

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Chiara Natércia França

**Valor da Produção e Uso de Água: uma análise para o Pólo
Irrigado Petrolina-Juazeiro.**

RECIFE – PE

2006

CHIARA NATÉRCIA FRANÇA

**VALOR DA PRODUÇÃO E USO DE ÁGUA: UMA ANÁLISE
PARA O PÓLO IRRIGADO PETROLINA-JUAZEIRO.**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de
Pernambuco como parte dos
requisitos para obtenção do
grau de Mestre em
Economia.

Orientador: Yony Sampaio.

RECIFE – PE

2006

França, Chiara Natércia

Valor da produção e uso de água : uma análise para o pólo irrigado Petrolina-Juazeiro / Chiara Natércia França. – Recife : O Autor, 2006.

92 folhas : fig. ,tab. e quadros.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCSA. Economia, 2006.

Inclui bibliografia .

1. Irrigação. 2. Economia agrícola. 3. Produtos agrícolas. I. Título.

338.1

CDU (1997)

UFPE

338.1

CDD (22.ed.)

CSA2007-006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PIMES/PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO
MESTRADO EM ECONOMIA DE

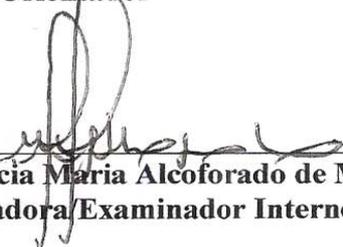
CHIARA NATÉRCIA FRANÇA

A Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a Candidata Chiara Natércia França **APROVADA**.

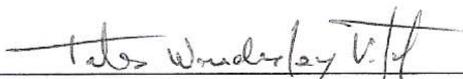
Recife, 07/05/2006.



Prof. Dr. Yony de Sá Barreto Sampaio
Orientador



Profa. Dra. Márcia Maria Alcoforado de Moraes
Co-Orientadora/Examinador Interno



Prof. Dr. Tales Wanderley Vital
Examinador Externo/UFRPE

Ao meu companheiro, Kanon, por me compreender e me fazer feliz.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus por dar-me a felicidade de viver esse momento.

Aos meus pais e familiares por confiar em mim e estarem sempre presentes.

Aos meus irmãos e irmãs queridos que tanto admiro e amo.

À Marizélia, Martinho e Crys, pela hospitalidade e amizade.

Aos amigos que participam diretamente da minha vida profissional: Fernanda, pela força, companheirismo, longas horas de estudo e risadas.

À Cláudia e Cleyciane, agradeço pela recente amizade e respeito.

À querida Márcia, Gilvan e Joedson, pelo carinho.

À Natasha, pela grande contribuição nesse trabalho e sobretudo, pela sua amizade.

Aos ilustres: Alexandre Hugo, José Coelho, Fernando da Embrapa Solos por nos orientar nos momentos de indecisão.

A todos os colaboradores que compõem o grupo operacional e administrativo do Pimes: Patrícia, Lúcia, Elisângela.

À CODEVASF por nos fornecer informações cruciais à conclusão desse estudo.

Aos amigos que indiretamente me apoiaram: Patrícia, Emanuelle, Fábio e Léo. Em especial, a Tia Nininha, pelo carinho e consideração.

Aos meus novos sobrinhos: Fabinho e Luquinha, por alegrar-me nas horas difíceis.

A Vaniza, Didi, tio Franser e tia Socorro, por ampliar a nossa família.

Aos professores do PIMES, vai meu eterno agradecimento por contribuírem na minha formação acadêmica.

Ao Prof^o Policarpo por me orientar nos tramites administrativo.

À Prof^a Márcia pela oportunidade que tive de participar do projeto.

Em especial, ao Professor Yony Sampaio, por estar ao meu lado, nessa difícil caminhada.

Resumo

Esse estudo tem como principal objetivo analisar os sistemas de irrigação utilizados pelos colonos, situado no pólo irrigado Petrolina (PE)-Juazeiro (BA), verificando se as tecnologias utilizadas são eficientes ou não.

Tomando como referência a relação tecnologia-água foi verificado qual o impacto dessa relação no valor da produção (R\$) dos colonos. Para tanto, funções de produção foram desenvolvidas, expressando a relação valor da produção-água-tecnologia (sistema de irrigação). Adicionalmente, foi realizado, dentre outras, uma análise econométrica através da variável *dummy* de tecnologia, objetivando identificar qual o sistema de irrigação mais econômico ao aplicar água e, portanto, mais eficiente.

Nesse trabalho, as funções de produção para o valor da produção (Y) foram estimadas de forma conjunta, considerando as principais culturas desenvolvidas nos perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro, situado no Sub-Médio do Vale do São Francisco.

Com base nessas funções e, principalmente, analisando as variáveis *dummies* de tecnologias, concluiu-se que os colonos utilizam sistemas de irrigação pouco eficientes, que desperdiçam água e geram rendimentos menores.

Palavras-chaves: irrigação; funções de produção; produtos agrícolas.

Abstract

This dissertation analyses the irrigation methods used by agriculturists in irrigation nucleus Petrolina (PE)-Juazeiro (BA), and verify the efficiency of this production system.

Based on the study of relation technology-water, this work shows the impacts in irrigation structure and how the culture affects the production value. Follow this, production functions was created, expressing the relation value of production-water-technology (irrigation system), beyond an econometric analysis with a technology dummy, to identify the more economic in use of water and also efficient irrigation system.

In this research the functions to measure the production value (Y) was estimated jointly, considering the main cultures elaborated in irrigated perimeters in Petrolina-Juazeiro area, located in San Francisco Valley.

The results sustain, by study of related functions and especially the dummies variables, that the method used by agriculturists are less efficient than others, being characterized by a relative waste of water and low levels of gains.

Key-words: irrigation system; production functions; agricultural product.

Índice de Figuras

FIGURA 1. PARTICIPAÇÃO EM ÁREA DAS UNIDADES DA FEDERAÇÃO NA BACIA DO SÃO FRANCISCO-64 MILHÕES HA.....	19
FIGURA 2. VAZÃO DE RETIRADA (165,8 M ³ /S).....	25
FIGURA 3. VAZÃO DE CONSUMO (105,49 M ³ /S).....	25
FIGURA 4. VAZÃO DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO (114,014 M ³ /S).....	26
FIGURA 5. VAZÃO DE CONSUMO PARA IRRIGAÇÃO (91,266 M ³ /S).....	26
FIGURA 6. DISPONIBILIDADE HÍDRICA POR REGIÃO FISIAGRÁFICA (1.849,4 M ³ /S).....	27
FIGURA 7. VAZÃO DE RETIRADA POR REGIÃO FISIAGRÁFICA (165,8 M ³ /S).....	28
FIGURA 8. VAZÃO DE CONSUMO HÍDRICO POR REGIÃO FISIAGRÁFICA (105,5 M ³ /S).....	28
FIGURA 9. PRINCIPAIS CULTURAS PLANTADAS NOS PERÍMETROS IRRIGADOS DO VALE, EM 1999.....	33
FIGURA 10. PRODUÇÃO DAS PRINCIPAIS CULTURAS PERMANENTES PLANTADAS.....	40
FIGURA 11. PRODUÇÃO DAS PRINCIPAIS CULTURAS TEMPORÁRIAS PLANTADAS.....	40
FIGURA 12. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO LOCALIZADA: (A) GOTEJAMENTO E (B) MICROASPERSÃO.....	48
FIGURA 13. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO: (A) PORTÁTIL, (B) TRACIONADO E (C) MECANIZADO.....	49
FIGURA 14. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE: (A) POR SULCOS, (B) INUNDAÇÃO.....	50

Índice de Tabelas

TABELA 1. ÁREA TOTAL IRRIGÁVEL PELOS PERÍMETROS DO PÓLO PETROLINA-JUAZEIRO - DIVISÃO DE ÁREA ENTRE COLONOS E EMPRESAS.	34
TABELA 2. EVOLUÇÃO DA ÁREA DESTINADA À FRUTICULTURA IRRIGADA NO PÓLO PETROLINA-JUAZEIRO – COLONOS E EMPRESAS.	35
TABELA 3. COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA FRUTICULTURA, SEGUNDO OS PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM A EFICIÊNCIA.	51

Índice de Quadros

QUADRO 1. REGRESSÃO LINEAR DO VALOR DA PRODUÇÃO (Y) EM RELAÇÃO A W, VI, MO, DA, DI.....	60
QUADRO 2. REGRESSÃO AUXILIAR DE U_1^2	67
QUADRO 3. REGRESSÃO AUXILIAR DE W SOBRE VI, MO, DA E DI.....	69
QUADRO 4. REGRESSÃO AUXILIAR DE VI SOBRE W, MO, DA E DI.....	70
QUADRO 5. REGRESSÃO AUXILIAR DE MO SOBRE W, VI, DA E DI.....	71
QUADRO 6. REGRESSÃO AUXILIAR DE DA SOBRE W, VI, MO E DI.....	71
QUADRO 7. REGRESSÃO AUXILIAR DE DI SOBRE W, VI, MO E DA.....	72
QUADRO 8. REGRESSÃO AUMENTADA DE Y, INCLUINDO AO MODELO LINEAR, VALORES ESTIMADOS DE Y^2 , Y^3 E Y^4	73
QUADRO 9. REGRESSÃO LOG-LINEAR DO VALOR DA PRODUÇÃO (LNY) EM RELAÇÃO A LNW, LNMO, LNVI, DA E DI.....	75
QUADRO 10. REGRESSÃO AUXILIAR DE U_1^2	80
QUADRO 11. REGRESSÃO AUXILIAR DE LNW EM RELAÇÃO A LNVI, LNMO, DA E DI.....	81
QUADRO 12. REGRESSÃO AUXILIAR DE LNVI EM RELAÇÃO A LNW, LNMO, DA E DI.....	82
QUADRO 13. REGRESSÃO AUXILIAR DE LNMO EM RELAÇÃO A LNW, LNVI, DA E DI.....	82
QUADRO 14. REGRESSÃO AUXILIAR DE DA EM RELAÇÃO A LNW, LNVI, LNMO E DI.....	83
QUADRO 15. REGRESSÃO AUXILIAR DE DI EM RELAÇÃO A LNW, LNVI, LNMO E DA.....	84
QUADRO 16. REGRESSÃO AUMENTADA DE LNY, INCLUINDO AO MODELO LOG-LINEAR, VALORES ESTIMADOS DE $(LNY)^2$, $(LNY)^3$ E $(LNY)^4$	85
QUADRO 17. REGRESSÃO DE Y, ADICIONANDO Z_1 COMO REGRESSOR.....	86
QUADRO 18. REGRESSÃO DE LNY, ADICIONANDO Z_2 COMO REGRESSOR.....	86

Índice de Gráficos

GRÁFICO 1. ÁREA PLANTADA (HA).....	31
GRÁFICO 2. PRODUÇÃO (TONELADAS).....	31
GRÁFICO 3. VALOR BRUTO DA PRODUÇÃO (R\$ 1.000).....	32
GRÁFICO 4. ÁREAS CULTIVADAS PELOS COLONOS E PELAS EMPRESAS, EM 1997, COM FRUTICULTURA IRRIGADA.....	37
GRÁFICO 5. EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DESTINADAS ÀS PRINCIPAIS CULTURAS PERMANENTES,.....	38
GRÁFICO 6. EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DESTINADAS ÀS PRINCIPAIS CULTURAS TEMPORÁRIAS,.....	39
GRÁFICO 7. COMPORTAMENTO ESPERADO DAS TECNOLOGIAS UTILIZADAS PELOS COLONOS, SEM DISTINÇÃO POR CULTURA (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).....	56
GRÁFICO 8. VALORES ESTIMADOS DA PRODUÇÃO E(Y) EM RELAÇÃO AO VOLUME DE ÁGUA APLICADA (W) – ANÁLISE DA <i>DUMMY</i> TECNOLOGIA (LINEAR).....	62
GRÁFICO 9. RELAÇÃO ENTRE VOLUME DE ÁGUA APLICADA/HA (W) E VALOR DA PRODUÇÃO/HA (Y).....	66
GRÁFICO 10. VALORES ESTIMADOS DA PRODUÇÃO E(Y) EM RELAÇÃO AO VOLUME DE ÁGUA APLICADA (W) – ANÁLISE DA <i>DUMMY</i> TECNOLOGIA (LOG-LOG).....	77

Sumário

CAPÍTULO 1	13
INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 2	18
ÁREA EM ESTUDO.....	18
2.1. <i>A Bacia Hidrográfica (Sub-Médio)</i>	18
2.1.1. A Problemática da Água na Atividade Agrícola do Sub-Médio	22
2.2. <i>Fruticultura Irrigada no Sub-Médio</i>	28
CAPÍTULO 3	42
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	42
3.1. <i>Sistema de Irrigação</i>	45
CAPÍTULO 4	55
ANÁLISE	55
4.1. <i>Dados</i>	55
4.2. <i>Modelo</i>	57
4.3. <i>Resultados</i>	59
4.3.1. Regressão Linear	59
CONCLUSÕES	88
BIBLIOGRAFIA	91

Capítulo 1

Introdução

Desde a década de 60, os grandes incentivos do setor público no Sub-Médio São Francisco geraram avanços na agricultura da região, mais especificamente no pólo Petrolina-Juazeiro (foco desse estudo). Além disso, os investimentos públicos criaram a infra-estrutura adequada para que novos recursos fossem captados pela região, tais como o aparecimento de indústrias, ampliação do comércio e dos serviços. As melhorias nos meios de transportes, nas estradas, na geração de energia, no sistema de comunicação, entre outros, serviram de suporte tanto para o crescimento da região em si, quanto para o crescimento da agricultura.

Basicamente, a agricultura encontrou na irrigação a “chave” para seu desenvolvimento, nesses últimos 15 anos. Vale salientar, que esse segmento de produção, antes dos investimentos citados, era realizado de forma incipiente na região em questão e suas tecnologias eram bastante atrasadas. Com os investimentos, houve a criação dos projetos de irrigação que deram origem aos perímetros irrigados, fato que começou a surgir no final da década de 60, com a criação dos primeiros perímetros, Bebedouro e Mandacaru.

As implantações dos perímetros de Bebedouro e Mandacaru representaram o ponto de partida para que as áreas destinadas à irrigação aumentassem gradativamente. Para tanto, posteriormente, novos perímetros irrigados surgiram, no pólo Petrolina-Juazeiro, são eles: Maniçoba (1982), Curaçá (1982), Tourão (1984), Senador Nilo Coelho (1984) e o mais recente Maria Tereza (1997). Concomitantemente, a expansão das áreas irrigadas abriu espaço para o cultivo de outras culturas; novas oportunidades de emprego e a adesão de tecnologias avançadas. Além disso, novos segmentos foram ampliados, tais como: o surgimento de indústrias fabricantes de insumos, que atraídas pela expansão da atividade agrícola irrigada na região acreditavam em novas oportunidades de negócios; outras indústrias foram implantadas, como a de processamento de produção (para esse caso, existem como exemplos: a produção do

tomate, sendo as indústrias atraídas pela produção local dessa cultura que, até meados da década de 80, era um dos cultivos mais plantadas no pólo, e, mais recentemente, a chegada das indústrias processadoras de polpa de fruta); houve melhorias no âmbito educacional, a mão-de-obra local teve que buscar novos conhecimentos para essa atividade em expansão, com isso, o nível de educação e instrução aumentou na região; processos migratórios ocorreram, pessoas de regiões mais próximas migravam em busca de emprego; o comércio e os serviços se ampliaram, entre outros aspectos.

Segundo a Codevasf¹, um pólo de irrigação trás para a região vantagens em diversas áreas, reduz os custos dos insumos, cria um ambiente favorável para especializar a mão-de-obra, promove avanços tecnológicos e amplia o comércio da região em que está inserido. Ainda sob o enfoque da instituição, como exemplos, a irrigação desenvolvida hoje no Nordeste promove em torno de 5,5 empregos por hectare, tanto no campo como na cidade e gera em torno de 2 bilhões de dólares por ano entre frutas, hortaliças e sementes, que atendem o mercado interno e externo.

Considerando regiões que sofrem com a escassez de água – como é o caso do semi-árido nordestino -, a irrigação é uma tecnologia essencial para o desenvolvimento da agricultura. Sem o uso desses sistemas fica quase impossível irrigar áreas maiores, diversificar a produção, ampliar a produtividade e, conseqüentemente, obter rendimentos maiores nessas regiões que sofrem com a falta d'água. Nesse caso, é de fundamental importância que as técnicas agronômicas (adubação, controle de pragas, combate às doenças, entre outras) aliadas aos sistemas de irrigação sejam utilizadas adequadamente.

Para exemplificar, o ganho que o produtor tem, em geral, na produtividade quando utiliza a irrigação é, em média, 2,5 a 3 vezes maior do que a área desenvolvida com a atividade de sequeiro, além disso, o valor bruto da produção em áreas irrigadas é 5 vezes maior que em áreas não irrigadas (Codevasf, 2006).

¹ Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (<http://www.codevasf.gov.br>). Acesso em abril de 2006.

As áreas irrigadas no Brasil, no Nordeste e no Vale do São Francisco cresceram consideravelmente entre o período de 1960 a 1998 passando, respectivamente, de 320 mil para 2.870 mil hectares, 29 mil para 495 mil hectares e de 11 mil para 333 mil hectares, aproximadamente. Essa evolução, principalmente na região Nordeste, está atrelada à implantação dos projetos de irrigação (Codevasf - <http://www.codevasf.gov.br>. Acesso em abril de 2006).

Nesses projetos de irrigação – principalmente, os localizados no pólo Juazeiro-Petrolina -, a área destinada à irrigação é que será considerada nesse estudo. Tal área está distribuída entre as empresas e colonos para o desenvolvimento da agricultura irrigada. Essa atividade, que já era desenvolvida na região em pequena escala antes da implantação dos projetos, alcançou, com a implantação dos mesmos uma escala maior de produção.

Até meados da década de 80, aproximadamente, as culturas tradicionais plantadas no pólo Petrolina-Juazeiro eram as temporárias (tomate, cebola, feijão, melão e melancia). Já no final da década, os produtores do pólo, movidos por novas tendências de mercados, começaram a plantar culturas permanentes como a banana, a manga, o coco, a goiaba e a uva. Um novo padrão de especialização de culturas surgia. Os frutos dessas mudanças só iriam aparecer com alguns anos, pois essas culturas possuem um ciclo maior de produção quando comparadas ao plantio temporário.

Considerando esse novo paradigma de produção, será realizada uma comparação durante esse processo de expansão das áreas em cultivos permanente com as áreas das culturas temporárias. Tais dados foram retirados da Codevasf (“Um Vale de Realizações e de Esperança”, 2006) e de uma pesquisa de campo realizada por Sampaio E. & Sampaio Y. (orgs) et al (2004). Além disso, foi feito um levantamento das principais culturas plantadas nos perímetros irrigados do Vale do São Francisco. Mais especificamente, será abordada a importância dos colonos na produção da fruticultura irrigada, sendo essa atividade desenvolvida de forma diversificada pelos mesmos.

Em geral, a fruticultura irrigada desenvolvida no pólo Petrolina-Juazeiro (localizado no Sub-Médio São Francisco) classificou a região fisiográfica como uma área de grande destaque comercial. Exemplificando, 80% e 70% das exportações do país de uva e de manga, respectivamente, são produzidas pelo pólo (Codevasf, abril de 2006). Embora esse segmento de mercado mostre-se próspero para os produtores da região, ele é, em sua maioria, representado pelas empresas locais, que normalmente são possuidoras de tecnologias mais avançadas de cultivo e, além disso, mostram-se mais organizadas na distribuição e comercialização do produto (em associações). Com o intuito apenas de informar, existe um instrumento importante na mobilização dos produtores da região em questão chamado de VALEEXPORT (Associação de Exportadores de Frutas do Vale do São Francisco).

Em se tratando das áreas irrigadas pelas empresas e pelos colonos, essas, normalmente, são irrigadas de formas distintas. Com base nos dados não-experimentais analisados por esse trabalho (pesquisa de campo realizada pela FADE/UFPE/CODEVASF, que também foi estudado por Sampaio E. & Sampaio Y. (orgs) et al (2004)), as empresas, em geral, adotam tecnologias de irrigação mais avançadas. Já os colonos, mostraram-se, segundo os questionários analisados através da pesquisa citada, menos participativos com relação a esses processos evolutivos.

Para esse estudo, foi feito um levantamento das principais tecnologias de irrigação utilizadas pelos colonos, considerando dados coletados da pesquisa realizada pela FADE/UFPE², em 1998, tendo como foco os projetos de irrigação localizados no Sub-Médio São Francisco. Identificando os principais sistemas de irrigação, foi verificada a utilização de água por tais tecnologias, observando quais delas atingiam, em média, valores de produção (R\$) maiores, para valores fixados de água aplicada (m³).

No capítulo 2 foram levantadas informações sobre a Bacia do São Francisco, mais especificamente, o Sub-Médio. Tais informações envolvem a importância da agricultura irrigada para a região de destaque e como essa atividade agrícola necessita para seu

² Fundação de Apoio de Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco.

desenvolvimento do recurso hídrico, que, por sua vez, mostra-se escasso na área em questão (semi-árido nordestino). Em seqüência, a fruticultura irrigada recebeu destaque nos principais perímetros irrigados do Sub-Médio.

No capítulo 3 foi realizado levantamento bibliográfico sobre as principais tecnologias de irrigação que são mais econômicas ao aplicar água e, que, conseqüentemente, geram maiores rendimentos para o produtor. No capítulo 4 foi realizada análise econométrica que explica, entre outras, a relação entre o valor da produção e a água aplicada, segundo a tecnologia de irrigação utilizada pelos colonos nos principais perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro.

A última parte diz respeito às conclusões desse estudo e explica porque não foi possível fazer estimações por cultura.

Capítulo 2

Área em Estudo

2.1. A Bacia Hidrográfica (Sub-Médio)

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco ocupa uma área de, aproximadamente, 64 milhões de hectares (8% da área do país), formando uma das mais importantes Bacias Hidrográficas do Brasil, onde habitam, aproximadamente, 15 milhões de pessoas, distribuídas em 464 municípios³.

O Rio São Francisco possui 2.700 km de extensão, e abrange sete unidades da federação, com as seguintes participações: Bahia, que representa 48,1% da área total da bacia; Minas Gerais, 36,9%; Pernambuco, 10,9%; Alagoas com 2,3%; Sergipe 1,1%; Goiás, 0,5%; e por fim, Distrito Federal com 0,2% (Figura 1).

O *Velho Chico*, como é carinhosamente conhecido, é classificado, entre outros grandes rios, como genuinamente brasileiro, pois está totalmente inserido no território nacional. Tradicionalmente, é dividido em quatro regiões fisiográficas: Alto, que compreende desde a sua nascente na Serra da Canastra até a cachoeira de Pirapora, tendo sua área correspondente a 16% da bacia (100.060 km²); Médio São Francisco, da cachoeira de Pirapora até a barragem de Sobradinho, abrangendo a maior parte da bacia, 63% (398.716 km²); Sub-Médio do São Francisco, da barragem de Sobradinho até a barragem de Xingó, compreendendo 17% da bacia (110.481 km²); e, por fim, Baixo São Francisco, de Xingó ao Atlântico, com 4% da bacia (25.524 km²).

³ www.cpsa.embrapa.br, 2006.

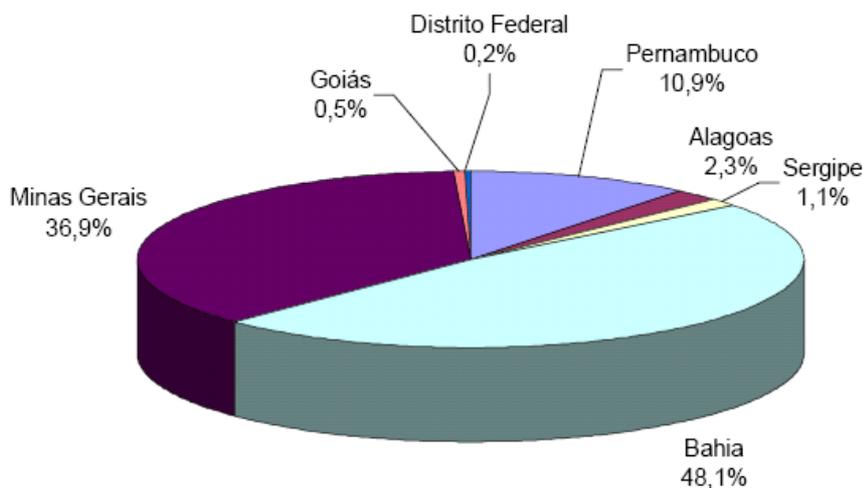


Figura 1. Participação em área das unidades da federação na Bacia do São Francisco⁴-64 milhões ha.

Pretende-se, neste estudo, focalizar a região do Sub-Médio, dado o destaque que vem alcançando com o desenvolvimento da agricultura irrigada nos últimos 15 anos, especialmente, da fruticultura.

Com relação à região do Sub-Médio, vale destacar a evolução da atividade agrícola, especificamente, no pólo Petrolina-Juazeiro, onde, segundo Marinozzi e Menu (1997), esta não era tida como atividade principal, sendo de menor relevância em relação à pecuária durante o período da colonização portuguesa. A atividade agrícola nesta primeira etapa evolutiva, quando realizada, era bastante incipiente, dependendo totalmente das oscilações do nível d'água do Rio São Francisco. Utilizando o sistema de inundação, os ribeirinhos plantavam grãos e legumes, realizando um cultivo de subsistência, todavia, a pecuária era a atividade preponderante da região. Oliveira *et al* (1991), afirmam ter sido a pecuária, inicialmente, o fator responsável pela ocupação humana e econômica da região em questão.

Quando a pecuária entrou em decadência (início do século XIX), outras atividades começaram a surgir. Ainda sob o enfoque de Marinozzi e Menu (1997), tal decadência foi desencadeada, principalmente, pelo fato da carne bovina do sertão nordestino ser de qualidade inferior a que estava sendo criada e abatida, naquela época, no sul do país. A partir desse

⁴ As ilustrações dessa seção foram retiradas dos estudos técnicos de apoio PBHSF (2004-2013).

momento, a atividade comercial cresceu na região e algumas cidades tornaram-se entrepostos comerciais como, por exemplo, Juazeiro (BA). Um novo segmento econômico surgia. Oliveira *et al* (1991) ressaltam que, durante longas décadas, a atividade comercial desenvolvida no pólo Petrolina-Juazeiro representou a principal fonte de riqueza da região.

No começo do século XX a atividade agrícola ainda não apresentava destaque. Culturas como mandioca, feijão, milho, cana-de-açúcar e algodão, em geral, não geravam grandes excedentes, exceto em anos de inverno excepcionais, quando os produtores conseguiam aumentar sua produção e, assim, desenvolver um pequeno comércio. Foi com o plantio da cebola (cultura que necessitava de mais água, quando comparada as outras culturas desenvolvidas na região), que os pequenos produtores, através de suas técnicas rudimentares de captação da água do São Francisco, como cata-vento e roda d'água, conseguiram introduzir no Sub-Médio São Francisco as primeiras técnicas de irrigação. Oliveira *et al* (1991) revelam que o pólo Petrolina-Juazeiro tornou-se uma região de destaque nacional no que se refere à produção da cebola. Posteriormente, os mesmos autores ainda afirmam que essa posição foi tomada, inicialmente, pela concorrência de outras áreas produtoras no Sul do país, fato que incentivou os produtores do pólo a diversificar sua produção, plantando outras culturas como, tomate, melancia, feijão e melão, para que melhorassem seus rendimentos. Essa diversificação da estrutura produtiva ocorreu concomitantemente à expansão do sistema de irrigação implantado no Sub-Médio do São Francisco, que teve apoio financeiro tanto das instituições públicas, quanto das privadas.

Os primeiros investimentos, ainda na década de 50, foram no sentido de melhorar a infra-estrutura no Sub-Médio São Francisco. Num segundo momento, que corresponde, aproximadamente, ao final da década de 60, os projetos de irrigação começaram a surgir, sendo os primeiros perímetros irrigados implantados o de Bebedouro e o de Mandacaru.

A atuação do setor público foi de fundamental importância para o desenvolvimento da infra-estrutura. Dentre suas ações, destacam-se: construção de estradas, pontes, ferrovias, portos, aeroporto (em Petrolina), que passaram a ligar o pólo Petrolina-Juazeiro aos principais

centros comerciais do Nordeste e Sudeste, viabilizando o escoamento da produção; melhorias nos meios de comunicação; investimentos no setor energético, entre outros. Sem dúvidas, esses investimentos provocaram efeito multiplicador, não somente sobre o setor agrícola, mas também, sobre as atividades de comércio, indústria e de serviços (CAVALCANTE, 1997). Vale salientar que os investimentos no setor energético realizado pela Chesf foram de fundamental importância para o desenvolvimento da infra-estrutura local.

Com relação à agricultura irrigada, tratada como foco pelo referido trabalho, o apoio governamental, percebido ainda nos dias atuais, manifestou-se através do financiamento para implantação dos perímetros irrigados. As construções iniciais dos perímetros irrigados, Bebedouro e Mandacaru (1968), foram responsáveis pela criação de um novo paradigma referente à agricultura irrigada. Segundo Oliveira *et al* (1991), esse foi o primeiro “passo” no direcionamento de fortalecer a viabilidade da atividade de irrigação no Semi-Árido nordestino. Posteriormente, foram construídos novos perímetros como o de Curaçá (1982), Maniçoba (1982), Tourão (1984) e Senador Nilo Coelho (1984). Dentre eles, apenas Bebedouro e Senador Nilo Coelho, situam-se no município de Petrolina; os demais estão localizados no município de Juazeiro da Bahia.

Depois do pleno funcionamento dos primeiros perímetros irrigados (Bebedouro e Mandacaru), no final da década de 70, aproximadamente, a agricultura irrigada alcançou uma fase de expansão, com o crescimento da área irrigada, com geração de excedentes de produção significativos e, conseqüentemente, crescimento do comércio no pólo Petrolina-Juazeiro. Sucessivamente, apareceram outros perímetros irrigados que alavancaram o processo de expansão da agricultura irrigada no pólo. Uma análise mais detalhada, com dados sobre o crescimento da área irrigada e a expansão da produção no pólo, será exibida na seção 2.2. Vale salientar que, até meados da década de 80, os principais cultivos eram os anuais. O algodão, o arroz, a cebola, o tomate, o feijão, a mandioca, o milho, a melancia e o melão, eram as culturas que tinham valor comercial. Algumas delas, como por exemplo, o tomate, fomentava outras indústrias, como a de processamento. Sobre esta cultura, Oliveira *et al* (1991), afirmam que

parte da produção de tomate (melhor produção), que era realizada no Vale, direcionava-se para atender o mercado interno e a outra parte, destinava-se às indústrias processadoras de alimentos.

Ao final da década de 80, começou um processo de substituição da produção de culturas anuais para a de culturas permanentes (uva, manga e banana, inicialmente). Este fato ocorreu devido ao novo paradigma tecnológico (capital, bioquímica e biológica), que surgiu, principalmente, entre os grandes produtores - aliados a órgãos como a Codevasf, Emater, Embrapa, entre outros -, que buscaram plantar culturas de maior valor agregado. Por outro lado, os pequenos produtores buscavam no plantio diversificado dessas culturas, uma forma de sobrevivência e a obtenção de maiores rendimentos (OLIVEIRA *ET ALL*, 1991).

Portanto, o crescimento econômico no Sub-Médio São Francisco, mais especificamente, no pólo Petrolina-Juazeiro, foi promovido inicialmente pelo setor público, e, posteriormente, foi incrementado pela iniciativa privada. Ambos acreditaram nas condições naturais (clima, solo, disponibilidade de água, entre outros) da região, para a expansão da agricultura irrigada, que embora já existisse, ainda era incipiente. Oliveira *et al* (1991), afirmam que os investimentos, principalmente do setor público, vieram *fortalecer exatamente aqueles segmentos cuja deficiência entravava o crescimento local*.

2.1.1. A Problemática da Água na Atividade Agrícola do Sub-Médio

Antes de verificar a importância do uso da água para a atividade agrícola, considerando as regiões do Vale, se faz necessário conhecer um pouco sobre a região de estudo, onde estão localizados os principais perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro (Sub-Médio). Sabe-se que 56,8% do total (64 milhões de hectares) da extensão da Bacia do São Francisco está incluído no polígono das secas. Essa região é bastante conhecida pela ausência de chuvas e situa-se, majoritariamente, na região Nordeste estendendo-se até o Norte de Minas Gerais. No que se refere a região Nordeste, o pólo Petrolina-Juazeiro receberá

destaque nesse estudo (http://www.codevasf.gov.br/os_vales_verificar/estados/?-searchterm=polígono%20das%20secas, acesso em abril de 2006).

Segundo Hirsch (2005), o pólo possui um clima semi-árido, com chuvas irregulares e temperatura média anual de 27°C, predominantemente elevadas; o volume pluviométrico da região apresenta um total médio de chuvas de 540 mm, concentrado no período de janeiro a março. Baseando-se na classificação de Thornthwaite (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Clima>, acesso abril de 2006), que caracteriza climas secos (áridos e semi-áridos) como climas com precipitações (volume de chuvas) menores do que a taxa de evapotranspiração potencial da região, acredita-se que o pólo, ao qual se aplica esse estudo, encontra-se em uma região que apresenta baixo volume pluviométrico para atender as necessidades médias das plantas. No entanto, chuvas escassas associadas a temperaturas elevadas, classificam a região como quente e desprovida de água. Para efeitos comparativos, o cultivo da banana (uma das frutas mais plantadas da região, principalmente, entre os colonos do pólo) precisa de, aproximadamente, 1.200 mm anuais (Embrapa, 2006), fato que descreve a inviabilidade do desenvolvimento da agricultura sem o uso da irrigação, nessa região. Além disso, a tendência dos produtores locais é a de produzir o ano inteiro e, por isso, não podem depender apenas do período de chuvas. Exemplificando, o perímetro irrigado de Bebedouro possui uma precipitação média de 400 mm ao ano, com 2000 mm de evapotranspiração potencial média anual, classificando (Thornthwaite) a área como insuficiente na oferta de água pelas chuvas, pois a região resulta em um déficit hídrico de 1.600 mm ao ano⁵. Para os demais perímetros irrigados do pólo em questão, os valores do déficit hídrico são semelhantes.

De acordo com o explicitado no parágrafo anterior, torna-se imprescindível que esse recurso escasso - água, tema de diversas discussões, tanto na esfera nacional quanto na internacional-, seja gerenciado e alocado de forma que não haja desperdício, principalmente, em regiões áridas e semi-áridas (como é o caso do semi-árido nordestino), onde as deficiências hídricas são gritantes.

⁵ <http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados>, acesso em abril de 2006.

É de conhecimento geral que as águas do Rio São Francisco podem ser usadas para múltiplos usos: abastecimento humano, agricultura irrigada, geração de energia, navegação, piscicultura, lazer, entre outros. Nesse estudo, só serão abordadas as questões que envolvem o uso da água para a agricultura irrigada, considerando ainda a necessidade deste recurso para a atividade e a importância da mesma para a região do Sub-Médio.

A irrigação é uma técnica utilizada para fornecer água às plantas em determinados períodos. Essa tecnologia é, em geral, utilizada em épocas de estiagem, como suplemento para regiões mais úmidas; e, como ferramenta principal, em regiões com chuvas escassas – como é o caso do Semi-Árido nordestino.

As águas do Rio São Francisco e de seus afluentes, atualmente, segundo o Censo Agropecuário do IBGE, referente a 1995-1996, já irrigam, aproximadamente, 340 mil hectares⁶ (região Nordeste e parte de Minas Gerais), sendo este recurso utilizado por atividades agrícolas que crescem e geram renda e emprego para a população da região. Segundo Cavalcante (1997), o potencial irrigável do Sub-Médio do São Francisco é de 800 mil hectares, mas, só existem, aproximadamente, 200 mil hectares implantados.

A significância da irrigação para todo o Vale é verificada através de vazões de retirada e consumo. A vazão de retirada, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (2003), corresponde o volume de água captado da calha do rio e de seus afluentes, para atividades de uso consuntivo da água; e, a vazão consumida corresponde à diferença entre as vazões de retirada e de retorno, ou seja, é a parcela consumida da vazão de retirada.

As Figuras⁷ 2 e 3, a seguir, mostram as distribuições da vazão de retirada e da vazão de consumo, respectivamente, entre os usos consuntivos na Bacia do São Francisco. Como pode ser visto na Figura 2, a irrigação é a atividade que mais retira água da calha do Rio e de seus afluentes, 69% do total (165,8 m³/s), seguida pelos usos urbano (16%); industrial (9%); animal (4%) e rural (2%).

⁶ A codevasff, depois de longas controvérsias, estabeleceu um limite máximo de 1.336 ha possíveis de serem irrigados (PBHSF, 2004-2013).

⁷ As Ilustrações dessa seção foram retiradas dos Estudos Técnicos de apoio ao PBHSF (2004-2013).

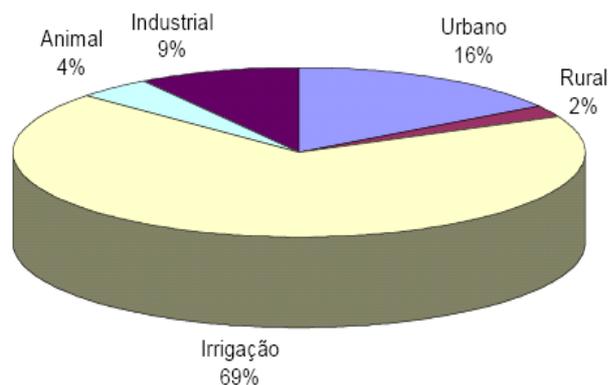


Figura 2. Vazão de retirada (165,8 m³/s).

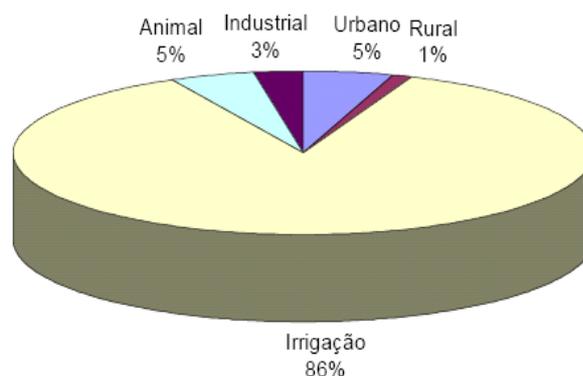


Figura 3. Vazão de consumo (105,49 m³/s).

Em se tratando do consumo, a agricultura é a atividade que mais consome, 86% do total (105,49 m³/s); seguida pelo consumo animal e urbano, ambos com 5%, aproximadamente; pela atividade industrial (3%) e o abastecimento rural (1%) – Figura 3.

Já as Figuras 4 e 5, a seguir, mostram as vazões de retirada e de consumo para a irrigação, respectivamente, considerando as regiões fisiográficas da Bacia do São Francisco. O Sub-Médio São Francisco é a região que mais retira água para a irrigação, 44% do total. Em seqüência estão: o Médio, com 40%; o Baixo, com 10% e o Alto, com 7% (Figura 4). Na Figura 5, o Sub-Médio se destaca no consumo de água para irrigação, atingindo, aproximadamente, 44% do total (91,26 m³/s). Comparativamente, as regiões fisiográficas da

Bacia do São Francisco, consomem, praticamente, todo o volume de água retirado da calha do Rio e de seus afluentes, não tendo quase retorno de água dessa atividade (Figuras: 4 e 5).

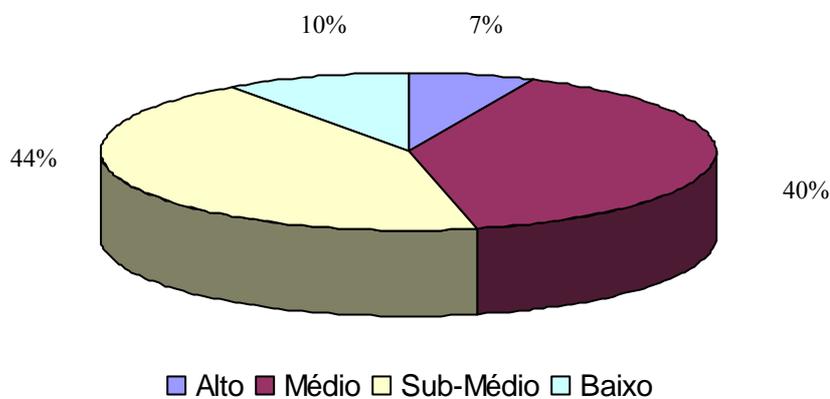


Figura 4. Vazão de retirada para irrigação (114,014 m³/s).

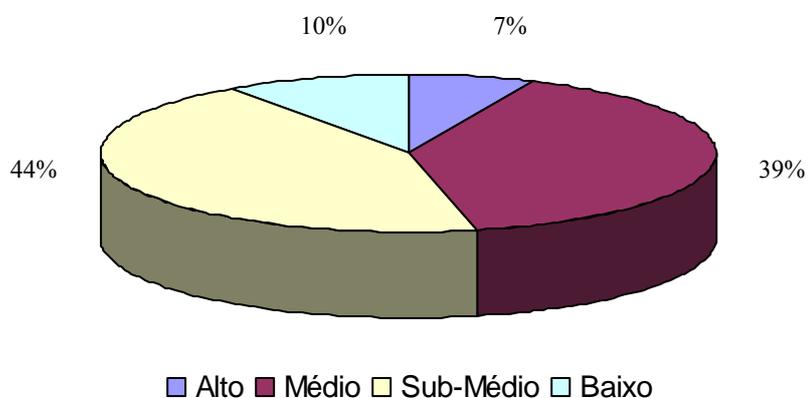


Figura 5. Vazão de consumo para irrigação (91,266 m³/s).

Observando a importância da irrigação para o desenvolvimento da agricultura, se faz necessário analisar a disponibilidade, a retirada e o consumo de água por região fisiográfica, a fim verificar a necessidade desse recurso, principalmente, para a região do Sub-Médio. As Figuras 6, 7 e 8, a seguir, mostram, respectivamente, a disponibilidade hídrica, a vazão de retirada e a de consumo por região fisiográfica. Comparativamente, percebe-se que existem duas regiões que possuem grande disponibilidade de água (Figura 6), são elas: o Médio, com

53% do total (1.849,4 m³/s) e o Alto, com 42% do total. Já as outras duas regiões, o Sub-Médio (4%) e o Baixo (1%), possuem menores volumes disponíveis de água. Em se tratando do Sub-Médio, exclusivamente, essa baixa disponibilidade hídrica é absolutamente normal quando se trata de uma região que têm como principais características climáticas, altas temperaturas e chuvas escassas.

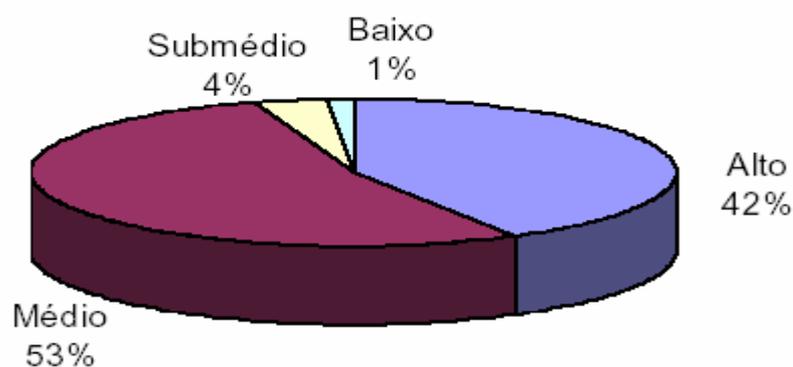


Figura 6. Disponibilidade hídrica por região fisiográfica (1.849,4 m³/s).

As regiões que mais retiram água são o Médio (34% do total – 165,8 m³/s) e o Sub-Médio (33% do total), seguidos do Alto (25%) e do Baixo (8%) – Figura 7. Em se tratando do consumo hídrico por região, o Sub-Médio (39% do total – 105,5 m³/s) fica em primeiro lugar, em seqüência vêm o Médio (38%); o Alto (14%) e o Baixo São Francisco (9%).

Percebe-se claramente que o volume total retirado (165,8 m³/s) corresponde apenas a 9%, aproximadamente, do volume total de água que foi disponibilizado pelo Rio São Francisco e seus afluentes (1.849,4 m³/s). Além disso, pode-se observar que do volume total que é retirado quase todo o volume de água é consumido (comparando Figuras 7 e 8).

Uma conclusão interessante que pode ressaltar a problemática da água, exclusivamente, no Sub-Médio São Francisco é que essa região necessita desse recurso, principalmente, para o desenvolvimento da irrigação, pois, além dessa tecnologia ser o “carro chefe” para o desenvolvimento da agricultura nessa região em questão, ela mostra ser, dentre

os múltiplos usos, a atividade que mais necessita do recurso água, pois consome 97% do total consumido pelo Sub-Médio (41,14 m³/s) – Figuras 5 e 8.

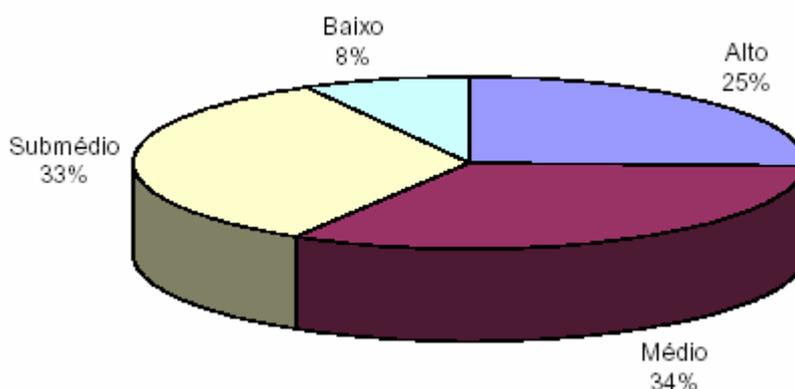


Figura 7. Vazão de retirada por região fisiográfica (165,8 m³/s).

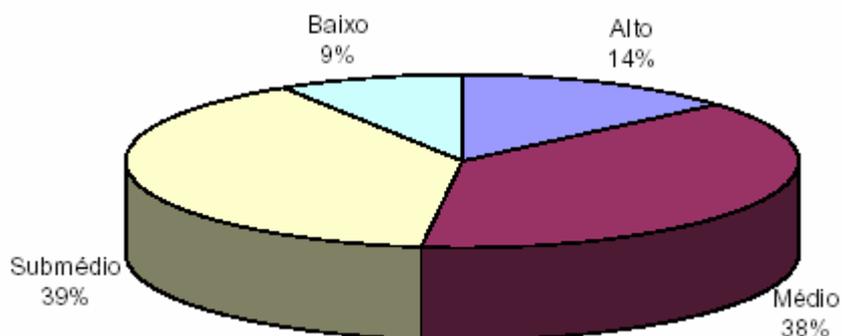


Figura 8. Vazão de consumo hídrico por região fisiográfica (105,5 m³/s)

Um estudo sobre os mais adequados sistemas de irrigação para as principais culturas irrigadas do Vale é realizado no capítulo 3. Em contrapartida, o capítulo 4, descreve as tecnologias mais utilizadas pelos colonos do Sub-Médio São Francisco.

2.2. Fruticultura Irrigada no Sub-Médio

O Programa de Apoio à Fruticultura, criado em 1989, (http://www.codevasf.gov.br/programas_acoes/arranjos-produtivos-locais/o-programa-de-

fruticultura/, aceso, Abril de 2006), buscou incentivos junto ao Banco Mundial (BIRD), captando recursos para os produtores dos perímetros irrigados do Sub-Médio do São Francisco, objetivando a diversificação de culturas, bem como o plantio de frutas com maior valor comercial, como é o caso da manga, da uva, da banana, do coco e da goiaba (cultivos permanentes). Coordenado pela Codevasf, o programa beneficiou até o ano de 2000, 2.008 irrigantes, que conseguiram ampliar as terras irrigadas com fruticultura, melhorar as técnicas de cultivo e diversificar as culturas desenvolvidas nos perímetros irrigados (particularmente, os colonos). A evolução da fruticultura irrigada no Sub-Médio do São Francisco será analisada nessa seção, destacando a importância econômica trazida por essa atividade para a região em questão. O foco principal serão os perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro.

Segundo Hirsch (2005), o Vale do São Francisco representa hoje, uma região de destaque, tanto no mercado interno quanto no mercado externo, no que se refere à produção de frutas irrigadas, sendo sua área plantada de, aproximadamente, 120 mil hectares, incluindo áreas dentro e fora dos perímetros irrigados. O mesmo autor ainda afirma que existe, atualmente, em média, 68 mil hectares de terras a serem implantados com tecnologias de irrigação.

Antes de detalharmos as questões que se referem ao Sub-Médio do São Francisco é importante destacar a evolução das áreas destinadas às culturas permanentes (fruticulturas irrigadas), durante o período de 1995 a 1999, em contraste com a das culturas temporárias.

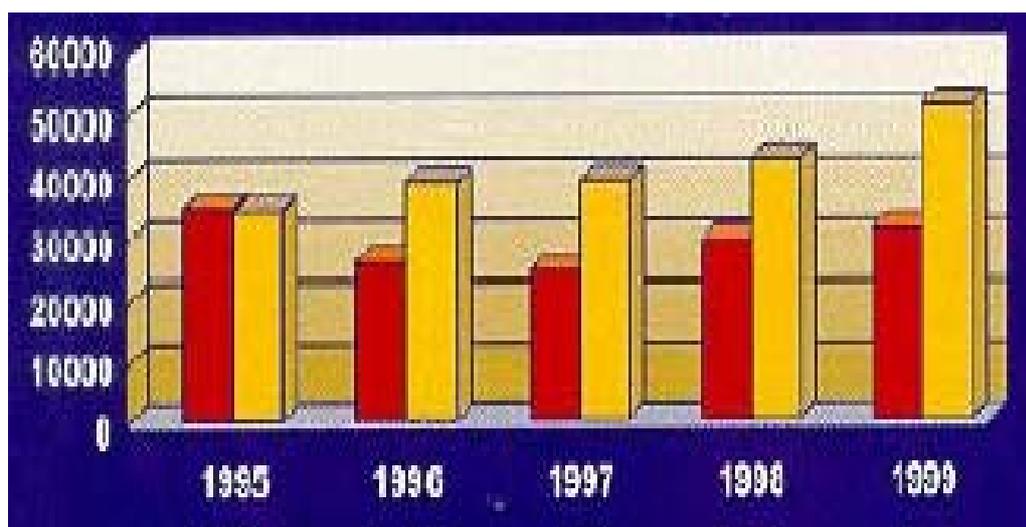
A década de 90, especificamente, a partir de 1995, foi marcada pela evolução das áreas destinadas à irrigação de culturas permanentes. Os gráficos 1, 2, 3, a seguir, mostram, respectivamente, a área plantada (ha); o valor da produção (toneladas) e o valor bruto da produção (R\$), das culturas temporárias e permanentes desenvolvidas nos principais perímetros irrigados do Vale do São Francisco, entre 1995 e 1999 (CODEVASF: um Vale de Realizações e de Esperança, 2006). As áreas destinadas à plantação de culturas temporárias foram reduzidas para valores abaixo de 30 mil hectares, a partir de 1995. Já em contrapartida, as áreas destinadas ao plantio de culturas permanentes cresceram vertiginosamente de 35 mil

hectares, aproximadamente, em 1995, para pouco mais de 50 mil hectares, em 1999 (Gráfico 1).

O gráfico 2 mostra que os perímetros irrigados do Vale aumentaram, significativamente, sua produção de culturas permanentes entre os anos de 1995 e 1999, passando de quase 900 mil toneladas para, aproximadamente, 1,5 milhão de toneladas, respectivamente. Por outro lado, as culturas temporárias foram produzidas em menor quantidade nesse mesmo período. Sua produção foi diminuída pela metade, passando de 400 mil toneladas, em 1995, para 200 mil toneladas, em 1997, aproximadamente.

O gráfico 3 mostra que, mais uma vez, as culturas permanentes se destacaram. Os valores brutos da produção irrigada, nos perímetros do Vale, mostraram evolução, exceto em 1999 - essa queda no valor da produção, em 1999, ocorreu em decorrência da diminuição dos preços dos produtos agrícolas, afetando tanto os cultivos permanentes como os temporários.

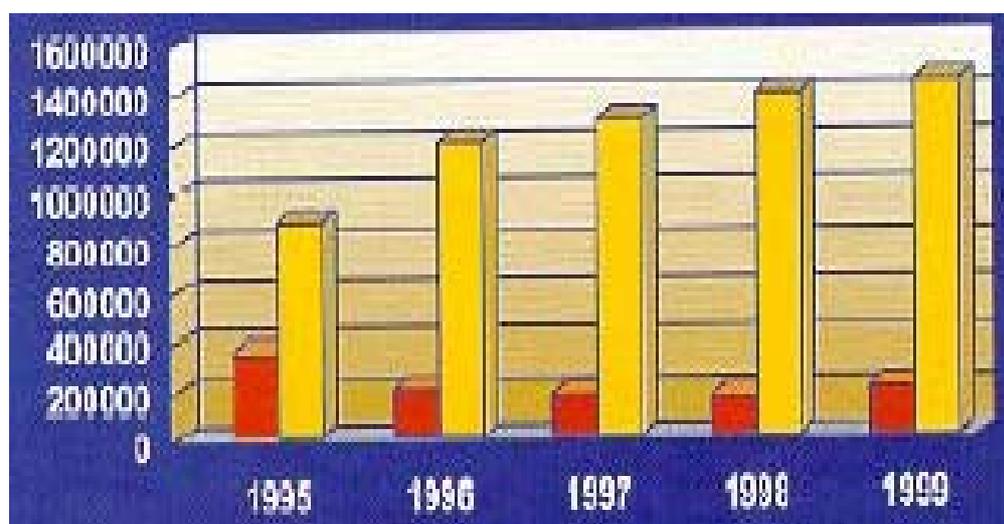
Ainda sob o enfoque do Gráfico 3, os produtores dos perímetros irrigados atingiram na sua produção de culturas permanentes um valor um pouco maior que 100 milhões de reais, em 1995 e, em 1998, esse valor mais que duplicou, passando para quase 250 milhões de reais. Por sua vez, os valores da produção das culturas temporárias mostraram pequenas oscilações entre o período de 1996 e 1998, mas, em geral, comparando o valor bruto da produção dessas culturas, em 1995 – valor um pouco maior que 50 milhões – com os valores dos períodos subsequentes, houve queda no valor bruto da produção. No ano de 1996, o valor bruto da produção foi de 50 milhões de reais, aproximadamente, e os anos seguintes (1997, 1998 e 1999) atingiram valores menores que esse.



■ Culturas Temporárias ■ Culturas Permanentes

Gráfico 1. Área plantada (ha).

Fonte: CODEVASF: um vale de realizações e de esperança, 2006.



■ Culturas Temporárias ■ Culturas Permanentes

Gráfico 2. Produção (toneladas).

Fonte: CODEVASF: um vale de realizações e de esperança, 2006.

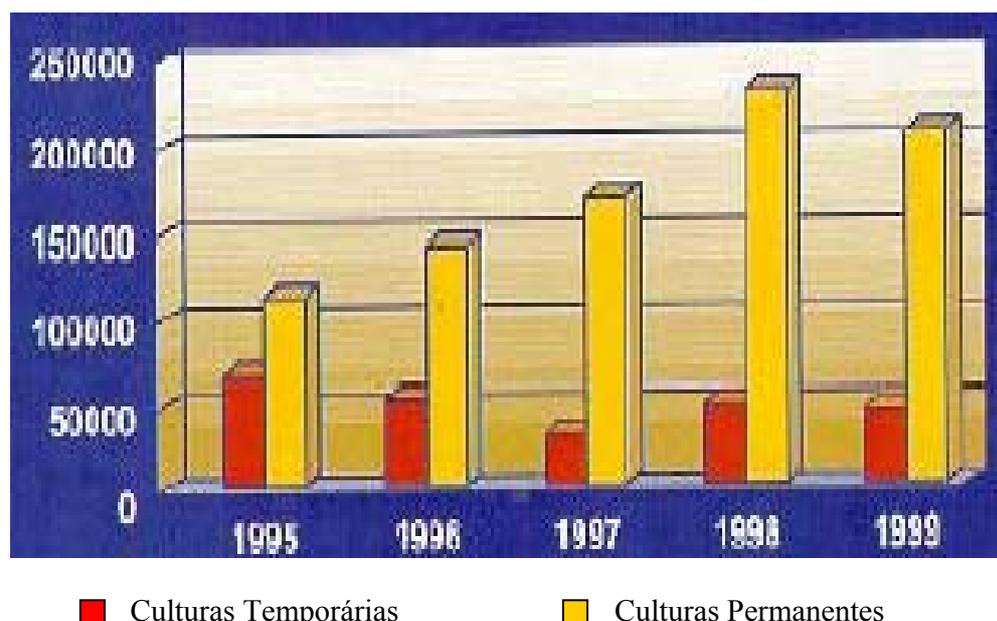
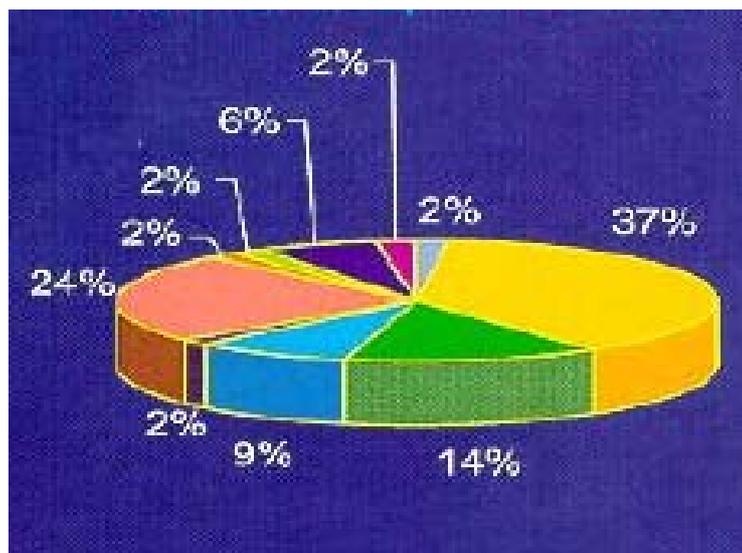


Gráfico 3. Valor bruto da produção (R\$ 1.000).

Fonte: CODEVASF: um vale de realizações e de esperança, 2006.

É perceptível que, pouco a pouco, os cultivos temporários, como é o caso do feijão, tomate, melancia, entre outros, foram substituídos, parcialmente, a partir de 1995, pelos cultivos permanentes (principalmente, banana, manga, coco, goiaba, uva, entre outros) - Codevasf: um Vale de Realizações e de Esperança, 2006. Inclusive, Oliveira *et al* (1991, p. 160), já observava essa tendência desde meados da década de 80, quando culturas tradicionais como, por exemplo, milho e mandioca, estavam sendo substituídos, parcialmente, por culturas comerciais irrigadas: melão, melancia, uva, entre outras.

As principais culturas permanentes (fruticulturas) desenvolvidas em 1999 nos perímetros irrigados do Vale podem ser vistas na Figura 6, a seguir, com suas respectivas áreas irrigadas. As maiores áreas irrigadas, em 1999, eram para o cultivo da banana (37% do total, aproximadamente). Em seqüência, estavam: a manga (24%); o coco (11%); a goiaba (9%); a uva (6%); e, o citrus, o maracujá, a acerola, a pinha e outras culturas, todas, com 2%.



■ Banana (14.466 ha)	■ Manga (8.984 ha)	■ Coco verde (5.194 ha)	■ Goiaba (3.292 ha)
■ Uva (2.415 ha)	■ Citrus (650 ha)	■ Maracujá (592 ha)	■ Pinha (631 ha)
■ Acerola (585 ha)	■ Outras (848 ha)		

Figura 9. Principais culturas plantadas nos perímetros irrigados do vale, em 1999.

Fonte: CODEVASF: um vale de realizações e de esperança, 2006.

Antes de fazer um comparativo das áreas irrigadas por cultura (temporárias e permanentes), vamos afunilar nosso campo de estudo, considerando os principais perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro (foco desse trabalho): Bebedouro, Mandacaru, Curaçá, Maniçoba, Tourão e Senador Nilo Coelho. O perímetro irrigado Maria Tereza, também está inserido nessa região, porém não receberá tanto destaque, por ter sido implantado recentemente (1997).

Os perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro possuem sua área irrigada dividida, basicamente, pelas empresas e colonos. Na Tabela 1, a seguir, mostra-se como as áreas irrigáveis por perímetros estão divididas entre os colonos e as empresas. A área irrigável total dos perímetros do pólo compreende um pouco mais que 41.800 hectares, sendo 57%, das empresas e 43% dos colonos. Comparada com a área irrigável de Juazeiro, quase 19 mil hectares (45%), Petrolina, possui a maior área irrigável, com quase 23 mil hectares (55%). O maior perímetro do pólo é o Senador Nilo Coelho, sua área irrigável corresponde a 15.712 hectares (38%). Em seqüência estão: Tourão (25%), Maria Tereza (12%); Maniçoba (10%);

Curaçá (9%); Bebedouro (6%) e, por fim, Mandacaru, com 1%. A área irrigável pelos colonos é maior em Petrolina, 76% do total (17.928 ha). Nessa especificidade, o perímetro irrigado de Nilo Coelho é o maior da região, abrangendo 52% do total. Já as empresas, têm sua maior área irrigável em Juazeiro, 61% do total (23.915 ha), que tem o perímetro irrigado de Tourão como destaque de maior área irrigável, com 42% do total.

Na Tabela 2, mostra-se a evolução das áreas exploradas pela fruticultura irrigada entre 1991 e 1997, nos principais perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro, bem como a distribuição da área irrigada entre colonos e empresas. A evolução da área destinada a fruticultura irrigada no pólo em questão, passa de 14%, em 1991 para 47%, em 1997. As áreas desenvolvidas com a fruticultura irrigada, pelos colonos e pelas empresas, também cresceram, passando, respectivamente, de 13%, em 1991 para 68%, em 1997 e 15% para 32%, no mesmo período.

Tabela 1. Área total irrigável pelos perímetros do pólo Petrolina-Juazeiro - divisão de área entre colonos e empresas.

Perímetro	Áreas irrigáveis		Empresas			Colonos		
	(há)	(%)	N.º	Áreas (ha)	(%)	N.º	Áreas (ha)	(%)
Petrolina	22 990	55%	174	9 386	39%	2 025	13 604	76%
Nilo Coelho	15 712	38%	131	6 412	27%	1 446	9 300	52%
Bebedouro	2 418	6%	5	924	4%	134	1 494	8%
Maria Tereza*	4 860	12%	38	2 050	9%	445	2 810	16%
Juazeiro	18 853	45%	95	14 279	61%	601	4 324	24%
Mandacaru	436	1%	1	66	0%	70	370	2%
Maniçoba	4 201	10%	54	2 393	10%	232	1 808	10%
Tourão	10 328	25%	1	10 158	42%	34	170	1%
Curaça	3 889	9%	39	1 913	8%	265	1 976	11%
Total	41 843	100%	269	23 915	57%	2 626	17 928	43%

Nota: * No número de lotes dos colonos existem 110 lotes para agrônomos e técnicos agrícolas. (total de 660 ha).

Fonte: CODEVASF (3ª e 6ª Superintendência)

Tabela 2. Evolução da área destinada à fruticultura irrigada no pólo Petrolina-Juazeiro – Colonos e Empresas.

Perímetro	Área irrigáveis (ha)			Fruticultura total				Fruticultura colonos				Fruticultura empresas			
	Total (ha)	Colono (ha)	Empresa (ha)	1991 (ha)	1991 (%)	1997 (ha)	1997 (%)	1991 (ha)	1991 (%)	1997 (ha)	1997 (%)	1991 (ha)	1991 (%)	1997 (ha)	1997 (%)
Petrolina	18.130	10.794	7.336	2.71	15%	11.344	63%	1.62	15%	7.754	72%	1.094	15%	3.590	49%
				4				0							
Nilo Coelho*	15.712	9.300	6.412	2.18	14%	10.753	68%	1.19	13%	7.321	79%	996	16%	3.433	54%
				7				0							
Bebedouro	2.418	1.494	924	527	22%	590	24%	430	29%	433	29%	97	11%	157	17%
Juazeiro	18.603	4.324	14.529	2.57	14%	5.993	32%	292	7%	2.558	59%	2.288	16%	3.435	24%
				9											
Mandacaru	436	370	66	7	2%	103	24%	7	2%	103	28%	-	0%	-	0%
Maniçoba**	4.201	1.808	2.393	560	13%	2.483	59%	132	7%	1.389	77%	428	18%	1.094	46%
Tourão***	10.328	170	10.158	543	5%	728	7%	-	0%	49	29%	543	5%	679	7%
Curaca	3.889	1.976	1.913	1.46	38%	2.679	69%	152	8%	1.017	51%	1.317	69%	1.662	87%
				9											
Total	36.733	15.118	21.865	5.29	14%	17.336	47%	1.91	13%	10.312	68%	3.381	15%	7.025	32%
				3				2							

Notas * As áreas dos colonos referem-se ao primeiro semestre de 1997, considerando que em novembro de 1997 fortes ventos destruíram em torno de 1.750 ha de banana;

** Existem neste perímetro 1.298 ha de cana-de-açúcar cultivados pela empresa Agrovale;

*** Existem neste perímetro 9.479 ha de cana-de-açúcar cultivados pela empresa Agrovale.

Fonte: FAHMA, DISNC, CODEVASF (3ª e 6ª Superintendência)

Sendo assim, tem-se que todos os perímetros irrigados expandiram suas áreas com fruticultura, tendo maiores destaques: o perímetro irrigado de Nilo Coelho, que expandiu sua área de 14% (1991) para 68% (1997) e o perímetro de Maniçoba, que cresceu sua área de 13% (1991) para 59% (1997). Esses mesmos perímetros irrigados conseguiram se destacar nas áreas de colonização (colonos). Nos perímetros irrigados de Nilo Coelho e Maniçoba, 79% e 77% das áreas dos colonos, respectivamente, estavam plantadas com frutas no ano de 1997. Nas áreas plantadas com fruticultura pelas empresas, os perímetros irrigados que receberam destaque foram o de Curaçá, com 87% da área irrigável e o de Nilo Coelho, com 54%.

No ano de 1997, o que se pode perceber é que os colonos procuraram diversificar sua produção, durante os anos anteriores, fato que não ocorreu com as empresas. O Gráfico 4, a seguir, mostra justamente essa diversificação, destacando as áreas cultivadas pelos colonos e pelas empresas no pólo Petrolina-Juazeiro, em 1997, com as principais frutas irrigadas. Os colonos destacam-se na produção de banana, coco, goiaba e uva. A banana é a produção de maior área irrigada pelos colonos da região, alcançando 4.045 hectares. Em seqüência vem, a manga (2.085 ha); o coco (1.584 ha); a goiaba (quase 1.000 ha) e a uva (808 ha).

No caso da produção da manga, é perceptível, no Gráfico 4, que as empresas ganham em disparada quando comparada à produção dos colonos. As empresas ocupam uma área com a produção da manga de quase 4.000 hectares, contra 2.085 hectares dos colonos. Segundo alguns autores como Lima e Miranda (1999), Marinozzi e Menu (1997), essas diferenças de especialização na produção entre colonos e empresa, com os colonos diversificando sua produção e as empresas procurando se especializar na produção de um único produto deve-se, especialmente, aos altos custos fixos iniciais (tecnológicos) que as empresas arcam ao escolherem o desenvolvimento de uma única cultura; ao contrário disso, ainda sob o enfoque dos mesmos autores citados, os colonos não conseguem se adaptar rapidamente a essas mudanças tecnológicas e como forma de sobrevivência, tentam expandir seus lucros com a diversificação.

Outra conclusão interessante que se pode observar no Gráfico 4 é que os colonos, em geral, procuraram ampliar, mais que as empresas, suas terras com o plantio da fruticultura, exceto no plantio da manga. Marinozzi e Menu (1997), afirmam que, em geral, o processo de ampliação das áreas dos colonos, destinadas à fruticultura irrigada deve-se, principalmente, ao fato desses se encontrarem endividados e descapitalizados com o plantio de culturas temporárias, que, segundo os mesmos autores, *atende às necessidades de caixa pontuais*. Nesse caso, eles recomendam que os pequenos produtores devem, inicialmente, implantar o cultivo da banana, para que possam se capitalizar e, assim, implementar, posteriormente, o plantio de outras culturas permanentes, tais como: manga, coco, goiaba e uva.

Considerando o período de 1994 a 1997, foi analisada a evolução das áreas destinadas às principais culturas permanentes (banana, manga, coco, goiaba e uva), desenvolvidas pelos colonos nos principais perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro. Vale destacar que a importância de estudar a produção dos colonos, além de serem eles o foco do trabalho, decorre ainda do fato de que estes foram os que mais mostraram desempenho em ampliar, inicialmente, as áreas com fruticultura nos perímetros irrigados do pólo, durante o período citado.

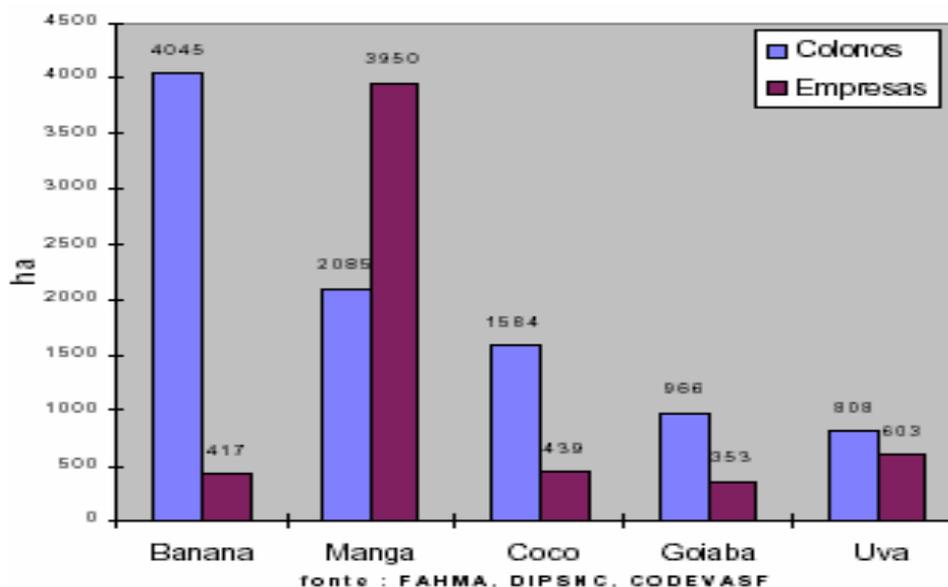


Gráfico 4. Áreas cultivadas pelos colonos e pelas empresas, em 1997, com fruticultura irrigada.

Além da evolução das áreas desenvolvidas, pelos colonos, com as principais culturas permanentes, foi feito um levantamento das áreas destinadas às principais culturas temporárias. Os Gráficos⁸ 5 e 6, a seguir, mostram, respectivamente, o comportamento das áreas desenvolvidas pelos colonos do pólo, com as culturas permanentes e as culturas temporárias. Em geral, os gráficos citados, reforçam a confirmação da questão levantada anteriormente, que o cultivo temporário foi substituído, parcialmente, durante a década de 90, pelo cultivo permanente.

O Gráfico 5, mostra que os cultivos da banana, da manga e do coco são merecedores de destaque. As áreas plantadas com banana pelos colonos mais que duplicaram durante 1994 e 1996, passando de quase 2.500 hectares para 4.000 hectares, respectivamente. Entre 1996 e 1997, a área cultivada com banana, manteve-se constante, em torno de 4.000 hectares. As áreas cultivadas com manga e coco também cresceram. A manga atingiu uma estabilidade da área cultivada entre os colonos do pólo, em torno de 2.000 hectares, em 1996. Já o plantio do coco continuou crescendo durante todo o período, e sua área plantada passou de 500 hectares para 1.500 hectares. As áreas plantadas com goiaba, que eram insignificantes entre os colonos

⁸ Os gráficos 5 e 6 correspondem as áreas dos perímetros irrigados Nilo Coelho, Bebedouro, Maniçoba e Curaçá, que, segundo a Codevasf, representam 81% das áreas dos colonos (<http://www.codevasf.gov.br>. Acesso em abril de 2006).

- menos de 100 ha -, cresceram, aproximadamente, para 1.000 hectares. Os hectares com o cultivo da uva mantiveram-se constantes em torno de 800 hectares entre 1994 e 1997.

O Gráfico 6 mostra que as culturas temporárias, em geral, diminuíram suas áreas plantadas entre 1994 e 1997, exceto o melão e a cebola, que mantiveram suas áreas praticamente constantes durante todo o período. A cultura que sofreu redução maior de sua área foi o feijão *Vigna*, com redução de quase cinco vezes sua área plantada, passando de 6.000 para 1.200 hectares, entre 1994 e 1997. Em geral, a bibliografia afirma que, o feijão *Vigna*, a melancia e o tomate industrial, eram as culturas mais plantadas pelos colonos, na década de 80.

As áreas plantadas com melancia atingiram certo crescimento de 1994 até 1995, passando de 2.600 hectares para um pouco mais que 3.500 hectares, respectivamente. Porém, em 1995, sua área plantada diminuiu significativamente, chegando em 1997 a 1.700 hectares. As áreas plantadas com tomate industrial, assim como as áreas plantadas com feijão *phaseolus*, mantiveram-se constantes entre 1994 e 1995, respectivamente, 3.242 e 2.584 hectares. A partir de 1995, as áreas cultivadas por essas culturas diminuíram, respectivamente, para 784 e 230 hectares.

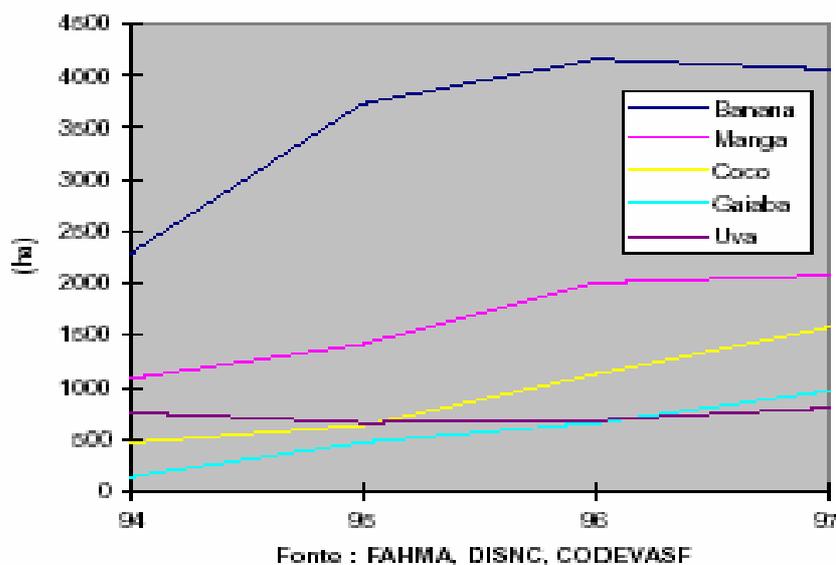


Gráfico 5. Evolução das áreas destinadas às principais culturas permanentes, desenvolvidas pelos colonos do pólo.

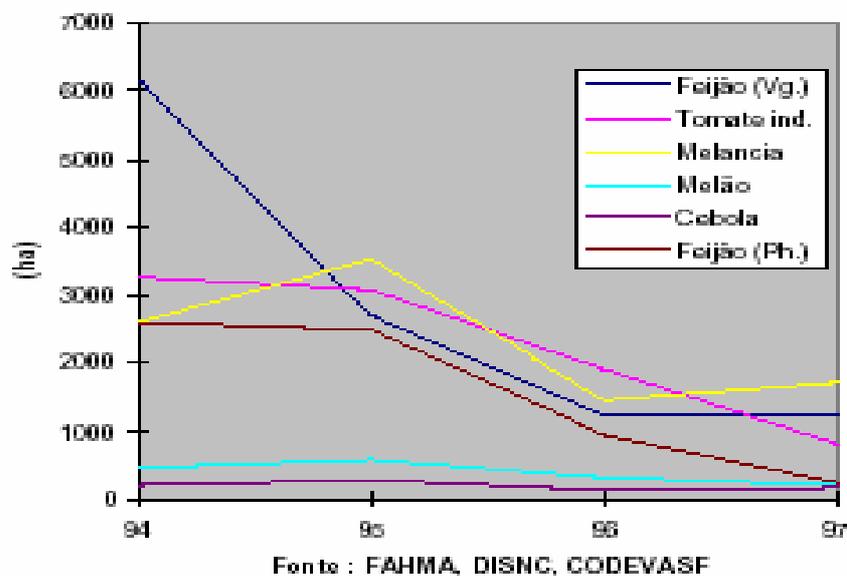


Gráfico 6. Evolução das áreas destinadas às principais culturas temporárias, desenvolvidas pelos colonos do pólo.

Dados de pesquisa de campo realizada por Sampaio, E. V.; Sampaio Y. (Orgs.) *et al* (2004), nos principais perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro, onde foram entrevistados 222 colonos⁹, podem exemplificar como se comportou, em média, o valor da produção (R\$) dos colonos por cultura. As Figuras 10 e 11, a seguir, mostram, respectivamente, o valor médio percentual da produção (R\$) das principais culturas permanentes e as principais culturas temporárias, plantadas pelos colonos. Segundo os autores citados, os valores médios da produção da uva e do coco entre os colonos da amostra correspondem, ambos, a 35%, seguidos pelo valor da manga (19%), banana (7%) e goiaba (4%) – Figura 10. Entre as culturas temporárias, o maior valor percentual médio da produção é o da cebola, 40%, seguido pelo valor do tomate (24%), melão (17%), melancia (14%) e feijão (5%). Embora as culturas citadas por esse exemplo sejam, propositalmente, as mesmas

⁹ Um total de 41 empresas também foram entrevistadas. Tal pesquisa de campo (1998) foi concretizada com o apoio da FADE/UFPE e Codevasf.

apresentadas nos Gráficos 5 e 6, deve-se se ter cautela na comparação, pois, os percentuais das Figuras 10 e 11 são derivados de outra base de dados.

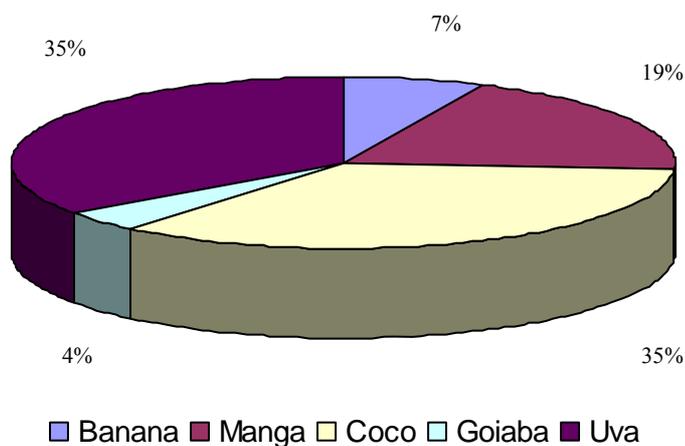


Figura 10. Produção das principais culturas permanentes plantadas pelos colonos, em 1998, no pólo Petrolina-Juazeiro (%).

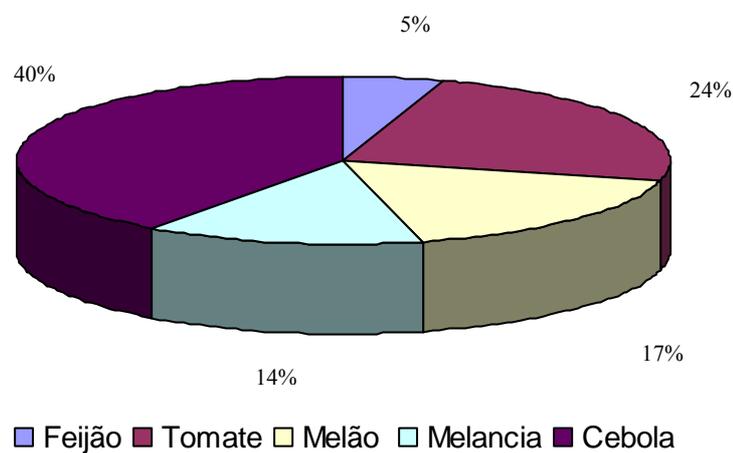


Figura 11. Produção das principais culturas temporárias plantadas pelos colonos, em 1998, no pólo Petrolina-Juazeiro (%).¹⁰

Relativamente, tanto os colonos quanto as empresas mostraram-se participativos no que se refere ao desenvolvimento da fruticultura irrigada no pólo de Petrolina-Juazeiro, cada

¹⁰ Elaboração própria, as Figuras 10 e 11.

um com suas características próprias. Primeiramente, as culturas temporárias foram perdendo espaço (em área, produção e valor da produção) para o desenvolvimento de culturas permanentes. Seguindo esse novo paradigma, a diversificação da produção mostrou ser uma tendência forte entre os colonos no começo dos anos 90, tanto que, no ano de 1997, esses produtores possuíam, por área plantada, maior diversificação no plantio das principais fruticulturas do que as áreas plantadas pelas empresas. Além disso, sabe-se que existem diferenças na estrutura produtiva entre os colonos e as empresas, e uma delas está ligada ao sistema de irrigação utilizado no plantio. Os colonos, na maioria das vezes, como afirmam Lima e Miranda (1999), Marinozzi e Menu (1997) não conseguem adquirir rapidamente novas tecnologias, por essas envolverem altos custos iniciais e, com isso, normalmente alcançam margens de produtividade abaixo do desejável, baixa qualidade dos frutos produzidos e, conseqüentemente, margens de lucro menores do que as empresas.

Na próxima seção, serão analisados os principais sistemas de irrigação recomendados para os principais tipos de cultura.

Capítulo 3

Fundamentação Teórica

Os investimentos públicos, desde a década de 60, e posteriormente, os privados, foram essenciais para promover dinamismo e desenvolvimento na região semi-árida do Nordeste, sem os quais tal região não conseguiria atingir níveis razoáveis de competitividade (OLIVEIRA *ET AL*, 1991). Os incentivos governamentais geraram para a região em estudo infra-estrutura (estradas, transporte, educação, saúde, geração de energia); enquanto os investimentos públicos e privados, no âmbito da produção, proporcionaram à região, com a agricultura irrigada, os mais altos excedentes de produção, que, por outro lado, incentivaram o aparecimento de outras atividades como a indústria de processamento, o comércio e o serviço. Aliado ao novo sistema de produção, desenvolvido pelos projetos de irrigação, um novo paradigma tecnológico foi implantado, primeiramente, pelos grandes produtores, que tinham capital inicial para investir em tecnologias mais sofisticadas e poupadoras de água e depois, por alguns colonos da região.

Antes de chegar a qualquer conclusão sobre a eficiência (relação produção-água aplicada) da tecnologia de irrigação utilizada pelos colonos é importante conhecer um pouco sobre os sistemas de irrigação. Quais os mais utilizados pela agricultura irrigada? Quais deles são mais adequadas para o plantio de certas culturas?

De modo geral, quando a escolha é irrigar faz-se importante saber escolher o sistema adequado, pois, fazendo a escolha errada, o produtor pode incorrer em altos custos de produção, quedas na produtividade e desperdício de água. Quando o produtor escolhe o sistema de irrigação inadequado para certo plantio, os custos com depreciação dos equipamentos, com água, energia, adubação, pesticidas, entre outros, aumentam. Além disso, o produtor pode reduzir sua rentabilidade, uma vez que a produtividade diminui e,

concomitantemente, ocorre uma queda na qualidade dos frutos, que, por sua vez, gera queda nos preços dos produtos. Tais produtos só conseguirão concorrer em mercados menos exigentes. Outro problema causado quando se opta por um sistema de irrigação ineficiente é o desperdício da água. Sabe-se que esse recurso é escasso e em se tratando da região do Sub-Médio São Francisco essa condição (escassez) torna-se ainda mais delicada, pois a região está inserida no polígono das secas, região desprovida de chuvas regulares. Adicionalmente, o excesso de água aplicada pela tecnologia de irrigação causa sérios problemas ao solo, tais como: erosão e salinidade, deixando-os impróprios para o cultivo; entre outros.

Portanto, a escolha de um sistema de irrigação eficiente, que maximize o lucro do produtor, sem degradar o meio-ambiente, é imprescindível. Embora a teoria enfatize a importância da quantidade certa de água aplicada, no momento certo, segundo o sistema de irrigação adequado, para que se possa alcançar a eficiência da produção, Silva (1999) *apud* Sampaio et al (2004), mostra que na prática os produtores em geral desperdiçam água. De acordo com seus estudos, entre os colonos ineficientes (70 a 88%, aproximadamente, considerando o modelo DEA aplicado) do perímetro irrigado Nilo Coelho, em média, 41% usam água em excesso. Porém, o autor ainda afirma que essa ineficiência não advém apenas do excesso de água aplicada, mas também do excesso de insumos, capital e mão-de-obra utilizados na produção. Foi calculado que o desperdício com a água, no mesmo modelo, varia entre 16 a 20% do valor total da despesa com água (R\$ 229,00). De acordo com Genú e Pinto (2002), a aplicação da água em excesso pelos pequenos produtores decorre, principalmente, da pouca instrução (conhecimento) desses produtores sobre o volume de água adequado que deve ser aplicado. Por esse e outros motivos é que o trabalho de assistência técnica é tão importante.

Ferreira *et al* (1998), descrevem a importância de escolher o sistema de irrigação certo, para que não haja desperdício de água. Afirmam ainda que ao escolher certa tecnologia para dada situação, deve-se levar em consideração fatores como clima, topografia, solo, cultura. Segundo Andrade (2001), antes de se fazer a seleção do sistema de irrigação que será usado na produção de certa cultura é importante verificar (estudar) se o cultivo necessita

realmente de irrigação ou melhor, se a planta responde satisfatoriamente à irrigação (o efeito que provoca a irrigação sobre a produtividade); se a resposta for positiva, deve-se observar se existe fonte de água e de boa qualidade suficiente para atender as necessidades da cultura; além de tudo isso e em primeiro lugar, é importante verificar o volume e períodos de chuva da região.

Genú e Pinto (2002), têm uma opinião parecida com a de Ferreira *et al* (1998) e Andrade (2001), no que se refere à importância de se fazer um levantamento sobre o clima, sobre as características do solo e sobre a disponibilidade de água na região em que se pretende implantar o sistema de irrigação. Os primeiros autores ainda recomendam que os produtores devem, quando desejam adquirir um novo sistema de irrigação, levar em consideração a disponibilidade de capital para tal investimento; disponibilidade de mão-de-obra adequada para conduzir o sistema; verificar se aquele cultivo é comercializável na região; observar se existe geração de energia suficiente para suportar, caso o sistema exija muito desse recurso; bem como, verificar os possíveis impactos da implantação desse sistema no meio-ambiente.

Quando a escolha é irrigar, além da preocupação que se tem na verificação dos aspectos naturais (clima, solo, quantidade e qualidade da água, entre outros) da região e o efeito da irrigação sobre a produtividade do cultivo, devem ser levados em consideração outros aspectos, tais como: oferta de linhas de crédito, que devem ser coerentes com a maturação do investimento do produtor; assistência técnica, para que o produtor obtenha conhecimento suficiente sobre as técnicas de cultivo escolhido; controle sanitário, controle de qualidade, para que os produtos consigam concorrer tanto no mercado interno, quanto no externo; captação de investimentos em pesquisa tecnológica; busca de ajuda em órgãos como a Embrapa, para promover o aparecimento de novas espécies de cultivo, de semente, adubos, entre outros fatores. Quando a opção é irrigar, a parte que compete ao escoamento da produção, também tem sua importância. Lima e Miranda (1999), destacam a importância que os investimentos público e privado tiveram, nos últimos anos, na região do Sub-Médio São Francisco, no que diz respeito às melhorias nas estradas, portos, aeroportos, meios de transporte e locais

adequados para o armazenamento das frutas que saem dessa região. Por outro lado, os produtores tentam se organizar por meio de cooperativas e associações, as quais promoveram o desenvolvimento tanto no âmbito da produção (com o apoio de órgãos competentes como a Embrapa, Codevasf, entre outros), como no âmbito da comercialização e distribuição dos produtos, advindos, principalmente, do pólo Petrolina-Juazeiro.

Em suma, sabe-se que o pólo Petrolina-Juazeiro destaca-se por sua importância no mercado mundial de frutas, que tem como força motriz os sistemas de irrigação, o esforço dos produtores locais e o empenho das instituições federais e estaduais. Portanto, depois de feito um breve levantamento sobre os aspectos que devem ser considerados quando a opção é irrigar, a seguir, será relatado um estudo mais detalhado de como cada tecnologia de irrigação comporta-se segundo a eficiência da água aplicada, bem como quais dos sistemas são mais adequados, atualmente, para o cultivo da banana, coco, manga e uva.

3.1. Sistema de Irrigação

Basicamente, existem três tipos de sistema de irrigação: localizada, aspersão e superfície. No presente estudo, a amostra quanto ao uso do sistema localizado pelos colonos da região do pólo Petrolina-Juazeiro é muito pequena. Embora tal fato ocorra, será feito um breve histórico sobre o sistema localizado, pois será de fundamental importância para que, posteriormente, sejam feitas comparações entre as tecnologias utilizadas pelos colonos do pólo, no que se refere à eficiência (uso racional da água e maximização do valor da produção).

Com relação ao sistema de irrigação localizada, este é caracterizado por uma técnica de aplicação de água realizada pontualmente (através de gotejadores) próximo à raiz da planta ou de forma que permite umedecer uma área maior (microaspersores). Em virtude da preocupação com a questão que envolve a economia de água, Ferreira *et al* (1998), recomendam que esse tipo de tecnologia é o mais econômico para o plantio de diversas culturas, principalmente a fruticultura. Adicionalmente, o mesmo autor citado, tem a mesma

opinião (já descrita, anteriormente) relatada por Marinozzi e Menu (1997), acrescenta que esse método de irrigação envolve custo inicial relativamente alto, por envolver alto grau de automação, por outro lado, requer menor número de mão-de-obra na operação do mesmo. Andrade (2001) reafirma tal idéia quando se refere à aplicação de água por essa tecnologia, pois descreve que esse sistema alcança um melhor aproveitamento desse recurso devido sua forma uniforme de distribuição. Assim, a referida tecnologia é recomendada em casos de culturas com alto valor comercial (uva e manga), que possam compensar os investimentos. Nesse sentido, Testezlaf (1997), fortalece a recomendação do uso da tecnologia localizada para irrigar a fruticultura, tendo em vista maiores rendimentos na colheita e maior lucratividade para o produtor. Bernardo (1984) ratifica a idéia e acredita que a utilização do sistema de gotejamento é tão bom quanto o sistema de microaspersão no que se refere à adaptabilidade da fruticultura e ao desenvolvimento uniforme das frutas.

Complementando o exposto, em geral, o sistema localizado é recomendado para áreas que sofrem com a escassez de água, como é o caso do semi-árido nordestino, uma vez que se mostra uma tecnologia poupadora de água aplicada, além de gerar maiores rendimentos, fato que, de certa forma, compensa os elevados custos de instalação desse sistema.

Comparativamente, têm-se os gotejadores e os microaspersores, os quais diferenciam-se entre si. O sistema de gotejamento (Figura 12.a, a seguir) economiza mais água quando comparado ao sistema de microaspersão (Figura 12.b), pois existe um maior controle da água aplicada, que é feita de forma pontual (gota a gota, perto do solo). Menu e Marinozzi (1997) afirmam que o sistema de gotejamento obtém um nível de 10% a menos de utilização de água quando comparado ao sistema de microaspersão. As perdas por evaporação, percolação e ação do vento são menores, com o uso dos gotejadores. Esse sistema possibilita maior controle fitossanitário, pois a parte aérea das plantas não é irrigada, evitando, assim, doenças fúngicas, além de promover um melhor aproveitamento dos pesticidas que são colocados sobre as plantas. Ainda sob o enfoque dos mesmos autores, o uso da tecnologia de gotejamento exige maiores custos de investimento e de manutenção (cerca de 20% a mais,

para ambos) quando comparada à tecnologia de microaspersão. Uma grande desvantagem observada no sistema de gotejamento é o entupimento de seus tubos dado o diâmetro reduzido dos orifícios dos gotejadores. Esse problema pode agravar-se, caso a água aplicada esteja com grande concentração de sal ou poluentes.

Em se tratando do método de irrigação por aspersão, Testezlaf (1997) revela que este método é o mais utilizado no país. Considerando a amostra selecionada para esse estudo, pôde-se perceber que a maioria, aproximadamente 74% dos colonos, adota essa tecnologia. O funcionamento desse sistema dá-se pela aplicação de jatos de água sobre as plantas, método este que o diferencia da tecnologia localizada. No que diz respeito à economia de água, Menu e Marinozzi (1997) e Ferreira *et al* (1998) afirmam que o sistema de aspersão é menos eficiente que o sistema de irrigação localizada. Testezlaf (1997) ratifica as afirmações anteriores, argumentando que a ineficiência do sistema de aspersão está em sua menor uniformidade de aplicação da água sobre a cultura.

Como qualquer outro método de irrigação, o sistema de aspersão possui suas vantagens e desvantagens. As principais vantagens podem ser reunidas nos seguintes pontos: é um sistema que pode ser de vários tipos (portáteis, tracionados e mecanizados) – Figura 13, e, por esse motivo, pode adaptar-se praticamente a qualquer tipo de topografia; e, seu custo de investimento e de manutenção é mais baixo quando comparado ao sistema localizado (MENU e MARINOZZI (1997) e FERREIRA *ET AL* (1998)). Por sua vez, as desvantagens estão relacionadas às seguintes e principais características: o custo operacional, que, segundo Pires *et al* (2005), é alto, haja vista que o sistema requer elevadas despesas com combustíveis e/ou energia elétrica, para o bombeamento da água; é um sistema onde a aplicabilidade da água fica sujeita à ação do vento, fato que pode provocar perdas, causando insuficiência de água sobre as plantas, e, conseqüentemente, prejudicando o crescimento das mesmas; e, por fim, eventualmente, compromete o bom desempenho do tratamento fitossanitário, pois, devido a sua natureza de irrigação (jatos de água sobre as plantas), acabam por remover os defensivos químicos.



(a)



(b)

Figura 12. Sistema de irrigação do tipo localizada: (a) gotejamento e (b) microaspersão¹¹

¹¹ As figuras dessa seção foram retiradas dos estudos técnicos de apoio PBHSF (2004-2013).



(a)



(b)



(c)

Figura 13. Sistema de irrigação por aspersão: (a) portátil, (b) tracionado e (c) mecanizado.

O sistema de superfície, segundo Andrade (2001) é o que menos economiza água, quando comparado aos outros sistemas, localizado e aspersão. Até mesmo por sua natureza (inundação), pode-se chegar a essa conclusão (Figura 14, a seguir): é um método de irrigação adequado a um baixo custo de investimento e de operação, pois seu grau de automação é baixo, além disso, os equipamentos necessários para seu desenvolvimento são de simples

operação, não exigindo, assim, uma mão-de-obra com alta qualificação; por fim, é uma tecnologia que, normalmente, é utilizada pelos pequenos proprietários, pois, em muitos casos, o produtor não possui recursos iniciais suficientes para implementar tecnologias que gerem mais eficiência na produção e na aplicabilidade da água, como é o caso do sistema localizado.



(a)



(b)

Figura 14. Sistema de irrigação por superfície: (a) por sulcos, (b) inundação.

Na amostra analisada por esse estudo, 26% dos colonos utilizam essa tecnologia, mas, segundo os questionários analisados, alguns desses produtores relataram para os entrevistadores que essa opção estava atrelada à impossibilidade (pouco recurso) de

modernizar seu sistema de irrigação (aquisição de novas máquinas, orientação técnica, entre outros aspectos). Além disso, pôde-se perceber que essa escolha estava relacionada a tratos culturais, pois, até pouco tempo, os pequenos produtores da região do Sub-Médio São Francisco dedicavam-se ao plantio de culturas anuais, tais como, o arroz, o milho, o tomate, a melancia, a cebola e o feijão, que, geralmente, eram irrigadas pelo sistema de superfície. Segundo estudos técnicos realizados, essa tecnologia não é recomendada para a fruticultura irrigada.

Considerando as opiniões dos autores citados, a Tabela 3, a seguir, resume os principais fatores que influenciam a eficiência dos sistemas de irrigação relatados por esse trabalho. Tais informações sobre os sistemas foram descritas de forma comparativa, objetivando destacar as diferenças entre eles no que diz respeito à eficiência, bem como sua utilização para o desenvolvimento da fruticultura.

Tabela 3. Comparação entre sistemas de irrigação para o desenvolvimento da fruticultura, segundo os principais fatores que influenciam a eficiência.

Discriminação	Sistema de Irrigação			
	Gotejamento	Microaspersão	Aspersão	Inundação
Custo de operação ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁶⁾	Médio	Baixo	Alto	Baixíssimo
Custo de investimento ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁶⁾	Alto	Médio	Baixo	Baixíssimo
Custo de manutenção ⁽²⁾⁽⁶⁾	Alto	Médio	Médio	Baixo
Custo de mão-de-obra ⁽¹⁾⁽⁶⁾	Baixo	Baixo	Alto	Altíssimo
Eficiência em economia de água ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁶⁾	Alta	Média	Baixa	Baixíssima
Eficiência na uniformidade de aplicação d'água ⁽³⁾⁽⁶⁾	Alta	Média	Baixa	Baixíssima
Eficiência no controle fitossanitário ⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾	Alta	Média	Baixa	Baixíssima
Adaptabilidade da fruticultura ⁽⁵⁾⁽⁶⁾	Alta	Média	Baixa	Baixíssima

Fonte: ⁽¹⁾Ferreira *et al* (1998); ⁽²⁾ Menu e Marinozzi (1997); ⁽³⁾ Testezlaf (1997); ⁽⁴⁾ Genú e Pinto (2002); ⁽⁵⁾ Bernardo (1984); ⁽⁶⁾ Andrade (2001).

Depois de feitas algumas ressalvas sobre o método de irrigação adequado às condições financeiras do produtor, bem como sua adaptabilidade com respeito às questões naturais de cada região (clima, quantidade e qualidade de água disponível, entre outros), é importante fazer uma análise da eficiência das tecnologias segundo as exigências de cada cultura. Qual, entre as três tecnologias, é a mais apropriada para cada tipo de cultura desenvolvida no pólo Petrolina-Juazeiro? Para abordar essa questão, foram consideradas quatro culturas: banana, coco, manga e uva, que são as mais cultivadas entre os colonos da região em questão.

Para cultivo da banana, segundo Alves (1999), o sistema mais indicado é o localizado, pois gera maior eficiência na aplicação da água, além do mais, acarreta níveis maiores de produtividade. Tecnicamente, entre os gotejadores e microaspersores, o mesmo autor recomenda os microaspersores para o cultivo da bananeira, pois esse sistema consegue molhar um espaço maior do solo, característica fundamental para o desenvolvimento da planta. Já o sistema de irrigação por aspersão não é recomendado pelo mesmo autor para esse tipo de cultura, pois, molha a planta mais do que ela necessita, fato que pode causar empoçamentos, devido ao excesso de água e, conseqüentemente, danos à cultura (queda de produtividade). Além disso, esse sistema por ser suscetível a ação do vento e estando localizado em uma região quente (semi-árido nordestino), gera perdas de água consideráveis, tornando-se pouco eficiente. A amostra escolhida por esse estudo, em relação ao cultivo da banana, relata que 93% dos colonos que cultivam a banana, usam o sistema de irrigação por aspersão; os outros 7%, usam o sistema de superfície. Se o sistema de aspersão é pouco eficiente, gerando queda de produtividade e desperdício de água, como afirma o autor citado acima, então, comentários semelhantes podem ser ditos para o sistema de superfície, tornando-o inviável para esse cultivo.

Ferreira *et al* (1998) recomendam para o cultivo do coco o sistema localizado. Afirmam ainda que em regiões onde há escassez de água - como é o caso do semi-árido nordestino - é recomendado o uso dos gotejadores, já que esse sistema permite umedecer

continuamente o solo, bem como reduz as perdas pela ação do vento e pela evaporação. Em solos arenosos, a recomendação é para o uso dos microaspersores, pois, nesse tipo de solo a percolação da água aplicada é maior. Caso fosse utilizado nesse tipo de solo o sistema de gotejamento as perdas seriam maiores, pois esse método tem como característica básica a manutenção contínua da área irrigada. Contrariando a regra, 67% dos pequenos produtores de coco da região Petrolina-Juazeiro (amostra desse estudo), utilizam para irrigação dessa cultura o sistema de aspersão. Apenas, 33% utilizam os microaspersores.

A Codevasf afirma que o cultivo da manga no pólo Petrolina-Juazeiro responde bem ao uso da irrigação, tendo, em média, uma produtividade que pode variar entre 30 e 40 toneladas por hectare. Comparativamente, áreas de sequeiro só conseguem atingir uma produtividade média de 12 toneladas por hectare. Esses números destacam a importância da irrigação no plantio da manga no pólo.

Na visão de Genú e Pinto (2002), o sistema localizado é o mais eficiente para o plantio da mangueira. Entre os gotejadores e microaspersores, esses autores recomendam o sistema de microaspersão para o cultivo da manga, devido, principalmente, a maior área molhada que o sistema proporciona quando comparado ao sistema de gotejamento, mas não descartam a possibilidade de se irrigar com a tecnologia de gotejamento, que afirmam ser tão eficiente quanto os microaspersores, gerando produtividades equiparáveis ao uso da tecnologia de microaspersão. Contrariamente, 67%, aproximadamente, dos colonos que produzem manga no pólo Petrolina-Juazeiro (amostra considerada nesse estudo), utilizam o sistema de aspersão. O restante, 33%, usa o sistema de superfície.

Para a videira, Leão e Soares (2000), segundo seus estudos sobre essa cultura, recomendam para esse cultivo o sistema de microaspersão, por apresentar melhores resultados de produtividade e boa qualidade dos frutos. Quanto ao uso do sistema de aspersão, os autores perceberam que esse método é pouco eficiente no cultivo da uva, além de promover maiores perdas de água. O sistema de aspersão é o único utilizado pelos colonos que plantam uva na região em estudo (segundo a amostra escolhida para esse trabalho).

Em suma, esse levantamento bibliográfico geral e mais específico (por cultura) relata que o sistema localizado é o mais econômico na aplicação da água e, portanto, o mais eficiente para o desenvolvimento da fruticultura irrigada no Sub-Médio São Francisco, uma vez que essa região sofre com a escassez de água. Além disso, esse sistema proporciona maiores produtividades e, conseqüentemente, maiores rendimentos para os produtores. Neste capítulo, ainda foi possível verificar que os colonos não utilizam o sistema localizado, utilizam com freqüência o sistema de aspersão ou de superfície, segundo a base de dados escolhida para esse estudo. Uma análise econométrica será realizada no próximo capítulo, objetivando analisar como os colonos do pólo Petrolina-Juazeiro estão se comportando segundo a relação existente entre valor da produção-água-tecnologia.

Capítulo 4

Análise

4.1. Dados

Os dados são do tipo *Cross-Section* (de corte), que segundo Gujarati (2000) *são dados de uma ou mais variáveis coletados no mesmo ponto do tempo*. Nessa base de dados, existem dados quantitativos e qualitativos (*dummies*), que serão usados para esse estudo.

Dados do tipo *Cross-Section* podem gerar problemas específicos de heteroscedasticidade. Nessa análise estatística, onde existe a presença de erros estocásticos na medição dessas variáveis aleatórias, será verificada essa hipótese.

O foco desse estudo são os colonos do Sub-Médio São Francisco, mas existem também, no mesmo banco de dados, informações para as empresas agrícolas situadas na mesma região, que, certamente, podem ser alvo de outra pesquisa.

Em relação aos colonos, foram considerados dados que descrevem: o volume de água aplicada por hectare; o sistema de irrigação utilizado por eles; o custo dos insumos (R\$) por hectare irrigado, bem como a quantidade de mão-de-obra utilizada na atividade agrícola.

Como a função estimada descreve, entre outras, a relação valor da produção-água (aplicada por certa tecnologia), o Gráfico 7, a seguir, mostra como a variável que descreve o sistema de irrigação se comporta¹², segundo a relação, água aplicada e valor da produção (o gráfico é representativo e mostra algumas combinações retiradas do banco de dados).

Tecnicamente, espera-se que a tecnologia de inundação utilize mais água quando comparada à tecnologia de aspersão, que por sua vez, certamente, utilizará mais água que a tecnologia de microaspersão (Gráfico 7). Exemplificando: se o colono utiliza a tecnologia de

¹² Nesse caso, foi levado em consideração o levantamento bibliográfico que afirma qual o sistema de irrigação que economiza água e qual que desperdiça. A tecnologia localizada é a que mais poupa água e a de inundação que mais desperdiça.

aspersão e obtém a combinação água-valor da produção (36.000 m³; R\$ 5.500), caso deseje utilizar a tecnologia de inundação, obtendo o mesmo valor da produção de R\$5.500, terá que aumentar o volume de água aplicada. Tal informação será mais bem compreendida quando explicado a análise da variável *dummy* de tecnologia.

É importante lembrar que essa representação descrita no Gráfico 7, a seguir, considera o valor da produção conjunta de todas as culturas.

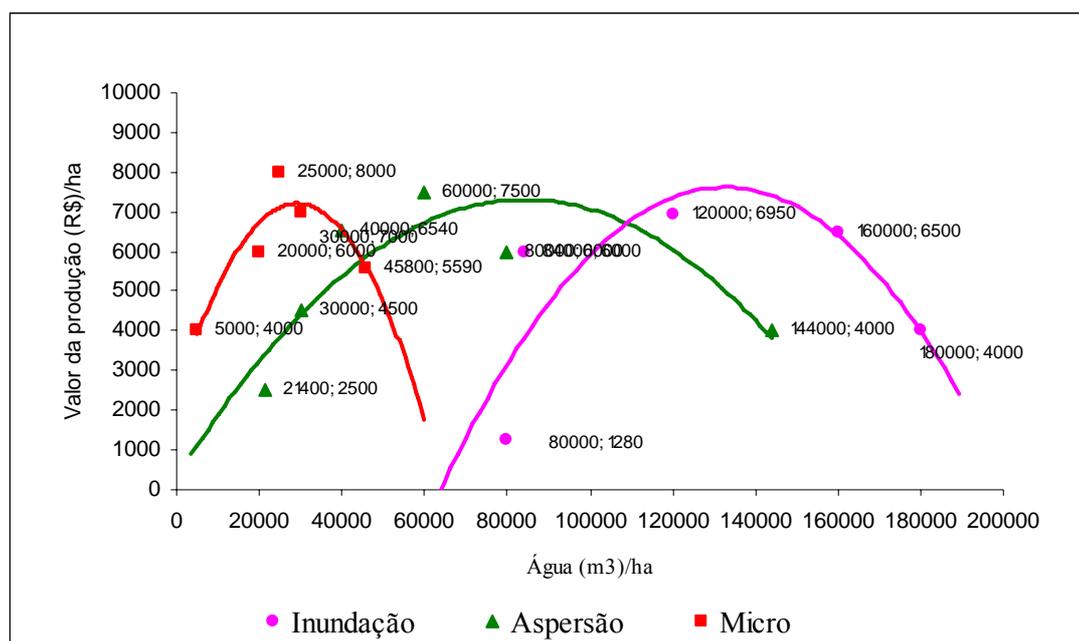


Gráfico 7. Comportamento esperado das tecnologias utilizadas pelos colonos, sem distinção por cultura (elaboração própria).

Como esse estudo trata de dados não-experimentais, fica mais vulnerável a presença de erros. Nesse banco de dados constituído por Sampaio, E. V.; Sampaio Y. (Orgs.) *et al* (2004) foram encontrados erros de observação, os quais podem ter sido gerados tanto por omissão por parte do entrevistado, quanto pela execução da pesquisa (entrevistador). É perceptível, nos questionários, que os entrevistados (colonos) não responderam todas as questões; além disso, houve dificuldade por parte deles em responder questões, tais como: qual o volume médio de água aplicado por hectare? Isso pode ter ocorrido devido à falta de

conhecimento dos usuários que não sabiam medir com exatidão o volume de água utilizado pela tecnologia.

Tendo em vista tais problemas, foram selecionados 38 questionários de uma amostra de 222 colonos entrevistados. Essa seleção deve-se ao fato de que esses 38 questionários possuem as informações completas sobre as variáveis que serão utilizadas no modelo desenvolvido.

4.2. Modelo

Estimou-se uma função de produção conjunta para as culturas desenvolvidas pelos colonos, situados nos municípios de Petrolina (PE), Lagoa Grande (PE), Santa Maria da Boa Vista (PE), Juazeiro da Bahia (BA), e Casa Nova (BA). Essa função descreve a relação existente entre as variáveis explicativas do modelo (água/hectare, quantidade de mão-de-obra/hectare, *dummy* tecnologia e valor dos insumos em reais/hectare) e a variável dependente (valor da produção/hectare).

O modelo escolhido tem como base os modelos de funções de produção estimados, sugeridos por Dinar e Letey (1996). Mais especificamente, o modelo clássico de regressão será utilizado, com seus respectivos pressupostos, onde a análise de regressão múltipla refere-se a uma análise de regressão condicional aos valores fixos das variáveis explicativas, ou seja, analisa a resposta média da variável explicada (valor da produção) aos valores fixos das variáveis independentes ou explicativas.

A regressão é estimada pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), cujos pressupostos básicos são:

- $E(u_i/X_i^{13}) = 0$, para todo i , onde $i=1, 2, \dots, n$; ou seja, o valor médio desses desvios seja igual a zero, dado valor fixo para X_i ;

¹³ X representa a matriz $n \times k$, onde n é o número de observações e k é o número de variáveis explicativas, incluindo o termo de intercepto.

- $\text{Var}(u_i/X_i) = \sigma^2$, ou seja, a variância condicionada de u_i é a mesma para todas as observações;
- $\text{Cov}(u_i, u_j) = 0$, $i \neq j$, onde $i=1, 2, \dots, n$ e $j=1, 2, \dots, m$; ou seja, não há nenhuma autocorrelação entre as perturbações;
- $\text{Cov}(u_i, X_i) = 0$, não há correlação entre os X 's e os u 's.

Adicionalmente: o modelo tem que estar corretamente especificado; não pode ocorrer nenhuma relação linear exata entre as variáveis explicativas (hipótese da não-colinearidade ou multicolinearidade); a regressão é linear nos parâmetros; os valores dos regressores são fixados em amostras repetidas; é necessário que haja variabilidade suficiente entre os valores de X ; e, por fim, o número de observações, n , deve ser maior que o número de variáveis explicativas.

A função de produção a ser estimada apresenta a seguinte forma:

$$Y_i = \alpha_1 + \alpha_2 W_{2i} + \alpha_3 VI_{3i} + \alpha_4 MO_{4i} + \alpha_5 DM_{5i} + \alpha_6 DA_{6i} + \alpha_7 DI_{7i} + u_i \quad (1)$$

Onde,

Y_i = é o valor da produção por hectare, em reais, $i=1,2,3,\dots,38$;

W_{2i} = volume de água aplicada pelos colonos por hectare, em m^3 ;

VI_{3i} = valor dos insumos por hectare, em reais;

MO_{4i} = mão-de-obra necessária por hectare, em número de pessoas;

DM_{5i} = *dummy* representando 1 para o tipo de tecnologia de microaspersão e 0 para as demais;

DA_{6i} = *dummy* representando 1 para o tipo de tecnologia de aspersão e 0 para as demais;

DI_{7i} = *dummy* representando 1 para o tipo de tecnologia de inundação e 0 para as demais;

u_i = erro estocástico;

O modelo em questão contém três variáveis explicativas quantitativas (W , VI e MO) e uma variável qualitativa (tecnologia), que tem três categorias mutuamente excludentes, a saber, microaspersão (DM), aspersão (DA) e inundação (DI). Assim, o modelo (1), do modo como está, não pode ser estimado, por causa da perfeita colinearidade entre DM , DA e DI

(*dummies* de tecnologia). A regra geral afirma que: *se uma variável qualitativa tiver m categorias, introduza apenas m-1 variáveis dummy para estimar o modelo* (GUJARATI, 2000).

A função de regressão foi estimada utilizando a forma funcional linear e a forma funcional log-log (Coob Douglas). Em ambas os casos, foram analisados a existência do erro de especificação do modelo, bem como qual a forma funcional mais adequada.

O programa computacional utilizado para estimar as funções de produção (linear e log-log), bem como realizar as inferências necessárias, foi o Eviews 5.0, que destacou abrangência de técnicas e facilidade de uso.

4.3. Resultados

4.3.1. Regressão Linear

Os resultados obtidos no Quadro 1, a seguir, mostram a regressão linear da variável dependente, valor da produção (Y). Os coeficientes de inclinação das variáveis explicativas, água (W) e tecnologias, são significativos, de acordo com o teste estatístico-t¹⁴, em nível de significância de 5%.

¹⁴ $t = \hat{\alpha}_i / ep(\hat{\alpha}_i)$, sob a hipótese nula de que $\hat{\alpha}_i = 0$.

Variável dependente: Y				
Método: MQO				
Nº de Observações: 38				
Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
W	0.012972	0.006028	2.151781	0.0391
VI	0.600039	0.610156	0.983419	0.3328
MO	13.30139	164.6831	0.080770	0.9361
DA	-8586.302	1982.155	-4.331802	0.0001
DI	-8894.483	2031.996	-4.377215	0.0001
C	9422.472	1948.936	4.834676	0.0000
R ²	0.421487	Estatística-F		4.662843
Estat. Durbin-Watson	1.796974	Prob.(estatística-F)		0.002612

Quadro 1. Regressão linear do valor da produção (Y) em relação a W, VI, MO, DA, DI.

O coeficiente estimado (inclinação) da variável independente água (W) descreve a mudança no valor médio da produção (Y), por variação unitária no volume de água (W) aplicada, mantendo tudo mais constante. Na verdade, os coeficientes de inclinação estimados numa regressão linear descrevem o mesmo efeito de derivadas parciais¹⁵. Nesse caso, o coeficiente de inclinação mede o efeito da variação de 1m³ de água aplicada a mais sobre o valor médio absoluto da produção, aumentando-a (o aumento é, em termos absolutos, cerca de 0,013). Vale salientar que essa relação é direta. A elasticidade ou sensibilidade¹⁶ do valor da produção em relação ao volume de água aplicada é de 0,33, aproximadamente. Isso descreve um aumento percentual, em média, de 0,33% no valor da produção, decorrente do aumento de 1% no volume de água aplicada. Daí conclui-se que o valor da produção é inelástico ($\varepsilon_{y,w} < 1$) ao volume de água aplicada, ou seja, o percentual de aumento no valor da produção é menor que o percentual de aumento no volume de água.

¹⁵ $\partial Y / \partial X$, Y é a variável explicada e X, as variáveis independentes.

¹⁶ $\varepsilon_{Y,W} = \hat{\alpha}_2 * W / Y$, onde $\hat{\alpha}_2 = 0,013$; $W = \bar{W}$ e $Y = \bar{Y}$.

Respeitando a regra geral da variável *dummy* (seção 4.2), a regressão do valor da produção foi estimada considerando (3-1) variáveis *dummies*. A explicação, sobre os termos de intercepto das diferentes categorias de tecnologias (*dummies*) utilizadas nesse modelo, será dada através das equações 2, 3 e 4, a seguir, que descrevem o valor médio da produção (em reais), quando utilizadas as diferentes categorias separadamente: ou microaspersão (2), ou aspersão (3) ou inundação (4), considerando tudo mais constante (valores fixos para as demais variáveis explicativas do modelo - X_i). Assim, assumindo a hipótese $E(\varepsilon_i)=0$, temos:

$$E(Y_i / DA_6=0; DI_7=0; \alpha_i X_i) = \alpha_1 + \alpha_i X_i \quad (2)$$

$$E(Y_i / DA_6=1; DI_7=0; \alpha_i X_i) = (\alpha_1 - \alpha_6) + \alpha_i X_i \quad (3)$$

$$E(Y_i / DA_6=0; DI_7=1; \alpha_i X_i) = (\alpha_1 - \alpha_7) + \alpha_i X_i \quad (4)$$

Note que o termo constante, α_1 (9.422,47 - Quadro 1), é o termo de intercepto que reflete a categoria-base, pois é o termo comum nas funções estimadas acima. Dito de outra forma é através dele que fazemos as comparações quando estimamos o valor médio, considerando as demais tecnologias separadamente (equações 3 e 4). Os coeficientes de intercepto diferencial, α_6 (-8586,3) e α_7 (-8894,48) - Quadro 1 -, informam em quanto o valor do termo de intercepto da categoria que recebeu o valor $D=1$ difere do coeficiente de intercepto da categoria-base, α_1 (equações 3 e 4). Portanto, essas diferenças em relação a categoria-base, nas equações 3 e 4 são, respectivamente, cerca de 836 ($\alpha_1 - \alpha_6$) e 526 ($\alpha_1 - \alpha_7$). Tais diferenças representam o termo de intercepto da função estimada, quando o colono utiliza, respectivamente, ou a tecnologia de aspersão, ou a de inundação.

Geometricamente, o Gráfico 8, a seguir, denota uma explicação simplificada considerando apenas a relação entre água aplicada (m^3/ha) e valor da produção (R\$):

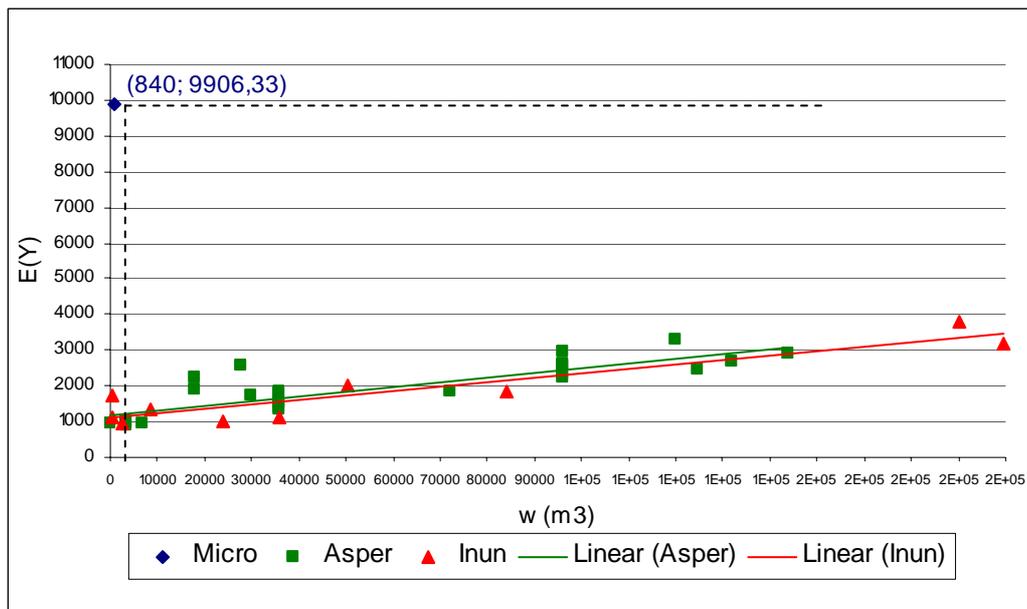


Gráfico 8. Valores estimados da produção $E(Y)$ em relação ao volume de água aplicada (W) – análise da *dummy* tecnologia (Linear).

Primeiramente, admite-se que as três categorias de tecnologia tenham uma inclinação em comum, mas diferentes interceptos na regressão do valor da produção sobre a água aplicada, ou seja, o modelo assume que o valor médio da produção, utilizando qualquer das tecnologias (ou microaspersão, ou aspersão ou inundação), possui a mesma inclinação (α_2) em relação ao volume fixo de água aplicada, mas diferentes interceptos. Considerando essa suposição, a análise da *dummy* (Gráfico 8) é feita da seguinte forma: vamos supor que o colono utilize a tecnologia de microaspersão ($DA_6=0$ e $DI_7=0$ – Equação (2)), aplicando um volume fixo de água de 840 m^3 , mantendo tudo mais constante, e, assim, obtendo uma produção média de, aproximadamente, R\$ 9.906. Se ele utilizar a tecnologia de aspersão ou inundação, separadamente, a esse volume de água (840 m^3), mantendo tudo mais constante, terá apenas, respectivamente, em média, R\$ 1.320 e R\$ 1.011 (valores da produção), ou seja, um valor menor. Caso queira continuar ganhando, pelo menos, o valor médio de R\$9.906, aproximadamente, e utilizar a tecnologia de aspersão ou de inundação, terá que consumir um volume maior de água, respectivamente, igual a 662.750 m^3 e 686.507 m^3 .

Com a análise da *dummy* (Gráfico 8), pode-se verificar que o comportamento das tecnologias, segundo volume de água aplicada, foi o esperado. Em média, a tecnologia de microaspersão é mais econômica ao aplicar água que o sistema de aspersão, que, por sua vez, é mais econômico que o sistema de inundação, considerando valores de produção fixos. Em contrapartida, o uso da tecnologia microaspersão¹⁷ gera, em média, valores de produção maiores para os colonos, considerando valores fixos para o volume de água aplicado. Comparando essa tecnologia com os outros dois sistemas utilizados pelos colonos, temos que o sistema de aspersão atinge valores de produção, em média, mais baixos do que o sistema microaspersão (valores fixos para W). O mesmo pode ser observado para o sistema de inundação, que, dentre os outros dois, é o que atinge menores valores para a produção, em média (Gráfico 8).

Nessa amostra, 71% e 26% dos colonos utilizam, respectivamente, as tecnologias de aspersão e inundação para irrigar seus cultivos no pólo Juazeiro-Petrolina. Isso declara que os mesmos não utilizam a tecnologia recomendada pelos estudos técnicos (levantamento bibliográfico), incorrendo em baixa produtividade, desperdício de água e menores valores para a produção.

As variáveis explicativas, mão-de-obra e o valor dos insumos, mostram-se não significativas, indicando não terem impacto sobre o valor da produção. Com respeito a esse problema, foi levantada a hipótese de ocorrência de colinearidade perfeita entre essas variáveis. Como sabemos, numa regressão múltipla, quando há colinearidade forte entre as variáveis, as variâncias¹⁸ e, conseqüentemente, os erros padrões dos coeficientes estimados, tendem a aumentar quando o coeficiente de correlação se aproxima de um, tornando os valores da estatística t cada vez menor. Isso resulta em coeficientes estimados não significativos. Em outras palavras, quanto maior o grau de colinearidade, maior a probabilidade do verdadeiro valor do parâmetro situar-se na região de aceitação da hipótese nula, $\alpha_i=0$, em nível de

¹⁷ Nessa amostra, as observações sobre o sistema de microaspersão mostraram-se pouco expressivos. Nesse caso, as conclusões foram tiradas com base no levantamento bibliográfico.

¹⁸ $\text{var}(\hat{\alpha}_i) = \sigma^2 / \sum X_{ki}^2 (1 - r_{ij}^2)$, onde r é o coeficiente de correlação entre as variáveis em questão.

significância escolhido. Vamos verificar se o motivo que leva a não-significância desses coeficientes estimados das variáveis VI e MO, é devido ao problema da colinearidade existente entre essas variáveis. O primeiro passo foi calcular o coeficiente de correlação simples entre essas duas variáveis, que nesse caso, foi igual a 0,44. Depois foi testada a significância desse coeficiente de correlação, através do teste estatístico t^{19} , considerando: $H_0: r = 0$, contra a hipótese alternativa, $H_1: r \neq 0$. A estatística t é igual a 3,06 e o valor crítico é $t=2,02$. Portanto, $t_{\text{calc.}} > t_{\text{crítico}}$, logo, rejeita-se a hipótese nula e, conseqüentemente, o coeficiente de correlação é significativo. Embora o r seja significativo, em geral, o valor de $r=0,44$, não demonstra um nível alto de correlação. Essa é assim classificada, quando o valor de r é maior que 0,7. Então, o que podemos concluir é que a correlação entre as variáveis VI e MO, não é causa suficiente para definir a não significância dos seus coeficientes estimados. O que se pôde observar na amostra com relação a essas duas variáveis é que os dados não tinham variabilidade suficiente para estimar os parâmetros, fato que fere um dos pressupostos do modelo.

O valor do coeficiente de determinação²⁰, R^2 , esclarece que o grau de ajustamento da reta de regressão aos dados no modelo é de, aproximadamente, 42%, ou seja, essa porcentagem mostra até que ponto a variação em Y é explicada pela variação das variáveis independentes.

Depois de testada individualmente a significância dos coeficientes estimados sob a hipótese nula dos seus valores serem iguais a zero, foi feito um teste de hipótese chamado teste de significância global ou ainda, assim, chamado, teste F . Esse verifica a veracidade ou não da hipótese nula conjunta dos coeficientes. Olhando por outro ângulo, esse teste observa se a variável dependente Y tem relação linear com as variáveis explicativas simultaneamente. Assim, o valor crítico encontrado na tabela F é de 2,53²¹ e o valor da estatística no Quadro 1 é de, aproximadamente, 4,67, logo, o valor de $F_{\text{calculado}}^{22} > F_{\text{tabelado}}$, concluindo que: a hipótese

¹⁹ $t = r\sqrt{n-k} / \sqrt{1-r^2} \sim t_{(n-k)gl}$, onde r é o coeficiente de correlação.

²⁰ $R^2 = \text{SQE}/\text{SQT} = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}$.

²¹ $F_{\alpha}(k-1, n-k) = F_{0,05}(6-1, 38-6) = F_{0,05}(5,32) = 2,53$.

²² A estatística $F = (\text{SQE}/k-1) / (\text{SQR}/n-k)$, sob a hipótese de distribuição normal para u_i e a hipótese nula $\alpha_i = 0$

nula é rejeitada, o que significa que o valor da produção (Y) tem relação linear com as variáveis explicativas do modelo.

O teste Durbin-Watson²³ é considerado para detectar a correlação ou a autocorrelação dos erros. Ao contrário das demais estatísticas realizadas até aqui, o teste de Durbin-Watson não encontra valor crítico único tabelado que levará à rejeição ou aceitação da hipótese nula, pois a distribuição exata da estatística, segundo os autores, não é tão simples de derivar pelo fato de ser calculado de \hat{u}_t (erros estocásticos), que por sua vez, dependem dos valores X's presentes na amostra (GUJARATI, 2000).

Porém, Durbin e Watson derivaram um limite inferior (d_l) e superior (d_s) para analisar a aceitação ou rejeição da hipótese nula de que não há autocorrelação dos u_i 's. Esses limites²⁴ dependem apenas do número de observações e do número de variáveis explicativas. Para tanto, se o d calculado se encontrar fora desses valores críticos é necessário verificar se há ou não autocorrelação positiva ou negativa.

Assim, obedecendo aos pressupostos da estatística de Durbin-Watson (GUJARATI, 2000), para um nível de significância de 5%, com n=38 observações e k=5 (quantidade de variáveis explicativas excluindo o intercepto), pode-se destacar um limite inferior, $d_l=1,2$ e um limite superior, $d_s=1,79$. O valor estimado de d, igual a 1,79 (Quadro 1), mostra que há ausência de autocorrelação, positiva ou negativa.

Foi dito, anteriormente, que dados do tipo *cross section*, normalmente, geram problemas de heteroscedasticidade, ou seja, que a variância do erro pode não ser constante, condicionados a valores fixos de X. Para tanto, foi realizado o teste de White, que tem como hipótese nula a ausência da heteroscedasticidade. Mas antes vamos esclarecer algumas causas (mais importantes) que podem levar ao problema da heteroscedasticidade. A primeira causa pode decorrer do fato de algumas (ou uma) variáveis (variável) terem sido omitidas do

²³ É popularmente conhecido como estatística d, $d = \frac{\sum_{t=2}^{t=n} (\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=2}^{t=n} \hat{u}_t^2}$, que é simplesmente a razão entre a soma das diferenças ao quadrado dos

sucessivos resíduos e a SQR.

²⁴ $0 \leq d \leq 4$, qualquer valor estimado de d encontra-se nesse intervalo.

modelo, nesse caso, podemos está cometendo um erro de especificação²⁵ (viés de omissão). Em outras palavras, os resíduos obtidos dessa regressão, em que ocorreu omissão de variável importante, podem deixar claro que a variância²⁶ de u_i não é constante. Outra causa da heteroscedasticidade pode decorrer da presença de observações aberrantes. Antes de realizar qualquer teste, foi feito um gráfico de dispersão da amostra, que mostra a presença ou não de dados aberrantes (técnica informal de detectar a possibilidade da existência da heteroscedasticidade). O Gráfico 9, a seguir, mostra a relação entre o valor da produção e o volume de água:

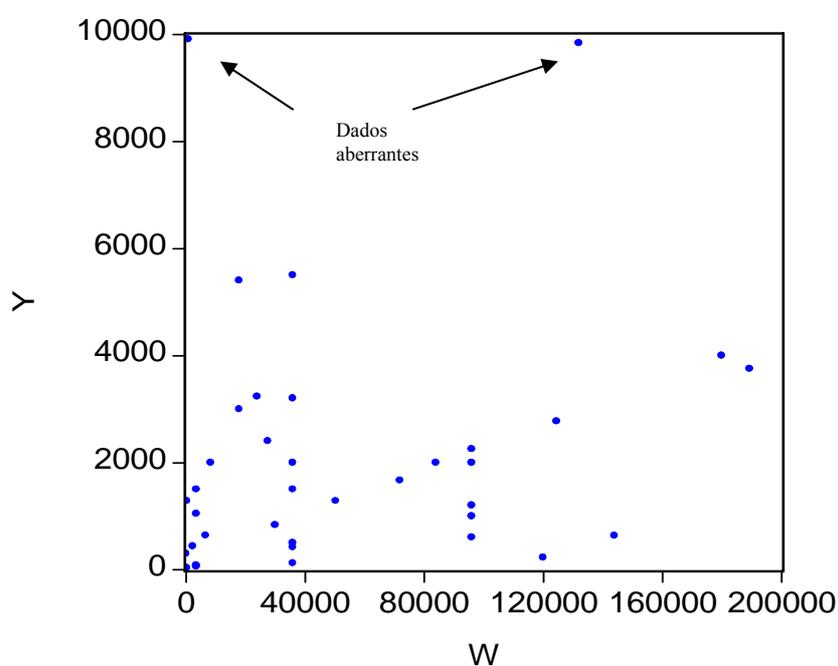


Gráfico 9. Relação entre volume de água aplicada/ha (W) e valor da produção/ha (Y).

O Gráfico 9 mostra que existem observações (W,Y) que são muito diferentes das demais. Essa situação pode descartar ou não a hipótese da homoscedasticidade. Através do teste de White, isso foi observado.

²⁵ A hipótese do modelo está corretamente especificado será dada mais adiante.

²⁶ $\hat{\sigma}^2 = \sum \hat{u}_i^2 / (n - k)$

Finalmente, vamos analisar o teste geral da heteroscedasticidade de White. Depois de rodada normalmente a regressão de Y (Quadro 1), o segundo passo é gerar uma regressão auxiliar onde os resíduos ao quadrado da regressão original são regredidos da seguinte forma:

$$u_i^2 = \alpha_1 + \alpha_2 W_{2i} + \alpha_3 VI_{3i} + \alpha_4 MO_{4i} + \alpha_5 DA_{5i} + \alpha_6 DI_{6i} + \alpha_7 W_{7i}^2 + \alpha_8 VI_{8i}^2 + \alpha_9 MO_{9i}^2 + \varepsilon_i \quad (5).$$

O teste de White oferece a opção de regredir u_i^2 sem os produtos cruzados dos regressores. Nesse caso, isso foi considerado, do contrário, perderíamos graus de liberdade (a amostra é pequena e o número de regressores é grande). O terceiro passo é verificar se a hipótese nula de que não há heteroscedasticidade é aceita ou não, através da estatística de teste χ^2 . De acordo com o teste, pode-se mostrar que o tamanho da amostra (n) multiplicado pelo R^2 , obtido da regressão auxiliar (5), descreve, assintoticamente, a seguinte distribuição de probabilidade: $n \cdot R^2 \sim \chi^2$, com grau de liberdade igual ao número de regressores da regressão auxiliar (excluindo o termo constante). Nesse estudo, temos o seguinte resultado para a regressão auxiliar (5):

Teste geral de heteroscedasticidade de White:				
Estatística F	0.543918	Probabilidade	0.813637	
$n \cdot R^2$	4.957855	Probabilidade	0.762071	
Variável dependente: u_i^2				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coefficientes	Erros-padrões	Estatística t	Prob.
C	63038.01	10118390	0.006230	0.9951
W	72.81261	102.2092	0.712388	0.4819
W^2	-0.000172	0.000611	-0.281164	0.7806
INS	-5801.518	10562.78	-0.549242	0.5870
INS^2	3.217004	5.657658	0.568611	0.5740
MDO	2076244.	2036505.	1.019513	0.3164
MDO^2	-192720.1	194764.2	-0.989505	0.3306
DA	-420475.6	10107951	-0.041599	0.9671
DI	-3828414.	10004986	-0.382651	0.7048
R^2	0.130470	Estatística F	0.543918	
		Prob(Estatística F)	0.813637	

Quadro 2. Regressão auxiliar de u_i^2 .

Se a estatística de teste calculada, χ^2 , for superior ao valor de qui-quadrado crítico, em nível de significância de 5%, conclui-se que há heteroscedasticidade. Caso contrário, não há. Assim, nesse estudo, pode-se verificar que o valor crítico da estatística de teste χ^2 , com 8 graus de liberdade (equação 5), é igual a 15,5, e, portanto, maior que 4,95, logo, conclui-se que há ausência de heteroscedasticidade, o que significa que na regressão auxiliar (5), $\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \alpha_8 = \alpha_9 = 0$, e, portanto a variância do erro é constante e igual a $\alpha_1 = 63038$. Interpretando de outra forma, o resultado da homoscedasticidade descreve que, mantido constante o volume de água, o colono que utiliza mais água no seu cultivo certamente terá a mesma variabilidade, em média, no valor da produção (conjunta, R\$), quando comparado ao colono que utiliza menor volume de água.

Vamos analisar agora o problema da multicolinearidade. O modelo proposto postula que não haja multicolinearidade, ou seja, que não haja relação aproximadamente linear perfeita entre as variáveis. Dito de outra forma, uma (ou mais) variável explicativa não pode ser escrita a partir da combinação linear das demais variáveis independentes²⁷. O modelo admite essa hipótese pelo simples fato de que, ocorrendo a multicolinearidade perfeita, os coeficientes de regressão das variáveis explicativas são indeterminados e seus erros padrões tendem ao infinito. Quando a multicolinearidade é menos que perfeita, ou seja, existe um grau maior ou menor de colinearidade entre as variáveis explicativas, que não seja exato, os coeficientes estimados das variáveis explicativas possuem erros-padrões grandes, dificultando uma estimativa precisa dos estimadores de MQO. É bom lembrar que, apesar de existir multicolinearidade imperfeita, isso não desclassifica os estimadores de MQO de serem MELNV (Melhores Estimadores Lineares Não-Viesados).

Portanto, vamos verificar a ausência ou não da hipótese da multicolinearidade entre os regressores, através da regra prática das regressões auxiliares, a seguir:

- A regra prática das regressões auxiliares (k regressores), afirma que temos que regressar cada X_i sobre as demais variáveis X , ou seja, gerar regressões auxiliares

²⁷ $\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \lambda_3 X_3 + \dots + \lambda_k X_k = 0$, quando todos os $\lambda = 0$.

(auxiliar da regressão principal de Y sobre os X's). Depois, tem-se que realizar o teste de significância global (teste F) sob a hipótese nula de que os coeficientes estimados dessas regressões auxiliares são nulos, em nível de significância de 5%. Se o $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$, então, rejeita-se a hipótese nula e, assim, admite-se que o X_i particular é colinear com os outros X's. Nesse estudo, as regressões auxiliares foram realizadas, bem como suas respectivas estimativas F. Estas regressões podem ser vistas a seguir:

Variável dependente: W				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficientes	Erro padrão	Estática t	Prob.
VI	4.405053	17.60218	0.250256	0.8039
MO	-2506.623	4735.333	-0.529345	0.6001
DA	55495.87	56415.61	0.983697	0.3324
DI	58133.84	57796.72	1.005833	0.3218
C	840.1971	56277.34	0.014930	0.9882
R ²	0.036428	Estatística F		0.311891
		Prob.(Estatística F)		0.867956

Quadro 3. Regressão auxiliar de W sobre VI, MO, DA e DI.

O Quadro 3 descreve a regressão da água aplicada em relação aos demais regressores de Y. Pode-se ver no mesmo quadro que o F calculado (0,31) é menor que o F tabelado²⁸, assim, pode-se concluir que a variável água (regredido) não é colinear com os demais regressores (aceita-se a hipótese nula). Isoladamente, nenhum coeficiente estimado nessa regressão auxiliar demonstra, individualmente, relação das suas respectivas variáveis independentes com variável dependente, W, tal fato é explicado através da estatística de teste t, em nível de significância 5%, ou seja, os coeficientes são não significativos.

O Quadro 4, a seguir, mostra a regressão auxiliar do valor dos insumos por hectare sobre os demais regressores de Y. A estatística F=2,90, mostra mais uma vez que aceitamos a

²⁸ $F(k-2, n-k+1) = F_{0,05}(3;34)=2,92$.

hipótese nula ($2,90 < 2,92$) e, portanto, pode-se afirmar que: a variável valor dos insumos, não é colinear (conjuntamente) com os outros regressores.

O Quadro 5, a seguir, mostra a regressão da quantidade de homens trabalhando por hectare sobre os regressores de Y. O F calculado (2,47) é menor que o F tabelado (2,92), significando que a hipótese nula, novamente, é aceita, logo, constata-se que a variável, MO, não tem relação linear (conjunta) com os demais regressores. Um fato curioso a ser observado no Quadro 4 é que o coeficiente estimado da variável independente MO é estatisticamente significativo (individualmente), em nível de significância 5%, demonstrando que essa variável possui relação linear com a variável dependente VI - os demais coeficientes estimados mostraram-se não significativos. O mesmo resultado pode ser observado no Quadro 5, sendo, nesse caso, a variável dependente, MO, e a variável independente, VI. Essa relação linear entre as variáveis MO e VI já pôde ser identificada anteriormente, quando testada a significância do coeficiente de correlação entre essas duas variáveis.

Variável dependente: VI				
Método:MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficientes	Erro-padrão	Estatística t	Prob.
W	0.000430	0.001718	0.250256	0.8039
MO	127.1875	41.44041	3.069165	0.0043
DA	-332.9400	562.5316	-0.591860	0.5580
DI	-24.03687	579.7140	-0.041463	0.9672
C	588.7222	546.5059	1.077247	0.2892
R ²	0.260621	Estatística F		2.908019
		Prob.(Estatística F)		0.036358

Quadro 4. Regressão auxiliar de VI sobre W, MO, DA e DI.

Variável dependente: MO				
Método:MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficientes	Erro padrão	Estatística t	Prob.
W	-3.36E-06	6.35E-06	-0.529345	0.6001
VI	0.001746	0.000569	3.069165	0.0043
DA	1.381702	2.081378	0.663840	0.5114
DI	0.763549	2.143797	0.356167	0.7240
C	0.011573	2.060114	0.005618	0.9956
R ²	0.230500	Estatística F		2.471242
		Prob.(Estatística F)		0.063677

Quadro 5. Regressão auxiliar de MO sobre W, VI, DA e DI.

O Quadro 6, a seguir, descreve a regressão da *dummy* aspersão sobre os demais regressores de Y. Nesse caso, a hipótese nula, do teste de significância global F, é rejeitada ($61,5 > 2,92$), portanto, a variável *dummy* aspersão é colinear com os outros regressores. Por fim, o Quadro 7, a seguir, também descreve que a variável *dummy* de inundação tem relação linear com os outros regressores, pois a hipótese nula, que os coeficientes estimados são, conjuntamente, iguais a zero, é rejeitada ($60,86 > 2,92$). Os coeficientes estimados que se mostraram significativos, em nível de significância de 5%, foram os parâmetros das *dummies* de tecnologia: DI (Quadro 6) e DA (Quadro 7).

Variável dependente: DA				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficientes	Erro padrão	Estatística t	Prob.
W	5.13E-07	5.22E-07	0.983697	0.3324
VI	-3.15E-05	5.33E-05	-0.591860	0.5580
MO	0.009538	0.014367	0.663840	0.5114
DI	-0.957497	0.063752	-15.01913	0.0000
C	0.935114	0.052893	17.67922	0.0000
R ²	0.881736	Estatística F		61.50911
		Prob.(Estatística F)		0.000000

Quadro 6. Regressão auxiliar de DA sobre W, VI, MO e DI.

Variável dependente: DI				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficientes	Erro padrão	Estatística t	Prob.
W	5.12E-07	5.09E-07	1.005833	0.3218
VI	-2.17E-06	5.23E-05	-0.041463	0.9672
MO	0.005015	0.014081	0.356167	0.7240
DA	-0.911102	0.060663	-15.01913	0.0000
C	0.874067	0.068739	12.71579	0.0000
R ²	0.880634	F-statistic		60.86511
		Prob(F-statistic)		0.000000

Quadro 7. Regressão auxiliar de DI sobre W, VI, MO e DA.

O que se pode resumir com essas regressões auxiliares é que, em geral, a hipótese da não multicolinearidade entre as variáveis explicativas é atendida. As variáveis *dummies* mostraram-se, separadamente, colinear as demais variáveis explicativas, o que é absolutamente normal, devido sua natureza (tecnologias).

Antes de testar a hipótese de que o modelo está corretamente especificado, é interessante ressaltar alguns erros de especificação, bem como suas conseqüências, quando adota-se certo modelo como verdadeiro. Erros de especificação podem ocorrer quando: omite-se uma variável, que deveria estar incluída no modelo, mas não está; são inseridas variáveis desnecessárias ao modelo; é adotada uma forma funcional errada (essa hipótese será testada mais adiante); e, por fim, quando se cometem erros de medição (aproximações, omissão de observações, entre outros). As conseqüências, quando há a omissão de variáveis, são: os parâmetros estimados tornam-se viesados e inconsistentes; a variância do erro, σ^2 , é estimada incorretamente, fato que pode causar problema de heteroscedasticidade; e, por fim, as inferências de probabilidade realizadas sobre os parâmetros serão imprecisas. A conseqüência básica (negativa), quando acrescentamos variáveis desnecessárias ao modelo é que as variâncias dos parâmetros estimados serão maiores, causando perda da eficiência dos mesmos.

O teste utilizado para verificar a hipótese nula de que o modelo linear adotado está corretamente especificado foi o teste Reset. Esse teste faz uso de uma regressão aumentada, que utiliza os valores estimados da variável dependente do modelo linear, na segunda, na terceira e na quarta potência (como regressores adicionais). Depois de rodar essa regressão aumentada, verificamos através do teste F (topo do Quadro 8, a seguir), a hipótese nula dos coeficientes dos regressores adicionais assumirem, conjuntamente, valores iguais a zero. Como o F calculado é menor que o F tabelado ($0,58 < 2,53$), em nível de significância de 5%, concluímos que a hipótese nula é aceita, logo, verifica-se que os parâmetros dos regressores adicionais são conjuntamente iguais a zero (não influenciam o regredido), e, portanto, o modelo linear está corretamente especificado.

Teste Reset				
Estatística F	0.580764	Probabilidade	0.632368	
Variável dependente: Y				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
W	-0.359189	0.498600	-0.720396	0.4770
VI	-16.83760	23.07492	-0.729693	0.4714
MO	-358.8882	555.2285	-0.646379	0.5231
DA	3073818.	3414060.	0.900341	0.3754
DI	3082626.	3425390.	0.899934	0.3756
C	-3085346.	3428159.	-0.900001	0.3755
Y ²	0.023539	0.028562	0.824113	0.4166
Y ³	-7.68E-06	8.79E-06	-0.874411	0.3891
Y ⁴	8.58E-10	9.54E-10	0.899900	0.3756
R ²	0.454274	Estatística F	3.017523	
		Prob.(Estatística F)	0.013619	

Quadro 8. Regressão aumentada de Y, incluindo ao modelo linear, valores estimados de Y², Y³ e Y⁴.

4.3.2. Regressão Exponencial

Considerando a mesma amostra, os passos utilizados para analisar a forma exponencial foram os mesmos seguidos para analisar a forma linear. A seguir, temos a forma da regressão exponencial, que também pode ser chamada de Coob-Douglas:

$$Y_i = \beta_1 W_{2i}^{\beta_2} VI_{3i}^{\beta_3} MO_{4i}^{\beta_4} DM_{5i}^{\beta_5} DA_{6i}^{\beta_6} DI_{7i}^{\beta_7} \lambda^{u_i} \quad (6)$$

Onde,

Y_i = é o valor da produção por hectare, em reais;

W_{2i} = volume de água aplicada pelos colonos por hectare, em m³;

VI_{3i} = valor dos insumos por hectare, em reais;

MO_{4i} = mão-de-obra necessária por hectare, número de pessoas;

DM_{5i} = *dummy* representando 1 para o tipo de tecnologia de microaspersão e 0 para as demais;

DA_{6i} = *dummy* representando 1 para o tipo de tecnologia aspersão e 0 para as demais;

DI_{7i} = *dummy* representando 1 para o tipo de tecnologia de inundação e 0 para as demais;

u_i = termo de perturbação estocástico;

λ = base do logaritmo natural.

Sabemos que esse modelo pode ser escrito alternativamente como:

$$\ln Y_i = \beta_1 + \beta_2 \ln W_{2i} + \beta_3 \ln VI_{3i} + \beta_4 \ln MO_{4i} + \beta_5 DM_{5i} + \beta_6 DA_{6i} + \beta_7 DI_{7i} + u_i \quad (7),$$

onde \ln =log natural (log à base $\lambda=2,718$). Esse modelo pode ser ainda chamado de log-log ou log-linear.

As hipóteses levantadas, anteriormente, sobre o modelo clássico de regressão linear, também são aplicadas para esse caso. Satisfeitas as hipóteses, os parâmetros de (7) podem ser estimados por MQO (Método dos Mínimos Quadrados), assim como foi calculado na forma funcional linear. Segundo o teorema de Gauss-Markov, esses parâmetros estimados ($\hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_7$) pelo método dos mínimos quadrados, possuem as propriedades de melhores estimadores lineares não-viesados (MELNV).

O modelo em questão (7), contém três variáveis explicativas quantitativas (LnW, LnVI e LnMO) e uma variável qualitativa (tecnologia), que tem três categorias mutuamente excludentes, a saber, microaspersão, aspersão e inundação. O modelo (7), do modo como está, não pode ser estimado, por causa da perfeita colinearidade entre *dummies* de tecnologia. A regra geral (já citada na seção 4.2), para modelos que contém variável *dummy*, também é válida para esse caso. Atendidas as hipóteses do modelo clássico de regressão linear e a regra geral da *dummy*, os resultados obtidos no Quadro 9, a seguir, mostram a regressão log-linear da variável dependente, valor da produção (Y), em relação às seguintes variáveis explicativas:

Variável dependente: LN Y				
Método: MQO				
Nº de Observações: 38				
Variável	Coeficiente	Erropadrão	Estatística t	Prob.
LnW	0.302202	0.105253	2.871203	0.0072
LnMO	-0.118768	0.224287	-0.529536	0.6001
LnVI	0.299022	0.151635	1.971983	0.0573
DA	-2.958432	1.234845	-2.395792	0.0226
DI	-3.115208	1.238182	-2.515953	0.0171
C	5.217265	1.599157	3.262509	0.0026
R ²	0.362317	Estatística F		3.636328
Est. Durbin-Watson	2.351731	Prob.(Estatística F)		0.010213

Quadro 9. Regressão log-linear do valor da produção (LnY) em relação a LnW, LnMO, LnVI, DA e DI.

Os coeficientes de inclinação das variáveis explicativas, água (W) e *dummies* de tecnologias, são significativos de acordo com o teste estatístico-t²⁹, em nível de significância de 5%. Vamos descrever o efeito dessas variáveis, separadamente, sobre o valor da produção:

- Nesse modelo, diferente da forma funcional linear, o coeficiente de inclinação da variável independente água (W), mede a elasticidade³⁰ do valor da produção (Y) com relação a W, ou seja, a variação percentual em Y para uma dada variação percentual

²⁹ $t = \hat{\beta}_i / ep(\hat{\beta}_i)$, sob a hipótese nula de que $\hat{\beta}_i = 0$.

³⁰ $\varepsilon_{Y,W} = \hat{\beta}_2 = 0,302$.

em W, mantendo tudo mais constante. Interpretando a relação produção-água, percebe-se que o coeficiente de elasticidade-água é 0,3³¹, indicando que, para um aumento de 1% no volume de água por m³, o valor da produção (R\$) aumenta em média 0,3%. Vale salientar que, essa relação é direta; além disso, o valor da elasticidade-água é menor que 1 (hum), significando que o valor da produção é inelástico em relação à água, ou seja, o percentual de aumento do volume de produção é menor que o percentual de aumento do volume de água. Outra observação igualmente importante é que o coeficiente de inclinação da variável explicativa água melhorou sua significância (p=0,0072), em nível de 5%, quando comparado à forma linear (p=0,0391). Isso pode ter ocorrido pelo fato da forma log-log apresentar melhor ajustamento para os dados³².

- Evitando cair na ‘armadilha da variável dummy’ (multicolinearidade perfeita), o valor da produção foi regredido considerando as variáveis *dummies* de aspersão ou de inundação. A *dummy* de microaspersão foi designada novamente como categoria-base. A explicação, sobre os termos de intercepto das diferentes categorias de tecnologias utilizadas nesse modelo, será dada através das equações 8, 9 e 10, a seguir, que descrevem o valor médio da produção (em reais) quando utilizadas as diferentes categorias separadamente: ou microaspersão (8), ou aspersão (9) ou inundação (10), considerando tudo mais constante (valores fixos para as demais variáveis explicativas do modelo - X_i). Logo, assumindo a hipótese, E(ε_i)=0, temos:

$$E(\text{Ln}Y_i / \text{DA}_6=0; \text{DI}_7=0; \beta_i \text{Ln}X_i) = \beta_1 + \beta_i \text{Ln}X_i \quad (8)$$

$$E(\text{Ln}Y_i / \text{DA}_6=1; \text{DI}_7=0; \beta_i \text{Ln}X_i) = (\beta_1 - \beta_6) + \beta_i \text{Ln}X_i \quad (9)$$

$$E(\text{Ln}Y_i / \text{DA}_6=0; \text{DI}_7=1; \beta_i \text{Ln}X_i) = (\beta_1 - \beta_7) + \beta_i \text{Ln}X_i \quad (10)$$

Note que o termo constante, β_1 (5,21 - Quadro 9), é o termo de intercepto que reflete a categoria-base. Os coeficientes de intercepto diferencial, β_6 (-2,9584) e β_7 (-3,1152) - Quadro

³¹ Note que a elasticidade é igual a 0,3 nos dois modelos, o que era de se esperar, pois os modelos só diferem na forma funcional.

³² Mais adiante será testada a hipótese da melhor forma funcional (Linear ou Logo-Log).

9 -, informam em quanto o valor do termo de intercepto da categoria que recebeu o valor $D=1$ difere do coeficiente de intercepto da categoria-base (equações 9 e 10). Portanto, essa diferença em relação à categoria-base, nas equações 9 e 10 são, respectivamente, 2,26 ($\beta_1 - \beta_6$) e 2,1 ($\beta_1 - \beta_7$). Tais diferenças representam o termo de intercepto das funções estimadas, quando o colono utiliza, respectivamente, ou a tecnologia de aspersão ou de inundação.

Geometricamente, o Gráfico 10, a seguir, denota uma explicação simplificada considerando apenas a relação entre água aplicada e valor da produção. A mesma interpretação dada para a variável *dummy* no modelo linear deve ser considerada para esse caso. A diferença nesse modelo é que estamos tratando de uma função logarítmica.

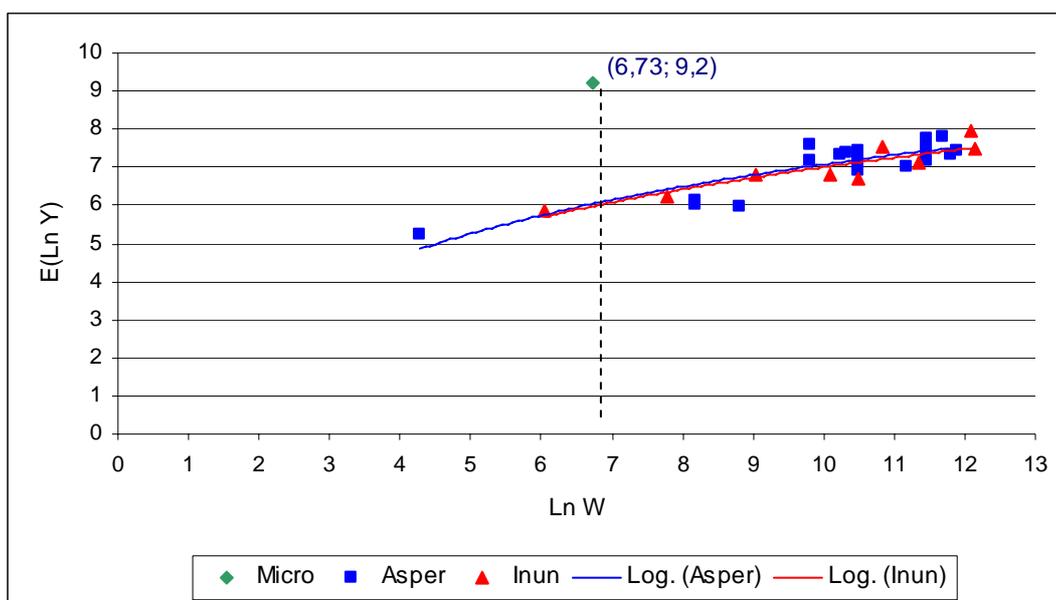


Gráfico 10. Valores estimados da produção $E(Y)$ em relação ao volume de água aplicada (W) – análise da *dummy* tecnologia (Log-Log).

Primeiramente, admite-se que as três categorias de tecnologia tenham uma inclinação em comum, mas diferentes interceptos na regressão do valor da produção sobre a água aplicada, ou seja, o modelo assume que a regressão do valor médio da produção, utilizando qualquer das tecnologias (ou microaspersão, ou aspersão ou inundação), possui a mesma inclinação (β_2) em relação ao volume fixo de água aplicada, mas diferentes interceptos. Logo, a análise da *dummy* é feita da seguinte forma: vamos supor que o colono utilize a tecnologia de

microaspersão ($DA_6=0$ e $DI_7=0$ – Equação 8) a um valor fixo de água aplicada de $W=6,73 \text{ m}^3$ (mantendo tudo mais constante), e, assim, obtenha uma produção média de, aproximadamente, $Y=9,2$ (Gráfico 10). Se ele utilizar a tecnologia de aspersão ou inundação, a esse volume fixo de água ($W=6,73 \text{ m}^3$), terá apenas, respectivamente, em média, $Y=6,24$ e $Y=6,08$ valores de produção menores. Caso deseje continuar obtendo o mesmo valor médio de $Y=9,2$, e, prefira utilizar a tecnologia de aspersão ou de inundação, terá que consumir um volume maior de água, respectivamente, igual a $16,53\text{m}^3$ e $17,04\text{m}^3$.

A mesma conclusão obtida na forma linear no que se refere à interpretação da variável *dummy* de tecnologia pode ser dada para esse caso. Resumidamente, quando o colono escolhe utilizar o sistema de microaspersão ele, normalmente, adquire valores médios de produção maiores, utilizando menores volumes fixos de água, que os adquiridos com o uso das tecnologias de aspersão ou de inundação. Comparando os sistemas de aspersão e inundação, em média, os valores de produção alcançados pela primeira tecnologia são maiores, além disso, são obtidos com menores volumes fixos de água (Gráfico 10).

Quanto aos coeficientes estimados para as variáveis, mão-de-obra e valor dos insumos, estes permaneceram, segundo as estatísticas-t, em nível de 5%, não significativos, denotando nenhum impacto sobre a rentabilidade dos colonos. Novamente, verificamos se o motivo que leva a não-significância desses coeficientes estimados das variáveis, LnVI e LnMO , é o de que há colinearidade entre essas variáveis. O coeficiente de correlação simples entre essas duas variáveis, nesse caso, é igual a 0,33; sua estatística de teste é igual a $t=2,17$, o seu valor crítico, em nível de 5% de significância, é igual a 2,02, portanto, $H_0: r = 0$, é rejeitada, o que significa que o coeficiente de correlação é significativo. Embora o r seja significativo, em geral, o valor de $r=0,33$, não demonstra uma correlação alta. Então, o que podemos concluir é que a correlação entre as variáveis VI e MO , não é causa suficiente para definir a insignificância dos seus coeficientes estimados.

O valor de R^2 esclarece que o grau de ajustamento da reta de regressão aos dados no modelo é de, aproximadamente, 36%, ou seja, essa percentagem mostra até que ponto a variação em Y é explicada pela variação das variáveis independentes.

A estatística F^{33} , 3,63 (Quadro 9), rejeitou a hipótese nula de que os parâmetros são, conjuntamente, iguais a zero, destacando a significância conjunta dos mesmos. Logo, o valor da produção possui relação linear com as variáveis explicativas do modelo.

O teste de Durbin-Watson possui um d estimado igual a 2,35 (Quadro 9). Com $n=38$ observações e $k=5$ (quantidade de variáveis explicativas excluindo o intercepto), o valor de d tabelado, em nível de significância de 5%, para o limite inferior é $d_l=1,2$ e limite superior, $d_s=1,79$. Como o valor estimado de d é igual a 2,35, os limites do intervalo para avaliar a aceitação ou rejeição da hipótese nula (ausência de autocorrelação dos erros) são $(4-d_s)=2,21$ e $(4-d_l)=2,8$. Como $2,21 < d = 2,35 < 2,8$, então o d estimado encontra-se na área de indecisão.

Assim como na regressão linear, foi realizado o teste de White para a função log-linear (7), objetivando testar a hipótese nula da ausência da heteroscedasticidade. Primeiramente, a regressão (7) é rodada – resultados no Quadro 9; o segundo passo é gerar uma regressão auxiliar onde os resíduos ao quadrado da regressão original são regredidos da seguinte forma:

$$u_i^2 = \beta_1 + \beta_2 W_{2i} + \beta_3 VI_{3i} + \beta_4 MO_{4i} + \beta_5 DA_{5i} + \beta_6 DI_{6i} + \beta_7 W_{7i}^2 + \beta_8 VI_{8i}^2 + \beta_9 MO_{9i}^2 + \varepsilon_i \quad (11).$$

Como já sabemos, o teste de White oferece a opção de regredir u_i^2 sem os produtos cruzados dos regressores: nesse caso, tal fato foi considerado, ou do contrário, perderíamos graus de liberdade (pois, a amostra é pequena e o número de regressores é grande). O terceiro passo, é verificar, através da estatística de teste χ^2 , se hipótese nula de que não há heteroscedasticidade é aceita ou não. De acordo com o teste, pode-se mostrar que o tamanho da amostra (n) multiplicado pelo R^2 (obtido da regressão auxiliar (11)), descreve, assintoticamente, a seguinte distribuição de probabilidade: $n \cdot R^2 \sim \chi^2$, com grau de liberdade igual ao número de regressores

³³ $F_{0,05}(5,32)=2,53$, onde $F_{calculado} > F_{tabelado}$.

da função auxiliar (equação (11), excluindo o termo constante) - (GUJARATI,2000). Nesse estudo, tem-se o seguinte resultado para a regressão auxiliar (11):

Teste geral de heteroscedasticidade de White:				
Estatística F	0.370477	Probabilidade	0.927670	
$n \cdot R^2$	3.523517	Probabilidade	0.897357	
Variável dependente: u_i^2				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
C	2.762164	5.851158	0.472071	0.6404
LnW	-0.622719	1.083317	-0.574826	0.5698
LnW ²	0.030738	0.060980	0.504062	0.6180
LnMO	0.462272	0.353081	1.309255	0.2007
LnMO ²	-0.159734	0.274551	-0.581801	0.5652
LnVI	0.070250	1.075904	0.065294	0.9484
LnVI ²	-0.012470	0.103716	-0.120232	0.9051
DA	1.403588	1.677917	0.836507	0.4097
DI	1.479942	1.644336	0.900024	0.3755
R^2	0.092724	F-estatístico	0.370477	
		Prob(F-estatístico)	0.927670	

Quadro 10. Regressão auxiliar de u_i^2 .

Se a estatística de teste calculada, χ^2 ($n \cdot R^2$), for superior ao valor de qui-quadrado crítico, em nível de significância de 5%, conclui-se que há heteroscedasticidade (a hipótese nula é rejeitada), caso contrário, não há. Nesse estudo, pode-se verificar que o valor crítico da estatística de teste χ^2 , com 8 graus de liberdade (equação 11), é igual a 15,5, e, portanto, maior que a estimativa 3,52 obtida da regressão auxiliar (topo do Quadro 10), logo, conclui-se que há ausência de heteroscedasticidade, o que significa que, na regressão auxiliar (11), $\beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = 0$ ³⁴.

É analisado agora o problema da multicolinearidade. Assim como o modelo linear (seção 4.3.1), o modelo log-linear postula que não haja multicolinearidade, ou seja, que não

³⁴ Nesse caso, todos os coeficientes de inclinação são, conjuntamente, iguais a zero ($F_{\text{cal.}} < F_{\text{crítico}}$), então a variância do erro é homoscedástica e igual a β_1 .

haja relação linear forte entre as variáveis explicativas. Portanto, vamos verificar a ausência ou não dessa hipótese, através da regra prática das regressões auxiliares, a seguir:

- Como temos mais de uma variável explicativa no modelo log-log, a regra prática das regressões auxiliares (k regressores) afirma que o primeiro passo é regredir cada X_i sobre as demais variáveis X (variáveis explicativas) da regressão de $\ln Y$, ou seja, gerar regressões auxiliares (auxiliar da regressão principal de Y sobre os X 's). O segundo passo é realizar o teste de significância global (teste F) sob a hipótese nula de que os coeficientes estimados dessas regressões auxiliares são nulos, em nível de significância de 5%. Então, seguindo o primeiro passo, temos as seguintes regressões auxiliares:

Variável dependente: LnW				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
LnVI	0.226376	0.247675	0.914006	0.3673
LnMO	-0.082862	0.370669	-0.223546	0.8245
DA	3.692693	1.938513	1.904910	0.0655
DI	2.924023	1.983564	1.474125	0.1499
C	5.256014	2.481550	2.118037	0.0418
R^2	0.120905	Estatística F		1.134649
		Prob(Estatística F)		0.357256

Quadro 11. Regressão auxiliar de LnW em relação a LnVI, LnMO, DA e DI.

O Quadro 11, mostra a regressão de LnW sobre os demais regressores de LnY. O F calculado (1,13) é menor que o F tabelado³⁵, portanto, a hipótese nula é aceita, o que significa que a variável água (regredido) não é colinear com os demais regressores.

O Quadro 12, a seguir, mostra a regressão auxiliar de LnVI (valor dos insumos por ha) sobre os seguintes regressores de LnY:

³⁵ $F(k-2, n-k+1) = F_{0,05}(3;34)=2,92$.

Variável dependente: LnVI				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
LnW	0.109068	0.119329	0.914006	0.3673
LnMO	0.461850	0.244609	1.888117	0.0678
DA	-1.432510	1.395500	-1.026521	0.3121
DI	-0.643934	1.417009	-0.454432	0.6525
C	5.764300	1.537339	3.749530	0.0007
R ²	0.196951	Estatística F		2.023341
		Prob(Estatística F)		0.113921

Quadro 12. Regressão auxiliar de LnVI em relação a LnW, LnMO, DA e DI.

A estatística $F=2,02$, mostra mais uma vez que aceitamos a hipótese nula, pois $2,02 < 2,92^{36}$, e, portanto, podemos dizer que, a variável LnVI, não tem relação linear com os outros regressores (Quadro 12).

No Quadro 13, a seguir, mostra a regressão auxiliar de LnMO (quantidade de mão-de-obra por hectare). O F calculado (0,87) é menor que o F tabelado (2,92), resultando na aceitação da hipótese nula, o que significa que a variável, LnMO, não tem relação linear com os demais regressores.

Variável dependente: LnMO				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
LnW	-0.067135	0.053175	-1.262530	0.2156
LnVI	0.027996	0.072833	0.384382	0.7032
DA	-0.025775	0.623461	-0.041343	0.9673
DI	0.191458	0.624135	0.306758	0.7610
C	1.652687	0.800706	2.064037	0.0469
R ²	0.096047	Estatística F		0.876578
		Prob(Estatística F)		0.488462

Quadro 13. Regressão auxiliar de LnMO em relação a LnW, LnVI, DA e DI.

³⁶ Valor crítico.

O Quadro 14, a seguir, mostra a relação do regredido DA (*dummy*) sobre os demais regressores de LnY. A hipótese nula, do teste de significância global F, é rejeitada ($67,13 > 2,92$), portanto, a variável *dummy* para a tecnologia de aspersão (DA) é colinear com os outros regressores. Isso era perfeitamente esperado, devido a natureza da *dummy*. Por fim, o Quadro 15, a seguir, também descreve que a variável *dummy* de inundação (DI) tem relação linear com os outros regressores de LnY, pois a hipótese nula global que os coeficientes estimados são iguais a zero, é rejeitada ($63,17 > 2,92$). Assim, a *dummy* aspersão e a *dummy* inundação, separadamente, podem ser escritas como combinação linear pelos demais regressores de LnY.

Variável dependente: DA				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
LnW	0.026591	0.014479	1.836497	0.0753
LnVI	-0.019572	0.020094	-0.974002	0.3371
LnMO	-0.002009	0.048602	-0.041343	0.9673
DI	-0.934693	0.063082	-14.81711	0.0000
C	0.808821	0.191332	4.227327	0.0002
R ²	0.890569	Estatística F		67.13968
		Prob(Estatística F)		0.000000

Quadro 14. Regressão auxiliar de DA em relação a LnW, LnVI, LnMO e DI.

Variável dependente: DI				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
LnW	0.021936	0.014675	1.494827	0.1445
LnVI	-0.007129	0.020292	-0.351297	0.7276
LnMO	0.014851	0.048414	0.306758	0.7610
DA	-0.930072	0.062770	-14.81711	0.0000
C	0.730045	0.200006	3.650118	0.0009
R ²	0.884498	Estatística F		63.17757
		Prob(Estatística F)		0.000000

Quadro 15. Regressão auxiliar de DI em relação a LnW, LnVI, LnMO e DA.

Assim como no modelo linear, o teste Reset, foi o método utilizado para verificar a hipótese nula de que o modelo log-log está corretamente especificado. Como já foi dito na seção anterior (4.3.1), esse teste faz uso de uma regressão aumentada, que utiliza os valores estimados da variável dependente (LnY) do modelo log-log, na segunda, na terceira e na quarta potência (como regressores adicionais). Depois de rodar essa regressão aumentada, verificamos, através do teste F (topo do Quadro 16 a seguir), a aceitação ou não da hipótese nula dos coeficientes dos regressores adicionais assumirem, conjuntamente, valores iguais a zero. Como o F calculado (topo do Quadro 16) é menor que o F crítico ($1,21 < 2,53$), em nível de significância de 5%, concluímos que a hipótese nula é aceita, logo, verificamos que os parâmetros dos regressores adicionais são conjuntamente iguais a zero (não influenciam o regredido), portanto, o modelo log-log está corretamente especificado.

Teste Reset:				
Estatística F	1.215432	Probability		0.321745
Variável dependente: LnY				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
LnW	-345.5625	273.1632	-1.265040	0.2159
LnMO	135.7874	107.3671	1.264703	0.2160
LnVI	-341.7650	270.2149	-1.264790	0.2160
DA	3411.528	2701.986	1.262600	0.2168
DI	3590.451	2843.489	1.262692	0.2168
C	-4149.788	3289.601	-1.261487	0.2172
(LnY) ²	263.6009	209.0236	1.261106	0.2173
(LnY) ³	-26.72829	21.32794	-1.253206	0.2201
(LnY) ⁴	1.006972	0.810380	1.242592	0.2240
R ²	0.433540	Estatística F		2.774393
		Prob(Estatística F)		0.020765

Quadro 16. Regressão aumentada de LnY, incluindo ao modelo log-linear, valores estimados de (LnY)², (LnY)³ e (LnY)⁴.

Finalmente, é procedido o teste para verificar qual o modelo deve ser escolhido, o linear ou o log-linear. O teste proposto é chamado de teste MWD (MacKinnon, White e Davidson). Então, suponha, primeiramente, que: H_0 : modelo linear. O teste MWD constrói uma variável, que para esse modelo linear, será chamada de Z_1 . Essa nova variável assumiu a diferença entre: o log dos valores estimados da função de regressão linear e os valores estimados da regressão, LnY. Se o coeficiente dessa variável, Z_1 , for estatisticamente significativo pelo teste t, em nível de significância de 5%, então, concluímos que a hipótese nula é rejeitada, caso contrário, é aceita. Para tanto a seguinte regressão de Y foi gerada (Quadro 17, a seguir), acrescentando a variável Z_1 como regressor adicional:

Variável dependente: Y				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
W	0.012020	0.006304	1.906701	0.0659
VI	0.491493	0.643727	0.763511	0.4509
MO	29.70993	168.7373	0.176072	0.8614
DA	-8338.603	2046.906	-4.073759	0.0003
DI	-8592.040	2117.015	-4.058564	0.0003
Z ₁	-468.0357	798.5346	-0.586118	0.5620
C	9483.744	1972.012	4.809171	0.0000
R ²	0.427828	Estatística F		3.863245
		Prob. (Estatística F)		0.005414

Quadro 17. Regressão de Y, adicionando Z₁ como regressor.

O coeficiente estimado da variável Z₁ não é estatisticamente significativo, em nível de significância de 5%. Portanto, o modelo linear é o correto. Esse resultado, não significa que o modelo log-linear não seja correto, para verificar essa hipótese temos que fazer o seguinte procedimento: gerar uma variável Z₂, que descreve a diferença entre os valores estimados de Y e o antilog dos valores estimados de LnY. Então, geramos uma nova regressão de LnY, com a variável adicional, Z₂:

Variável dependente: LnZ				
Método: MQO				
Nº de observações: 38				
Variável	Coefficiente	Erro padrão	Estatística t	Prob.
LnW	0.287354	0.105260	2.729957	0.0103
LnVI	0.359877	0.158888	2.264973	0.0307
LnMO	-0.219159	0.237911	-0.921183	0.3641
DA	-3.208921	1.243983	-2.579553	0.0149
DI	-3.430471	1.257389	-2.728249	0.0104
Z ₂	0.000620	0.000516	1.201300	0.2387
C	4.942562	1.604577	3.080291	0.0043
R ²	0.390682	Estatística t		3.312755
		Prob.(Estatística t)		0.012289

Quadro 18. Regressão de LnY, adicionando Z₂ como regressor.

Como o coeficiente de Z_2 não é estatisticamente significativo, então, aceitamos a hipótese nula que o modelo log-linear é correto, ou seja, pode ser aplicado a essa teoria, assim como o modelo linear.

Este resultado poderia ser antecipado, pois, como visto, os dois modelos apresentam resultados semelhantes, em relação às quais variáveis são significantes obtendo-se, inclusive, idênticas elasticidades.

Conclusões

No que diz respeito às análises das regressões linear e exponencial, os parâmetros estimados que se mostraram significativos foram os das variáveis explicativas água (W) e dummies de tecnologia (DA e DI), em nível de significância de 5%. A variável explicativa água, tanto no modelo linear quanto no modelo exponencial, reflete uma relação direta com o valor da produção. No primeiro modelo, a relação mostra que há um aumento de valor da produção em termos absolutos, dado a variação de 1 m³ de água, mantendo tudo mais constante. No segundo modelo, diferente do primeiro, o coeficiente de inclinação da variável independente água (W) mede a elasticidade, ou seja, a variação percentual no valor da produção dada uma variação percentual em W. Nos dois modelos, as elasticidades-água são iguais, o que é absolutamente normal haja vista que são modelos que diferem apenas na forma funcional. Tais elasticidades ($\varepsilon_{Y,W} = 0,33$) demonstram que o percentual de aumento do valor da produção, em média, é de 0,33%, aproximadamente, decorrente do aumento de 1% do volume de água. Tal resultado conclui que o valor da produção é inelástico ($\varepsilon_{Y,W} < 1$) ao volume de água aplicada.

Considerando os dois modelos separadamente, a relação de cada dummy de tecnologia com o valor da produção deixa claro que se os colonos escolhem utilizar a tecnologia microaspersão eles obterão, em média, valores de produção maiores do que se utilizarem as tecnologias de aspersão ou de inundação; além disso, economizarão mais água. Tal fato é totalmente compreensível haja vista que a literatura revisada indica que, tecnicamente, o sistema de microaspersão mostra-se mais eficiente ao aplicar água, bem como, gera maior produtividade quando comparada aos outros dois sistemas de irrigação. Comparações entre as tecnologias de aspersão e de inundação podem chegar às mesmas conclusões, sendo o sistema de aspersão mais eficiente.

Adicionalmente, o sistema de irrigação localizado é o mais econômico ao aplicar água; além disso, mostra-se o mais recomendado para o plantio da fruticultura. No entanto, a

rigor, os colonos não utilizam a tecnologia localizada (segundo a amostra selecionada). Isso ocorre devido, possivelmente, aos altos custos fixos iniciais exigidos para a implantação do sistema localizado. Logo, os colonos, por vezes, não conseguem alcançar maiores níveis de produtividade; seus frutos são de baixa qualidade; devido a isso, seus rendimentos são menores no comércio; e, além do mais, desperdiçam água quando utilizam sistemas de irrigação pouco eficientes.

Os parâmetros estimados, nos dois modelos, das variáveis independentes mão-de-obra e valor dos insumos mostraram-se não-significativos. Para essa conclusão foi verificado se estava ocorrendo colinearidade entre elas, mas, essa hipótese foi descartada pelo teste estatístico-t de significância do coeficiente de correlação entre as duas variáveis. O que pôde ser observado nos dados referentes a essas variáveis é que eles mostraram pouca variabilidade, fato que fere um dos pressupostos do modelo de que haja variabilidade suficiente entre os valores de X (variáveis independentes), gerando coeficientes não-significativos.

O grau de ajustamento do modelo linear foi de 42% e do modelo exponencial foi de 36%. O teste de significância global-F descreve, no caso dos dois modelos, que o valor da produção possui relação com as variáveis explicativas, fato que descarta a hipótese nula de que os coeficientes conjuntamente são iguais a zero.

Para verificar se há ou não autocorrelação dos erros, o teste de Durbin-Watson constatou a hipótese de ausência de autocorrelação dos erros no modelo linear, indicando que a atitude de um colono não tem ligação nenhuma com a atitude de outro colono, no que se refere à irrigação. Já no modelo exponencial o d estimado encontra-se na área de indecisão.

No que se refere à hipótese da existência ou não de heteroscedasticidade, em ambos os modelos, o teste de White conclui que há ausência de heteroscedasticidade, o que significa dizer que o colono que utilizar mais água e o colono que utilizar menos água em seu cultivo, certamente, em média, terá a mesma variabilidade no valor da produção.

A hipótese da não multicolinearidade foi atendida para as regressões auxiliares das variáveis W, VI e MO nos dois modelos, o que denota que tais variáveis estimadas

separadamente não possuem relação linear com as demais variáveis independentes, inclusive com as dummies. Por outro lado, as regressões auxiliares das variáveis dummies (DA e DI) mostraram-se colineares as demais variáveis independentes, fato esperado devido sua natureza.

Através do teste Reset verificou-se que ambos os modelos estão corretamente especificados, ou seja, não há variáveis nem omitidas, nem em excesso, que possam comprometer a existência dos parâmetros estimados, bem como as inferências realizadas através deles. Outro erro de especificação pode ocorrer quando se escolhe uma forma funcional errada, porém, nesse estudo isso não ocorreu, pois através do teste MWD (MacKinnon, White, e Davidson) foi constatado que ambos os modelos estão corretos.

Algumas limitações foram encontradas por esse estudo, pois, inicialmente, a pretensão era realizar a análise da relação produção-água-tecnologia utilizada, considerando os principais tipos de culturas plantadas pelos colonos no pólo Petrolina-Juazeiro. Essa análise por cultura, sem dúvidas, apresentaria uma abordagem mais detalhada para explicar como a planta se desenvolveria segundo o volume de água aplicado pelas diferentes tecnologias, bem como sua resposta à produtividade. Porém, a concretização dessa pesquisa não foi possível haja vista que a amostra escolhida era pequena. Por esse motivo, o modelo econométrico não pôde ser estimado. Existiam culturas que só possuíam uma observação, outras possuíam, aproximadamente, dez observações, o que significa ainda um número pequeno. O fato de a amostra ser pequena para estimar funções de produção por cultura é que essas funções podem ser geradas, porém, certamente, não apresentarão nenhum coeficiente significativo. Econometricamente, esse fato não gera qualquer relação e, conseqüentemente, qualquer resultado. Outras limitações puderam ser constatadas quando foi observada a inexistência de algumas informações para algumas culturas (uva, manga, banana, principalmente) no que diz respeito à aplicação de água e a utilização do sistema de irrigação pelos colonos.

Para esse estudo mais detalhado por cultura, outra pesquisa de campo deve ser realizada nos perímetros irrigados do pólo Petrolina-Juazeiro.

Bibliografia

ALVES, É. J. (org.). **A Cultura da Banana: Aspectos Técnicos, Socioeconômicos e Agroindustriais**. 2ª ed. Brasília: Embrapa – Serviço de Produção de Informação. 1999. 585p.

ALBUQUERQUE, J. A. S.; MOUCO, M. A.; REIS, V. C. (1999). **Floração da Mangueira através do Uso de Reguladores de Crescimento**. Instruções técnicas da Embrapa Semi-Árido, nº12, Petrolina, Janeiro.

ANDRADE, C. L. T. (2001). **Seleção do Sistema de Irrigação**. Circular Técnico, nº14. Embrapa, Minas Gerais, Dezembro.

CAVALCANTE (1997) Enoque Gomes. Geo-Economia do Semi-árido irrigado – A experiência de Petrolina sob o enfoque da sustentabilidade do desenvolvimento. Recife: UFPE.

CASTELAR, Ivan; SOARES, I. G. (2003). **Econometria Aplicada com o Uso do Eviews**. Fortaleza: UFC/CAEN.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA (CODEVASF). <http://www.codevasf.gov.br>. Acesso em abril de 2006.

----- **Almanaque: Vale do São Francisco 2001**. 1ª ed., 2001.

CODEVASF. **Um Vale de Realizações e de Esperança**. Publicações Atuais: <http://www.codevasf.gov.br/principal/publicacoes/publicacoes-atuais>, acesso em abril de 2006.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO RIO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA (1995). **Plano de desenvolvimento do Vale do São Francisco – PLANVASF**. Brasília: CODEVASF.

DINAR, Ariel; LETEY, John (1996). **Modeling Economic Management and Policy Issues of Water in Irrigated Agriculture**. 1ª Edição, London: Praeger.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Disponível em: <http://www.cptasa.embrapa.br/manejo.html>. Acesso em abril, 2006.

FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N. & SIQUEIRA, L. A. (1998) **A Cultura do Coqueiro no Brasil**. 2ª ed. Brasília: EMBRAPA – Serviço de Produção da Informação. 292p.

GENÚ, P. J. C. & PINTO, A. C. Q. (eds.). **A Cultura da Mangueira**. Brasília: EMBRAPA – Serviço de Produção de Informação. 2002. 454p.

GUJARATI, Damodar, (2000). **Econometria Básica**. 3ª Edição, São Paulo: Pearson Makron Books.

Hirsch, Rodolfo (2005). **São Francisco Valley Irrigated Fruit Production: an interesting alternative for new investments**. Rabobank International, F & A Research and Advisory. <http://www.codevasf.gov.br/principal/publicacoes/publicacoes-atuais>, acesso em abril de 2006

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 1996.

LEÃO, P. C. S. & SOARES, J. M. (2000) **A Viticultura no Semi-Árido Brasileiro**. Petrolina: EMPBRAPA SEMI-ÁRIDO.366p.

LIMA, J. Policarpo R. e MIRANDA, Érico A. de A. (2000) **Fruticultura Irrigada: os Casos de Petrolina /Juazeiro e do Norte de Minas Gerais**, Fortaleza: ETENE/Banco do Nordeste.

LIMA, J. M. P. (2001). **Metodologia para Monitoramento do Estresse Hídrico em Mangueira**. Instruções técnicas da Embrapa Semi-Árido, nº 42, Petrolina, dezembro.

MENU, H. & MARINOZZI, G. (1997) **Análise-Diagnóstico dos Sistemas de Produção Irrigados no Município de Petrolina-PE**. FAO-ONU/INCRA. Versão preliminar.

NUNES, R. F. M.; SAMPAIO, J. M. M.; RODRIGUES, J. A. (2001). **Comportamento da Mangueira (*Mangifera Indica* L.) sob Irrigação na Região do Vale do São Francisco**. Circular Técnico, nº 66. Embrapa, Petrolina, Dezembro.

OLIVEIRA, Augusto C. *et al* (1991) **Impactos Econômicos da Irrigação sobre o Pólo Petrolina-Juazeiro**. Recife: PIMES/UFPE.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (2003). **Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. Brasília: ONS; FAHMA-DREER, ANA; ANEEL; MME. No prelo.

PIRES, R. C. M., ARRUDA, F. B. SAKAI, E. & CALHEIROS, R. O. **Método de irrigação**. IAC/APTA. Informe tecnológico N° 052. Disponível em: <http://www.embrapa.br:8080/aplic/cafenews.nsf/vwinfotec/6B48197C4E8A7A5283256CD0005EAE4D>. Acesso em abril, 2006.

PLANO DECENAL DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – PBHSF (2004-2013). Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco. ANA/GEF/PNUMA/OEA.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y.; QUEIROZ, E.; BARROS, E.; SOUZA, H. R.; SILVA, J. L. M. (2004). **Ensaio Sobre a Economia da Agricultura Irrigada**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil S. A.

TESTEZLAF, R. (1997) **Irrigação na Propriedade Agrícola**. UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola/Departamento de Água e Solo. n.19.