

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE MESTRADO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**DANIEL SANTANA COLARES**

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DO CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO NO  
PERÍMETRO IRRIGADO MORADA NOVA, CEARÁ**

**FORTALEZA – CEARÁ  
2004**

**DANIEL SANTANA COLARES**

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DO CULTIVO DO ARROZ NO  
PERÍMETRO IRRIGADO MORADA NOVA, CEARÁ**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

**FORTALEZA/CEARÁ**

**2004**

**DANIEL SANTANA COLARES**

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DO CULTIVO DO ARROZ NO  
PERÍMETRO IRRIGADO MORADA NOVA, CEARÁ**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. PhD. Francisco de Souza  
Consultor do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS

---

Prof. Dr. Luís Carlos Uchôa Saunders  
Universidade Federal do Ceará – UFC

À minha mãe Teresinha Silva Santana.

À minha avó Maria do Carmo Santana.

À minha esposa Rejane e ao meu filho Douglas.

Ao meu pai Francisco Martins Colares.

Aos meus irmãos, Wagner, Valber, Vanessa, Valéria, Luiza e Wladimir.

À todos os demais parentes não citados.

Ao avô José Santana Neto, à minha avó Ozana, à minha sogra Ozanira Rebouças de Lima, "IN MEMORIAN".

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao senhor Deus nosso pai, pelas graças obtidas durante toda a minha vida, e pelas graças que virão daqui para frente.

Ao Prof. Raimundo Nonato Távora Costa, pela sua eficiente e criteriosa orientação.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Francisco de Souza e Prof. Luís Carlos Uchôa Saunders, pelas sugestões e correções.

À coordenação do curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Irrigação e Drenagem, na pessoa do Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa indispensável para realização deste trabalho.

Aos colegas do Programa Águas do Vale e a SEAGRI (Secretaria de Agricultura e Pecuária), principalmente, aos Srs. Clóvis Régis e José Alci Raulindo pelas suas indispensáveis e competentes ajudas na coleta de dados.

Ao amigo e colega de curso Rodrigo Otávio Câmara Monteiro, pelo grande incentivo e apoio.

À todos os professores do Curso de Pós-Graduação, pelos ensinamentos que contribuíram para minha formação e engrandecimento profissional.

Aos colegas da Pós-Graduação, Alexandre José, Antônia Renata, Edglerdânia Luzia, Evandro Nascimento, Esaú Matos, Fábio Chaffin, Fernanda Cristina, Francisco Gleyber, Francisco Suassuna, Guilherme Bonfim, Helba Araújo, Ilda de Oliveira, John Herbert, José Alves Neto, José Humberto, Juliana Rêgo, Luiz Gonzaga, Maria do Socorro, Moacir Rabelo, Neuzo Moraes, Raimundo Alípio, Rodrigo Peixoto, Sérgio Weine, Silvana de Lurdes, Ticiania Batista e Wlisses Matos.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

*“Sábio é aquele que conhece os  
limites da própria ignorância.”*

Sócrates

## RESUMO

Estudar a eficiência do uso da água ( $E_{UA}$ ), a eficiência econômica e os indicadores de rentabilidade na cultura do arroz (*Oryza sativa*, L.), foram os principais objetivos deste trabalho, realizado no Perímetro Irrigado de Morada Nova, Ceará, no período de julho a dezembro de 2003. Estabeleceu-se a cultura do arroz cultivar EPAGRI 109, em unidades de solo com texturas areia-franca, franca e argilo-siltosa, sendo esta, em duas áreas, as quais denominaram-se I e II. Utilizaram-se calhas Parshall e sifões de plástico como instrumentos para medição e aplicação de água aos tabuleiros. O sistema de irrigação utilizado foi inundação. Os dados utilizados na análise econômica foram de levantamentos de custos e receitas pertinentes à cada uma das unidades avaliadas. O período de irrigação do cultivo de arroz para as condições de solo e clima no Distrito de Irrigação Morada Nova situa-se em torno de 120 dias, período este que deve ser tomado como referência para o planejamento da irrigação. A eficiência de uso da água para os solos de textura leve apresentou valores médios de  $0,2 \text{ kg.m}^{-3}$ ; já para os solos de textura pesada, de  $0,43 \text{ kg.m}^{-3}$ . A eficiência de aplicação de água na unidade textural argilo-siltosa, solo adequado ao cultivo de arroz apresentou um valor médio de 66%. Na unidade textural areia franca, porém, solo sem aptidão ao cultivo do arroz, a eficiência de aplicação foi apenas de 35%, considerando-se em ambos os casos, somente os eventos de irrigação sem déficit. A rentabilidade líquida de cada mil  $\text{m}^3$ , utilizando a metodologia de cobrança de água derivada e aplicada, mostrou-se superior nos solos argilo-siltosos com valores entre R\$ 179,0 e R\$ 94,0, enquanto os solos de textura mais leve esta rentabilidade não ultrapassou os R\$ 58,0. A receita líquida obtida em 1,0 ha de arroz na unidade textural areia franca (R\$1.900,00), comparativamente ao valor obtido na unidade textural argilo-siltosa (R\$2.400,00), incentiva o cultivo de arroz em solos sem aptidão para a cultura, porquanto o sistema de cobrança de água atualmente em vigor, leva em consideração a área irrigada e não o volume de água aplicada. A análise da rentabilidade nas unidades texturais areia franca e argilo-siltosa, demonstrou a viabilidade do cultivo do arroz para ambas as unidades, em base aos critérios convencionais da análise de investimento, porém, simulando-se uma remuneração mensal do produtor no valor de R\$ 240,0, o plano de cultivo na unidade textural areia-franca é inviável, conforme os resultados obtidos: relação benefício custo (B/C) 0,98; valor presente líquido (VPL) -603,9 e taxa interna de retorno (TIR) 3,5%. Na unidade textural argilo-siltosa, porém, os indicadores se mostraram viáveis: B/C 1,145, VPL R\$ 4.204,1 e TIR 60,33%.

Palavras-chave: Arroz (*Oryza sativa*, L.). Eficiência do uso da água. Indicadores de rentabilidade.

## ABSTRACTS

The main objective of this study was to determine the water use efficiency, the economic efficiency and the profit indexes for rice (*Oryza sativa*, L.) in the Morada Nova Irrigation District, state of Ceará, Brazil, from July to December, 2003. EPAGRI 109 cultivar was cropped in three different soil units: sandy-loam, silt and clay loam, the last two called units I and II, respectively. Parshall flumes and siphon tubes were used to measure and apply water to the field basins. The irrigation system used was basin irrigation (inundation). Data used for the economical analysis were obtained from costs and revenues surveyed in each plot evaluated. Irrigation period for planning for the soil and climate conditions of Morada Nova was 120 days. The water use efficiency for sandy soils presented average values of  $0.2 \text{ kg.m}^{-3}$ ; in the case of heavy soils such value was  $0.43 \text{ kg.m}^{-3}$ . The water application efficiency for clay-loam soils was 66% in average, whereas for sandy-loam was 35%, considering, in both cases, irrigation without deficit. Net profit for a thousand cubic meter, using diverted and applied water methodology, showed superiority for clay-loam soils with values between R\$179,00 and R\$94,00, while for sandy soils the values were less than R\$58,00. Profit analysis for sandy-loam and clay-loam showed feasibility for both soil units, based on conventional criteria of investment analysis, but considering in the simulation a minimum wage of R\$240,00/worker, crop plan for the sandy-loam unit was not feasible, according to the obtained results: cost-benefit relation (B/C) equal to 0.98; net present value (VPL) of - 603.9 and "internal rate of return" (TIR) equal to 3.5%. For the case of clay-loam soil the indexes presented feasibility: B/C = 1.145; VPL = R\$4.204,10 and TIR = 60.33%.

Keywords: Rice (*Oryza sativa*, L.). Water efficiency Use. Indicators of profitability.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -Bacia do Rio Banabuiu .....	26
FIGURA 2 - Equação de regressão da vazão em função da carga hidráulica.....	32
FIGURA 3 - Calha Parshall instalada na entrada de uma maracha.....	34
FIGURA 4 - Escorva para funcionamento do sifão.....	34
FIGURA 5 - Necessidade de irrigação líquida, lâmina de irrigação aplicada e eficiência de aplicação na unidade textural argilo-siltosa I.....	44
FIGURA 6 - Necessidade de irrigação líquida, lâmina de irrigação aplicada e eficiência de aplicação na unidade textural areia franca.....	45

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Característica físico-hídrica da unidade textural areia-franca.....	28
QUADRO 2 - Característica físico-hídrica da unidade textural argilo-siltosa (I)....	28
QUADRO 3 - Característica físico-hídrica da unidade textural argilo-siltosa (II)...	29
QUADRO 4 - Característica físico-hídrica da unidade textural franca.....	29
QUADRO 5 - Equações de calibração das calhas Parshall.....	31
QUADRO 6 - Planilha contendo dados para quantificação da água aplicada.....	32
QUADRO 7 - Necessidade líquida de irrigação para a cultura do arroz, Morada Nova, Ceará .....	35
QUADRO 8 - Calendário das irrigações nas respectivas unidades de solo.....	39
QUADRO 9 - Lâminas de água aplicadas (mm) nas unidades de solo.....	40
QUADRO 10 - Lâminas de água e valor excedente em relação à lâmina de referência.....	41
QUADRO 11 - Lâmina de água aplicada, produtividade e eficiência do uso da água nas quatro unidades texturais de solo.....	42

QUADRO 12 - Necessidade de irrigação líquida (NIL), lâmina de irrigação aplicada (L <sub>ap</sub> ) e eficiência de aplicação (Ea) para textura argilo siltosa l.....	43
QUADRO 13 - Necessidade de irrigação líquida (NIL), lâmina de irrigação aplicada (L <sub>ap</sub> ) e eficiência de aplicação (Ea) para textura areia franca.....	44
QUADRO 14 - Custo operacional, receita bruta e receita líquida de 1,0 ha de arroz irrigado por inundação no Distrito de Irrigação Morada Nova – CE, ciclo de irrigado.....	46
QUADRO 15 - Receita líquida por metro cúbico de água aplicado.....	46
QUADRO 16 - Custo operacional, receita bruta e receita líquida de 1,0 ha de arroz irrigado por inundação no Distrito de Irrigação Morada Nova – CE, com simulação da cobrança por volume de água bruta e volume de água derivada, ciclo irrigado.....	47
QUADRO 17 - Receita líquida por m <sup>3</sup> de água, considerando o custo simulado da água.....	48
QUADRO 18 - Tabela . Análise de investimento de ha arroz plantado em fevereiro e agosto num solo de textura areia franca.....	49

QUADRO 19 - Analise de investimento de ha arroz plantado em fevereiro e agosto num solo de textura argilo-siltosa..... 49

QUADRO 20 - Tabela . Analise de investimento de ha arroz plantado em fevereiro e agosto num solo de textura areia franca, com R\$ 240,00 como garantia de remuneração mensal do empresário..... 50

QUADRO 21- Tabela . Analise de investimento de ha arroz plantado em fevereiro e agosto num solo de textura argilo siltosa, com R\$ 240,00 como garantia de remuneração mensal do empresário..... 50

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE QUADROS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISAO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 A cultura de arroz e os métodos de irrigação.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Irrigação por inundação continua.....	15
2.1.2 Irrigação por Inundação intermitente.....	16
<b>2.2 Solos e o cultivo do arroz.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Eficiência do uso de água e a cultura do arroz.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Custo da irrigação e da água.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Indicadores de rentabilidade.....</b>	<b>23</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Caracterização da área do experimento.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Unidades texturais de solo.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Preparo, instalação e manejo da cultura.....</b>	<b>30</b>
<b>3.4 Calibração dos instrumentos de medição e de aplicação de água.....</b>	<b>31</b>
<b>3.5 Procedimento utilizado na coleta de dados.....</b>	<b>32</b>
<b>3.6 Necessidades hídricas da cultura.....</b>	<b>34</b>
<b>3.7 Eficiência de aplicação.....</b>	<b>35</b>
<b>3.8 Eficiência de uso da água.....</b>	<b>35</b>
<b>3.9 Análise dos indicadores financeiros.....</b>	<b>36</b>
<b>3.10 Análise de investimento.....</b>	<b>37</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Análise do calendário de irrigações.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2 Análise das lâminas de água aplicadas.....</b>	<b>39</b>
<b>4.3 Eficiência do uso da água.....</b>	<b>42</b>
<b>4.4 Eficiência de aplicação de água.....</b>	<b>43</b>
<b>4.5. Analise financeira do cultivo de arroz.....</b>	<b>45</b>
<b>4.6 Analise do investimento.....</b>	<b>48</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>6 CONDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>52</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em termos mundiais o Brasil está em situação privilegiada quanto à disponibilidade de água doce. No entanto, diversas regiões apresentam problemas e uma distribuição desigual, sendo maior a disponibilidade hídrica onde se localiza a menor parcela da população e a menor atividade econômica (região Norte). Em um mesmo estado por exemplo, existem bacias com graus diferenciados de escassez dos recursos hídricos (SCARE, 2003).

No Nordeste brasileiro, a gestão dos recursos hídricos não tem sido administrada com um planejamento integrado da oferta e da utilização da água. As secas sucessivas aliadas à falta total de planejamento dos órgãos públicos com relação à gestão da água, fazem com que tenhamos plena convicção do colapso iminente desse setor (SUASSUNA, 2002).

Nas bacias hidrográficas do semi-árido do Nordeste brasileiro, onde o recurso hídrico é escasso, a otimização do uso da água é um desafio para os gerenciadores, pois o planejamento da irrigação requer cuidado especial, a fim de compatibilizar o balanço hídrico com a demanda, tanto no que se refere à quantidade como a sua repartição espacial e temporal. A bacia hidrográfica é, por conseguinte, a unidade básica de planejamento mais adequada para o aproveitamento e o controle racional da água (RODRIGUES, 2000).

Nos locais de suprimento de água limitado, o uso dessa água deverá focar a sua alocação entre as necessidades de consumo de diversas culturas, e a produção fica determinada pelo grau com que se pode atender às necessidades hídricas totais, mediante o suprimento de água disponível (FRIZZONE, 1996).

A escassez acentuada dos recursos hídricos, culminando com os baixos níveis de reserva de água no ano de 2001, levou o Governo do Estado do Ceará em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA) à elaboração e execução do “Plano Águas do Vale”. No ano agrícola de 2001, o Plano realizou o pagamento de bônus aos produtores do Perímetro de irrigação de Morada Nova e demais regiões da bacia do rio Jaguaribe que não realizassem o cultivo de arroz. Todavia, o Distrito de Irrigação programou e executou para 2002 uma área de 1246 ha, ano em que o preço unitário (kg) de venda do arroz em casca alcançou o valor de R\$ 0,55. Para o segundo semestre de 2003, ocorreu uma expansão na área cultivada com arroz de,

aproximadamente, 50%, período em que o valor unitário (kg) do arroz em casca alcançou R\$ 0,72.

Döll e Hauschild (2002) afirmam que, até 2025, o consumo de água no Ceará se intensificará, consideravelmente, e que as principais zonas de conflito para uso da água, neste período, serão a região metropolitana de Fortaleza, através do consumo humano e a Bacia do Rio Jaguaribe com demanda para irrigação.

Segundo Christofidis (2001), atualmente, a água não é utilizada de forma tecnológica e com adequada eficiência para irrigação. A média observada de uso da água para irrigação, nos países em desenvolvimento, situa-se acima de 13 mil  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ , bem superior ao valor de 7500  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ , obtido através de manejo adequado nas mesmas regiões. As eficiências na condução da água, na sua distribuição pelos sistemas e na aplicação aos cultivos, são baixas, motivo que leva a indicar um esforço na otimização do uso da água.

O Distrito de Irrigação Morada Nova desenvolve no município de Morada Nova e Limoeiro do Norte, Ceará, uma agricultura irrigada, baseada na utilização de sistemas de irrigação por superfície com disponibilidade de recursos hídricos provenientes da bacia do rio Jaguaribe. O Perímetro Irrigado está assentado em solos aluviais, predominando as texturas fina e média, com relevo plano a suave ondulado (DNOCS,1992). O Dossiê Geral baseado nas características físicas dos solos recomenda uma ocupação de 28% (de 3737 ha) para a cultura do arroz (SUDENE, 1969), totalizando uma área de, aproximadamente, 1050 ha. Ocorre, porém, que em determinados anos agrícolas, a área irrigada ultrapassa 2000 ha, aumentando consideravelmente o volume de água aplicada à cultura em unidades texturais de solo não adequadas ao sistema de irrigação por inundação.

Face ao exposto, o estudo teve como objetivo obter para as condições atuais das unidades texturais de solo utilizadas com o cultivo do arroz no Perímetro de Irrigação Morada Nova – CE, as eficiências física e econômica de uso da água, e proceder a uma análise de rentabilidade do cultivo do arroz irrigado.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A cultura de arroz e os métodos de irrigação**

Medeiros (1997) afirma que, no Brasil, o arroz é cultivado em todo o país, sendo que o irrigado é responsável por mais da metade da produção nacional. Stone, Silverira e Moreira (1999) afirmam que, o sistema mais empregado no cultivo do arroz é o de irrigação por inundação contínua ou submersão, que pode ser conduzido com lâmina estática ou corrente. Em certas situações, tem sido adotada a irrigação por inundação intermitente e a subirrigação por elevação do nível do lençol freático. A irrigação por aspersão também tem sido empregada em algumas partes do mundo. No Brasil, sua utilização na cultura do arroz é relativamente recente. Geralmente, é utilizada de maneira suplementar no cultivo de arroz em terras altas.

Segundo Scalopi (2003), de toda área irrigada no Brasil, cerca de 70% é por superfície. Apenas a cultura do arroz, deve responder por, aproximadamente, 40% da área irrigada do país, notadamente nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Afirmação reforçada por Loiola e Souza (2001) em estudo relacionado à estatística sobre a irrigação no Brasil, segundo o Censo Agropecuário 1995 – 1996. Os dados do estudo afirmam que a região Sul apresenta a maior área irrigada, com 1,1 milhão de ha.

#### **2.1.1 Irrigação por inundação contínua**

A irrigação por inundação consiste, basicamente, em colocar uma lâmina de água em compartimentos formados no terreno, chamados de tabuleiros ou quadras, que são limitados por pequenos diques ou taipas (GOMIDE, 1979; STONE; SILVEIRA; MOREIRA, 1999).

O sistema de irrigação por inundação contínua é tradicionalmente o mais utilizado, empregando-se submersão com água parada ou corrente. Com água parada a eficiência de irrigação é, normalmente maior, não havendo riscos de perdas de nutrientes carreados pela água (MEDEIROS, 1995).

Dotto, Riches e Carlesso (1990), em estudo comparativo de sistemas de irrigação para cultivo do arroz, obtiveram resultados, demonstrado que o sistema de irrigação por inundação contínua propicia maior produtividade.

Medeiros (1997), em estudo de métodos de controle de plantas daninhas e manejo da irrigação, concluiu que independente do método de controle, a irrigação contínua, iniciada aos 18 e 36 após a emergência das plântulas de arroz, propicia aumento no peso da matéria seca das plântulas de arroz, no número de grãos por panícula e no rendimento de grãos de arroz.

Marchezan et al. (2002), em estudo com sementes pré-germinadas sem a retirada da água, mantendo-se a lâmina de água constante por todo o ciclo da cultura, não verificaram alterações no rendimento de grãos e características agronômicas do arroz.

### 2.1.2 Irrigação por inundação intermitente

Mishra, Rathore e Pant (1991) em estudo sobre as propriedades físicas do solo e o rendimento da cultura do arroz em diferentes regimes de irrigação, concluíram que os rendimentos ocasionados pela irrigação intermitente são equivalentes aos obtidos com irrigação contínua.

O sistema de inundação intermitente é, geralmente, mais utilizado em regiões com restrições de disponibilidade de água. Sua principal vantagem em relação à inundação contínua é a economia de água (MEDEIROS, 1995).

Borrell, Garside e Fukai (1997), em estudo comparativo de sistemas de irrigação para a cultura do arroz na área de irrigação do rio Burdekin, no norte da Austrália (região de clima semi-árido), concluíram que a irrigação intermitente em comparação com a irrigação contínua (tradicional) não apresenta diferenças significativas com relação à qualidade e rendimento de grãos naquela região.

Singh, Gajri e Arora (2001) obtiveram os melhores resultados de eficiência do uso de água nos tratamentos com irrigação intermitente combinado com o aumento da intensidade de compactação do solo.

Em estudo sobre método de controle econômico de ervas daninhas na cultura arroz sobre diferentes regimes de irrigação, realizado em Bangladesh, Islam e Molla (2001) concluíram que o regime de irrigação contínuo com lâmina constante variando entre 0,10 m e 0,15 m, não é eficiente no controle das ervas daninhas, requerendo ainda entre 1,5 a 2,0 vezes mais água que a irrigação intermitente.

Belder et al. (2004), comparando o sistema de inundação contínua com o sistema de irrigação intermitente, concluíram que a inundação intermitente pode

reduzir a aplicação de água em até 15% sem alterar o rendimento da cultura, além do que a eficiência do uso da água é bem maior na irrigação intermitente.

A irrigação intermitente durante todo o ciclo, propicia uma aplicação de água relativamente menor que a inundação contínua durante todo o ciclo, ou parte dele, e uma maior eficiência do uso da água (STONE; MOREIRA; SILVEIRA FILHO, 1990).

## **2.2 Solos e o cultivo do arroz**

De modo geral, o arroz pode ser cultivado nos mais diversos tipos de solos, desde que sejam atendidas suas exigências mínimas, principalmente quanto à umidade. Sem levar em consideração as exigências nutricionais do arroz, o aspecto mais importante para a cultura, relacionado a solos, é a disponibilidade de água durante o ciclo da cultura. A textura, ou seja, a distribuição percentual das partículas minerais (areia - silte - argila) do solo pelo tamanho afeta, entre outras características, a capacidade de retenção de água no solo (NAIME, 1979).

O Brasil possui um imenso potencial de várzeas, estimado em 28 milhões de hectares (EMBRAPA, 1981), podendo se constituir na principal fronteira para a expansão da rizicultura irrigada, nas diversas regiões do país (MEDEIROS, 1995). Steindorff e Righes (1997) afirmam ainda que as várzeas irrigáveis não têm uma utilização eficiente.

Guimarães, Fageria e Barbosa Filho et al.(2002) afirmam que a planta de arroz é adaptada aos solos saturados, mas se desenvolve bem nos solos não saturados. A planta apresenta aerênquimas, que conectam raízes, colmos e folhas, propiciando eficiente suprimento de oxigênio ao sistema radicular, mesmo em condições anaeróbias. No sistema irrigado as raízes são finas e fibrosas diferindo do arroz de terras altas que apresentam raízes longas e espessas.

Solos com alto teor de areia ocasionam elevadas perdas de água, conforme Caixeta (1984, apud STONE; SILVEIRA; MOREIRA, 1999). Em experimento conduzido em Janaúba (MG), verificaram que, apesar da maior produtividade obtida com inundação contínua (9006 kg.ha<sup>-1</sup>), a quantidade de água aplicada (144.000 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) foi extremamente elevado, o que inviabilizou este sistema de irrigação para as condições locais.

Naime (1979) afirma que para cultivo de arroz com irrigação, o solo deve apresentar uma camada pouco permeável abaixo da zona das raízes, para reduzir a quantidade de água de irrigação e lixiviação de nutrientes, sendo tanto mais importante quando a camada superior é arenosa. Os solos neossolos e hidromórficos, além de reterem mais água de irrigação, parece que a cultura do arroz desenvolve-se melhor em solos desta textura. Os Neossolos apresentam uma fertilidade natural geralmente de média a alta, cujas principais limitações estão associadas aos riscos de inundações, sendo no entanto, os principais solos utilizados para cultivo do arroz.

Kukal e Aggarwal (2002), afirmam que, a perda de água por infiltração é um dos fatores determinantes na eficiência do uso da água nos campos irrigados com arroz, ameaçando assim sua sustentabilidade.

Paz, Teodoro e Mendonça (2000) afirmam que de uma forma geral, à medida que diminui a fertilidade natural do solo, a retenção de água se torna menor, resultando em menor eficiência e requerendo, portanto, maiores quantidades de água para obtenção de igual nível de produtividade. Sugere-se, portanto, que para maximização dos benefícios sejam utilizadas tecnologias modernas quando os preços da água e da produção forem elevados. No entanto, em terrenos planos, com solos pesados, e com água abundante e barata, é preferível que se mantenham tecnologias tradicionais.

### **2.3 Eficiência do uso de água e a cultura do arroz**

Tate (1991) conceituou o eficiente uso da água como sendo qualquer medida que reduza a quantidade de água que se utiliza por unidade de atividade, e que favoreça a manutenção ou melhoramento da qualidade da água.

Quando a economia de água é essencial, a mesma é aplicada no campo após a formação de lamaçal e transplântio, mantendo, o teor de umidade na zona radicular num nível não inferior a 75% da saturação plena, durante todo o período de crescimento. Uma inundação moderada é praticada apenas durante um período de 30 dias a partir do início da formação das panículas até o final da floração. Com essa sistemática podem ser obtidas economias importantes de água de até 50%, particularmente, em solos com elevadas taxas de percolação (DOORENBOS; KASSAN,1979).

Bernardo (1995) sugere que em regiões áridas, onde a água é fator limitante, as pesquisas devam ser conduzidas de modo a se fazer o planejamento de irrigações em termos de máxima produtividade por unidade de água aplicada.

Borrell, Garside e Fukai (1997) sugerem que o aumento da eficiência do uso da água tem benefícios econômicos e ambientais, pois uma maior eficiência do uso da água sugere uma menor quantidade de água bombeada e/ou derivada, logo, maior viabilidade econômica, como benefícios ambientais em longo prazo, a diminuição da água aplicada resultaria numa menor quantidade de sais adicionados ao solo via água de irrigação, diminuindo o risco de salinização das áreas.

Singh, Gajri e Arora (2001) afirmam que o arroz é o principal grão cultivado e consumido no mundo, porém, sua sustentabilidade e, principalmente, a expansão de novas áreas estão sendo ameaçadas por duas restrições altamente relacionadas: água e energia elétrica.

Bouman e Toung (2001) em estudo sobre manejo de água visando incremento na produtividade do arroz em campos irrigados, afirmam que a produtividade deve aumentar em virtude do crescimento da população, e da escassez de água para irrigação. Os autores propõem que as principais metas a serem alcançadas são economia de água e incremento na eficiência de uso da água.

O sistema tradicional de transplântio de arroz com lâmina contínua demanda uma grande quantidade de água. Tendo em vista a crescente escassez de água, cresce também a necessidade do desenvolvimento de sistemas de cultivo alternativos que proporcionem uma maior economia de água (TABBAL et al., 2002; CABANGON; TUONG; ABDULLAH, 2002),

Vories, Counce e Keisling (2002) comparando o sistema de irrigação por inundação com o de sulcos, na cultura do arroz, concluíram que o tratamento de irrigação por sulcos calculado com 19 mm de déficit, alcançou uma média, em três anos, de eficiência de uso da água, de 1,1 kg.ha<sup>-1</sup> por m<sup>3</sup> de água aplicada. Este valor foi 70% superior ao sistema de irrigação por inundação.

Louzada, Marcolin e Macedo (2003) ressaltam que, a busca de altos índices de eficiência através da racionalização do uso da água deve ser um objetivo de todos os projetos de irrigação, qualquer que seja o método de irrigação adotado. No caso específico da irrigação por inundação deve ser uma questão ainda mais

importante, sendo tratada como prioritária, já que os volumes de água derivados são significativamente maiores do que nos demais métodos.

Belder et al. (2004) afirmam que, com a disponibilidade de água para a agricultura decrescendo e a demanda de arroz crescendo, juntamente com o aumento da população, a eficiência do uso da água deve ser incrementada.

Stone e Silveira (2003) ressaltam que pela magnitude dos volumes de água usados na irrigação do arroz, observa-se que qualquer técnica que reduza a quantidade de água ou que promova uma melhor utilização desse recurso, é por demais significativa. Do ponto de vista agrícola, é necessário produzir cada vez mais grãos por unidade de água aplicada. Para que isso ocorra, é necessário aumentar a produtividade pelo uso adequado de tecnologia ou reduzir o consumo de água pela cultura, ou ambos. Economizando-se água, economiza-se também a energia dispensada ao seu bombeamento.

Segundo Begg e Turner (1976), citado por Frizzone (1986), as culturas devem ser conduzidas de forma a se obter uma máxima eficiência de uso da água. Em termos econômicos propõe-se uma eficiência de uso da água, como sendo a relação entre o rendimento ótimo econômico e a lâmina total de água ótima econômica.

## **2.4 Custo da irrigação e da água**

Em estudo comparativo de métodos de irrigação para a cultura do arroz na área de irrigação do rio Burdekin, no norte da Austrália (região de clima semi-árido), Borrell, Garside e Fukai (1997) afirmam que os custos com a irrigação alcançam 40% dos custos totais.

Gomes et al. (1985) afirmam que o manejo de água por inundação, com uma lâmina constante variando entre 0,05 m e 0,20 m, é uma prática tradicional no Estado do Rio Grande do Sul. Tal manejo de água, embora bem aceito pelos orizicultores, eleva de forma substancial o custo de produção, visto que o fator de produção água é um dos componentes mais onerosos no sistema de produção de arroz no Rio Grande do Sul.

Muitos dos fatores que afetam o uso da água são essencialmente econômicos e a maneira como eles se combinam, depende do preço relativo do recurso. Segundo a teoria econômica, a combinação ótima dos insumos, também

conhecida como eficiência econômica, ocorre quando os preços marginais dos diversos fatores são iguais, ou seja, se um dos insumos tem preço muito baixo ou nulo, este será utilizado tanto quanto se julgue necessário (TATE, 1991).

Biserra et al. (1995) em estudo sobre a rentabilidade da irrigação pública no Nordeste brasileiro, concluíram que com os planos de produção vigentes, os colonos do Perímetro Irrigado Morada Nova têm retornos suficientes para pagar, com total segurança, uma tarifa d'água que englobe todos os custos de operação (inclusive energia elétrica) e manutenção dos investimentos públicos.

Araújo (1998) em diagnóstico e perspectivas do sistema tarifário de água bruta no Estado do Ceará, calculou uma tarifa fixa de R\$ 5,00/1000 m<sup>3</sup> para água bruta (sem tratamento prévio) para fins de irrigação, sendo este valor condizente com a capacidade de pagamento dos agricultores.

Em estudo de valoração econômica da água para o semi-árido cearense, Pinheiro (1998) concluiu que se prevalecessem na safra 1995/96, os preços médios mensais recebidos pelos produtores de coco, mamão e cana-de-açúcar, observados no período de julho de 1994 a maio de 1998, no Distrito Irrigado Curu-Paraibaba, o preço da água seria R\$ 153,93 por 1000 m<sup>3</sup>. Se no mesmo período, fossem praticados as médias anuais dos preços máximos ou os mínimos dos produtos, os preços da água seriam respectivamente R\$ 187,00 por 1000 m<sup>3</sup> ou R\$ 124,83 por 1000 m<sup>3</sup>.

Quando o preço de um fator de produção é muito baixo em relação aos demais, ele é utilizado sem se levar em conta a quantidade e sua conservação. Com relação à água pode-se inferir que: a) a atenção prestada ao eficiente uso da água é diretamente proporcional ao preço cobrado pelo recurso; b) quando o recurso é avaliado corretamente, considerando-se a sua contribuição à produtividade, existe um incentivo através de forças de oferta e demanda para utilizá-lo eficientemente através da introdução e de mudanças tecnológicas; c) a quantidade e a qualidade da água estão estreitamente relacionadas às ações para o incremento da eficiência de seu uso; d) no contexto de demanda de água, os princípios de eficiência e valor do recurso quando os fatores sociais são complexos, devem ser considerados com atenção (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000).

Carramaschi, Cordeiro Neto e Nogueira (2000) em estudo comparativo de métodos de valoração econômica da água na Bacia do Rio Rocinha em Brasília – DF, concluíram que alocar corretamente os recursos escassos é um dos caminhos

apontados para uma maximização do bem-estar social. Em termos de recursos hídricos, isso equivale dizer que não seria possível maximizar o bem-estar social, sem a correta consideração dos valores dos recursos hídricos em suas diversas formas de participação nos processos econômicos, sejam esses valores capturados pelo mercado ou não.

Pinheiro e Shirota (2000) em estudo de determinação do preço eficiente da água para irrigação no Projeto Curu-Paraipaba, Ceará, concluíram que se fosse cobrado o preço eficiente da água para irrigação, e com isto, sua alocação se destinasse às culturas de maior valor, haveria as seguintes vantagens: i) aumento no valor bruto da produção (VBP); ii) aumento da receita do governo (com eliminação de subsídios) permitindo cobrir, com folga, todos os custos de operação e manutenção do sistema de suprimento.

Conforme Christofidis (2001), com a evolução de novos sistemas de irrigação, que usam a água de forma mais racional, ocorre uma tendência, forçada, principalmente pela escassez dos recursos hídricos, da possibilidade de aplicação de cobrança pelo uso da água, preconizada na Lei 9.433, da Política Nacional de Recursos Hídricos e na Lei 9.984, que criou a Agência Nacional de Águas.

Scare (2003) afirma que o modelo adotado para gestão dos recursos hídricos no Brasil determina que a água é um bem limitado, de domínio público e dotado de valor econômico, sendo regulado pelo estado.

Em função de condições de escassez em quantidade e/ou qualidade, a água deixou de ser um bem livre e passou a ter valor econômico. Este fato contribuiu com a adoção de novo paradigma de gestão desse recurso ambiental, que compreende a utilização de instrumentos regulatórios e econômicos, como a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. A experiência em outros países mostra que, em bacias que utilizam a cobrança, os indivíduos e firmas poluidores reagem internalizando custos associados à poluição ou outro uso da água. A cobrança pelo uso de recursos hídricos, mais do que instrumento para gerar receita, é indutora de mudanças pela economia da água, pela redução de perdas, pela gestão com justiça ambiental. Isso porque se cobra de quem usa ou polui (ANA, 2004).

No decreto número 27.271 de novembro de 2003, o governo do Estado do Ceará regulamentou o art. 11.996 de 24 julho de 1992, no tocante à cobrança de pelo uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e o art. 4º da citada lei, no

que se refere a outorga de direito de uso e demais providências, no art. 3º parágrafo VI atribui as seguintes faixas para cobrança da água de irrigação:

- a) Consumo de  $1,441 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$  até  $5.999 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$  , taxa de R\$ 2,5 por  $1000 \text{ m}^3$  de água consumido
- b) Consumo de  $6.000 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$  até  $12.000 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$  , taxa de R\$ 5,6 por  $1000 \text{ m}^3$  de água consumido
- c) Consumo de  $12.000 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$  até  $18.999 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$  , taxa de R\$ 6,5 por  $1000 \text{ m}^3$  de água consumido
- d) Consumo de  $19.000 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$  até  $46.999 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$  , taxa de R\$ 7,0 por  $1000 \text{ m}^3$  de água consumido
- e) Consumo a partir de  $47.000 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$  , taxa de R\$ 8,0 por  $1000 \text{ m}^3$  de água consumido (CEARÁ, 2003),

## 2.5 Indicadores de rentabilidade

Biserra et al. (1995), analisando a rentabilidade da irrigação no Nordeste do Brasil, afirmam que não pode ser colocada em dúvida a importância do papel estratégico da irrigação para o semi-árido brasileiro. No entanto, até o momento, não foram muitos os trabalhos de pesquisa que investigaram a rentabilidade das culturas agrícolas irrigadas no Nordeste. Uma boa rentabilidade das explorações agrícolas irrigadas representa um incentivo à investimentos no setor. Um ponto de grande importância, que as pesquisas deveriam focar, seria o risco associado às atividades agrícolas, pois, mesmo as atividades agrícolas irrigadas, estão sujeitas a um significativo nível de risco, seja ele climático e/ou biológico.

Analisando os indicadores de rentabilidade da recuperação de um solo sódico em condições de drenagem subterrânea no Vale do Curu – Ceará, Oliveira Júnior (1998), com dois planos de cultivo, um com uma safra de arroz e duas de melão e outro com uma safra de arroz e apenas uma safra de melão, considerou que ambos demonstraram em base ao critério de decisão, a viabilidade dos cultivos.

Segundo Pinheiro (1998), com base nos resultados obtidos no Projeto Curu-Paraibaba, os projetos de irrigação no Nordeste seriam altamente rentáveis, se fosse assegurado o direito de uso da água apenas para aquele que tivessem com disposição à pagar o preço eficiente da água. Não poderia ser de outra maneira, ou seja, esperar uma razoável rentabilidade econômico-financeira num projeto de

irrigação em que o projeto de irrigação em que o principal fator de produção não for submetido ao controle de uso.

Paz, Teodoro e Mendonça (2000), afirmam que o conceito econômico da água de irrigação segue os princípios da teoria da produção, em que a aplicação às culturas ocorre segundo os critérios de comportamento empresarial, buscando-se a maximização dos rendimentos ou benefícios. Deste modo, a água é um fator de produção agrícola, ao qual estão associados diversos custos. Outra forma de valorizar a água de irrigação, se dá em função de sua produtividade, ou seja; o preço máximo a que está disposto a pagar o empresário agrícola pela incorporação da água, depende do cultivo, de seu preço de venda e de sua produtividade; portanto, conhecendo o preço de oferta da água, o empresário programará os cultivos na propriedade, com o objetivo de maximizar o rendimento e definirá quais as culturas viáveis em caso de escassez de água. Como cada nível de água aplicada corresponde a um nível de produtividade, o produtor fixará a quantidade de água a aplicar, segundo um critério de racionalidade econômica.

Arbage e Souza (2004) em estudo da análise do investimento do sistema de cultivo de arroz pré-germinado no Estado do Rio Grande do Sul afirmam que, a viabilidade de investimento, assim como a avaliação real de uma empresa, depende tanto de valores tangíveis (aqueles que podem ser expressos monetariamente no fluxo de caixa) quanto intangíveis. Estes valores intangíveis de um investimento, são, na verdade, as opções estratégicas criadas por ele (o investidor ou empresário), ou opções de investimentos futuros decorrentes do investimento presente.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área do experimento

O Distrito de Irrigação Morada Nova está localizado nos municípios de Morada Nova e Limoeiro do Norte, Estado do Ceará, na micro-região do Baixo Jaguaribe, sub-vale Banabuiu, à 170 km de Fortaleza, coordenadas geográficas 5° 06' de latitude sul, 38° 23' de longitude oeste e a 80 m de altitude.

A área do Perímetro Irrigado encontra-se localizada no Polígono das Secas. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, corresponde a BSW'h', muito quente e semi-árido e, tropical quente de seca acentuada, de acordo com Gaussen.

A precipitação média anual é 872 mm; a estação chuvosa ocorre, geralmente, de janeiro a junho, concentrando 72% nos meses de fevereiro a maio. No entanto, a distribuição é bastante irregular, podendo em qualquer mês do ano ocorrer veranico. A evapotranspiração média anual é de 1970 mm, tendo seu valor máximo no mês de outubro quando atinge o valor de 205 mm, de acordo com o método de Penman-Monteith (CASTRO, 1997). A luminosidade média anual é de 2600 horas e a velocidade média do vento de 2,4 m/s.

O Distrito de Irrigação ocupa uma área bruta de 10.849 ha, dos quais 3.737 ha são irrigáveis (DNOCS, 1997). As operações agrícolas iniciaram-se em 1974, com administração direta do DNOCS, através da 2ª Diretoria Regional e o processo de emancipação teve início, em sua terceira versão, com a celebração do Convênio n.º PGE - 61/91 firmado entre o Departamento Nacional de Obras Contra Secas (DNOCS) e a Cooperativa Central dos Irrigantes do Vale do Banabuiu (CIVAB), transferindo à Cooperativa a administração, operação e manutenção do Perímetro Irrigado.

Os recursos hídricos destinados ao Distrito de Irrigação provêm do sistema açude público Arrojado Lisboa, com capacidade de acumulação de  $1,6 \times 10^9$  m<sup>3</sup>, descarga regularizada de 11 m<sup>3</sup>/s, e do açude público Pedras Brancas, capacidade de acumulação de  $4,34 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, descarga regularizada de 1,5 m<sup>3</sup>/s, localizados à montante do Perímetro Irrigado (Figura 1).



O canal principal com 26 km de extensão, vazão máxima de 8,8 m<sup>3</sup>/s, com 13 comportas automáticas, permite a adução para as tomadas d'água, capta a água diretamente da barragem de derivação, possibilitando a irrigação por gravidade de quase toda a área do projeto. Recentemente foram realizados trabalhos de manutenção no canal principal, com vistas a um aumento na eficiência de condução. Serão realizados, também, trabalhos de manutenção nas comportas automáticas.

O Perímetro Irrigado dispõe de três estações de bombeamento: duas retiram água do canal principal, irrigando 780 ha e outra diretamente do rio Banabuiu, à montante da barragem de derivação, para irrigar 360 ha. A barragem de derivação objetiva derivar a descarga regularizada do rio Banabuiu e assegurar a compensação diária entre as descargas fornecidas pelo rio e as descargas de irrigação (DNOCS,1992).

O sistema é complementado com 24 km de canais primários, 167 km de canais secundários, 100 km de diques de proteção, uma rede viária principal, estradas de serviço, rede de eletrificação, uma cooperativa central (CIVAB), três cooperativas e uma rede de drenagem, constituída de 99 km de coletores e 223 km de drenos parcelares.

O Decreto n.º 89.496 de 29 de março de 1994, que regulamenta a Lei de Irrigação n.º 6662 de 25 de junho de 1979 em seu artigo 43, define o valor das tarifas incidentes nos Projetos Públicos de Irrigação. A tarifa está dividida em dois componentes:  $K_1$ , para amortização da infra-estrutura e uso comum e  $K_2$  para cobrir as despesas operacionais.

### **3.2 Unidades texturais de solo**

No estudo cultivaram-se arroz em unidades de solo com texturas areia-franca (0,57 ha), franca (0,15 ha) , argilo-siltosa I (0,16 ha) e argilo-siltosa II (0,25 ha), sendo estas duas últimas, em duas composições granulométricas diferenciadas, as quais denominaram-se I e II. As características físico-hídricas das referidas unidades texturais são apresentadas nos Quadros 01, 02, 03 e 04.

A textura ou composição granulométrica de um solo é um termo usado para caracterizar a distribuição das partículas no solo quanto às suas dimensões. Esta influencia a condutividade hidráulica e a capacidade de armazenamento da

água no solo, que são essenciais para a determinação da quantidade e intensidade de aplicação da irrigação (GOMES, 1999).

QUADRO 1. Características físico-hídricas da unidade textural areia-franca.

Composição Granulométrica (g.kg <sup>-1</sup> )						
Prof. (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Classificação Textural
(0 – 0,30)	107	690	137	66	-	Areia franca
Prof. (m)	Grau Floculação	Densidade (kg.m <sup>-3</sup> )		Umidade (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ) kPa		CAD (mm)
		Solo	Partículas	33	1500	
(0 – 0,30)	-	1380	2500	0,083	0,038	13,5

QUADRO 2. Características físico-hídricas da unidade textural Argilo-siltosa (I)

Composição Granulométrica (g.kg <sup>-1</sup> )						
Prof. (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Classificação Textural
0 – 0,20	11	21	470	498	-	Argilo-siltosa
Prof. (m)	Grau Floculação	Densidade (kg.m <sup>-3</sup> )		Umidade (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ) kPa		CAD (mm)
		Solo	Partículas	33	1500	
0 – 0,20	-	1340	2530	0,368	0,199	33,8

QUADRO 3. Características físico-hídricas da unidade textural Argilo-siltosa (II)

Composição Granulométrica (g.kg <sup>-1</sup> )						
Prof. (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Classificação Textural
0 – 0,20	27	67	427	479	-	Argilo-siltosa
Prof. (m)	Grau Floculação	Densidade (kg.m <sup>-3</sup> )		Umidade (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ) kPa		CAD (mm)
		Solo	Partículas	33	1500	
0 – 0,20	-	1340	2500	0,364	0,198	33,2

QUADRO 4. Características físico-hídricas da unidade textural franca

Composição Granulométrica (g.kg <sup>-1</sup> )						
Prof. (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Classificação Textural
0 – 0,30	72	470	289	169	-	Franco arenosa
0,30 – 0,60	22	354	376	248	-	Franca
0,60 – 1,00	25	368	358	249	-	Franca
Prof. (m)	Grau Floculação	Densidade (kg.m <sup>-3</sup> )		Umidade (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> ) kPa		CAD (mm)
		Solo	Partículas	33	1500	
0 – 0,30	-	1470	2500	0,193	0,070	36,9
0,30 – 0,60	-	1460	2530	0,250	0,117	39,9
0,60 – 1,00	-	1470	2380	0,245	0,116	51,6

As unidades texturais objeto do presente estudo foram selecionadas no sentido de representarem os tipos de solos utilizados pelos irrigantes para o cultivo de arroz no Perímetro Irrigado Morada Nova.

### 3.3 Preparo, instalação e manejo da cultura

Durante as etapas de preparo, instalação e manejo da cultura não houve nenhum tipo de influência nos tratos culturais realizados pelos irrigantes, evidenciando assim, o aspecto manejo na resposta da cultura.

A cultivar utilizada foi a EPAGRI 109, apresentando como características: porte baixo, ciclo longo, alta produtividade, bom vigor inicial, alto perfilhamento, resistência à toxidez por ferro, à brusone, ao degrane e ao acamamento, folhas grãos pilosos, grãos de classe longos-finos, sem arita, comprimento do grão polido 7,5 mm, largura de 2,1 mm e com teor de amilose de 28%.

A sistematização de um terreno, consiste na técnica de escavar (cortar), transportar e aterrar o solo, ou simplesmente movê-lo e aplainá-lo, mudando a configuração original do terreno, com o objetivo de tornar sua superfície com declividades uniformes em uma ou nas duas direções. Embora no plano irrigado do Perímetro de Irrigação Morada Nova tenham sido realizados no passado, trabalhos de sistematização, condição em que a topografia original era muito irregular e desuniforme, exigindo portanto maiores movimentos de terra, necessário se faz que, periodicamente, realizem-se trabalhos de aplainamento ou desmonte e aterro, visando corrigir as declividades do terreno. Uma prática comum no Perímetro Irrigado Morada Nova é a utilização unicamente da grade aradora para o preparo do solo, ainda assim sem as condições ideais de umidade.

A adubação química foi realizada em duas oportunidades e compôs-se exclusivamente de N (nitrogênio) aplicado na forma de uréia sendo a quantidade de nitrogênio aplicada sem levar em consideração os resultados da análise de solo. As quantidades geralmente variam entre 350 kg.ha<sup>-1</sup> e 450 kg.ha<sup>-1</sup> de uréia, ou seja 158 kg.ha<sup>-1</sup> e 205 kg.ha<sup>-1</sup> N.

O sistema de semeadura utilizado é o direto à lanço, ocasião em que é realizada a primeira irrigação, seguida de uma drenagem para evitar asfixia das plantas. Utilizam-se entre 250 kg.ha<sup>-1</sup> e 310 kg.ha<sup>-1</sup> de sementes, provocando uma alta densidade de plantas.

A aplicação de herbicidas realizada usualmente no Perímetro Irrigado, é composta por três defensivos, sendo os mesmos a base dos seguintes princípios ativos: PROPANIL, SAL TRIETANOLAMINADO 2,4-D e FENOXAPROP-P-ETIL.

Referidos herbicidas são aplicados nas seguintes proporções hectare: 5 litros de PROPANIL, 1 litro de SAL TRIETANOLAMINADO 2,4-D e 1 litro de FENOXAPROP-P-ETIL.

### 3.4 Calibração dos instrumentos de medição e de aplicação de água

Utilizaram-se calhas Parshall e sifões de plástico como instrumentos para medição e aplicação de água aos tabuleiros. Sifões foram utilizados na unidade de solo areia-franca, enquanto nas demais unidades de solo instalaram-se calhas Parshall à entrada dos tabuleiros.

Os testes de calibração das calhas Parshall foram realizados no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC. As calhas Parshall foram encaixadas e vedadas dentro de uma calha de zinco simulando um canal. As vazões ( $m^3.s^{-1}$ ) foram controladas de modo a proporcionar diversas cargas hidráulicas (m), sendo medidas pelo método direto, em três repetições.

Um ajuste estatístico foi realizado com os pares de valores (vazão x carga hidráulica) visando obter a expressão que melhor descrevesse a relação funcional entre estas variáveis. No Quadro 5 visualizam-se as equações de regressão, todas significativas em nível de 1% de probabilidade. Os valores dos coeficientes de determinação apresentam um elevado valor na proporção da variação da variável dependente (vazão) que é explicada pela regressão.

QUADRO 5 - Equações de calibração das calhas Parshall.

REF.	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	COEFICIENTE DETERMINAÇÃO
A	$Q = 0,1118h^{1,5868}$	0,9951
B	$Q = 0,0605h^{1,3454}$	0,9962
C	$Q = 0,0484h^{1,2173}$	0,9962
D	$Q = 0,0568h^{1,2642}$	0,9920

O teste de calibração do sifão foi realizado no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC. O sifão calibrado apresenta as mesmas características do utilizado nos eventos de irrigação na

unidade de solo com textura areia franca: plástico corrugado, diâmetro de 0,05 m e 2,50 m de comprimento.

Na calibração, derivou-se água para um canal de secção trapezoidal cujo nível é regulado através de um vertedouro acoplado ao final do canal. Estabelecida à condição de fluxo permanente fez-se a escorva do sifão derivando-se a água para uma calha de zinco acoplada a um suporte de madeira contendo diversas garras de sustentação para o estabelecimento de diferentes cargas hidráulicas.

Um ajuste estatístico foi realizado com os pares de valores (vazão x carga hidráulica) visando obter a expressão que melhor descrevesse a relação funcional entre vazão e carga hidráulica. Na Figura 2 visualiza-se a equação de regressão que apresentou o melhor ajuste, significativa em nível de 1% de probabilidade. O valor do coeficiente de determinação apresenta um elevado valor na proporção da variação da variável dependente (vazão) que é explicada pela regressão.

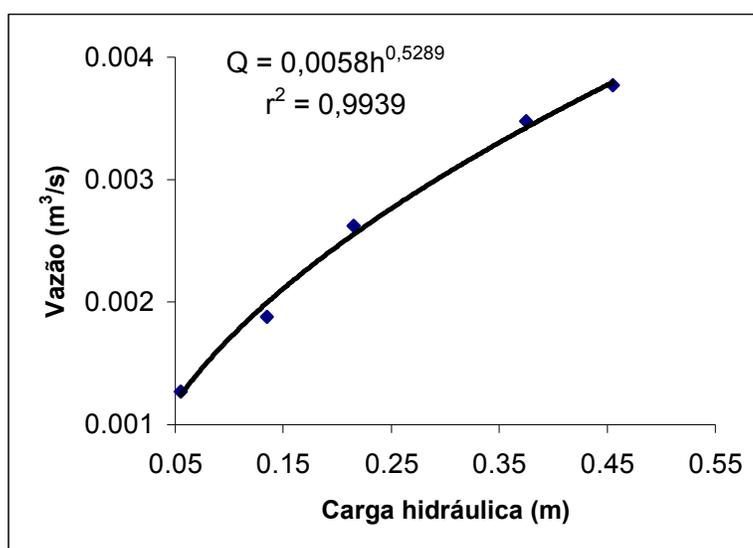


FIGURA 2 - Equação de regressão da vazão em função da carga hidráulica

### 3.5 Procedimento utilizado na coleta de dados

Durante cada evento de irrigação procediam-se às leituras de cargas hidráulicas nas calhas Parshall, os quais eram, posteriormente, transformadas em valores de vazões, através do uso da respectiva equação de calibração. As leituras eram realizadas junto a uma fita métrica, na secção convergente da calha, a uma distância de 2/3 da secção estrangulada (Figura 3).

Registravam-se, também, concomitantemente, os tempos instantâneos em que se realizavam as leituras de cargas hidráulicas, as quais posteriormente, eram transformados em tempos acumulados. Uma planilha contendo dados sobre a área irrigada, data e evento de irrigação, além da equação de calibração, foi elaborada, como forma de facilitar, posteriormente, os dados de compilação e cálculos referentes à quantificação da água aplicada, conforme se visualiza no Quadro 6.

QUADRO 6 – Planilha contendo dados para quantificação da água aplicada

<b>Proprietário:</b> Sebastião Paulino da Silva			
<b>Textura:</b> Muito Argilosa			
<b>Sector:</b> 08			
<b>Lote:</b> D-02			
<b>Irrigação:</b> 05			
<b>Área em Estudo:</b> 0,16 ha			
<b>Data:</b> 22/10/2003			
<b>Vazão de Entrada</b>			
<b>Hora</b>	<b>Tempo Acum (min)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/min)</b>
06:30	1	7,5	0.124
06:35	6	10,6	0.189
06:40	11	12,8	0.238
06:55	26	14,5	0.277
07:55	86	14,5	0.277
08:25	116	13,8	0.261
15:30	541	13,8	0.261
16:30	601	13,8	0.261
17:30	661	13,8	0.261
19:50	801	13,8	0.261

Equação da calha:  $Q = 0,0484 H^{1,2173}$

O volume de água aplicada foi determinado através do cálculo integral, a partir de equações ajustadas das hidrógrafas de vazão e tempo acumulado. No cálculo utilizou-se o software MathCad. As planilhas contendo os dados utilizados nos referidos cálculos, além de suas respectivas integrais.

Na área com textura areia-franca, as irrigações procederam-se através de sifões (Figura 4). Durante cada evento de irrigação registravam-se o número de sifões, a carga hidráulica disponível e os horários de início e final da irrigação.



FIGURA 3 - Calha Parshall instalada na entrada de um tabuleiro



FIGURA 4 - Escorva de sifão.

### 3.6 Necessidades hídricas da cultura

Na estimativa das necessidades hídricas consideraram-se as seguintes fases de crescimento da cultura: emergência e perfilhamento (26 dias), perfilhamento e primórdio floral (35 dias), primórdio floral e floração (29 dias), floração – corte da irrigação (24 dias).

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO), utilizando-se o software Cropwat for Windows Versão 4.2. (CASTRO, 1997). Os valores de K<sub>c</sub> (coeficiente de cultivo) foram adaptados de Doorembos & Kassan (1979). Os autores sugerem os seguintes valores para K<sub>c</sub>: estágio I (1,10), II (1,15), III (1,20) e IV (1,00).

Na Tabela 1 são apresentados valores referentes às necessidades de irrigação líquidas para a cultura do arroz, para as condições climáticas de Morada Nova, baseadas nas médias históricas e no período em que a cultura é usualmente irrigada.

QUADRO 7 - Necessidade líquida de irrigação para a cultura do arroz, Morada Nova - CE

Mês	ET <sub>o</sub> (mm)	K <sub>c</sub>	N.I. L <sup>(1)</sup> (mm)
Agosto	189,1	1,10	208,0
Setembro	200,4	1,15	230,5
Outubro	204,6	1,20	245,5
Novembro	189,0	1,00	189,0
Total	783,1		873,0

<sup>(1)</sup> Necessidade de irrigação líquida

### 3.7 Eficiência de aplicação

A eficiência de aplicação diferencia-se dos demais métodos, uma vez que a lâmina aplicada, obrigatoriamente, excede ao necessário para suprir a evapotranspiração do período de irrigação. Essa eficiência pode ser representada pela equação a seguir:

$$e_a = \frac{V_n}{V_n + W}, \text{ sendo:}$$

$e_a$  : eficiência de aplicação [ $L^3 \cdot L^{-3}$ ]

$V_n$  : volume necessário para suprir a evapotranspiração [ $L^3$ ]

$W$  : volume para formação da lâmina superficial, suprir perdas por percolação, etc [ $L^3$ ].

No estudo procedeu-se a uma estimativa da eficiência de aplicação para cada evento de irrigação, a partir da segunda irrigação, visto que na primeira irrigação o solo saturado e, posteriormente, drenado, dificultando o procedimento de cálculo. Este cálculo foi efetuado nas texturas argilo-siltosa e areia franca.

### 3.8 Eficiência de uso da água

A eficiência de uso da água ( $E_{UA}$ ) foi obtida pelo quociente entre a produtividade da cultura e a lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura, de acordo com a seguinte equação:

$$E_{UA} = \frac{Y}{I}, \text{ sendo:}$$

$E_{UA}$ : eficiência de uso da água,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$  ou  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ ;

Y: produtividade da cultura,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ;

I: lâmina total de água aplicada durante o ciclo da cultura, mm.

### 3.9 Análise dos indicadores financeiros

A receita líquida do produtor foi o indicador utilizado na análise financeira do cultivo do arroz irrigado para as condições do Distrito de Irrigação Morada Nova, Ceará.

O custo da irrigação foi constituído pelos seguintes itens de dispêndio: derivação de água, conforme tabela em vigor no Distrito de Irrigação e/ou com energia elétrica, para o caso em que o produtor utilizasse água de poço.

No estudo, simulou-se um cenário com cobrança de água bruta e água derivada. No caso de água derivada, utilizaram-se os critérios adotados no Distrito de Irrigação, ou seja, R\$16,67 por 1000  $\text{m}^3$  de água derivada por bombeamento. O custo da água bruta foi baseado no decreto N° 27.271, o qual baseia-se nas seguintes faixas de uso e valores: R\$2,50 por 1000  $\text{m}^3$ , até o limite de uso de 5999  $\text{m}^3$  mensal. Para o intervalo entre 6000 e 11999  $\text{m}^3$ , o valor é de R\$5,60 por 1000  $\text{m}^3$ . No estudo, considerou-se o volume médio mensal de água referente ao ciclo da cultura.

### 3.10 Análise de investimento

A análise da viabilidade econômica do cultivo de arroz em cada unidade textural de solo foi realizada com base nos indicadores de rentabilidade – relação benefício/custo, valor presente líquido e taxa interna de retorno. Conforme Hoffmann et al. (1992), a relação benefício/custo (B/C) é definida como o quociente entre o valor presente das receitas (benefícios) a serem obtidos e o valor presente dos custos (inclusive os investimentos). Matematicamente, o referido indicador tem a fórmula:

$$B/C = \frac{\sum_{i=0}^n \left( \frac{R_i}{(1+r)^i} \right)}{\sum_{i=0}^n \left( \frac{C_i}{(1+r)^i} \right)}$$

O valor presente líquido (VPL) é o valor presente dos benefícios líquidos (receitas – custos) do projeto, ou seja:

$$VPL = \sum_{i=0}^n \left( \frac{R_i - C_i}{(1+r)^i} \right) = \sum_{i=0}^n \left( \frac{R_i}{(1+r)^i} \right) - \sum_{i=0}^n \left( \frac{C_i}{(1+r)^i} \right)$$

Ainda conforme Hoffman et al. (1992), a taxa interna de retorno (TIR) é o percentual que expressa a rentabilidade (retorno) anual média do capital alocado no projeto, durante todo o horizonte de análise. Esse indicador pode ser calculado iterativamente (pesquisa operacional) ou através de raízes do polinômio e, ainda, interpolação. Para o cálculo da TIR na presente pesquisa, utilizou-se o programa computacional EXCEL.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise do calendário de irrigações

No Quadro 8 são apresentadas as datas de cada evento de irrigação, referente às quatro áreas cultivadas com arroz. A oferta de água no Distrito de Irrigação não se procede em demanda livre, condição esta que, certamente, acarretaria um uso mais intensivo nos eventos de irrigação, sobretudo nas unidades texturais mais leves.

A Associação dos Usuários do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado Morada Nova, AUDIPIMN, no que concerne ao planejamento de entrega de água, dividiu o Perímetro Irrigado em três setores, com cada setor dispondo de quatro dias consecutivos com água. Tendo em vista a entrega de água realizar-se individualmente por setor, o turno de rega para um mesmo setor, passa a ser no mínimo de oito dias. O maior número de irrigações na unidade de solo com textura franca atribuiu-se à opção do irrigante em complementar a lâmina de água aplicada no último ou no penúltimo dia de disponibilidade de água, conforme se observa a partir da quinta irrigação.

A unidade textural argilo-siltosa I, cujas características físicas são bem semelhantes à unidade textural argilo-siltosa II, apresentou um menor número de irrigações. O fato da água de irrigação na unidade textural argilo-siltosa I ter sido oriunda de poço, o que, conseqüentemente, eleva os custos de produção da cultura, pode explicar o menor número de irrigações na referida unidade textural.

O período de irrigação ao longo do ciclo da cultura do arroz, embora bastante semelhante nas unidades texturais acima referidas, de 125 e 122 dias respectivamente, para as unidades argilo-siltosa I e argilo-siltosa II, apresentaram turnos de rega médios de 12,5 e 8,7 dias, nesta ordem. Já na unidade de solo com textura areia franca, o ciclo de irrigação foi de 121 dias e o turno de rega médio de 10,1 dias.

QUADRO 8 - Datas das irrigações nas respectivas unidades de solo

Irrigação	Argilo-siltosa I	Argilo-siltosa II	Franca	Areia franca
1ª	08.08.03	17.07.03	23.07.03	19.07.03
2ª	24.08.03	29.07.03	04.08.03	31.07.03
3ª	14.09.03	06.08.03	16.08.03	12.08.03
4ª	04.10.03	16.08.03	29.08.03	24.08.03
5ª	22.10.03	25.08.03	31.08.03	05.09.03
6ª	01.11.03	31.08.03	09.09.03	17.09.03
7ª	11.11.03	11.09.03	12.09.03	01.10.03
8ª	24.11.03	20.09.03	22.09.03	11.10.03
9ª	03.12.03	03.10.03	24.09.03	17.10.03
10ª	11.12.03	11.10.03	03.10.03	25.10.03
11ª		21.10.03	06.10.03	06.11.03
12ª		03.11.03	15.10.03	17.11.03
13ª		10.11.03	18.10.03	
14ª		16.11.03	27.10.03	
15ª			30.10.03	
16ª			08.11.03	
17ª			11.11.03	
18ª			19.11.03	
19ª			22.11.03	

#### 4.2 Análise das lâminas de água aplicadas

No Quadro 9 estão relacionados os valores das lâminas de água aplicadas nos diversos eventos de irrigação, nas quatro unidades de solo cultivadas com arroz.

As unidades texturais franca e areia franca apresentaram os maiores valores de lâminas de água aplicada, certamente em virtude das altas taxas de percolação. Stone, Moreira e Silveira Filho (1990) conduziram estudo com a cultura do arroz cultivado em um solo arenoso e verificaram que a percolação se constituiu na principal componente das perdas de água. Em solos com textura predominantemente franco-argilosa e argilosa, as principais perdas de água acontecem por fluxo lateral (STONE; SILVEIRA; MOREIRA, 1999).

QUADRO 9 - Lâminas de água aplicadas ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) nas unidades texturais de solo

Irrigação	Argilo-siltosa I	Argilo-siltosa II	Franca	Areia franca
1 <sup>a</sup>	120,2	129,0	249,0	256,6
2 <sup>a</sup>	169,8	80,1	208,9	210,2
3 <sup>a</sup>	249,7	88,56	139,3	180,8
4 <sup>a</sup>	197,1	89,7	155,2	210,2
5 <sup>a</sup>	127,5	124,6	81,3	226,7
6 <sup>a</sup>	103,6	133,8	266,1	238,8
7 <sup>a</sup>	80,8	139,0	87,6	189,4
8 <sup>a</sup>	113,7	100,3	116,5	263,8
9 <sup>a</sup>	78,4	98,1	63,9	82,9
10 <sup>a</sup>	68,8	75,8	150,0	205,2
11 <sup>a</sup>		67,4	67,9	264,8
12 <sup>a</sup>		157,3	117,6	261,2
13 <sup>a</sup>		74,5	95,7	
14 <sup>a</sup>		83,5	122,2	
15 <sup>a</sup>			44,3	
16 <sup>a</sup>			97,1	
17 <sup>a</sup>			26,9	
18 <sup>a</sup>			125,8	
19 <sup>a</sup>			47,3	
<b>Total</b>	<b>13.096</b>	<b>14.417</b>	<b>22.626</b>	<b>25.906</b>

Conforme Boumam e Tuong (2001), mesmo os solos argilosos podem apresentar perdas relevantes por infiltração, tendo em vista que estes solos, quando submetidos a longos períodos sem água, podem apresentar rachaduras, sendo estas responsáveis por altas taxas de infiltração no início da irrigação.

O Distrito de Irrigação Morada Nova, com área irrigável de 3737 ha, possui 28% dessa área com solos de baixa taxa de infiltração, propícios portanto ao cultivo do arroz. Em base a esta informação, a AUDIPIMN utiliza como critério para fins de cobrança de água no ciclo da cultura do arroz, um valor de referência baseado em uma lâmina de 1200mm, lâmina esta perfeitamente exequível, em condições de solo e manejo adequados.

No Quadro 10 são apresentados os valores referentes às lâminas de água aplicadas nas unidades de solo que compuseram o estudo e os valores de

excesso de água (%) nas respectivas unidades de solo, comparativamente ao valor da lâmina de 1200mm/ciclo da cultura.

QUADRO 10 - Lâminas de água e valor excedente em relação à lâmina de referência

Textura do solo	Lâmina de água aplicada (mm)	Valor excedente (%)
Argilosiltosa I	1309,6	9,1
Argilosiltosa II	1441,7	20,1
Franca	2262,6	88,6
Areia franca	2590,6	115,9

Conforme se observa, nas unidades texturais com solos mais pesados, o excesso nos valores de lâminas aplicadas, se comparada ao valor de referência, variou entre 9,0 e 20%. Nas unidades de solos mais leves, no entanto, referidos valores situaram-se entre 88 e 116%.

Kukul e Aggarwal (2002), conduziram experimento em um solo franco-arenoso e obtiveram, após o uso de técnicas para redução da capacidade de infiltração de água no solo, uma redução entre 54 e 58% nas perdas de água por percolação.

Durante a condução do estudo, observações permitiram assegurar que os produtores praticam a irrigação sem levar em consideração critérios técnicos quanto ao momento de irrigar e da necessidade hídrica da cultura.

Lâmina de água superficial, da ordem de 0,05 a 0,10m, tem se mostrado mais favorável à produtividade e à quantidade de água despendida no cultivo do arroz. Entretanto, para que se obtenha tal condição é necessário que o solo seja adequadamente sistematizado, propiciando que a lâmina de água seja 0,05 a 0,10m na parte superior do tabuleiro e de 0,15 a 0,20m na parte inferior (SCALOPI, 2003).

Levantamento altimétrico realizado em cada um dos tabuleiros demonstraram que as declividades médias do terreno propiciavam condições de lâminas superficiais dentro das faixas recomendadas. Ao final de diversos eventos de irrigação mediram-se as lâminas de água na superfície, tanto na parte superior quanto na parte inferior do tabuleiro.

Nas unidades de solo com texturas franca e argilo-siltosa (II), as lâminas de água na superfície foram da ordem de 0,08 e 0,15m respectivamente, para a parte superior e inferior dos tabuleiros. Na unidade de solo com textura areia franca,

os níveis de água na superfície situaram-se na faixa de 0,05 a 0,10m. Já na unidade de solo com textura argilo-siltosa (I), referidos níveis situaram-se entre 0,16 e 0,19m.

### 4.3 Eficiência do uso da água

No Quadro 11 apresentam-se os valores de eficiência de uso da água ( $E_{ua}$ ) nas quatro unidades texturais de solo cultivadas com arroz.

Os resultados obtidos demonstraram uma amplitude de valores entre 0,5 e 0,18  $\text{kg.m}^{-3}$ , significando que para a textura argilo-siltosa I produziu-se 0,5 kg de arroz em casca para cada 1,0  $\text{m}^3$  de água aplicada. Já para a textura franca, produziu-se apenas 0,18 kg para cada 1,0  $\text{m}^3$  de água aplicada.

Dotto, Riches e Carlesso (1990), em estudo sobre eficiência de uso de água em solos de texturas franco-arenosa e franco-argilo-arenosa, obtiveram valores entre 0,113 e 0,517  $\text{kg.m}^{-3}$ , respectivamente. Já Vories, Counce e Keisling (2002) em solo de textura argilo-siltosa, obtiveram valores para eficiência de uso da água entre 0,33 e 1,07  $\text{kg.m}^{-3}$ . Em estudo de diferentes sistemas de inundação intermitente para racionalização do uso da água, Boumam e Tuong (2001) obtiveram valores de eficiência de uso da água entre 0,2 e 0,4  $\text{kg.m}^{-3}$ .

Singh, Gajri e Arora (2001), analisando a eficiência de uso da água em duas unidades texturais de solo para cultivo com arroz, estimaram valores inferiores na unidade textural franco-arenosa comparativamente à unidade textural franco-argilo-siltosa.

Quadro 11 - Lâmina de água aplicada, produtividade e eficiência do uso da água.

Textura do solo	Lâmina (mm)	Produtividade ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )	$E_{ua}$ ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	$E_{ua}$ ( $\text{kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ )
Argilo siltoso I	1309,6	6600	0,504	5,04
Argilo siltoso II	1441,7	5240	0,363	3,63
Franco	2262,6	4031	0,178	1,78
Areia franca	2590,6	5796	0,224	2,24

A sistemática diferenciada de condução da cultura pelos produtores, limita de alguma forma, uma análise mais criteriosa dos resultados obtidos pela variável-

resposta eficiência de uso da água. Não obstante, conforme expectativa à priori, nas unidades texturais de solos mais pesadas, associaram-se aos maiores valores de eficiência de uso da água.

A capacidade de armazenamento de água no solo das unidades texturais argilo-siltosas, embora bastante semelhantes, apresentaram valores diferenciados quanto à eficiência de uso da água. A unidade argilo-siltosa II apresentou um valor 28% inferior, se comparada à unidade argilo-siltosa I. Em termos ponderados, a variável produtividade foi a responsável maior por tal diferença, atribuindo-se daí a componente condução da cultura pelo produtor, como elemento determinante. Análise comparativa semelhante verificam-se nas unidades de solo com texturas franco e areia franca.

Paz, Teodoro e Mendonça. (2000) afirmam que, os métodos e equipamentos de irrigação podem e devem ser aprimorados para reduzir as perdas e induzir ao manejo adequado em conjunto com o solo, a planta e o clima, com ganhos de  $E_{UA}$ .

#### 4.4 Eficiência de aplicação de água

Nos Quadros 12 e 13 são apresentados os valores de eficiência de aplicação dos sistemas de irrigação referentes às unidades texturais argilo-siltosa I e areia franca, a partir do segundo evento de irrigação. Observa-se que na textura argilo-siltosa a média da eficiência de aplicação situa-se em torno de 77,0%, ao passo que na unidade textural areia-franca o valor não supera 38,0%.

QUADRO 12 - Necessidade de irrigação líquida ( $NIL$ ), lâmina de irrigação aplicada ( $L_{ap}$ ) e eficiência de aplicação ( $E_a$ ) para textura argilo siltosa I.

Irrigação	$ET_0$ (mm)	$K_c$	$N. I. L.$ (mm)	$L_{ap}$ (mm)	$E_a$ (%)
2 <sup>a</sup>	97,6	1,1	107,4	169,8	63,2
3 <sup>a</sup>	136,5	1,1	150,2	249,7	60,1
4 <sup>a</sup>	133,6	1,15	153,6	197,1	77,9
5 <sup>a</sup>	118,8	1,15	136,6	127,5	100,0
6 <sup>a</sup>	65,7	1,2	78,8	103,6	76,1
7 <sup>a</sup>	63,0	1,2	75,6	80,8	93,6
8 <sup>a</sup>	81,9	1,2	98,3	113,7	86,4
9 <sup>a</sup>	55,2	1	55,2	78,4	70,4
10 <sup>a</sup>	46,4	1	46,4	68,8	67,4

Nas Figuras 5 e 6 visualiza-se o comportamento ao longo do ciclo da cultura das variáveis-resposta, necessidades de irrigação líquida, lâmina de irrigação aplicada e eficiência de aplicação para as unidades texturais argilo-siltosa I e areia-franca respectivamente.

QUADRO 13 - Necessidade de irrigação líquida (NIL), lâmina de irrigação aplicada ( $L_{ap}$ ) e eficiência de aplicação (Ea) para textura areia franca.

Irrigação	ET <sub>o</sub> (mm)	Kc	N. I. L. (mm)	L <sub>ap</sub> (mm)	Ea (%)
2	62,4	1,1	68,6	210,2	32,7
3	73,2	1,1	80,5	180,8	44,5
4	73,2	1,15	84,2	210,2	40,1
5	76,2	1,15	87,6	226,7	38,6
6	80,4	1,15	92,5	238,8	38,7
7	93,7	1,2	112,4	189,4	59,4
8	66,0	1,2	79,2	263,8	30,0
9	39,6	1,2	47,5	82,9	57,3
10	52,8	1	52,8	205,2	25,7
11	77,4	1	77,4	264,8	29,2
12	57,2	1	57,2	261,2	21,9

As perdas de água, traduzidas nos valores de eficiência de aplicação, constataam a importância da unidade textural para o cultivo do arroz em regime de irrigação por inundação. Referidas perdas chegam a alcançar valor próximo de 80% do volume de água aplicada, quando do evento de irrigação de número 12 na unidade de solo com textura areia franca.

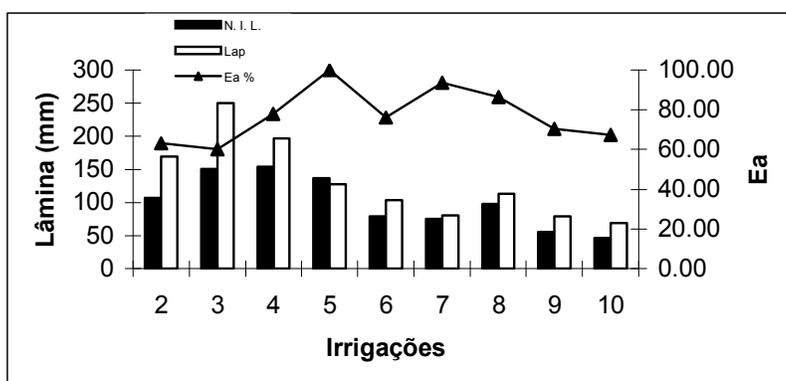


Figura 5 - Necessidade de irrigação líquida, lâmina de irrigação aplicada e eficiência de aplicação na unidade textural argilo-siltosa I.

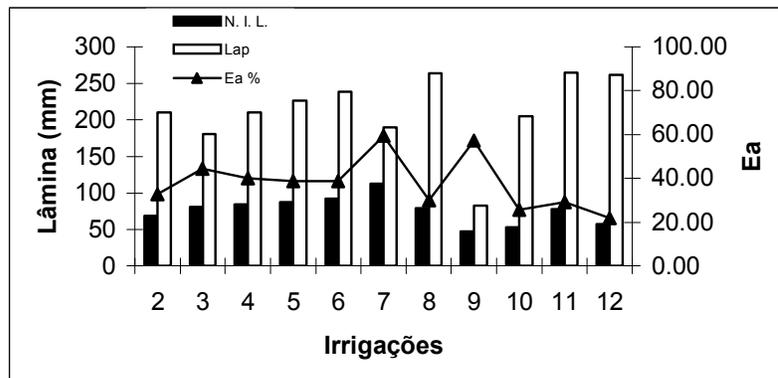


Figura 6 - Necessidade de irrigação líquida, lâmina de irrigação aplicada e eficiência de aplicação na unidade textural areia franca.

#### 4.5. Análise econômica do cultivo do arroz

O custo operacional e a exigência física de fatores de produção para a exploração de 1,0 ha da cultura do arroz são apresentados no QUADRO 14. É conveniente observar que, de acordo com Hoffmann et al. (1992), o custo operacional total difere do custo total apenas por não incluir os juros sobre o capital empatado e uma possível remuneração ao empresário pelo serviço de gerência e administração.

A composição do custo de irrigação explica o porquê das unidades texturais franca e areia franca, embora terem apresentado maiores lâminas de água aplicadas, o custo final da irrigação ter sido inferior, se comparado ao custo nas unidades texturais argilo-siltosa (QUADRO 14).

Baseado na receita líquida, indicador empregado para mensurar a eficiência financeira do cultivo do arroz irrigado para as condições do Distrito de Irrigação Morada Nova, verifica-se que o item produtividade (Quadro 11) foi determinante, se comparado aos custos totais. A maior receita líquida obtida, no valor de R\$2.400,00 por hectare, garante ao produtor uma renda de dois salários-mínimos durante o ciclo de cultivo do arroz.

No Quadro 15 são apresentados os valores de rentabilidade por metro cúbico de água aplicados nas unidades texturais avaliadas. Na análise, considerando o fator de produção água como único fator responsável pelo

acréscimo na receita (*ceteris paribus*), os resultados confirmam a tendência de redução na receita com o incremento do volume de água aplicada.

A aquisição de 1000 m<sup>3</sup> do fator água para uso na unidade textural franca, gera teoricamente, uma receita líquida de R\$ 42,00, valor que corresponde ao máximo a ser pago para aquisição 1000 m<sup>3</sup>.

Conforme Paz, Teodoro e Mendonça (2000), a eficácia do uso da água pode ser medida pelos benefícios econômicos líquidos que se obtém por cada unidade aplicada do fator.

Paz et al. (2002) afirmam que, a operação ótima dos sistemas de irrigação, baseada nas estratégias de otimização econômica para maximização da receita líquida, propicia níveis adequados de eficiência de aplicação e eficiência de armazenamento. A uniformidade de distribuição, o custo da água e o valor pago pelo produto são fatores determinantes para otimização de sistemas de irrigação, quando o objetivo é a maximização da receita líquida e a economia do recurso hídrico (QUADRO 16).

QUADRO 14 - Custo operacional, receita bruta e receita líquida em (R\$), de 1,0 ha de arroz irrigado por inundação no Distrito de Irrigação Morada Nova – CE.

Fatores de Produção	Custo operacional, receita bruta e receita líquida em (R\$)			
	Argilo siltosa I	Argilo siltosa II	Franca	Areia franca
Irrigação (e/ou água)	190,5	272,5	160,0	160,0
Mão-de-obra	600,0	600,0	600,0	600,0
Preparo do solo	315,0	180,0	180,0	180,0
Adubação	302,4	423,0	302,4	423,0
Sementes	217,0	192,5	199,5	175,0
Defensivos	251,0	295,0	251,0	295,0
Colheita (+ transporte)	475,2	377,3	292,8	417,3
<b>Custo operacional (R\$/ha)</b>	<b>2351,1</b>	<b>2340,3</b>	<b>1985,7</b>	<b>2250,3</b>
<b>Receita bruta (R\$/ha)</b>	<b>4752,0</b>	<b>3772,8</b>	<b>2928,0</b>	<b>4173,12</b>
<b>Rec. Líquida (R\$/ha)</b>	<b>2400,9</b>	<b>1432,5</b>	<b>942,3</b>	<b>1922,8</b>

QUADRO 15 - Receita líquida por volume de água aplicada.

Unidade textural	Receita líquida (R\$) por	
	1000 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Argilo siltosa I	183,0	0,183
Argilo siltosa II	99,0	0,099
Franca	42,0	0,042
Areia franca	74,0	0,074

QUADRO 16 - Custo operacional, receita bruta e receita líquida, em R\$, de 1,0 ha de arroz irrigado por inundação no Distrito de Irrigação Morada Nova – CE, com simulação da cobrança por volume de água bruta e volume de água derivada.

Fatores de Produção				
	Argilo siltosa I	Argilo siltosa II	Franca	Areia franca
Irrigação (e/ou água)	251,13	276,37	433,32	576,79
Mão-de-obra	600,0	600,0	600,0	600,0
Preparo do solo	315,0	180,0	180,0	180,0
Adubação	302,4	423,0	302,4	423,0
Sementes	217,0	192,5	199,5	175,0
Defensivos	251,0	295,0	251,0	295,0
Colheita (+ transporte)	475,2	377,3	292,8	417,3
<b>Custo operacional (R\$/ha)</b>	<b>2411,73</b>	<b>2416,654</b>	<b>2259,5</b>	<b>2667,1</b>
<b>Receita bruta (R\$/ha)</b>	<b>4752,00</b>	<b>3772,8</b>	<b>2928,0</b>	<b>4173,1</b>
<b>Receita líquida (R\$/ha)</b>	<b>2340,27</b>	<b>1356,15</b>	<b>668,50</b>	<b>1506,00</b>

Ao se considerar o custo efetivo da água, conforme se observa no item irrigação do Quadro 16, verifica-se um incremento no custo operacional, em todas as unidades de solo avaliadas, porém com maiores incrementos nas unidades de solo de texturas mais leves, face aos maiores volumes de água utilizados.

Tendo em vista os valores inalterados de receitas brutas nas unidades de solo cultivadas com arroz, os novos valores de receitas líquidas apresentaram decréscimos entre 2,5 e 5,3% para as unidades de solo com texturas argilo-siltosas e entre 21,7 e 29% para as unidades de solo areia-franca e franca, respectivamente.

Infere-se, assim, que o sistema de cobrança de água atualmente praticado no Distrito de Irrigação Morada Nova, pode beneficiar produtores que utilizem os recursos hídricos de forma perdulária em solos sem dotação natural para o cultivo de arroz, conquanto não utilizem fonte complementar oriunda de poço.

No Quadro 17 são apresentados os resultados de receita líquida por m<sup>3</sup> de água, considerando a condição de simulação da cobrança por volume de água bruta e volume de água derivada. Os níveis de decréscimos nos valores de receitas líquidas são semelhantes àqueles apresentados na análise de receita líquida do produtor para as respectivas unidades de solo avaliadas no estudo.

QUADRO 17- Receita líquida por m<sup>3</sup> de água, considerando o custo simulado da água

Textura do solo	Receita líquida (R\$)	
	1000 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Argilo siltosa I	179,0	0,179
Argilo siltosa II	94,0	0,094
Franca	30,0	0,030
Areia franca	58,0	0,058

#### 4.6 Análise do investimento

Nos Quadros 18 e 19 são apresentados os elementos econômicos para o cálculo dos indicadores de rentabilidade, considerando a condição de cobrança de água, em dois cultivos anuais, fevereiro\* (sequeiro) e agosto (irrigado).

No ano “zero” considerou-se como investimento a aquisição de 1,0 ha de terra. Os benefícios, no entanto, só passaram a ocorrer a partir do ano “1”. Neste ano, os custos constituíram-se do custo operacional da cultura do arroz de sequeiro (fevereiro) e do custo operacional acrescido da irrigação para o arroz semeado em agosto. Os custos e receitas dos anos subsequentes foram considerados iguais ao ano “1”.

Os indicadores de rentabilidade para a condição de cobrança d’água, e sem garantia de renda mínima para produtor, foram as seguintes: textura areia-franca - relação benefício custo (B/C): 1,506; valor presente líquido (VPL): R\$ 9.777,8 e taxa interna de retorno (TIR): 115,6%. Já para a unidade textural argilo-siltosa tem-se que: relação benefício custo (B/C): 1,786; valor presente líquido (VPL): R\$ 14.585,8 e taxa interna de retorno (TIR): 161,3%.

Os referidos indicadores de rentabilidade demonstram em base aos critérios de decisão, a viabilidade do processo de cultivo ( $B/C > 1$  e  $VPL > 0$ ) para ambas unidades texturais. A taxa interna de retorno (115,6 e 161,3%), indicador de rentabilidade de projetos, sendo maior que o custo de oportunidade do capital considerado na presente análise (12%), mostra viabilidade, pois, significa dizer que com a TIR igual a 115,6 e 161,3%, respectivamente, o capital alocado para o projeto rende, em média, 115,6% para a textura areia franca e 161,3% para a textura argilo-siltosa para cada ano do horizonte de análise do projeto.

\* Decréscimo na produtividade estimado a partir de Rodrigues (2000)

Quadros 18 - Análise de investimento de 1,0 ha com arroz cultivado em fevereiro e agosto num solo de textura areia franca

Ano	Valores variáveis (R\$)			FD (12%)	Valores atualizados	
	Custo	Investimento	Receitas		Custos	Receitas
0		3000,00		1,00	3000,00	
1	4530,29		8074,99	0,89	4044,90	7209,81
2	4530,29		8074,99	0,80	3611,52	6437,33
3	4530,29		8074,99	0,71	3224,57	5747,62
4	4530,29		8074,99	0,64	2879,08	5131,80
5	4530,29		8074,99	0,57	2570,61	4581,96
Total	22651,46	3000,00	40374,94		19330,69	29108,52

B/C = 1,506; VPL = 9.777,8; TIR = 115,6%

QUADRO 19 - Análise de investimento de 1,0 ha com arroz cultivado em fevereiro e agosto num solo de textura argilo-siltosa.

Ano	Valores variáveis (R\$)			FD (12%)	Valores atualizados	
	Custo	Investimento	Receitas		Custos	Receitas
0		3000,00		1,00	3000,00	
1	4316,64		9195,12	0,89	3854,14	8209,93
2	4316,64		9195,12	0,80	3441,20	7330,29
3	4316,64		9195,12	0,71	3072,50	6544,90
4	4316,64		9195,12	0,64	2743,30	5843,66
5	4316,64		9195,12	0,57	2449,38	5217,56
Total	21583,21	3000,00	45975,60		18560,53	33146,35

B/C = 1,786; VPL = 14.585,8; TIR = 161,3%

Já os indicadores de rentabilidade, com plano anual constituído por duas safras de arroz, uma em fevereiro e outra em agosto, sob a condição de cobrança d'água com garantia de renda mínima (R\$240,00) para o produtor (QUADROS 20 e 21), considerando as texturas areia-franca e argilo-siltosa respectivamente, foram: relação benefício custo (B/C) 0,98 e 1,145; valor presente líquido (VPL) – R\$ 603,9 e R\$ 4.204,1 e taxa interna de retorno (TIR) 3,5% e 60,33%.

Estes indicadores demonstram, com base nos critérios de decisão, a inviabilidade do plano de cultivo (B/C > 1; VPL > 0 e TIR > 12%) para a textura areia-franca e viabilidade de cultivo para a textura argilo-siltosa.

Arbage e Souza (2004) analisaram o investimento do sistema de cultivo de arroz pré-germinado em relação ao cultivo convencional na Depressão Central do

Rio Grande do Sul e obtiveram valores de TIR 22,09 e 28,44% para as simulações efetuadas.

QUADRO 20 - Análise de investimento de 1,0 ha com arroz cultivado em fevereiro e agosto num solo de textura areia franca, com R\$ 240,00 de garantia de remuneração mensal do empresário.

Ano	Valores variáveis (R\$)			FD (12%)	Valores atualizados	
	Custo	Investimento	Receitas		Custos	Receitas
0		3000,00		1,00	3000,00	
1	7410,29		8074,99	0,89	6616,33	7209,81
2	7410,29		8074,99	0,80	5907,44	6437,33
3	7410,29		8074,99	0,71	5274,50	5747,62
4	7410,29		8074,99	0,64	4709,37	5131,80
5	7410,29		8074,99	0,57	4204,80	4581,96
Total	37051,46	3000,00	40374,94		29712,44	29108,52

B/C = 0,98; VPL = -603,9; TIR = 3,5%

QUADRO 21. Tabela . Análise de investimento de 1,0 ha com arroz cultivado em fevereiro e agosto num solo de textura argilo siltosa, com R\$ 240,00 de garantia de remuneração mensal do empresário.

Ano	Valores variáveis (R\$)			FD (12%)	Valores atualizados	
	Custo	Investimento	Receitas		Custos	Receitas
0,00		3000,00		1,00	3000,00	
1,00	7196,64		9195,12	0,89	6425,57	8209,93
2,00	7196,64		9195,12	0,80	5737,12	7330,29
3,00	7196,64		9195,12	0,71	5122,43	6544,90
4,00	7196,64		9195,12	0,64	4573,60	5843,66
5,00	7196,64		9195,12	0,57	4083,57	5217,56
Total	35983,21	3000,00	45975,60		28942,28	33146,35

B/C = 1,145; VPL = 4.204,1; TIR = 60,33%

## 5 CONCLUSÕES

O período de irrigação do cultivo de arroz para as condições de solo e clima no Distrito de Irrigação Morada Nova situa-se em torno de 120 dias, período este que deve ser tomado como referência para o planejamento da irrigação.

A eficiência de uso da água para os solos de textura leve apresentou valores médios de  $0,2 \text{ kg.m}^{-3}$ ; já para os solos de textura pesada, estes valores foram de  $0,43 \text{ kg.m}^{-3}$ .

A eficiência de aplicação de água na unidade textural argilo-siltosa, solo adequado ao cultivo de arroz, apresentou um valor médio de 66%. Na unidade textural areia franca, porém, solo sem aptidão ao cultivo do arroz, a eficiência de aplicação foi apenas de 35%, considerando-se em ambos os casos, somente os eventos de irrigação sem déficit.

Em face ao volume de água aplicada nas unidades de solos mais leves, só se justifica o cultivo de arroz nessas unidades de solos, se associado ao uso de técnicas que reduzam a capacidade de infiltração desses solos.

A rentabilidade líquida de cada mil  $\text{m}^3$ , utilizando a metodologia de cobrança de água derivada e aplicada, foi superior nos solos argilo-siltosos, com valores entre R\$ 179,00 e R\$ 94,00, enquanto nos solos de textura mais leve esta rentabilidade não ultrapassou os R\$ 58,00.

A análise da rentabilidade nas unidades texturais areia franca e argilo-siltosa, demonstrou a viabilidade do cultivo do arroz para ambas as unidades, em base aos critérios convencionais da análise de investimento, porém, simulando-se uma remuneração mensal do produtor no valor de R\$ 240,00, o plano de cultivo na unidade textural areia-franca demonstrou ser inviável, conforme os resultados obtidos: relação benefício custo (B/C) 0,98; valor presente líquido (VPL) -603,9 e taxa interna de retorno (TIR) 3,5%. Na unidade textural argilo-siltosa, os indicadores se mostraram viáveis: B/C 1,145, VPL R\$ 4.204,1 e TIR 60,33%.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sugere-se no sentido de melhorar a utilização e manejo da água no Perímetro Irrigado de Morada Nova e em toda aquela região, os seguintes aspectos:

A implantação de um plano de manejo de irrigação que vise à otimização do uso da água no Perímetro Irrigado.

A utilização de outras culturas em substituição ao arroz, onde a dotação natural de solos não favorece o seu cultivo em termos de eficiência do uso da água.

Utilização de mecanismos tarifários para inibição do consumo excessivo de água.

Um programa de ajuste nos planos sistematizados e preparo adequado de solo, além de treinamento aos irrigantes em manejo da irrigação, são técnicas indispensáveis e recomendáveis à redução das perdas de água.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Gestão das águas: Cobrança pelo uso da água. **Cobrança do uso da água**. Brasília 2004. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/Cobranca/default2.asp>>. Acesso em: 5 de mar. 2004.

ARAÚJO, J. C. Capacidade de pagamento de usuários de água bruta. IN: **Diagnóstico e perspectivas do sistema tarifário de água bruta no estado do Ceará**. Relatório Técnico. Governo do estado Ceará, Secretária de Recursos Hídricos, 1998. cap. 6, p. 35 – 46.

BELDER, P.; BOUMAN, B. A. M.; CABANGON, R.; GUOAN, L.; QUILANG, E. J. P.; YUANHUA L.; SPIERTZ, J. H. J.; TUONG, T. P. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. **Agricultural Water Management**, Elsevier Science B. V., Amsterdam. v. 65, p. 193-210. 2004.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1995. 656p.

BISERRA, J. V.; FILHO, A. N. M.; CÂMARA, S. F.; BACELAR, A. M. M. Rentabilidade da Irrigação Pública no Nordeste Sob Condições de Risco. **R. Econ. Nord**. v.26. N.2. p239-263. Fortaleza-CE. 1995.

BORRELL, A.; GARSIDE, A.; FUKAI, S. Improving efficiency of water use for irrigated rice in semi-arid tropical environment. **Field Crops Research**, Elsevier Science B. V., Amsterdam. v. 52, p. 231-248. 1997.

BOUMAN, B. A. M.; TUONG, T. P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. **Agricultural Water Management**, Elsevier Science B. V., Amsterdam. v. 49, p. 11-30. 2001.

CABANGON, R. J.; TUONG, T. P.; ABDULLAH, N. B. Comparing water input and water productivity of transplanted and direct-seeded rice production systems, **Agricultural Water Management**, Elsevier Science B. V., Amsterdam. v. 57, n. 1, , p. 11-31. 2002.

CARRAMASCHI, E. C.; CORDEIRO NETO, O. M.; NOGUEIRA, J. M. O preço da água para irrigação: um estudo comparativo de dois métodos de valoração econômica – contingente e dose-resposta. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília. v. 17, n. 3, p. 59-89, set./dez. 2000.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Irrigação e Tecnologia Moderna (ITEM)**, Brasília. n° 49, 1° trimestre, p. 8-13. 2001.

DNOCS. **Fichas técnicas dos perímetros irrigados**. 2ª Diretoria Regional. Divisão de Assistência aos Perímetros. Fortaleza, 1992. 129p. Ficha: Perímetro Irrigado de Morada Nova – Ficha técnica.

DNOCS. **Planejamento de operação e manutenção e cálculo da tarifa d'água de irrigação do Perímetro irrigado de Morada Nova**. 2ª Diretoria Regional. Divisão de Assistência aos Perímetros. Organização: CIVAB. Fortaleza, 1997. 8p.

DÖLL, P.; HAUSCHILD, M. Model-based scenarios of water use in two semi-arid Brazilian states. **Regional Environmental Change**, Springer-Verlag, Germany. v.2, n°. 4 , p. 150 – 162. 2002.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Crop response to water**. Roma: FAO, 1979. 194p. (FAO, irrigation and Drainage Paper, 33).

DOTTO, C. R. D.; RICHES, A. A.; CARLESSO, R. Consumo de água e produtividade da cultura do arroz sob três sistemas de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 1990, Piracicaba. **Anais**: Piracicaba: SBEA, 1990, p. 396-409.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Departamento técnico científico. **Programa nacional de pesquisa do arroz**, Brasília. 1981

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986, 133p. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração em solos e nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

FRIZZONE, J. A. **Modelo de programação linear para otimizar o uso da água em Perímetros Irrigados e sua aplicação no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho**. 1996, 57p. Tese (Livre Docente). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

GOMES, A. S.; VAHL, L. C.; PAULETTO, E. A.; PORTO, V. H.; GONZALEZ, B. D. Manejo de água em arroz irrigado. **Fundamentos para cultura do arroz irrigado**, Fundação Cargill, Campinas. 1985. P. 251-276.

GOMES, H. P. **Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 3ª ed. Campina grande: UFPB, 1999. 412p.

GOMIDE, R. L. Irrigação do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 5 (55), julho. 1979.

GUIMARÃES, C. M.; FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Como a planta de arroz se desenvolve. **Informações agrônômicas**, Potafos, Piracicaba. Nº 99, set., p. 1-12. 2002 .

HOFFMANN, R.; SERRANO, O.; NEVES, E. M.; THAME, A. C. M.; ENGLER, J. J. C. **Administração da Empresa Agrícola**. São Paulo: Pioneira, 1992. 325p.

ISLAM, M. J.; MOLLA, H. R. Economic weeding method for irrigated rice production in Bangladesh. **Agricultural Water Management**, Elsevier Science B. V., Amsterdam. v. 46, p. 267-276. 2001.

KUKAL, S. S.; AGGARWAL, G. C. Percolation losses of water in relation to puddling intensity and depth in sandy loam rice (*Oryza sativa*) field. **Agricultural Water Management**, Elsevier Science B. V., Amsterdam. v. 57, p. 49-59. 2002.

LOIOLA, M. L.; SOUZA, F. de. Estatísticas sobre irrigação no Brasil segundo o Censo Agropecuário 1995-1996. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, DEAg/UFPB. v. 5, n. 1, p. 171-180. 2001.

LOUZADA, J. A. S.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V. R. M. Irrigação por inundação. In: **Irrigação** : série engenharia agrícola irrigação volume 2. 1 ed. Piracicaba: FUNEP, 2003. p. 471-523.

MARCHEZAN, E.; MARZARI, V.; DE ÁVILA, L.; BUNT, A. L. P.; SEGABINAZZI, T. Manejo da irrigação do arroz por inundação usando sementes pré-germinadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. v. 22, p. 339-346, set. 2002.

MEDEIROS, R. D. **Efeitos do manejo de água e de sistemas de controle de plantas daninhas em arroz (*Oryza sativa L.*) irrigado**. 1995, 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MEDEIROS, R. D.; GHELFI FILHO, H.; DARIO, G. J. A.; BOTREL, T. A.; COSTA, M. C. Efeitos do manejo de água e de sistemas de controle de plantas daninhas em arroz (*Oryza sativa L.*) irrigado. **IRRIGA**, Botucatu. v. 2, nº 1, p. 39-49. 1997.

MISHRA, H. S.; RATHORE, T. R.; PANT, R. C. Effect of varying water regimes on soil physical properties and yield of rice in mollisols of Tarai region. **Agricultural Water Management**, Elsevier Science B. V., Amsterdam. v. 20, p. 71-80. 1991.

NAIME, U. J. Solos para o arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 5 (55), julho. 1979.

PAZ, V. P. S.; FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; FOLEGATTI, M. V. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, DEAg/UFPB. v. 6, n. 3, p. 404-408, 2002.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, DEAg/UFPB. v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PINHEIRO, J. C. V. **Valor econômico da água para irrigação no semi-árido cearense**. 1998, 135 p. Tese (Doutorado em ciências biológicas, área de concentração em economia aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

PINHEIRO, J. C. V; SHIROTA, R. Determinação do preço eficiente da água para irrigação no projeto Curu-Paraipaba. **Revista Econômica do Nordeste**. Fortaleza, ETENE. V. 31, n. 1, p. 36-47, jan-mar. 2000

RODRIGUES, J. A. L. **Plano ótimo de cultivo no projeto de irrigação Morada Nova, Ceará, utilizando modelo de programação linear**. 2000, 81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

SCALOPI, E. J. Irrigação por superfície. In: **Irrigação** : série engenharia agrícola irrigação volume 2. 1 ed. Piracicaba: FUNEP, 2003. p. 311-470.

SCARE, R. F. **Escassez de água e mudança institucional: análise da regulação dos recursos hídricos no Brasil**. 2003, 135p. Dissertação (Mestrado FEA) -

Faculdade de Administração Economia e Contabilidade. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SINGH, K. B.; GAJRI, P. R.; ARORA, V. K.; Modelling the effectes of soil and water management practices on the water balance and performance of rice. **Agricultural Water Management**, Elsevier Science B. V., Amsterdam. v. 49, p. 77-95. 2001.

STEINDORFF, A. P.; RIGHES, A. A. Comportamento do arroz de sequeiro em várzeas com subirrigação, drenagem e inundaçãõ. In: VII CONGRESSO NACIONAL DE IRIGAÇÃO E DRENAGEM, 1997, Brasília – DF. **Anais...**Brasília – DF: ABID, 1986. p. 585-606.

STONE, L. F.; MORREIRA, J. A. A.; SILVEIRA FILHO, A. Manejo de água na cultura do arroz: consumo, ocorrência de plantas daninhas, absorção de nutrientes e características produtivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 323-337, 1990.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Irrigação. In: **A cultura do arroz no Brasil**. 1 ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. Cap. 14 p. 453-492.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Irrigação por aspersão nas culturas do feijoeiro e do arroz e de terras altas . **Irrigação e Tecnologia Moderna (ITEM)**, Brasília. n° 58, 2° trimestre, p. 28-36. 2003.

SUASSUNA, J. Água – um fator limitante para o desenvolvimento do Nordeste?. In: **Água e desenvolvimento sustentável no semi-árido**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, séries debates. n. 24, dezembro, 2002. p. 117-131. ISBN 85-7504-036-7.

SUDENE. Perímetro Irrigado de Morada Nova. **Dossiê Geral. Societe Centrale Pour L'equipement du Territoire** – Cooperation – 1969.

TABBAL, D. F.; BOUMAN, B. A. M.; BHUIYAN, E. B.; SATTAR, M. A. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philppines. **Agricultural Water Management**, Elsevier Science B. V., Amsterdam. v. 56, p. 93-112; 2002.

TATE, D. M. Capítulo 2 – Principios del Uso Eficiente del Agua. In: **Uso Eficiente Del Agua**. México, 1991. Disponível em: <[http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso\\_eficiente/tapausef.html](http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/tapausef.html)> acesso em: 15 mar. 2004.

VORIES, E. D.; COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C. Comparison of flooded and furrow-irrigated rice on clay. **Irrigation Science**, Springer-Verlag, Germany. v. 21, n° 3, p. 139-144. 2002.