade estimado correspondente ao intervalo já mencionado em cada uma das classificações utilizadas. Assim, para o caso das unidades produtivas sustentáveis foram utilizadas 32 observações, para os casos de sustentabilidade ameaçada a média se refere a 22 observações e para sustentabilidade comprometida foram utilizadas 9 observações.

O comportamento do índice de sustentabilidade estimado pelo método de componentes principais revelou um comportamento médio da média dos indicadores condizente com a teoria. Apesar do índice não ter sido estimado visando uma relação direta com esta média, esta foi uma relação que resultou da análise. Ou seja, ISP's mais elevados combinam com uma média das médias dos indicadores também mais elevada. Desta forma, pode-se afirmar que as unidades produtivas consideradas mais insustentáveis pelo índice estimado têm indicadores mais próximos de um na média.

O comportamento médio de cada indicador em cada classe de sustentabilidade tem uma interpretação um pouco mais complexa do que a realizada para o comportamento médio geral dos indicadores. A complexidade resulta da falta de uma relação linear e direta entre os indicadores observados nas diversas unidades produtivas e do fato destes indicadores terem pesos diferentes no índice de sustentabilidade e variarem todos ao mesmo tempo. Tudo isso impede que se possa estabelecer uma relação crescente do índice com todos os indicadores vistos de forma isolada. Os dados que conduzem esta análise estão presentes na *Tabela 8*.

Dos oito indicadores estimados para as unidades produtivas, foram selecionados quatro para o início da análise, são eles: CT (concentração da posse da terra), DD (ocorrência de doença por aplicação de defensivos), DS (diferenças salariais entre homens e mulheres) e TT (trabalho temporário). A característica que torna a performance destes indicadores nas diversas classes de sustentabilidade semelhante é o comportamento crescente de seus valores

médios a medida que o índice de sustentabilidade cresce. Este fato pode resultar da combinação de alguns fatores diferentes.

**Tabela 5: Situação média dos indicadores por classe de sustentabilidade - 1998**

	Sustentável	Sustentabilidade Ameaçada	Sustentabilidade Comprometida	Média
CO	0,0659	0,0177	0,0922	0,059
CR	0,1459	0,1391	0,0944	0,127
CT	0,1628	0,1945	0,2722	0,210
DD	0,0000	0,0455	0,6670	0,238
DS	0,0591	0,4559	0,5870	0,367
PA	0,5666	0,8036	0,7878	0,719
SA	0,2916	0,0500	0,3430	0,228
TT	0,0544	0,1941	0,4330	0,227
<b>Média</b>	<b>0,1683</b>	<b>0,2376</b>	<b>0,4096</b>	<b>0,272</b>

Um primeiro fator que pode ser citado é o relativamente forte peso que DD, DS e TT têm no índice (0,285; 0,205 e 0,102 respectivamente) e um segundo é o também relativamente grande desvio padrão<sup>10</sup> de cada um desses indicadores, que são todos maiores do que os próprios valores médios desses indicadores. A concentração da posse de terra, que apresenta o mesmo padrão de comportamento dos indicadores supra citados, apesar do baixo peso no índice (0,022), apresenta também um desvio padrão superior à sua média (0,192).

CO (compactação) e SA (salinização) decrescem entre as classes de sustentabilidade e de sustentabilidade ameaçada, mas voltam a crescer na classe de sustentabilidade comprometida, chegando mesmo a atingirem valores superiores ao da primeira classe.

O indicador de produtividade por área, PA, tem um comportamento inverso aos de CO e SA, crescendo entre as duas primeiras classes de sustentabilidade e decrescendo da segunda para a terceira, sem no entanto atingir o patamar inicial.

A concentração de renda (CR) é o único indicador que apresenta um comportamento decrescente entre todas as classes.

Uma observação do comportamento médio dos indicadores é importante para representar as variações do índice e dos indicadores entre as diversas classes de sustentabilidade. A partir desses dados é possível que se tenha uma idéia geral da área estudada e dos resultados do método escolhido. Contudo, para uma verificação mais minuciosa ainda dos resultados e da validade do método, torna-se necessária a observação da performance dos indicadores em alguns casos isolados. Para tal, foram escolhidos os cinco piores e os cinco melhores índices de sustentabilidade; estes resultados estão expostos na *Tabela 9*.

Antes que se efetive a análise, todavia, entende-se que algumas advertências devem ser feitas. A escolha do método dos componentes principais neste trabalho se deu basicamente por um motivo: encontrar os termos de ponderação de diversos indicadores na construção de um índice de sustentabilidade. Evitava-se assim que algum juízo de valor pudesse tornar um ou outro indicador mais importante no índice. Voltar os olhos agora para as unidades produtivas para confirmar a validade ou não do método pode significar simplesmente a realização de um teste segundo o juízo de valor do observador. O que se quer evitar com a escolha do método.

Considera-se também que, ao tratar-se de situações de complexa e certamente difícil comparação, o observador, mesmo racional<sup>11</sup>, pode estabelecer um ordenamento das 10 situações distintas que reflita, ou aparente, intransitividade em suas preferências. Acredita-se que qualquer ordenamento alternativo ao realizado pelo método pode incorrer em questões

<sup>10</sup> Ver MELO, 1999. É bom lembrar que o método dos componentes principais é baseado na matriz de variância-covariância dos indicadores.

<sup>11</sup> Racionalidade entendida sob o ponto de vista da teoria do consumidor.

desta natureza.

Feitas as advertências, passa-se para a análise da tabela seguinte. A título de uma melhor visualização dos valores apresentados, pode-se proceder à uma comparação entre a unidade produtiva que ficou na pior colocação pelo ordenamento realizado pelo método e a que ficou na melhor colocação. A propriedade de pior performance no geral apresentou piores resultados para os indicadores referentes à ocorrência de doença por motivos de má utilização de defensivos, DD (1,00 contra 0,00), para o indicador de diferenças salariais, DS (1,00 contra 0,00), para a produtividade por área, PA (0,41 contra 0,00), para a proporção de terras salinizadas, SA (1,00 contra 0,44) e para o indicador do emprego de trabalho temporário, TT (1,00 contra 0,00). Teve um desempenho equivalente para a proporção de terras compactadas CO (0,00) e superior para os indicadores de concentração, de renda CR (0,00 contra 1,00) e da posse da terra, CT (0,09 contra 0,86).

As posições acima referidas mantêm-se quando esta mesma sexagésima terceira unidade produtiva é comparada com qualquer uma das quatro melhores unidades produtivas restantes, muito embora os valores se modifiquem um pouco. No entanto, uma comparação da 63ª colocada com as unidades selecionadas restantes já não parece tão clara, devido às grandes variações dos indicadores entre as unidades.

**Tabela 6: Comportamento dos indicadores em 10 unidades produtivas: as cinco melhores e as cinco piores - 1998**

Unidade Produtiva	CO	CR	CT	DD	DS	PA	SA	TT	Ordem
6	0,00	1,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	1
4	0,00	0,24	0,26	0,00	0,00	0,20	0,91	0,00	2
52	0,00	0,09	0,17	0,00	0,00	0,23	0,38	0,00	3
7	0,00	0,28	0,17	0,00	0,19	0,20	0,68	0,00	4
31	0,00	0,13	0,13	0,00	0,00	0,33	0,70	0,16	5
8	0,00	0,09	0,86	1,00	0,47	0,81	1,00	0,00	59
27	0,00	0,13	0,13	1,00	0,27	0,85	0,00	0,00	60
21	0,00	0,14	0,00	1,00	0,27	1,00	0,00	0,00	61
16	0,00	0,13	0,17	1,00	0,27	0,99	0,57	1,00	62
23	0,00	0,00	0,09	1,00	1,00	0,41	1,00	1,00	63

Cada indicador não pode ser visto de forma isolada para representar a sustentabilidade, mas é fácil de se notar que DD, DS, PA e TT (com exceção da 5ª colocada) apresentam valores mais baixos, o que significa melhores resultados para todas as cinco primeiras colocadas quando comparadas com qualquer uma das cinco últimas do ranking. Os outros indicadores têm um comportamento um pouco errático, refletindo as variações simultâneas de todos os indicadores, o que resulta em situações de comparação verdadeiramente difícil.

### 3.3 FORÇAS CONDICIONANTES DA SUSTENTABILIDADE

Os sinais esperados da relação causal que se estabelece agora entre as forças condicionantes e o índice de sustentabilidade são todos positivos, isto é, espera-se uma relação direta entre os indicadores e o índice de sustentabilidade. Os indicadores, que foram construídos de forma a quando os seus valores estiverem na proximidade de um representar uma situação de insustentabilidade, provocarão impactos negativos sobre a sustentabilidade, o que se reflete em elevações do índice, à medida que eles forem atingindo valores mais elevados.

Os fatores condicionantes da sustentabilidade na atividade agrícola desenvolvida na área irrigada pública do Vale do Submédio São Francisco estão aqui representados pelos indicadores AD (área descoberta), UD (utilização de defensivos), DR (instalação de drenagem), MP (utilização de máquinas pesadas), CT (concentração de terra) e CR

(concentração de renda). Enquanto as respostas dadas pelo produtores a situações de relativa insustentabilidade estão representadas pelos indicadores CC (realização de consórcios), PC (prática de policulturas), RC (prática de rotação de culturas), LE (plantio de leguminosas), MR (manejo dos resíduos), CS (conservação do solo) e TM (técnicas de irrigação melhoradas).

Um estudo como o que está sendo desenvolvido neste trabalho apresenta duas nuances muito bem definidas. Uma primeira se refere à parte teórica de elaboração dos indicadores. Técnicos em agronomia, economia ou ciências sociais se abstraem do objeto físico da análise tentando construir para ele um conjunto de relações causais que supõem, para a sua construção, um comportamento padrão tanto dos indicadores quanto dos produtores envolvidos em todo o processo.

A segunda se refere ao comportamento real dos indicadores e dos produtores. As motivações que permeiam as atitudes dos produtores e como consequência o comportamento dos indicadores são distintas, diversas e muitas vezes conflitantes. Este fato traz aspectos de irrelevância para os indicadores em alguns casos e aspectos de incompletude em outros. Esses são, no entanto, os ossos desse ofício.

Considerações da natureza do que acabou de ser exposto são importantes para que se perceba que fatores condicionantes e respostas podem em alguns momentos se sobrepor e até, por isso, sub ou superdimensionarem algum tipo de problema.

A primeira tentativa de relacionar estas variáveis/indicadores citados com o índice de sustentabilidade está exposta na *Tabela 10* apresentada a seguir. Nesta tabela estão reproduzidos os coeficientes estimados pela regressão, os testes realizados para cada um dos coeficientes estimados e para o modelo como um todo e a significância destes testes.

**Tabela 7: Resultados da regressão entre ISP e 13 indicadores de fatores condicionantes e de resposta - 1998**

Variáveis Explicativas	Coeficiente	Teste “t”	Significância
Constante	0,5598	3,31	0,002
AD (Área descoberta)	-0,0241	-0,26	0,797
UD (Utilização de defensivos)	0,2245	2,55	0,014
DR (Instalação de drenagem)	-0,1818	-3,26	0,002
MP (Uso de máquinas pesadas)	0,0499	0,82	0,417
CT (Concentração da terra)	0,4800	2,78	0,008
CR (Concentração de renda)	-0,3952	-1,85	0,070
CC (Realização de consórcios)	0,0309	0,46	0,651
PC (Prática de policulturas)	-0,1278	-1,13	0,263
RC (Rotação de culturas)	0,1260	0,67	0,505
LE (Plantio de leguminosas)	0,0557	0,72	0,476
MR (Manejo dos resíduos)	0,0322	0,62	0,539
CS ( Conservação do solo)	0,0338	0,55	0,588
TM (Téc.de irrigação melhorada)	-0,2629	-1,60	0,115
R <sup>2</sup>	43,0%		0,004
R-ajustado	27,8%		
Teste F	6,34		

São no total treze as variáveis explicativas do modelo, um termo constante e uma variável dependente, ou variável explicada, que é o índice de sustentabilidade. O modelo escolhido, um modelo linear, indica que aproximadamente 43% da variação do índice de sustentabilidade se explica a partir da variação das variáveis explicativas<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Testes foram realizados para detectar autocorrelação, multicolinearidade e heterocedasticidade e nenhum desses problemas foi encontrado nos dados utilizados.

Observa-se dos coeficientes do modelo que a maioria dos sinais estimados se comportam conforme as hipóteses pré-estabelecidas, ou seja, são positivos. Das treze variáveis independentes selecionadas, oito se comportam conforme o esperado.

No entanto, os testes de significância dos coeficientes estimados para cada uma das variáveis indicam que apenas poucas delas poderiam ser consideradas como significativas no papel de explicarem as variações do índice estimado, a saber UD (utilização de defensivos), DR (instalação de drenagem), CT (concentração da posse da terra) e CR (concentração de renda).

Dessas, apenas UD e CT tiveram o sinal esperado; ou seja, variações positivas destes indicadores implicam em variações também positivas do índice. DR e CR apresentam uma relação inversa à que foi apresentada como hipótese nos capítulos anteriores. Explicações tentativas destas inversões de relações são realizadas ainda nesta seção.

Em primeiro lugar é preciso que se analise os prováveis fatores que fizeram com que os indicadores restantes não tenham sido considerados como significativos na análise, já que as hipóteses os previam como determinantes do índice.

Começa-se pela variável AD (área descoberta). A utilização da irrigação na agricultura permite que as áreas agrícolas estejam aptas para a produção durante todo o ano, ao invés de só nos períodos de safra. Este fato faz com que os solos passem a ser usados mais intensamente e, por isso mesmo, passem muito pouco tempo descobertos. O pouco tempo descoberto representa pouca ou nenhuma ameaça para a sustentabilidade sob o ponto de vista do que já foi discutido anteriormente.

A idéia inicial do cálculo de AD seria a ponderação da proporção do tamanho total da área descoberta na unidade produtiva por este tempo de descobertura da área. Um indicador desta natureza possibilitaria uma comparação entre as diversas unidades no sentido de capturar melhor a real pressão sobre a sustentabilidade. Entretanto, devido à natureza dos dados obtidos junto a essas mesmas unidades, AD não foi calculado assim; mas apenas a partir de uma relação entre a proporção da área descoberta da propriedade e a maior proporção observada entre todas as parcelas produtivas estudadas.

A modificação na forma do cálculo de AD é um fator que torna este indicador menos indicativo de um fato realmente relevante para a sustentabilidade; o que, por si só, já justificaria a sua retirada da regressão.

Mas outra consideração deve ainda ser feita para que se tenha uma análise mais completa sobre este caso. O fato de não se ter observado nos dados da amostra nenhum caso de erosão retira do indicador da área descoberta boa parte de sua relevância em questões de sustentabilidade. Na verdade, por se ter uma área relativamente plana, como já destacado em outras partes deste trabalho, a pressão sobre a erosividade do solo das áreas descobertas se torna muito pequena.

O indicador MP (utilização de máquinas pesadas) entrou na análise para tentar captar a pressão sobre a compactação dos solos trabalhados pelas máquinas. Tornou-se um indicador também incompleto a partir do momento que só foi possível coletar informações sobre a utilização ou não dessas máquinas, sem a consideração devida do tempo trabalhado.

Deve-se somar a isso também que os casos de compactação observados entre os colonos entrevistados pareciam estar mais ligados a uma condição original dos solos do que à uma condição criada pela atividade produtiva.

A realização de consórcios também não foi considerada como significativa na análise de regressão para explicar melhorias da produtividade do solo e como consequência do índice de sustentabilidade. É provável que CC, que crescia com a diminuição das áreas consorciadas, tenha impactos realmente muito pequenos sobre a retenção de nutrientes nos solos irrigados.

Mas deve ser considerado ainda um outro fator. As áreas destinadas ao cultivo de culturas permanentes só possibilitam a realização de consórcios quando as referidas plantas ainda não estão muito grandes, de forma que se torna possível plantar entre as fileiras dessas plantas.

Plantas pequenas, na maioria das vezes, ainda não estão em produção, fato que afeta a produtividade estimada da área em questão. Ou seja, é possível que o indicador não consiga resumir todos os aspectos inerentes ao problema e que, no mínimo, sejam necessários dados de séries temporais para que se possa perceber o seu efeito no tempo.

Uma questão crucial na rotação de culturas não é a simples rotação, mas as culturas que a compõem. É preciso que haja uma complementaridade entre elas para que a rotação surta o efeito esperado. O ciclo básico de rotação de culturas identificado na região foi feijão, tomate e melancia.

A leguminosa plantada na região é basicamente o feijão que, como fixadora de nitrogênio, é considerada fraca. Este fato pode explicar a sua relativa insignificância como determinante do índice de sustentabilidade.

O manejo dos resíduos não foi estimado da forma como proposto nos indicadores, por pura falta e inadequação dos dados. Sendo assim, MR deixa de medir toda a amplitude do problema. Ou seja, por não ter sido possível estimar o nível de aproveitamento dos resíduos e o quanto este aproveitamento significava em termos da utilização total de fertilizantes como um todo para cada unidade, MR pode simplesmente não se ter mostrado muito adequado para a análise.

As técnicas de correção dos problemas registrados com o solo na região foram predominantemente a drenagem da água para o caso da salinização e o revolvimento dos solos para os casos da compactação. Não foi verificada a eficiência na aplicação dessas técnicas, assim como esses dois problemas renderam um único indicador. Estas deficiências na estimação podem ter feito com que o indicador CS não tenha captado o verdadeiro sentido do que se pretendia com um indicador de conservação do solo.

Uma vez que tenham sido discutidos os indicadores sem relevância estatística, deve-se passar para a interpretação dos valores encontrados para a constante e para os coeficientes das variáveis independentes do modelo.

A utilização de defensivos (UD) e a concentração da posse de terra (CT) estão positivamente relacionadas com o ISP, o que significa que estes indicadores tiveram os sinais que se esperava que eles tivessem. O aumento da utilização de defensivos<sup>13</sup>, UD, que é interpretado neste trabalho como exercendo pressão sobre DD (Ocorrência de doença) e PQ (Perda de qualidade do produto)<sup>14</sup>, eleva o índice de sustentabilidade, ou, o que é a mesma coisa, aumenta a insustentabilidade da unidade produtiva.

O indicador de concentração da terra, CT, foi utilizado para a construção do índice de sustentabilidade e agora entra como elemento de pressão sobre este mesmo índice, com força significativa e positiva. Maiores diferenças da propriedade média observada implicam em unidades produtivas consideradas muito grandes ou muito pequenas, o que, por hipótese deste trabalho exerce pressão sobre a sustentabilidade a partir da influência que têm sobre a escolha do modelo de produção.

Os indicadores restantes apresentam sinais negativos, o que vem negar as hipóteses levantadas. DR (Instalação de drenagem), por exemplo, é um desses casos. DR é um indicador que mede a proporção<sup>15</sup> de área não drenada de cada unidade produtiva com relação à maior proporção de área não drenada observada. Quando DR é um isso significa que se está diante da unidade produtiva que apresenta a pior proporção de área drenada observada, pela qual todas as outras foram relativizadas. Sendo assim, a relação negativa entre este indicador e o índice implica em se dizer que quanto menos se drenar, melhor para a sustentabilidade.

---

<sup>13</sup> O uso de defensivos deste indicador é relativizado pela quantidade do produto produzido em cada unidade produtiva e proporcional à maior relação observada na prática. Desta forma, um aumento de UD significa uma maior utilização de defensivo por unidade de produto.

<sup>14</sup> Indicadores de estado que medem respectivamente a ocorrência de doenças por contaminação de defensivos e a ocorrência de rejeição de produto também por contaminação de defensivos. PQ, deve-se lembrar aqui, não foi contabilizado no cálculo do índice, por motivos que foram expostos no capítulo 5.

<sup>15</sup> Área não drenada/área irrigada total de cada unidade produtiva.



Contradição clara com o que foi exposto.

Um olhar retrospectivo na *Tabela 2* pode ser importante para a análise aqui realizada. Observa-se naquela tabela que é no Perímetro Irrigado Bebedouro onde se encontra a pior situação referente à instalação de drenagem. Observa-se também que é neste perímetro onde se encontram os piores casos estudados de salinização e compactação. Destas observações pode-se concluir que o comportamento dos indicadores está refletindo o que foi colocado pela teoria.

Entretanto, deve-se lembrar da construção do índice de sustentabilidade que a salinização não foi considerada como importante, significando que, a partir da matriz de variância-covariância dos dados, ela ainda não se apresenta como significativa. Em sendo assim, pode ser esperado que drenagem, que se relaciona diretamente com salinização<sup>16</sup>, tenha uma relação inversa com o índice. Esta possibilidade pode ser aumentada quando se considera a existência de variáveis não conhecidas e não discutidas no modelo. Além disso, a necessidade de drenagem varia com as características do solo, alguns a requerem e outros não.

CR (Concentração de renda) tem basicamente a mesma definição e justificativa teórica que CT (concentração na posse da terra)<sup>17</sup> e, no entanto, foi destacado com um sinal negativo na regressão, o que significa dizer que as maiores diferenças da renda média gerada contribuem para um índice mais próximo da sustentabilidade; ou seja, rendas muito pequenas com relação a média, por exemplo, geram unidades produtivas mais sustentáveis.

A hipótese que se sustenta é que os extremos da distribuição de renda são nocivos à sustentabilidade pela escolha que fazem do modelo produtivo. De um lado do spectrum a agricultura moderna e do outro a agricultura tradicional. Os resultados aqui obtidos contrariam esta hipótese.

Existe nos perímetros um número maior de produtores com renda abaixo do valor médio do que o número de produtores com renda acima desse mesmo valor (MELO, 1999). Entende-se, dessa observação, e sob o ponto de vista do que já foi exposto, que em termos potenciais existe um número maior de produtores exercendo pressão sobre a sustentabilidade sob a forma de uma "agricultura tradicional" do que sob a forma de uma agricultura moderna.

No entanto, se este resultado for confrontado com a natureza do produtor e do tipo de agricultura desenvolvido por ele, algumas considerações adicionais podem ser tecidas no sentido de elucidar o sinal encontrado na regressão estimada. Agricultura irrigada por si só já é uma agricultura moderna, além de limitar o nível de tradicionalismo que se possa ter ao se desenvolver a atividade agrícola. Sendo assim o agricultor de menor renda dos perímetros irrigados da CODEVASF não pode ser comparado a outros agricultores de menor renda que desenvolvem agricultura tradicional. Em resumo, tem-se as condições que representam uma relativa ausência de pressão sobre a sustentabilidade do ponto de vista da agricultura tradicional. Em sendo assim, poder-se-ia dizer que os elementos negativos deste modelo de agricultura estariam ausentes do universo estudado, restando deste modelo o seu aspecto positivo de maior efeito distribucional. Este fato pode levar a que a relação se dê em sentido contrário.

TM (técnicas melhoradas de irrigação) foi introduzido na análise como um indicador de resposta. Ou seja, os colonos produtores buscam adotar técnicas de irrigação melhoradas para corrigir problemas que possam estar surgindo como resultado da adoção de uma técnica de irrigação não muito adaptada. Os problemas que podem surgir da escolha de uma técnica errada vão desde problemas com o solo, na forma de salinização ou compactação, a problemas com o uso da água, na forma de seu desperdício.

Desta informação já se tem elementos para que se possa começar a entender o resultado aparentemente contraditório da relação negativa entre TM e ISP (Índice de sustentabilidade padronizado). Para que a técnica de irrigação não adequada exerça de fato uma pressão para

<sup>16</sup> A correlação entre DR e SA se apresentou como positiva, muito embora muitíssimo pequena (0,09).

<sup>17</sup> Apresentando-se, inclusive, com uma forte correlação positiva.



elevação do índice de sustentabilidade sob o ponto de vista do desperdício de água, seria necessário que este indicador ou um indicador de disponibilidade de água tivesse feito parte da construção do índice de sustentabilidade. No entanto, por questões já explicadas de inadaptabilidade dos dados, isto não aconteceu.

Em contrapartida, os problemas com relação ao solo foram registrados, mas para entender a causalidade resultante daí são necessários alguns argumentos adicionais. As técnicas utilizadas e interpretadas neste trabalho como técnicas de irrigação melhoradas foram a micro aspersão e a aspersão, sendo a primeira a mais eficiente delas. O sistema de inundação considerou-se como o mais arcaico. Em termos de indicador, estes sistemas receberam os valores 0, 0,5 e 1, respectivamente, para as unidades que os adotaram. Os valores encontrados entre as unidades produtivas que não correspondem a nenhum desses três valores se referem a adoção, por parte do produtor, de mais de um sistema de irrigação e à ponderação da área correspondente a cada um. Ressalte-se que há métodos que se adequam melhor para uma cultura, não havendo muita clareza quanto à causalidade pretendida. De forma generalizada, a inundação é um sistema exclusivo do Perímetro Irrigado Bebedouro.

É importante neste momento que se relembre algumas considerações. Por exemplo, o PIBE, que apresenta a pior média para TM (técnicas de irrigação melhoradas), apresenta também os casos mais graves, em média, de compactação e salinização. Estes resultados mostram uma relação direta entre a técnica de irrigação e o problema causado no solo. O ISP estimado via método dos componentes principais, no entanto, pondera SA (salinização), por motivos já discutidos, com um sinal negativo. Desta forma e, em sendo assim, a relação entre TM e SA se dá de forma indireta e inversa via o ISP, da mesma forma como já havia sido explicado para DR.

Uma constante significativamente diferente de zero significa que quando todos os indicadores assumirem o valor zero, a sustentabilidade da unidade produtiva será do valor da constante: 0,5598. Como a maioria dos indicadores estão entrando aqui com sinal negativo, o valor da constante chega a ser maior do que o valor médio de ISP registrado (0,4205), o que implica em uma situação de maior insustentabilidade.

#### **4. CONCLUSÕES**

As conclusões deste trabalho podem ser divididas em três grupos: um relativo aos indicadores, outro relativo aos índices e outro relativo à relação causal estimada entre os indicadores e o índice. Da análise da situação dos indicadores em cada um dos perímetros percebeu-se que nenhuma conclusão definitiva e explicativa desses resultados poderia ser dada sem que antes fosse feita a construção do índice e do modelo que relacionaria os indicadores ao índice. É que as situações vistas isoladamente não representam o estado da sustentabilidade; se assim o fosse não seria necessário propor uma forma de agregação dos indicadores diferente dessa.

O trabalho de criança é praticamente inexistente nos perímetros. Assim como não existem problemas registrados com contaminação dos produtos por defensivos e a contaminação de pessoas com a aplicação dos mesmos é também, na média, muito pequena, apesar de no Bebedouro chegar a quase 24% dos casos estudados. As piores performances entre os indicadores foram registradas para a preservação de vegetação nativa (VN), para a realização de consórcios (CC), plantio de leguminosas (LE) e diversidade cultural (PC).

O índice de sustentabilidade estimado a partir dos indicadores de estado registrou uma situação média que se classificou como de sustentabilidade ameaçada (0,21). Entende-se que são os indicadores de concentração na posse da terra (CT), ocorrência de doença por contaminação de defensivos (DD), diferença salarial (DS), de produtividade por área (PA) e de trabalho temporário (TT), ao terem se elevado da categoria anterior para esta, os principais fatores da ameaça citada. Não houve nenhum caso de insustentabilidade registrado.

O Perímetro Irrigado Bebedouro teve a maior proporção de unidades produtivas

consideradas sustentáveis (69,2% contra 46,0% do Nilo Coelho) e também o maior número de unidades pesquisadas com sustentabilidade comprometida (15,4% contra 14% do Nilo Coelho).

O comportamento médio das médias dos indicadores nas cinco categorias de sustentabilidade estimadas apresentou padrões distintos. Mas, de forma geral estabeleceu-se uma relação direta com o índice.

O modelo proposto para a criação de um índice de sustentabilidade, o método dos componentes principais, se mostrou adequado por dois motivos principais. O primeiro se refere às qualidades estatísticas dos resultados, que comprovaram que o método se adaptou bem aos indicadores sugeridos. E o segundo é referente aos resultados em si, que se comportaram da forma esperada.

A relação causal estimada entre as "forças condicionantes" da sustentabilidade (fatores condicionantes e resposta) e o índice de sustentabilidade, no entanto, ressaltou 6 indicadores (UD - utilização de defensivos, DR – instalação de drenagem, CR – concentração de renda, CT – concentração na posse da terra, TM – técnicas de irrigação melhoradas e PC – práticas de policulturas) e, desses, apenas 2 tiveram a causalidade determinada conforme o esperado. Dos fatores utilizados para explicar a não significância de muitos dos indicadores, os principais foram a relativa incompletude dos indicadores estimados, por inadequabilidade dos dados, e o caráter muitas vezes dual, e em sentidos opostos, dos efeitos, numa clara indicação da necessidade de mais estudos para melhor definição das variáveis.

Fatores diferentes devem ter concorrido para explicar a natureza trocada da causalidade estimada, mas é possível destacar o fato de se ter trabalhado com um modelo de agricultura pública irrigada baseada em culturas permanentes. Este fato, tanto impede que o agricultor mais "pobre", o principal representante das diferenças de renda, possa desempenhar uma agricultura das mais tradicionais, e aí desenvolvendo toda a sorte de impactos sobre a sustentabilidade, como limita a importância da diversidade produtiva na elevação da produtividade via aumentos da fertilidade do solo.

Em linhas gerais, os resultados obtidos da análise chamaram a atenção, confirmando a discussão introduzida no referencial teórico deste trabalho, para a necessidade de uma análise complementar de caráter histórico dos indicadores, no sentido de que se possa avaliar os impactos futuros das piores performances do presente das forças condicionantes. As diferenças citadas dos resultados obtidos para forças condicionantes e estado podem estar revelando problemas futuros potenciais. Muitas vezes o efeito de uma força condicionante não se dá de imediato e é possível que os dados de séries temporais possam vir a completar esta observação.

Os trabalhos realizados se apresentaram em três níveis diferentes: o da construção dos indicadores, o da construção do índice e o da construção da regressão. Cada um desses níveis, também vistos como etapas, refletiu um conjunto distinto de dificuldades. A dificuldade de mensuração foi um dos principais fatores que afetaram a definição e a estimação dos indicadores sugeridos. Concorreu também para dificultar o melhor desempenho dos indicadores a aplicabilidade deles para regiões irrigadas públicas.

A forma relativa tomada por todos os indicadores aqui sugeridos, seguindo a orientação dos índices de eficiência técnica individual de Farrell, incorporaram também alguns limites ao modelo. Apesar de em muito contribuírem para as questões de sustentabilidade, ao tratarem os limites da sustentabilidade como estabelecidos por fronteiras técnicas, estes indicadores tornam as possíveis comparações com outras áreas de estudo, de certa forma, incompletas. É que muitas vezes as distâncias relativas de uma melhor performance observada podem esconder uma melhor performance já distante de um valor ideal factível. Esta limitação pode ser melhorada em trabalhos futuros com a inserção na estimação dos indicadores do conceito de coeficiente de variação, quando então os valores relativos dos indicadores seriam ainda ponderados pelos valores médios observados.

Com relação ao índice de sustentabilidade, entende-se que a sua principal limitação, e consequentemente a do método utilizado para estimá-lo, está na natureza ainda incompleta de alguns dos indicadores. Acredita-se que estes, quando aprimorados, deverão possibilitar a estimação de um índice mais robusto. Ressalta-se, também, que o método de componentes principais é adequado, conforme justificado, em condições de ausência ou conflito de avaliação sobre o peso diferencial dos indicadores. É possível que com a continuidade dos estudos, nesta área, venha a ser criado um maior consenso, entre os especialistas, quanto à importância relativa de cada indicador.

A regressão estimada para relacionar as forças condicionantes da sustentabilidade ao índice de sustentabilidade, revelou, a partir das causalidades contrárias encontradas, a necessidade de um maior entendimento dessas causalidades e de suas aplicabilidades a regiões específicas de análise.

Foram levantadas neste trabalho questões sobre a sustentabilidade do desenvolvimento econômico que se verifica no Vale do Submédio São Francisco. Questões importantes, porque pontuam as dificuldades que podem limitar no futuro as possibilidades de desenvolvimento de uma região que representa um importante pólo econômico no Nordeste brasileiro.

A área em que se desenvolve a atividade de interesse tem experimentado uma grande onda de desenvolvimento econômico, baseada, principalmente, no setor produtor de frutas e verduras. Esse desenvolvimento só tem sido possível devido à irrigação. Irrigação esta que, por sua vez, desencadeia, algumas vezes, impactos ambientais adversos.

Do balanço desses impactos com os resultados econômicos e sociais obtidos da atividade produtiva, chegou-se a conclusão que a irrigação não tem agido tão negativamente sobre a sustentabilidade como se tem apregoadado. Tanto que o Vale foi considerado ainda como sustentável. Esta conclusão é de grande relevância porque valida os esforços desenvolvidos para expandir ainda mais a irrigação no semi-árido nordestino. Destaca-se, ainda mais, que o projeto Bebedouro, implantado a partir de 1968, em trinta anos vem possibilitando a melhoria das condições de vida das populações envolvidas, sem causar mais insustentabilidade.

No entanto, medidas de cautela e preventivas são importantes e necessárias, e melhor seria que pesquisas fossem realizadas desde já com o objetivo de melhorar e modernizar os sistemas de irrigação, drenagem, conservação do solo, entre outros. Pesquisas que busquem entender as vantagens do uso de insumos orgânicos também deveriam ser estimuladas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRYLD, Birgitte. 1997. CSD Working List of Indicators of Sustainable Development. In: MOLDAN, BEDRICH and BILLHARZ, SUZANNE (ED.). *Sustainability Indicators: Report of the Project on Indicators of Sustainable Development*. New York: John Wiley and Sons.
- CODEVASF. 1999. WWW.CODEVASF.GOV.BR/MAPAS
- CODEVASF. 1998. WWW.CODEVASF.GOV.BR/PORT/PRODUTOS/PROJETOS
- COLLINS, Jane L. 1994. Production Relations in Irrigated Agriculture: Fruits and Vegetables in the San Francisco Valley - Brazil. *Draft*.
- CUNHA, Aécio S. (Coord.), MUELLER, Charles C., ALVES, Eliseu R. A. e SILVA, José E. da. 1994. *Uma Avaliação da Sustentabilidade da Agricultura nos Cerrados*. Brasília: IPEA.
- EHLER, Eduardo. 1994. *Agricultura Sustentável: Origens e perspectivas de um novo paradigma*. Livros da Terra.
- FANCELLI, Antônio Luiz. 1994. A Importância do Enfoque Sistêmico na Produção Agrícola. *Simpósio de Agricultura Sustentável*, vol.20, n. 01. Viçosa: UFV.
- FARRELL, M. J. 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A* (general), vol. 120.
- GALLOPÍN, GILBERTO CARLOS. 1997b. Indicators and their Use: Information for Decision-Making. In: MOLDAN, BEDRICH and BILLHARZ, SUZANNE (ED.). *Sustainability Indicators: Report of the Project on Indicators of Sustainable Development*. New York: John Wiley and Sons.
- GOMES, Gustavo M. 1995. Desenvolvimento Sustentável no Nordeste Brasileiro: Uma interpretação impopular. In GOMES, G.M., SOUZA, H.R. E MAGALHÃES, A.R. (orgs.) *Desenvolvimento Sustentável no Nordeste*. Brasília: IPEA.

- GOMES, G.M., SOUZA, H.R. E MAGALHÃES, A.R. (orgs.). 1995. *Desenvolvimento Sustentável no Nordeste*. Brasília: IPEA.
- ICID. 1992. *Sustainable Development: Concepts, Theories and Implications for Development Planning*. Fortaleza: ICID.
- JOHNSON, RICHARD A. E WICHERN, DEAN W. 1982. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Englewood Cliffs-NJ: Prentice Hall.
- LIMA, Policarpo. 1994. Economia do Nordeste: Tendências Recentes das Área Dinâmicas. *Texto para Discussão* – PIMES/UFPE, n. 316.
- MELO, Andrea S. S. de A. 1999. *A Estimação de um Índice de Agricultura Sustentável: o caso da área irrigada do Vale do Submédio São Francisco*. Tese de Doutorado. PIMES/UFPE.
- MOLDAN, BEDRICH E BILLARZ, SUZANNE. 1997. *Sustainability Indicators: Report of the Project on Indicators of Sustainable Development*. New York: John Wiley and Sons.
- SAMPAIO, Everardo V. S. B. E SALCEDO, Ignácio H. 1997. Diretrizes para o Manejo Sustentável dos Solos Brasileiros. XXVI Congresso Brasileiro da Ciência do Solo. Rio de Janeiro: CD-ROM.
- SOUZA, H. R. 1990. O Impacto da Irrigação sobre o Desenvolvimento do Semi-árido Nordestino: Situação Atual e Perspectivas. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 21, n. 3/4.
- VASCONCELOS, Ronaldo R. E TORRES FILHO, Wilson. 1994. Impactos Ambientais das Atividades Humanas sobre a Base de Recursos Renováveis no Semi-árido (Relatório Preliminar). *Projeto Áridas: Grupo de Recursos Naturais e Meio Ambiente*. Brasília: IPEA/SEPLAN.
- VON DER WEID, J. Marc. 1994. *Da Agroquímica para a Agroecologia: Por um Novo Modelo de Desenvolvimento Agrícola apoiado nos pequenos produtores*. Seminário Nacional sobre Políticas Públicas e Agricultura Sustentável. Rio de Janeiro.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. 1987. *Our Common Future*. New York: Oxford.