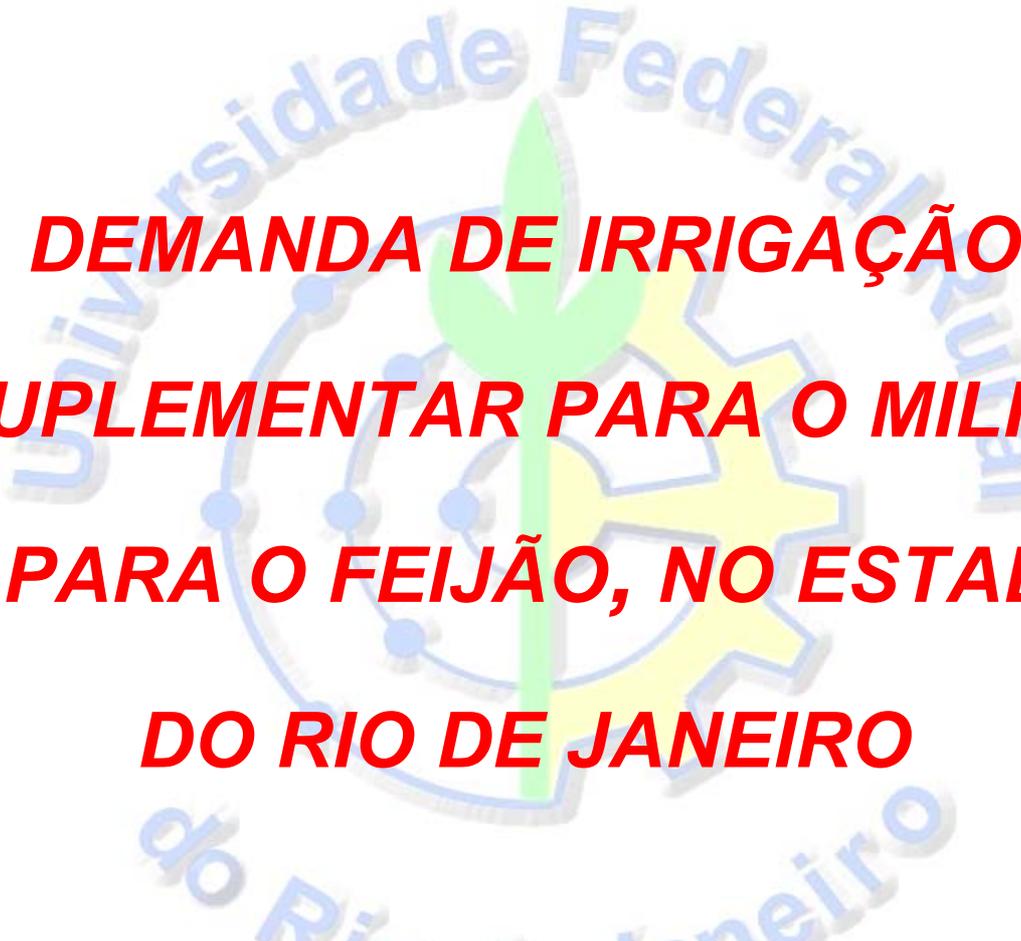


**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA**

The logo of the Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro is a circular emblem. It features a green plant with three leaves in the center, superimposed on a yellow gear. The gear is connected to a blue circuit-like pattern of dots and lines. The text 'Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro' is written around the perimeter of the emblem in a light blue font.

***DEMANDA DE IRRIGAÇÃO***  
***SUPLEMENTAR PARA O MILHO***  
***E PARA O FEIJÃO, NO ESTADO***  
***DO RIO DE JANEIRO***  
***RELATÓRIO FINAL***

Daniel Fonseca de Carvalho, D.S. – Prof. Adjunto I (COORDENADOR)

**SEROPÉDICA – RJ**

**JULHO – 2000**

# RELATORIO FAPERJ

Este projeto de pesquisa foi catalogado com o número E-26/171.319/97 (APQ1) e viabilizado financeiramente sob forma de bolsa: E-26/150.730/99.

A seguir serão descritas as etapas cumpridas para a execução do projeto bem como os resultados obtidos, conforme os objetivos do mesmo. Segue, em anexo, um trabalho científico completo, baseado nos resultados obtidos deste projeto, o qual foi enviado e aceito para apresentação no CLIR 2000 - Congreso Latinoamericano de Ingenieria Agricola - a ser realizado em Guanajuato, México, em novembro próximo.

## 1. Estações climatológicas

Nesta etapa, as estações climatológicas cadastradas no INMET para os Estados do Rio de Janeiro e Estados vizinhos foram selecionadas em função da qualidade dos dados apresentados. Um dos problemas encontrados foi justamente à baixa qualidade dos dados climáticos disponíveis, principalmente com relação ao tamanho da série histórica. De todas essas estações, a princípio foram selecionadas aquelas que apresentavam séries históricas maiores que 5 anos e que os dados de precipitação ajustavam-se à distribuição gama de probabilidade (item 3 – programa computacional). Os Quadros 1, 2, 3 e 4 apresentam alguns dados dessas estações para os Estados RJ, MG, ES e SP, respectivamente.

Quadro 1. Estações Climatológicas do Estado do Rio de Janeiro

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude
83007	Alto da B. Vista	22,57	43,16	347,09
83017	Itatiaia	22,2	44,43	190
83031	Faz. Guaratiba	22,5	43,32	15
83048	Rio Bonito	22,43	42,37	80
83049	Avelar	22,2	43,25	507
83052	Santa Mônica	22,21	43,42	364
83054	Jacarepaguá	22,59	43,42	12
83087	Granja Juriti	22,18	43,02	980
83089	Marica	22,55	42,49	4
83111	Volta Redonda	22,39	44,05	374,87
83114	Iguara Grande	22,51	42,1	5,77
83599	Nova Iguaçu	22,16	43,23	30

Continuação do Quadro 1.

83660	Marambaia	23,03	43,36	16
<b>83695</b>	<b>Itaperuna</b>	<b>21,12</b>	<b>41,53</b>	<b>128,59</b>
<b>83696</b>	<b>Santa Maria Madalena</b>	<b>21,37</b>	<b>42,05</b>	<b>620</b>
<b>83697</b>	<b>São Fidelis</b>	<b>21,39</b>	<b>41,15</b>	<b>74,23</b>
<b>83698</b>	<b>Campos</b>	<b>21,45</b>	<b>41,2</b>	<b>11,2</b>
83699	Barra do Itabapoara	21,18	40,59	4
<b>83718</b>	<b>Cordeiro</b>	<b>22,02</b>	<b>42,22</b>	<b>484,68</b>
83719	Alcalis (Cabo Frio)	22,59	42,02	7,13
<b>83738</b>	<b>Resende</b>	<b>22,29</b>	<b>44,28</b>	<b>439,89</b>
83740	Observatório	22,4	43,41	44
<b>83741</b>	<b>Ecologia Agrícola</b>	<b>22,48</b>	<b>43,41</b>	<b>33</b>
<b>83742</b>	<b>Vassouras</b>	<b>22,2</b>	<b>43,4</b>	<b>437,19</b>
83743	Rio de Janeiro	22,55	43,1	5,32
83744	Teresópolis (I. Rasa)	22,27	42,56	874,16
<b>83745</b>	<b>Nova Friburgo</b>	<b>22,17</b>	<b>42,32</b>	<b>856,6</b>
<b>83747</b>	<b>Cabo Frio</b>	<b>22,59</b>	<b>42,02</b>	<b>2,89</b>
83748	Resende Itatiaia	---	---	---
<b>83749</b>	<b>Macaé</b>	<b>22,21</b>	<b>41,48</b>	<b>2,83</b>
83750	Alto do Itatiaia	22,25	44,5	2199
<b>83752</b>	<b>Barreirinha</b>	<b>22,27</b>	<b>44,5</b>	<b>756,84</b>
<b>83753</b>	<b>Volta Redonda</b>	<b>22,29</b>	<b>44,05</b>	<b>417,97</b>
83754	Pirai - Pinheiral	---	---	---
83755	Colégio Militar	22,53	43,12	16,94
83756	Serviço Geográfico	22,54	48,11	48,8
<b>83757</b>	<b>Pirai</b>	<b>22,38</b>	<b>43,54</b>	<b>366,65</b>
83758	Ilha Guaíba	23,00	44,02	64,46
<b>83759</b>	<b>São Pedro da Aldeia</b>	<b>22,38</b>	<b>43,33</b>	<b>178,01</b>
<b>83762</b>	<b>Rio D'ouro</b>	<b>22,37</b>	<b>43,28</b>	<b>127</b>
<b>83763</b>	<b>Tinguá</b>	<b>22,35</b>	<b>43,21</b>	<b>125,39</b>
<b>83764</b>	<b>Xerém</b>	<b>22,35</b>	<b>43,3</b>	<b>143,58</b>
<b>83765</b>	<b>Araras</b>	<b>22,31</b>	<b>43,11</b>	<b>820</b>
<b>83788</b>	<b>Angra dos Reis</b>	<b>23,01</b>	<b>44,19</b>	<b>1,57</b>
<b>83789</b>	<b>Santa Cruz</b>	<b>22,55</b>	<b>43,4</b>	<b>63,38</b>
<b>83790</b>	<b>Bangu</b>	<b>22,52</b>	<b>43,28</b>	<b>40,3</b>
<b>83791</b>	<b>Penha</b>	<b>22,42</b>	<b>43,13</b>	<b>65</b>
83792	Engenho de Dentro	22,54	43,18	30
83793	Jacarepaguá	22,55	43,22	12
83796	Jardim Botânico	22,58	43,13	4,7
83798	Santa Tereza	22,55	43,11	179,9
83799	Pão de Açúcar	22,58	43,15	400
83801	Realengo	22,52	43,26	---
83802	São Bento	22,44	43,18	6
83804	Petrópolis	22,31	43,11	895
<b>83805</b>	<b>Santo Antonio de Pádua</b>	<b>21,32</b>	<b>42,12</b>	<b>95,8</b>
<b>83806</b>	<b>Teresópolis (Pq. Nacional)</b>	<b>22,27</b>	<b>42,56</b>	<b>874,16</b>
<b>83807</b>	<b>Carmo</b>	<b>21,55</b>	<b>42,37</b>	<b>342,19</b>
83815	Laranjeiras	22,55	43,13	16,46

\* estações selecionadas

Quadro 2. Estações Climatológicas do Estado do Minas Gerais

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>
<b>83027</b>	<b>Cataguases</b>	<b>21,23</b>	<b>42,41</b>	<b>167,97</b>
<b>83037</b>	<b>Coronel Pacheco</b>	<b>21,35</b>	<b>43,15</b>	<b>435</b>
83639	Caparaó	20,31	41,52	843,18
83642	Viçosa	20,45	42,51	689,73
83653	Manhuaçu	20,16	42,03	611,57
<b>83686</b>	<b>Caxambu</b>	<b>21,58</b>	<b>44,56</b>	<b>958,51</b>
<b>83690</b>	<b>Santos Dumont</b>	<b>21,27</b>	<b>43,33</b>	<b>908</b>
83691	Ubá	21,07	42,57	349
<b>83694</b>	<b>Muriaé</b>	<b>21,08</b>	<b>42,2</b>	<b>270,8</b>
83733	Campo da Fé	22,2	45,05	1641
<b>83737</b>	<b>Passo Quatro</b>	<b>22,33</b>	<b>44,58</b>	<b>920</b>

\* estações selecionadas

Quadro 3. Estações Climatológicas do Estado de Espírito Santo

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>
83013	Munis Freire	20,28	41,24	530
83043	Alfredo Chaves	20,38	40,45	110
83045	Venda Nova	20,19	41,1	750
83645	Alegre	20,46	41,31	277,4
<b>83646</b>	<b>C. Itapemirim</b>	<b>20,51</b>	<b>41,06</b>	<b>77,53</b>
83647	Santa Teresa	19,56	40,36	439,89

\* estações selecionadas

Quadro 4. Estações Climatológicas do Estado de São Paulo

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>
83707	Pindamonhangaba	22,55	45,27	560
83709	Piquete	22,36	45,1	646,34
<b>83711</b>	<b>Bandeirantes</b>	<b>22,36</b>	<b>44,28</b>	<b>544,9</b>
<b>83712</b>	<b>Bananal</b>	<b>22,42</b>	<b>44,19</b>	<b>560</b>
83734	Cruzeiro	22,34	44,57	514
83809	São José dos Campos	23,13	45,51	643,5
83857	Tremembé	22,58	45,33	546,2

\* estações selecionadas

Como pode ser verificado no Quadro 1, um grande número das estações do INMET existentes para o Estado do RJ se localiza dentro da cidade do Rio de Janeiro, região não utilizada para agricultura. Por isso, para o município do Rio de Janeiro foram selecionadas apenas as estações de Santa Cruz, Bangu e Penha. Para o restante do Estado, a seleção foi realizada em função da qualidade dos dados e também pela distribuição espacial, totalizando 26 estações (Figura 1).

Mediante o fato das estações apresentarem dados climáticos com pequenas séries históricas, principalmente dados de precipitação, foi conseguido junto a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) dados de pluviômetros para um grande número de municípios do Estado do Rio de Janeiro e dos Estados vizinhos, a serem utilizados em trabalhos futuros. A idéia é substituir o arquivo de precipitação do INMET pelo da ANEEL, pois assim, teremos um melhor ajuste da distribuição gama de probabilidade, a ser utilizada na estimativa da precipitação dependente. Para isso ser possível, será desenvolvido um aplicativo computacional para fazer esta conversão dos arquivos de dados, uma vez que o formato dos arquivos do INMET e da ANEEL são diferentes.

## **2. Mapa digital do Estado**

O mapa digital, em forma vetorial, do Estado do Rio de Janeiro com a malha municipal foi obtido a partir de um arquivo em formato DXF, a partir de informações do IBGE (1996). Utilizando o programa “Idrisi for Windows”, esse arquivo foi convertido para um formato adequado a ser utilizado por este programa, utilizando o módulo “DXF/IDRISI Conversion Module”. As Figuras 1 e 2 apresentam os mapas base do Estado do Rio de Janeiro, com as estações climáticas selecionadas e com as mesorregiões do Estado, respectivamente. Vale a pena ressaltar que o Estado é composto de um número muito grande de ilhas incluindo a Ilha do Governador, localizada na região metropolitana da capital e a Ilha Grande, importante polo turístico localizada no litoral Sul do Estado. Por entender que essas ilhas não são utilizadas para a agricultura, todas elas foram desconsideradas e, portanto, não aparecem nas Figuras.

Analisando a Figura 1, percebe-se que as estações climáticas consideradas neste trabalho se distribuem de maneira uniforme na área do Estado, bem como as estações selecionadas nos Estados vizinhos.

Como pode ser verificado na Figura 2, o Estado do Rio de Janeiro foi dividido em 7 mesorregiões: norte, noroeste, litorânea, serrana, sul, centro-sul e metropolitana.

A partir do mapa base do Estado, as informações de evapotranspiração potencial e de demanda de irrigação para o milho e para feijão foram espacializadas, possibilitando a fácil consulta destas informações.

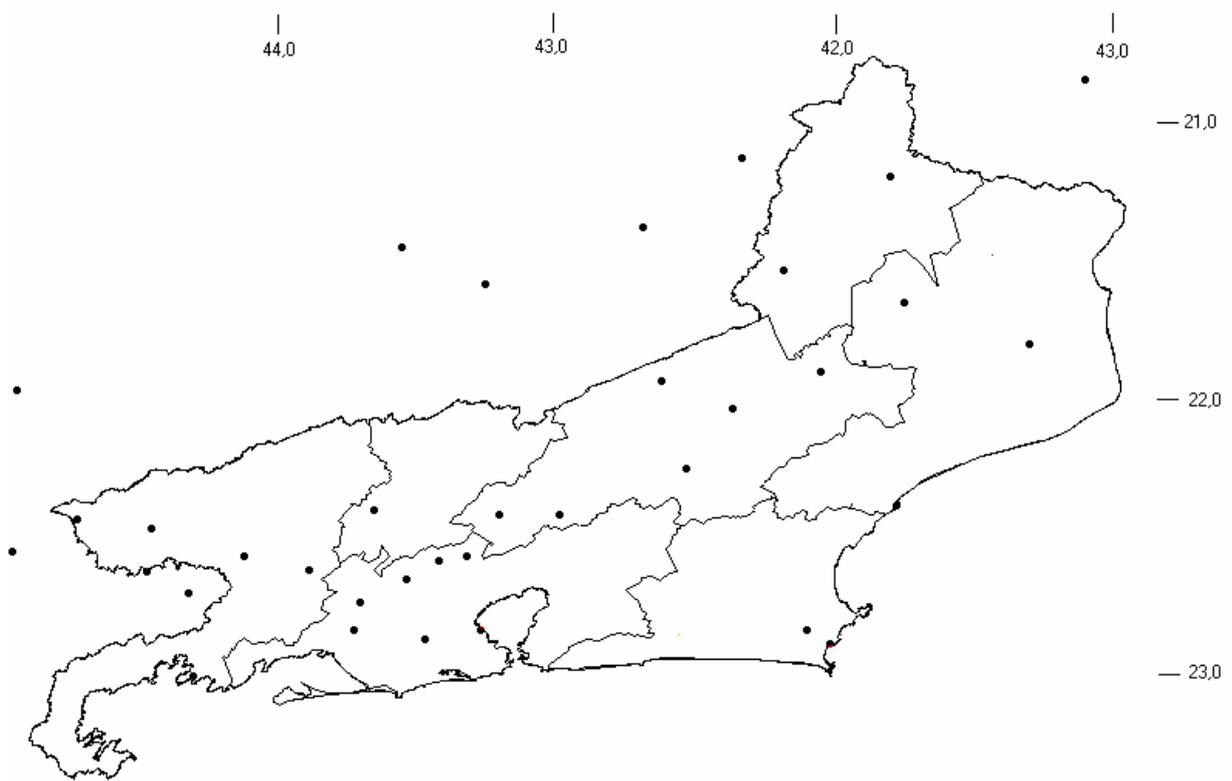


Figura 1 – Mapa base do Estado do Rio de Janeiro com as estações climáticas seleccionadas.

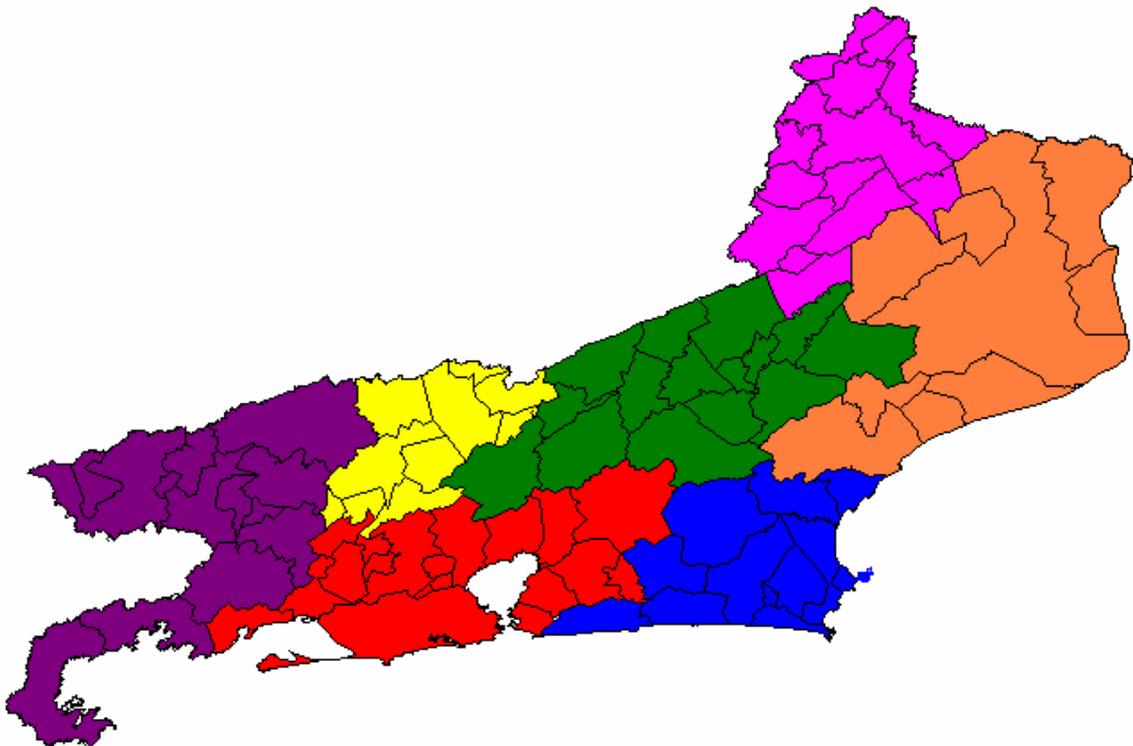


Figura 2 – Mapa do Estado do Rio de Janeiro com as mesorregiões.

### 3. Programa computacional

Como previsto no projeto, foi desenvolvido um programa computacional para a estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda de irrigação, utilizando a linguagem DELPHI, em ambiente Windows, o qual será apresentado a seguir.

#### 3.1 - Estrutura básica

A Figura 3 apresenta a tela inicial do programa que é dividido em três módulos, os quais foram chamados de Banco de Dados, Série Histórica e Planejamento.

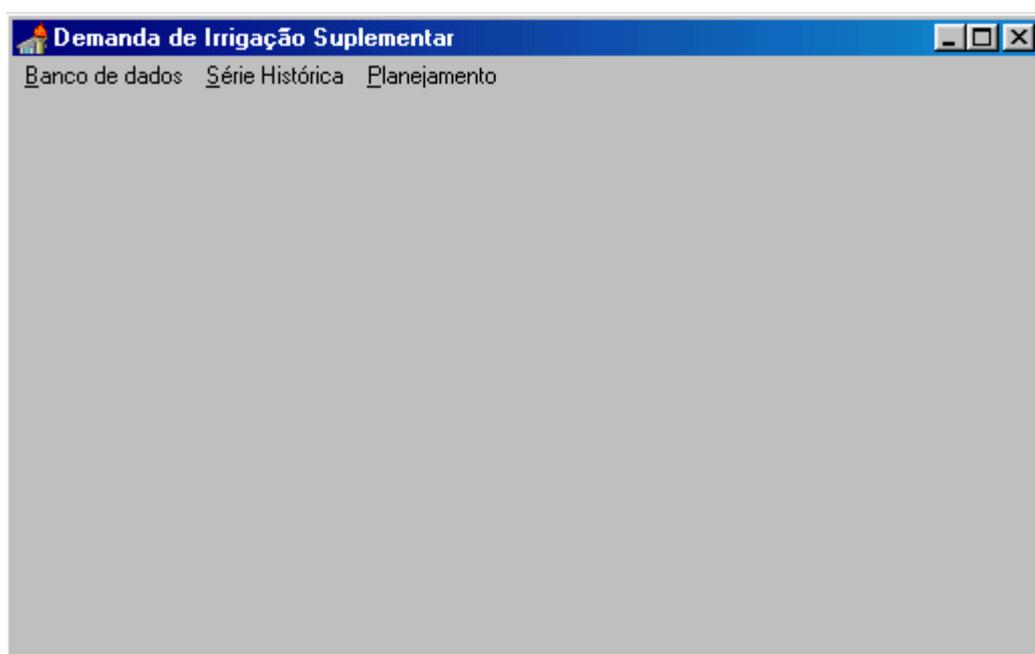


Figura 3 – Tela de entrada no programa para o cálculo da demanda de irrigação.

#### 3.2 – Módulo Banco de dados

Este primeiro módulo tem como objetivo converter os dados climáticos provenientes de um arquivo padrão INMET para um formato adequado, a ser utilizado pelo programa (Figura 4). Dessa forma, os dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura do bulbo molhado, insolação, velocidade do vento, radiação e precipitação, contidos no arquivo INMET, são separados para cada variável climática, originando arquivos cujos nomes se relacionam com a variável climática e o

nome da estação climatológica. Assim, foram adotados os seguintes prefixos: tx (temperatura máxima), tm (temperatura mínima), tb (temperatura de bulbo molhado), il (insolação), vv (velocidade do vento) e pr (precipitação), que são seguidos do número da estação e da extensão “ DAT ”. O padrão adotado nos arquivos de saída seguem o modelo proposto por SOUSA (1993).

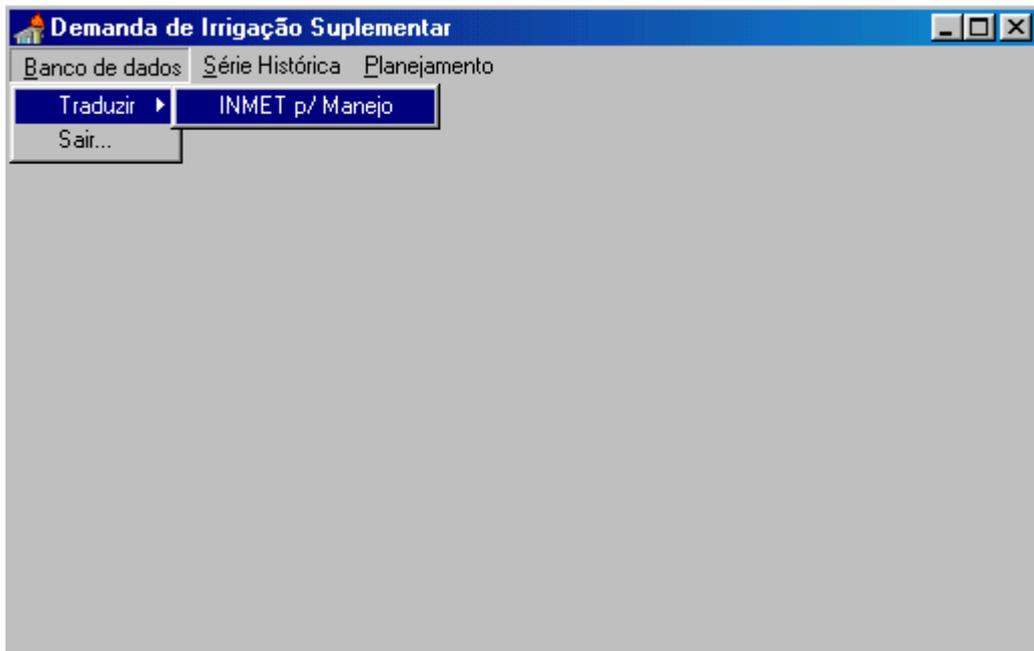


Figura 4 – Modulo Banco de Dados

### 3.3 - Módulo Série Histórica

O módulo série histórica é dividido basicamente em dois sub-módulos: Entrada de Dados e Efetua os Cálculos (Figura 5).

Quando escolhida a opção “Entrada de Dados”, o programa abre uma caixa de diálogo, onde são apresentados os arquivos já existentes referentes à série histórica. O nome desses arquivos normalmente possui o nome da cidade seguido da extensão “SHR“. Na Figura 6 é apresentada uma caixa de diálogo onde é selecionado o arquivo cabofrio.shr. Ao clicar em “OK”, o programa apresenta um formulário com os dados relativos ao arquivo selecionado. Nele estão contidos: a) os dados locais como nome da cidade, latitude, longitude, hemisfério e altitude (Figura 7); b) o tipo de método de estimativa da evapotranspiração potencial de referência, que pode ser Penman, Penman-Monteith, Radiação , Hargreaves e Blaney- Criddlle (Figura 8) e c) os dados referentes ao

cálculo da precipitação dependente como o nível de probabilidade, o período e o método a ser utilizado: Kimbal ou a distribuição Gama (Figura 9).

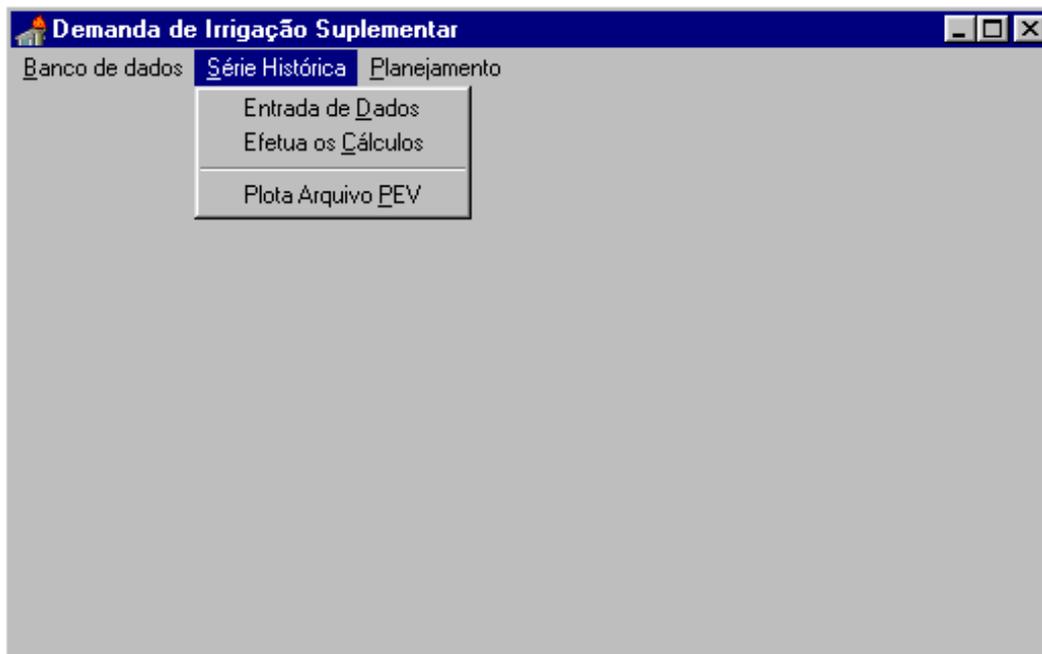


Figura 5 – Módulo Série Histórica.

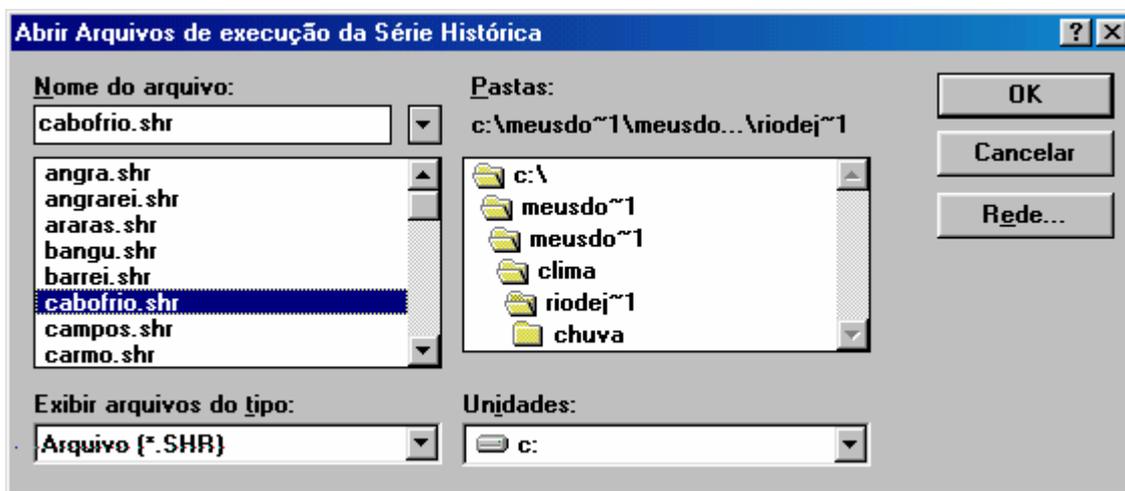


Figura 6 – Formulário de abertura do arquivo de série histórica.

Define os parâmetros da Série Histórica

Dados Locais    Evapotranspiração    Precipitação

Cidade: Cabo Frio

Latitude: 22° 59' 00"    Longitude: 42° 02' 00"

Hemisfério: Sul    Altitude: 2.89 m

OK    Cancel    Help

Figura 7 – Formulário para a entrada dos dados locais.

Define os parâmetros da Série Histórica

Dados Locais    Evapotranspiração    Precipitação

Tipo de equação

Equação: Penman-Mont.

- Penman
- Penman-Mont.
- Hargreaves
- Radiação

OK    Cancel    Help

Figura 8 – Formulário para a seleção do método de estimativa da evapotranspiração.

No início de cada operação, basta digitar um nome de arquivo qualquer, diferente dos que são apresentados. Neste momento, o usuário será perguntado se deseja criá-lo e, se a opção for sim, o mesmo formulário aparecerá, porém com os campos em branco.



Figura 9 - Formulário para a seleção do método de estimativa da precipitação dependente.

Uma vez selecionado o arquivo contendo os dados locais, de evapotranspiração e de precipitação pode-se optar por “Efetuar os Cálculos”. Nesta opção, deverá ser fornecido o nome do arquivo climático da estação de interesse (Figura 10). De posse dessas informações, o programa executará, em primeiro lugar, o cálculo da precipitação dependente, em função do nível de probabilidade, do período e do método desejados. O arquivo de precipitação (pr\*.DAT) é assinalado e é feita uma pesquisa em todos os dados: para cada dia do ano e para todos os anos contidos na série.

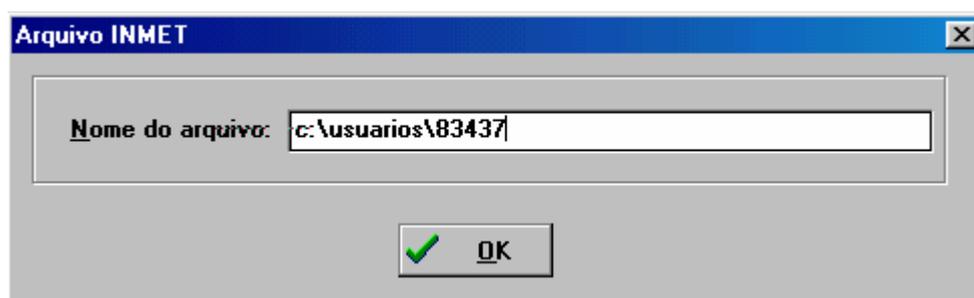


Figura 10 – Formulário de entrada do arquivo de dados climáticos.

Uma vez os dados agrupados em períodos de “n” dias (valor adotado), é executado o procedimento relativo à distribuição Gama de probabilidade. Após o cálculo dos parâmetros de forma e de escala da função, o valor de precipitação dependente é selecionado em função do nível de probabilidade adotado.

Terminada a estimativa da precipitação dependente, os demais arquivos climáticos são assinalados e, após se calcular a média diária de cada variável, o cálculo da evapotranspiração é iniciada em função do método escolhido, conforme Figura 8. Ao fim desta seção, o programa cria um arquivo texto (\*.PEV), onde os dados diários de precipitação dependente e de evapotranspiração podem ser analisados.

### 3.4 – Módulo Planejamento

Tomando como base as informações geradas no módulo anterior, no módulo planejamento é realizado todo o balanço de água no solo a fim de estimar a demanda de irrigação da cultura (Figura 11).

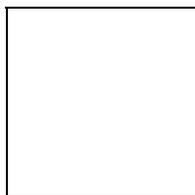


Figura 11 – Módulo Planejamento.

Ao escolher o campo "Entrada de Dados", o formulário da Figura 12 é apresentado e é necessário fornecer um arquivo do tipo \*.PLA. Caso não exista nenhum, ao digitar o nome do arquivo novo, o formulário da Figura 13 é apresentado com os campos vazios. Neste momento, pode ser inserido no programa os parâmetros físico-hídricos do solo onde será realizado todo o planejamento, além do arquivo \*.PEV originado no módulo "Série Histórica".

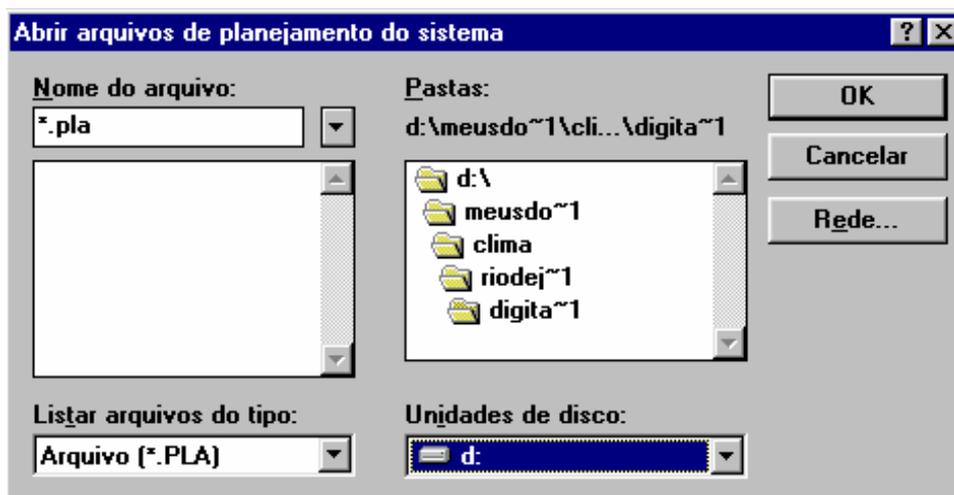


Figura 12 – Formulário de entrada de dados para o planejamento da irrigação.

**Define o sistema do Planejamento**

**Dados do Solo**

Capacidade de campo  [% em peso]

Ponto de Murcha  [% em peso]

Densidade Aparente

**Nome do Arquivo da Série Histórica**

Figura 13 – Formulário de entrada dos parâmetros físico-hídricos do solo e do arquivo de precipitação e evapotranspiração (originado no módulo série histórica).

Uma vez realizada a entrada de dados, a opção "Efetua Cálculos" (Figura 11) pode ser utilizada e, a partir daí, é feita a opção para a cultura do milho ou do feijão. Como arquivo de saída, o programa apresenta um arquivo \*.RES, onde são listadas a demanda de irrigação para a cultura considerando a mesma sendo plantada ao longo de cada dia do ano e, no final, são apresentadas a demanda diária máxima para irrigação suplementar e o seu dia de ocorrência.

#### 4. Espacialização da informações

Como o programa fornece dados diários de ETo (Evapotranspiração de referência), foram calculados os valores médios mensais para fins de espacialização e apresentação dos mapas temáticos. Para isso, foram criados, para cada mês, arquivos georreferenciados, ou seja, arquivos contendo as coordenadas de latitude e longitude para cada localidade (Figura 1) e o valor mensal de ETo.

Em seguida, utilizando o programa SURFER, essas informações foram regionalizadas, adotando o método do inverso da distância para fins de interpolação, com

expoente da distância igual a 4. Os arquivos criados foram então exportados para o IDRISI for Windows, onde foram criados mapas temáticos com 310 linhas por 420 colunas, obtendo um tamanho de célula de, aproximadamente, 1 km por 1 km. Neste mesmo programa, as imagens foram reclassificadas de modo a apresentar classes de evapotranspiração de 0,5 em 0,5 mm/dia. As Figuras de 14 a 19 apresentam os mapas mensais de ETo para o Estado do Rio de Janeiro.

#### 4.1 – Evapotranspiração

A evapotranspiração de referência é um parâmetro importante no planejamento e no manejo da irrigação, que tornam ainda mais fácil quando esta variável é apresentada em mapas.

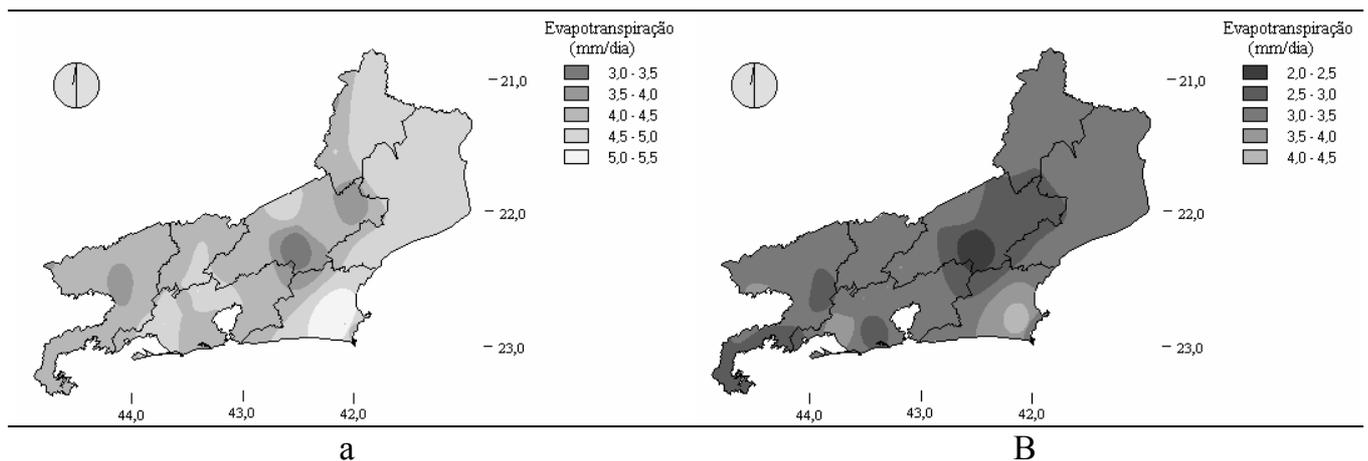


Figura 14 - Evapotranspiração de referência (mm/dia) para os meses de Janeiro (a) e Fevereiro (b), no Estado do Rio de Janeiro

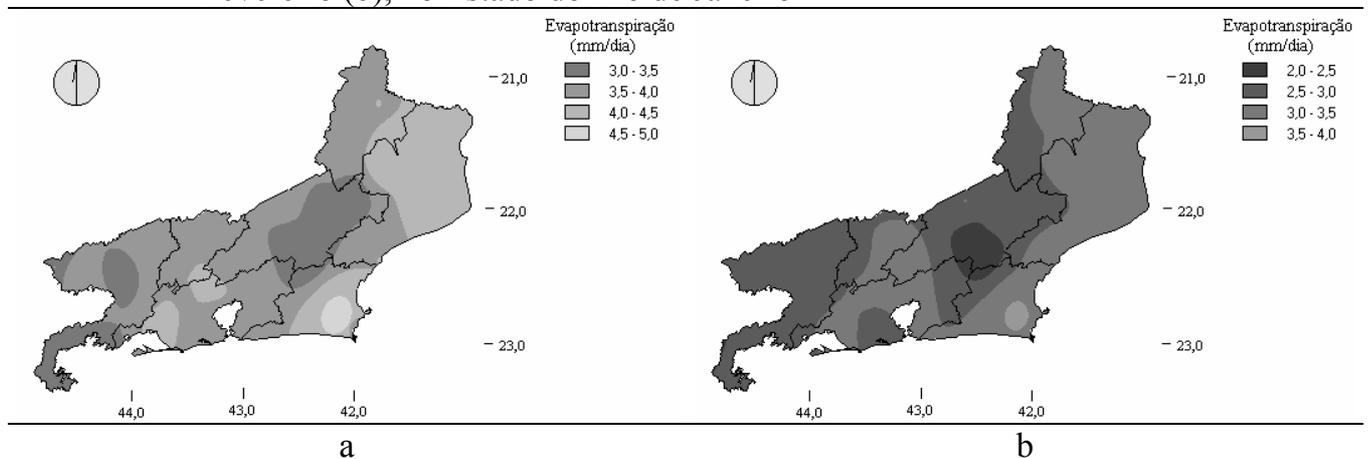


Figura 15 - Evapotranspiração de referência (mm/dia) para os meses de Março (a) e Abril (b), no Estado do Rio de Janeiro

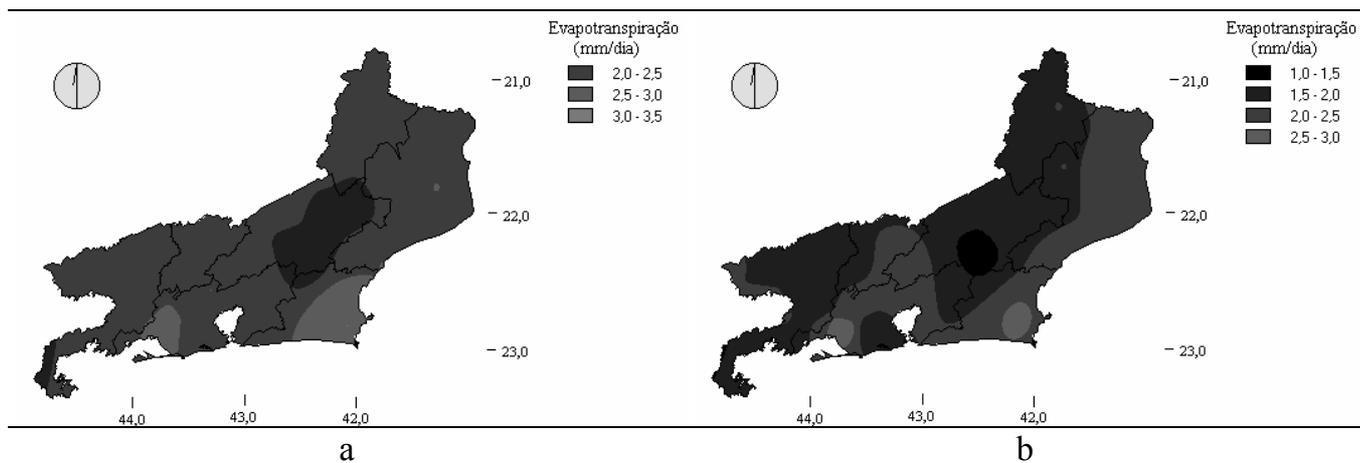


Figura 16 - Evapotranspiração de referência (mm/dia) para os meses de Maio (a) e Junho (b), no Estado do Rio de Janeiro

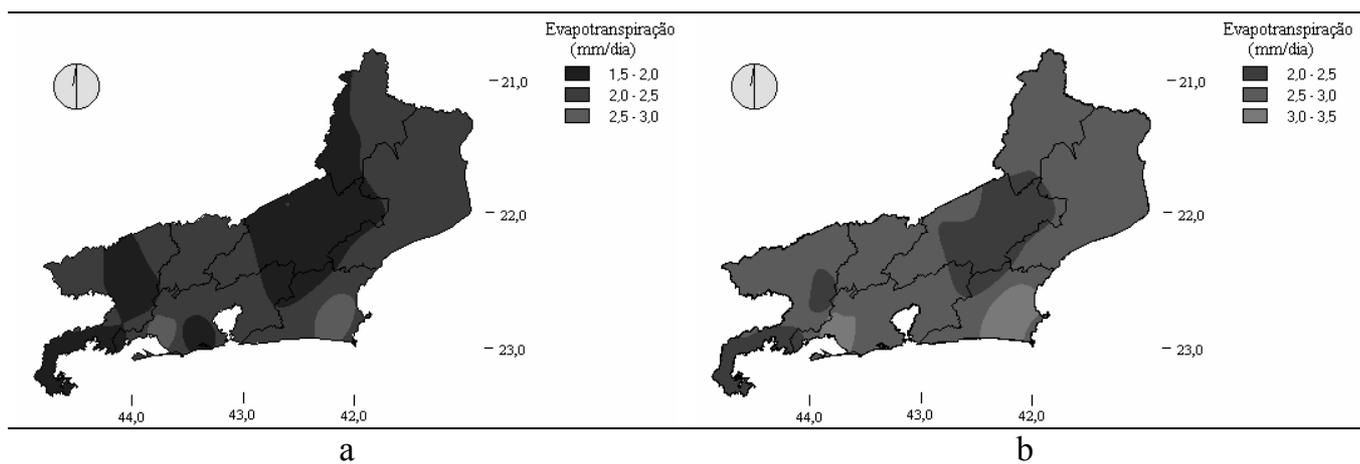


Figura 17 - Evapotranspiração de referência (mm/dia) para os meses de Julho (a) e Agosto (b), no Estado do Rio de Janeiro

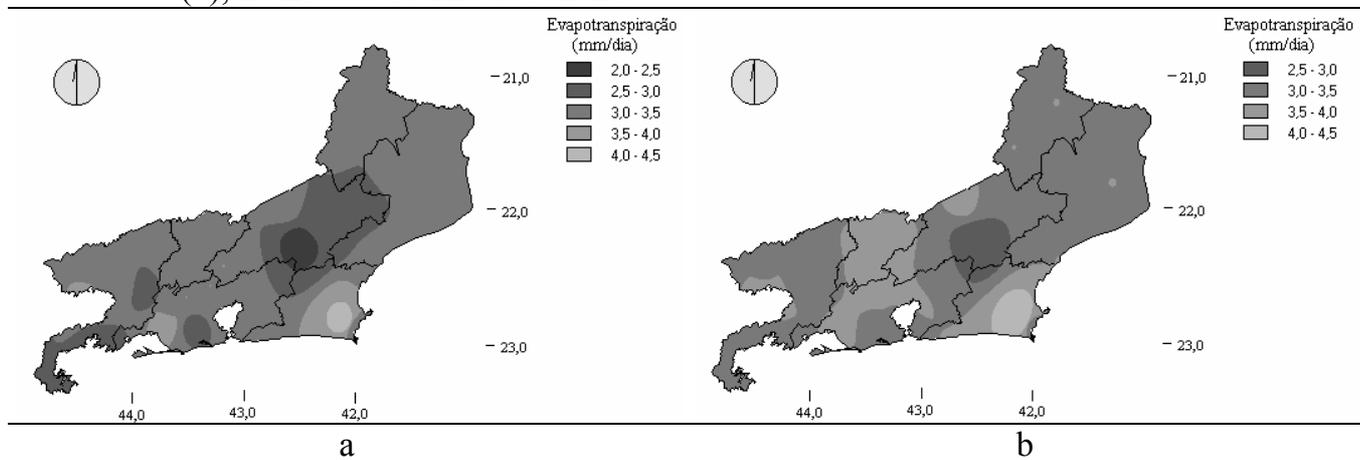


Figura 18 - Evapotranspiração de referência (mm/dia) para os meses de Setembro (a) e Outubro (b), no Estado do Rio de Janeiro

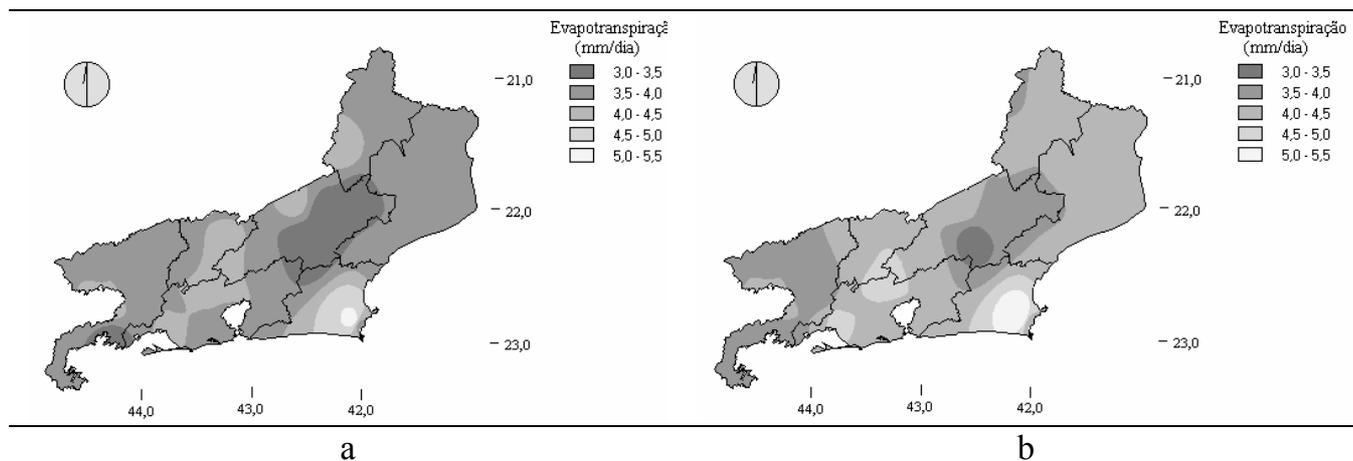


Figura 19 - Evapotranspiração de referência (mm/dia) para os meses de Novembro (a) e Dezembro (b), no Estado do Rio de Janeiro

Nestes mapas, percebe-se facilmente a variação da ETo ao longo do ano, apresentando valores baixos no inverno e altos no verão. Além disso, pode-se notar que a região serrana apresentou os menores valores mensais de ETo, enquanto que os maiores valores foram observados na região litorânea.

Deve-se salientar que as regiões norte e noroeste do Estado são aquelas mais voltadas para a agricultura, tendo como referência a região de Campos dos Goytacazes. Para essas regiões, resultados mais precisos poderiam ser obtidos se o número de estações climatológicas disponíveis para a região fosse maior (conforme a Figura 1).

Uma discussão mais criteriosa será feita no item seguinte por constituir o ponto principal deste projeto.

#### 4.2 - Demanda de irrigação para o milho e feijão

Conforme dito anteriormente, a evapotranspiração é um parâmetro de extrema importância na engenharia de irrigação, bem como o conhecimento da demanda máxima de irrigação ao longo do ciclo da cultura, que é utilizado para fins de dimensionamento do sistema.

De maneira semelhante ao item 4.1, foram gerados mapas temáticos de demanda máxima de irrigação suplementar para as culturas do milho e do feijão para o Estado do

Rio de Janeiro. O trabalho científico apresentado a seguir, explica detalhadamente a metodologia utilizada na obtenção destes mapas bem como a discussão dos resultados. Vale lembrar que este trabalho foi aceito para apresentação no "Congresso Latinoamericano de Ingenieria Agricola" a ser realizado no México, em novembro.

**Obs: o trabalho está formatado conforme recomendação dos Organizadores**

## **5. Conclusões**

Como pode-se perceber, este projeto constitui uma importante ferramenta para auxiliar o planejamento da irrigação em uma região. Trabalhos futuros podem ser realizados para outras culturas de interesse, além da possibilidade de se trabalhar individualmente para cada região, levando em consideração a vocação e os cultivos agrícolas mais comuns em cada uma delas.

## **6. Agradecimento**

Aproveito a oportunidade para agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pela concessão deste recurso, fundamental para a execução deste projeto.

## **7. Literatura Citada**

IBGE, *Mapa Municipal Digital do Brasil – Situação em 1991 e 1994*. IBGE, Rio de Janeiro.1996. CD – Rom.

SOUSA, E.F. *Modelo computacional aplicado ao manejo e planejamento de irrigação*. Viçosa, MG:UFV, 1993. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.