

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

KARISIA MARA LIMA DE OLIVEIRA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DEMANDA DE ÁGUA PARA
IRRIGAÇÃO DO MELOEIRO (*Cucumis melo* L.) UTILIZANDO MODELO
REGIONALIZADO INTEGRADO A UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS**

FORTALEZA

2012

KARISIA MARA LIMA DE OLIVEIRA

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DEMANDA DE ÁGUA PARA
IRRIGAÇÃO DO MELOEIRO (*Cucumis melo* L.) UTILIZANDO MODELO
REGIONALIZADO INTEGRADO A UM SISTEMA DE INFORMATAÇÕES
GEOGRÁFICAS

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Ph.D. Fábio Rodrigues de Miranda

FORTALEZA

2012

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DEMANDA DE ÁGUA PARA
IRRIGAÇÃO DO MELOEIRO (*Cucumis melo* L.) UTILIZANDO MODELO
REGIONALIZADO INTEGRADO A UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Rodrigues de Miranda (Orientador)

Embrapa Agroindústria Tropical

Pesquisador Dr. Rubens Sonsol Gondim (Conselheiro)

Embrapa Agroindústria Tropical

Prof. Dr. José Antônio Delfino Barbosa Filho (Conselheiro)

Universidade Federal do Ceará - UFC

A minha filha Ana Laisa, que amo imensamente, a razão de todos os meus esforços.

Ao meu esposo, André, que sempre me apoiou profissionalmente.

A minha mãe, Claunia e meu irmão Kayck, que são meus pilares de sustentação.

Dedico por tudo que representam em minha vida, por acreditarem e me apoiarem incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a DEUS, que sempre me guiou e que fez possível a realização de um sonho.

A toda a minha família, pela confiança e força depositada em mim.

A Universidade Federal do Ceará (UFC) pela oportunidade de realização do curso de mestrado, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola.

A Embrapa Agroindústria Tropical, pelo espaço cedido durante o desenvolvimento da pesquisa no âmbito do projeto “Simulação de mudanças climáticas regionalizadas na cultura do melão e melancia, impactos e adaptações”.

Ao Prof. Dr. Fábio Rodrigues de Miranda, pela sua competência, ensinamentos, confiança, e qualidade na orientação imprescindível para a conclusão deste trabalho e pela compreensão demonstrada nos momentos de dificuldades.

Ao Pesquisador Dr. Rubens Sonsol Gondim, pelo auxílio na orientação e por sua objetividade e otimismo.

Ao Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana pelo interesse, sugestões apresentadas.

Ao Prof. Dr. José Antônio D. Barbosa Filho pela disponibilidade para participação da banca examinadora.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) UFC, Raimundo Nonato Távora Costa, Francisco Marcus de Lima Bezerra, Albanise Barbosa Marinho, Benito Moreira de Azevedo, Luis de França Camboim Neto, Claudivan Feitosa de Lacerda, José Carlos de Araújo, pelos conhecimentos transmitidos com tanta dedicação.

A Robervânia, inicialmente apenas colega de curso, porém que logo se tornou uma grande amiga, prestativa, solidária, sempre a disposição.

A Isabel e Edineide, minhas eternas amigas pelos momentos de alegria, amizade, e companheirismo. Sempre juntas nos momentos mais difíceis.

As amigas conquistadas durante o curso, Alexandre, João, Eduardo, Daniel, Simone, Micheli, Júnior, Bruno, Newdmar.

Ao Aryberg, pelo auxílio oferecido no decorrer do projeto e pela disponibilidade, amizade oferecida.

Ao Carlos Alberto, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, o qual dividiu alguns momentos de dúvidas comigo, se mostrando sempre prestativo.

Aos meus amigos de graduação e especialização Márcia, Neuzirene, Anita, Mayara, Annyelly, Ênio, Israel, Cabó, pela ajuda dada sempre que necessária.

Aos meus professores da graduação do IFCE, Sildemberny, Limeira, Fátima, Beбето, Luis César, pela amizade, contínuo incentivo, contribuições diversas e palavras de ensinamento.

Ao diretor do IFCE, Façanha, pela credibilidade e confiança que sempre teve em mim, e pelo incentivo.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos, viabilizando assim minha dedicação e tornando possível o alcance dessa conquista.

E a todos que de maneira direta ou indireta participaram do meu crescimento pessoal e profissional, e contribuíram de alguma forma para a conquista de mais essa experiência.

RESUMO

OLIVEIRA, Karisia Mara Lima de. Universidade Federal do Ceará, Dezembro de 2012. **Impactos das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação do meloeiro (*Cucumis melo L.*) utilizando modelo regionalizado integrado a um sistema de informações geográficas.** Orientador: Fabio Rodrigues de Miranda. Conselheiros: Rubens Sonsol Gondim, José Antônio Delfino Barbosa Filho.

O meloeiro é uma das hortaliças de maior importância econômica e de maior crescimento nas exportações na região Nordeste do Brasil. Como a maior parte da produção brasileira de melão ocorre na região semiárida e depende totalmente da irrigação, é provável que as mudanças climáticas em curso tenham impactos significativos sobre a demanda hídrica da cultura e sobre os recursos hídricos das principais regiões produtoras. O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de analisar os possíveis impactos das mudanças climáticas na necessidade hídrica da cultura do melão, considerando dois cenários de mudanças climáticas, aplicados em escala local. O estudo abrangeu a principal região produtora de melão no Brasil, formada pelo Agropolo de Mossoró e Açu-RN e o Agropolo do Baixo Jaguaribe-CE. Utilizou-se o sistema PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies), empregando-se o modelo climático regional HadRM3P do Hadley Centre. Na aplicação do modelo foi utilizado um conjunto de dados composto de uma *baseline* (climatologia de base) do período de 1961 a 1990 e de projeções climáticas futuras, para o ano de 2040, nos cenários de mudanças climáticas A2 e B2. Para interpolar as variáveis climáticas das coordenadas geográficas da região em estudo foi empregado o sistema de informações geográfica (SIG) ARCGIS 9.3[®]. Tendo por base o período em que se planta melão irrigado na região, consideraram-se três ciclos de cultivo (1º de julho a 5 de setembro, 1º de setembro a 5 de novembro, 1º de novembro a 5 de janeiro). A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método Penman-Monteith FAO com dados mínimos. As projeções das mudanças climáticas foram mapeadas e mostraram elevações médias da evapotranspiração de referência de 6,2% e 7,6%, e diminuição da precipitação pluviométrica de 38,3% e 55,9% nos cenários A2 e B2, respectivamente, a nível regional. Foi estimada uma elevação da necessidade hídrica bruta média de 8,7% e 10,5% para o ano de 2040, nos cenários A2 e B2, respectivamente.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. HadRM3P. Melão. Evapotranspiração. Irrigação.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Karisia Mara Lima de. Universidade Federal do Ceará, December 2012. **Impacts of climate change in demand for irrigation water melon (*Cucumis melo L*) using integrated regionalized model for a geographic information system.** Advisor: Fabio Rodrigues de Miranda. Advisors: Rubens Sonsol Gondim, José Antônio Delfino Barbosa Filho.

Melon is one of the most economically important crops and increasing exports in the Brazilian Northeast region. Since most of the Brazilian melon is grown in the semiarid region and depends entirely on irrigation, it is likely that climate changes underway will have significant impacts on the crop water demand and on water resources of the main producing regions. The present study aimed at analyzing the possible impacts of climate change on water requirement of the melon crop, considering two climate change scenarios, applied on a local scale. The study covered the main producing region of melon in Brazil, formed by subregions Mossoró and Açu, in state of Rio Grande do Norte state and Lower Jaguaribe in the state of Ceará. It was used the system PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies), with the regional climate model HadRM3P of the Hadley Centre. In applying the model we used a data set consisting of a baseline (basic climatology) for the period 1961 to 1990 and projections of future climate, for the year 2040, for the climate change scenarios A2 and B2. To interpolate the climatic variables for the geographic coordinates of the study area it was used a geographic information system (GIS) ARCGIS 9.3®. Bearing in mind the crop season in the region, three crop cycles were considered (July to September, September to November, November to January). Reference evapotranspiration was estimated by FAO Penman-Monteith method with minimal data. Projections of climate change were mapped and showed elevations of average reference evapotranspiration of 6.2% and 7.6%, and reductions in rainfall of 38.3% and 55.9%, in the scenarios A2 and B2, respectively, at regional level. It was estimated a rise in average gross water requirement of 8.7% and 10.5% for the year 2040, in the scenarios A2 and B2, respectively.

Keywords: Climatic changes. HadRm3P. Melon. Evapotranspiration. Irrigation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Área de estudo – principais municípios produtores de melão, nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte..... | 36 |
| Figura 2 - Mapa temático de altitude da região estudada..... | 43 |
| Figura 3- Regressão linear entre EToPM estimada com dados da estação de referência localizada em Limoeiro do Norte – CE e com dados limitados utilizando $K_r = 0,17$ por Gondim (2009). | 47 |
| Figura 4 - Variação do coeficiente de cultivo ao longo do ciclo da cultura do melão.. | 48 |
| Figura 5 - Planilha utilizada para o cálculo da ETc do meloeiro. | 49 |
| Figura 6 - Mapa temático da precipitação anual (mm) para o período 1961-1990 (<i>baseline</i>). 50 | |
| Figura 7 - Mapa temático das projeções da precipitação anual (mm) para 2040, cenário A2.50 | |
| Figura 8 - Mapa temático das projeções da precipitação anual (mm) para 2040, cenário B2. 51 | |
| Figura 9 - Projeções da evapotranspiração mensal - ETo (mm) para os três ciclos, no período de baseline e no ano de 2040, cenários A2 e B2 na região estudada..... | 54 |
| Figura 10 -Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão para o período de 1961-90..... | 55 |
| Figura 11 -Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão para o ano de 2040 no cenário A2 | 56 |
| Figura 12 -Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o ano de 2040 no cenário B2. | 56 |
| Figura 13 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 2 (setembro a novembro) do melão para o período de 1961 - 1990..... | 57 |
| Figura 14 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 2 (setembro a novembro) do melão para o ano de 2040 no cenário A2 | 57 |
| Figura 15 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 2 (setembro a novembro) do melão para o ano de 2040 no cenário B2. | 58 |
| Figura 16 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 3 (novembro a janeiro) do melão para o período de 1961 - 1990..... | 58 |
| Figura 17 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 3 (novembro a janeiro) do melão para o ano de 2040 no cenário A2. | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 18 -Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 3 (novembro a janeiro) do melão para o ano de 2040 no cenário B2. | 59 |
| Figura 19 -Precipitação mensal (mm) para os três ciclos, no período de <i>baseline</i> e no ano de 2040, cenários A2 e B2..... | 63 |
| Figura 20 -Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o período de 1961- 1990. | 64 |
| Figura 21 -Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o ano de 2040, no cenário A2. | 64 |
| Figura 22 -Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o ano de 2040, no cenário B2..... | 65 |
| Figura 23 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 2 (setembro a novembro) do melão, para o período de 1961- 1990. | 65 |
| Figura 24 -Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 2 (setembro a novembro) do melão, para ano de 2040, no cenário A2. | 66 |
| Figura 25 -Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 2 (setembro a novembro) do melão, para o ano de 2040, no cenário B2..... | 66 |
| Figura 26 -Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 3 (novembro a janeiro) do melão, para o período de 1961- 1990. | 67 |
| Figura 27 -Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 3 (novembro a janeiro) do melão, para o ano de 2040, no cenário A2. | 67 |
| Figura 28 -Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 3 (novembro a janeiro) do melão, para o ano de 2040, no cenário B2..... | 68 |
| Figura 29 - Comparação gráfica da necessidade hídrica bruta (NHB), para o período de <i>baseline</i> e o ano de 2040 nos cenários A2 e B2, para cada ciclo (mm)..... | 70 |
| Figura 30 - Mapa temático da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 1 para o período de 1961-1990. | 72 |
| Figura 31 -Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 1 para 2040, cenário A2..... | 72 |
| Figura 32 -Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 1 para 2040, cenário B2..... | 73 |
| Figura 33 -Mapa temático da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 2 para o período de 1961-1990. | 73 |
| Figura 34 -Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 2 para 2040, cenário A2..... | 74 |

| | |
|--|----|
| Figura 35 -Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 2 para 2040, cenário B2..... | 74 |
| Figura 36 -Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 3 para o período de 1961-1990..... | 75 |
| Figura 37 -Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 3 para 2040, cenário A2..... | 75 |
| Figura 38 -Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 3 para 2040, cenário B2..... | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Hipóteses de projeções futuras para 2040 nos cenários A2 e B2 | 40 |
| Tabela 2 - Correção de viés dos dados de chuva, temperatura máxima e mínima para o mês de janeiro | 41 |
| Tabela 3 - Radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) para os meses do ano, de acordo com a latitude..... | 45 |
| Tabela 4 – Projeções da evapotranspiração de referência - ETo Penman-Monteith mensal (mm) para os três ciclos, estimada com dados mínimos para o ano de 2040, cenários A2 e B2 - mínimos, máximos, média e desvio padrão observados e o total nos ciclos (mm), em relação ao período de referência (1961-90), na região estudada..... | 54 |
| Tabela 5 - Valores de Kcs, ETcs diários e ETo total durante os ciclos , dentro de cada fase e para o período de <i>baseline</i> e 2040, nos cenários A2 e B2, na região estudada..... | 60 |
| Tabela 6 - Precipitação média mensal (mm) para os três ciclos, na climatologia de base do modelo e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2 - mínimos, máximos, média e desvio padrão observados, na região estudada..... | 62 |
| Tabela 7 - Necessidade hídrica bruta (NHB) em cada ciclo (mm) para o período de <i>baseline</i> e 2040 nos cenários A2 e B2..... | 69 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1 | A cultura do melão | 17 |
| 2.1.1 | Épocas de plantio e colheita | 18 |
| 2.1.2 | Clima..... | 18 |
| 2.2 | Irrigação | 19 |
| 2.2.1 | Evapotranspiração..... | 21 |
| 2.2.2 | Coeficiente de cultivo (Kc) | 23 |
| 2.3 | Mudanças climáticas | 24 |
| 2.3.1 | Modelos de mudanças climáticas | 27 |
| 2.3.2 | Correção de viés | 29 |
| 2.3.3 | Climatologia de base (<i>baseline</i>)..... | 30 |
| 2.3.4 | Cenários de mudanças climáticas | 31 |
| 2.3.5 | Impactos na agricultura irrigada | 33 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 3.1 | Área de estudo | 36 |
| 3.1.2 | Climatologia das regiões produtoras..... | 37 |
| 3.2 | Etapa 1 | 37 |
| 3.2.1 | Dados de entrada no modelo climático..... | 37 |
| 3.2.2 | Caracterização do Modelo Climático Regional (HadRM3P) | 38 |
| 3.2.3 | Caracterização dos cenários de mudanças climáticas..... | 39 |
| 3.2.4 | Dados de saída do modelo climático | 40 |
| 3.3 | Etapa 2 | 41 |
| 3.3.1 | Estimativa da ETo por Penman-Monteith utilizando dados mínimos | 41 |
| 3.4 | Etapa 3 | 47 |
| 3.4.1 | Programação dos ciclos de plantio | 47 |
| 3.4.2 | Determinação dos valores de Kcs e ETcs..... | 48 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.4.3 | Cálculo da necessidade hídrica..... | 49 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 53 |
| 4.1 | Evapotranspiração de referência (ET_o)..... | 53 |
| 4.2 | Coefficientes de cultivo para cada período..... | 60 |
| 4.3 | Precipitação média mensal (P_{Pt})..... | 62 |
| 4.4 | Necessidade hídrica bruta (NHB)..... | 69 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 77 |
| | REFERÊNCIAS..... | 78 |

1 INTRODUÇÃO

O melão (*Cucumis melo* L.) possui significativa importância social e econômica no Brasil, sendo produzido em todos os estados do país. Atualmente a produção brasileira de melão está concentrada em dois estados, os quais, em conjunto são responsáveis por quase 90% da produção desta hortaliça, ambos localizados no Nordeste. A zona de maior importância é a do pólo meloeiro do RN/CE, que é um conjunto composto pelo Agropolo de Mossoró e Açu, no Rio Grande do Norte, e pelo Agropolo do Baixo Jaguaribe e Distrito de Irrigação Baixo Acaraú, no Ceará.

O meloeiro é uma das hortaliças de maior importância econômica no mercado brasileiro, sendo uma das culturas de posição mais uniforme e de maior ascendência nas exportações de hortaliças do País. Atualmente, o Brasil está entre os dez maiores produtores de melão no mundo, com uma produção de aproximadamente 390 mil toneladas (FAO, 2010).

A região Nordeste do Brasil possui condições edafoclimáticas favoráveis para a produção dessa cultura, como alta luminosidade, temperatura máxima elevada e baixa umidade relativa do ar. Porém, essas condições devem estar associadas à irrigação eficiente, haja vista que a água é um recurso natural, portanto seu uso adequado é fundamental para evitar que se torne um recurso mais escasso.

O plantio de melão para o mercado externo na região Nordeste teve início no estado do Rio Grande do Norte. Estas áreas espalharam-se posteriormente ao longo da fronteira com o Ceará. Existem aproximadamente 14 mil hectares de melão plantados no Rio Grande do Norte e Ceará, permitindo que cerca de 190 mil toneladas sejam exportadas e gerando um faturamento anual de mais de US\$ 100 milhões. No mercado interno, são cerca de 30 mil toneladas e faturamento anual de US\$ 20 milhões. O Estado do Ceará incrementou extraordinariamente a área plantada com melão nos últimos anos, tornando-se o segundo maior produtor do país (BRAGA SOBRINHO et al., 2008).

O Nordeste é espaço geográfico fortemente heterogêneo tanto do ponto de vista natural, quanto econômico. As desigualdades socioeconômicas existentes no país se reproduzem na Região de forma acentuada. Essas desigualdades podem se acentuar, de maneira drástica, uma vez que o Nordeste deve ser uma das regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas no Brasil. Por isso, é preciso construir respostas rápidas para enfrentar esse problema.

No Brasil, o estado do Rio Grande do Norte, sobretudo a região do Agropolo Mossoró/Açu, devido às condições edafoclimáticas (solo, temperatura, umidade relativa do ar, etc.) e à disponibilidade de mananciais de água superficial e subterrânea, tem se destacado no cultivo do meloeiro (IBGE, 2009).

Segundo o IBGE 2009, em nível de Brasil a área plantada de melão em 2008 foi de 15.788 hectares, a quantidade produzida foi de 340.464 toneladas, e o valor da produção R\$ 257 milhões. O Nordeste tinha em 2008, 13 mil ha plantados com melão, onde foram produzidas 316 mil toneladas, gerando R\$ 235 milhões. No Ceará a área plantada de melão foi de 6,8 mil ha, a quantidade produzida foi de 170.424 toneladas e o valor da produção R\$ 150 milhões. No Rio Grande do Norte a área plantada em 2008 foi de 3.591 hectares, produzindo cerca de 100 mil toneladas, que gerou R\$ 53 milhões.

O manejo da água para a cultura do meloeiro é um dos aspectos do sistema produtivo que exige mais cuidado, pois a umidade do solo tem papel fundamental em todo ciclo da cultura. Em atividades em que a água é um recurso natural determinante, como é o caso da agricultura irrigada e gestão de recursos hídricos, a estimativa da evapotranspiração é de fundamental importância.

O Brasil, por apresentar a maior parte do seu território situado em regiões tropicais, possui grande vulnerabilidade às mudanças climáticas, que podem afetar significativamente o agronegócio. Diante disso, estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas têm recebido atenção especial em muitas pesquisas e discussões políticas, visando reduzir a vulnerabilidade dos sistemas produtivos, as quais podem ser diferentes dependendo do local de exploração.

No Nordeste do Brasil as áreas semiáridas e áridas devem sofrer uma redução nos recursos hídricos, pois a recarga estimada dos lençóis freáticos poderá diminuir dramaticamente. A combinação das alterações do clima, escassez de chuva, associada a altas temperaturas e altas taxas de evaporação atingiriam drasticamente a população que vive da agricultura de subsistência.

O Nordeste caracteriza-se naturalmente como de alto potencial para evaporação de água, em função da enorme disponibilidade de radiação e altas temperaturas. Aumentos de temperatura associados a mudanças de clima, independente do que possa vir a ocorrer com as chuvas, já seriam suficientes para causar maior evaporação dos lagos, açudes e reservatórios e maior demanda evapotranspirativa das plantas.

As mudanças climáticas têm sido alvo de diversas discussões e pesquisas científicas. De acordo com os climatologistas nas últimas décadas ocorreu um significativo

aumento da temperatura mundial, fenômeno conhecido como aquecimento global. No decorrer dos anos tem sido constatado o aumento da temperatura em consequência da emissão de gases de efeito estufa (GEE), causando alguns impactos ambientais como também danos à saúde humana. Hoje as mudanças climáticas e os impactos ambientais são temas amplamente discutidos por todas as comunidades internacionais.

Cenários futuros derivados de modelos de mudanças climáticas proporcionam uma estimativa das alterações dos padrões extremos de chuva, sendo também importante a verificação de variáveis dinâmicas para um melhor entendimento dos mecanismos físicos responsáveis pela geração dessas anomalias.

Diante desse contexto, o presente estudo tem o objetivo de analisar os possíveis impactos das mudanças climáticas na necessidade hídrica da cultura do melão, considerando dois cenários de mudanças climáticas aplicados em escala local, em nível das principais regiões produtoras de melão do Brasil (Agropolo de Mossoró e Açu, no Rio Grande do Norte, e Agropolo do Baixo Jaguaribe, no Ceará), e com base nos resultados obtidos indicar as melhores alternativas para mitigar tais efeitos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do melão

O meloeiro é uma planta anual, herbácea, de caule prostrado, com o número de hastes ou ramificações variável em função da cultivar. As folhas são alternadas, simples, palmadas, angulosas quando jovens e subcodiformes quando completamente desenvolvidas, possui grandes gavinhas, que são órgãos de sustentação da planta e nascem nas axilas das folhas (PEDROSA, 1997). Segundo Moreira et al. (2009), o meloeiro é uma planta rasteira, com frutos de formato variável (redondo, oval ou alongado), com 20 a 25 cm de diâmetro, casca lisa, enrugada ou rendilhada, pesando de um a quatro quilos em média, dependendo do tipo e da cultivar.

É um olerícola originária da África e Ásia, cuja introdução no Brasil foi feita por imigrantes europeus, tendo iniciado seu cultivo em meados da década de 60, no Rio Grande do Sul (SOUSA et al., 1999).

A espécie *Cucumis melo L.* pertence à família das cucurbitáceas, que é um dos grupos de plantas mais diversificados geneticamente no reino vegetal e compreende cerca de 120 gêneros e mais de 800 espécies (RUBATZKY & YAMAGUSHI, 1997). O melão é o termo moderno preferido para denominar membros do gênero *Cucumis*, subtribo Cucumerinae, tribo Melothriaceae, subfamília Cucurbitoideae, família Cucurbitaceae, sendo que o gênero também inclui o pepino (PAIVA & QUEIROZ, 2003).

Nas últimas décadas o país deixou de ser importador de melão europeu e passou a exportador. Este fato deve-se à produção do melão no Nordeste brasileiro, onde existem condições climáticas favoráveis a seu cultivo o ano todo, contribuindo para uma alta produtividade e qualidade, favorecendo a aparência e o sabor da fruta. A região Nordeste é a principal produtora de melão, contribuindo com mais de 90% da produção nacional (NAKAMEA, 2004).

2.1.1 Épocas de plantio e colheita

Quando comparado a outras culturas, o melão cultivado no Nordeste tem o ciclo muito curto, o intervalo entre o plantio e a colheita dura entre 60 e 65 dias, enquanto que na Espanha, um dos principais concorrentes do Brasil, o ciclo dura entre 120 e 140 dias (FILGUEIRAS et al., 2000).

É importante levar em conta a variação estacional de preços do produto no mercado. Os plantios realizados de dezembro a abril apresentam produtividade reduzida em decorrência de condições climáticas desfavoráveis. É nessa época que o melão alcança os melhores preços, registrando-se os maiores valores de março a julho (COSTA, 2001).

A época de plantio mais adequada é aquela em que, durante todo o ciclo da cultura, ocorrem condições climáticas favoráveis. Para cada região, essas condições são variáveis ocorrendo em épocas diferentes do ano, de acordo com sua localização e altitude. Em geral, nas regiões de clima frio, o plantio do melão é feito de outubro a fevereiro; nas de clima ameno, de agosto a março, e nas de clima quente, durante o ano todo. Deve-se evitar, porém, as épocas de chuvas intensas (SILVA; COSTA; CARRIJO, 2003).

Em locais onde as temperaturas concentram-se na faixa de 18 a 35 °C o meloeiro pode ser cultivado o ano todo. A partir de 55 a 90 dias do plantio quando os frutos estão quase maduros com coloração amarela, inicia-se a colheita, nas horas frescas, conservando os frutos em lugar sombreado até o momento da seleção e embalagem (MOREIRA et al., 2009).

2.1.2 Clima

A planta requer clima quente e umidade relativa baixa para o seu desenvolvimento, pois do contrário tem baixa produção e frutos de qualidade inferior. Exige temperaturas variando de 28 °C a 32 °C para germinação das sementes, 20 °C a 23 °C para floração e 25 °C a 30 °C para o desenvolvimento vegetativo (NICOLAS et al., 1989).

O melão é exigente em clima, seu crescimento é prejudicado por temperatura do ar inferior a 13 °C ou superior a 40°C, sendo que a faixa ótima se encontra entre 25 e 32 °C. Com relação à umidade do ar, a faixa ideal durante o crescimento é de 60 a 70% (BRANDÃO FILHO & VASCONCELLOS, 1998).

O clima ideal para o cultivo do meloeiro inclui períodos com dias longos, livres de geadas, com bastante luz solar, calor e ar seco, portanto o clima semiárido favorece o desenvolvimento das plantas, contribuindo para aumentar a produtividade e a concentração de açúcares no fruto (SOUSA et al., 1999; FILGUEIRA, 2000).

Segundo Carvalho (2006), a temperatura é o principal fator climático que afeta o meloeiro, desde a germinação das sementes até qualidade dos frutos. Para haver um bom crescimento das plantas e boa produtividade, a cultura necessita de temperaturas elevadas, na faixa de 20 a 30°C.

De acordo com Reis Júnior (2007), o clima quente e seco do semiárido brasileiro exerce grande influência na produção e na qualidade final do produto.

A região Nordeste é a grande produtora nacional de melão, devido às condições de solo e clima, bem como ao uso de tecnologias de irrigação (SOUSA et al., 1999).

A variabilidade interanual da distribuição de chuvas no Nordeste do Brasil, tanto em escala espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico (MOLION & BERNARDO, 2002).

Os elementos do tempo e do clima afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas sobre diferentes formas e nas diversas fases do ciclo da cultura, logo o conhecimento da variabilidade espacial dos elementos climatológicos, como deficiência hídrica do solo, excedente hídrico, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, armazenamento de água no solo e a disponibilidade hídrica, se torna indispensável no planejamento e na implantação de uma atividade agrícola (PEREIRA et al., 2002; BLACK, 2007; SENTELHAS et al., 2010).

2.2 Irrigação

Na maior parte das terras agricultáveis não se utiliza a irrigação, dependendo-se exclusivamente dos regimes pluviais. Em algumas regiões, principalmente nos cerrados, a precipitação total do período chuvoso é suficiente para o desenvolvimento da agricultura, porém é comum a ocorrência de sequência de dias secos durante a estação chuvosa, o que é conhecido como veranico (SOUSA, 1999). Dessa forma, é importante conhecer o

comportamento dos elementos climáticos em cada localidade, especialmente do regime pluviométrico, para auxiliar na tarefa de otimização do aproveitamento dos recursos naturais e na obtenção da máxima produção ao menor custo possível (PAIVA, 1997).

A irrigação é uma prática agrícola cujo propósito é manter adequado o estado hídrico das plantas para assegurar o desenvolvimento, a produtividade e a rentabilidade econômica. Mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos na agricultura irrigada e para que o objetivo da irrigação seja atingido, deve-se adotar e praticar um manejo correto (BERNARDO et al., 2006).

A agricultura irrigada tem sido importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, proporcionando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda de forma estável. Mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas (MANTOVANI, et al., 2007).

Os sistemas de irrigação localizada são de grande importância no cenário agrícola brasileiro, com aplicações voltadas principalmente para a fruticultura, horticultura e fertirrigação (MATOS et al., 1999).

Pelo fato de proporcionar maior produtividade e frutos de melhor qualidade, a irrigação do meloeiro, nas principais regiões produtoras do Brasil, é realizada quase que exclusivamente por gotejamento. Os Pólos agrícolas Mossoró-Açu e Baixo Jaguaribe, por exemplo, utilizam predominantemente o sistema de irrigação por gotejamento (MONTEIRO, 2004).

O gotejamento é considerado o método mais adequado para o melão, pois proporciona maior eficiência no uso da água e melhor controle fitossanitário, além de ajustar-se aos diferentes tipos de solos e topografias, possibilitando o uso da fertirrigação (SANTOS et al. 2001).

Por ser uma cultura cujo suprimento de água deve ser ministrado na época certa e em quantidade suficiente para satisfazer as necessidades da planta, o melão requer técnica bastante sofisticada de manejo de água, e por isso é empregada a irrigação localizada por gotejamento (REIS JUNIOR, 2007.)

De acordo com Moreira et al. (2009), nas fases de germinação e emergência do meloeiro deve ser fornecida água em quantidades moderadas. Durante o período de desenvolvimento das ramas, florescimento e frutificação, as irrigações devem ser mais frequentes, diminuindo durante o desenvolvimento dos frutos. Nessa fase, o excesso de água pode afetar a qualidade do produto.

A principal fonte de água para irrigação no Agropolo Mossoró/Açu é subterrânea, e sua captação é feita do aquífero Arenito – Açu, em poços com cerca de 1.000 m de profundidade, e do aquífero Calcário Jandaíra, com profundidade em torno de 100 m; atualmente, são mais utilizados os poços que exploram este último aquífero, em decorrência do menor custo de captação (GURGEL et al. 2009).

2.2.1 Evapotranspiração

Segundo Doorenbos e Pruitt (1997) a evapotranspiração é o parâmetro mais importante para se determinar as necessidades hídricas da planta, ela é usada para definir a perda de vapor d'água para a atmosfera através do efeito combinado dos processos de evaporação da água das superfícies do solo e da planta e de transpiração da água pela planta.

A E_{To} e a E_{Tc} representam a demanda evaporativa do meio e da planta cultivada, respectivamente, e a relação entre E_{Tc} e E_{To} expressa o coeficiente de cultivo (K_c) e que varia de acordo com as características e estágio de desenvolvimento da planta e com a variação dos elementos climáticos (PEREIRA; ALLEN, 1997).

A *evaporação* é o processo em que a água líquida é convertida em vapor e removida da superfície evaporante, como lagos, rios, solos e vegetação. A *transpiração* consiste da vaporização de água líquida contida nos tecidos vegetais e sua remoção para atmosfera. A *evapotranspiração* é o processo de evaporação e transpiração, ocorrendo simultaneamente (ALLEN et. al, 1998).

A importância do balanço hídrico como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo, está relacionada não só aos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação e drenagem) como também, ao conhecimento das fases de crescimento e de produção da cultura, isto é, sua fenologia (CINTRA et al., 2005).

Miranda et al. (1999) determinaram as necessidades hídricas do melão amarelo, híbrido 'Gold Mine', irrigado por gotejamento, nas condições climáticas do estado do Ceará, utilizando o método do lisímetro de pesagem. O valor total da evapotranspiração do meloeiro foi de 251 mm para um ciclo total de 66 dias. Medeiros et al. (2000) desenvolvendo um estudo em Mossoró, RN, com o mesmo híbrido de melão submetido a diferentes lâminas de

irrigação, obtiveram produtividades de 29,8 t/ha e 32,5 t/ha, com aplicação de lâminas de irrigação de 280 e 316 mm, respectivamente, ao longo de 66 dias.

No cálculo da evapotranspiração através do método Penman-Monteith (FAO-PM) são necessários vários parâmetros que caracterizam o estado de umidade da atmosfera e as transferências de vapor entre a superfície da copa e o ar. Esses parâmetros são obtidos a partir de observações em estações meteorológicas padrão, especificamente, recorrendo a estações automáticas onde se observam a temperatura do ar, a umidade relativa, a radiação solar ou a duração diária da insolação e a velocidade do vento (PEREIRA, 2004).

Segundo Albuquerque et al. (2002) o método Penman-Monteith/FAO é recomendado como padrão para determinar a ETo porque é o que mais se aproxima da ETo da grama no local avaliado, tem embasamento físico e incorpora explicitamente tanto os parâmetros fisiológicos quanto os aerodinâmicos.

De um modo geral, a escolha de um método de estimativa da ETo depende de um série de fatores, tais como disponibilidade de dados meteorológicos e a escala de tempo desejada. O método de Penman-Monteith adotado pela FAO como método padrão de estimativa da ETo em escala diária, exige grande número de variáveis meteorológicas, sendo utilizado somente quando há disponibilidade de todos os dados necessários (Braz, 2007).

Para o monitoramento de água em uma cultura é preciso saber valores de variáveis que indiquem as necessidades hídricas. A demanda hídrica de uma região é representada pela Evapotranspiração de referência (ETo), é um valor variável para cada região, totalmente dependente das condições climáticas do local e para sua determinação atualmente são utilizados variáveis climatológicas com o auxílio de uma estação automática (MANTOVANI et al., 2007).

Um painel de experts organizado pela FAO recomendou a adoção do método de Penman-Monteith como padrão para estimar a evapotranspiração de referência, válido globalmente para cálculo das necessidades hídricas das culturas (ALLEN et al.,1998). Desde então tem surgido vários trabalhos de estimativa da evapotranspiração de referência que utilizam a equação de Penman-Monteith (FAO) como padrão (MENDONÇA; DANTAS, 2010).

Devido à pequena disponibilidade de dados históricos de estações capazes de mensurar todas as variáveis climáticas envolvidas na estimativa da evapotranspiração por Penman-Monteith, foram desenvolvidos trabalhos que avaliam a metodologia para estimar a ETo com o emprego de dados mínimos, como os de Popova et al. (2006); Cai et al. (2007); Jabloun e Sahli (2008) e Sentelhas et al. (2010).

A necessidade de água do meloeiro ou evapotranspiração da cultura varia de acordo com o clima, fase da cultura, frequência das irrigações e fração da superfície do solo umedecida pelo sistema de irrigação e pode ser estimada pela da equação:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad \dots(1)$$

Onde:

ET_c = Evapotranspiração da cultura, mm.dia⁻¹.

ET_o = Evapotranspiração de referência, mm.dia⁻¹.

K_c = Coeficiente de cultivo, adimensional.

2.2.2 Coeficiente de cultivo (K_c)

De acordo com Bernardo (2002), uma vez que a ET_o representa um índice climático, o K_c varia de acordo com as características da cultura, traduzindo em menor escala a variação dos elementos climáticos. Esse fato torna possível a transferência de valores de K_c de um local para outro e de um clima para outro. Os dados de K_c podem ser obtidos através de uma curva suavizada, denominada de curva de cultura, para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

Devido às variações nas características ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, o K_c das culturas varia desde a semeadura até a colheita (PEREIRA, 2004).

Segundo Miranda et al. (2008), a evapotranspiração da cultura (ET_c) difere da ET_o em razão de características específicas da cultura, seu estágio de desenvolvimento e área foliar, das práticas culturais, da fração da superfície do solo umedecida na irrigação, da disponibilidade de água no solo, dentre outros. O coeficiente de cultivo (K_c) representa a interação desses fatores.

O ciclo do meloeiro para efeito do consumo de água e do manejo da irrigação pode ser dividido em quatro fases de desenvolvimento: inicial, crescimento vegetativo, frutificação e maturação (MIRANDA et al., 2008).

A fase inicial vai da semeadura até a cultura cobrir cerca de 10% do solo, para o meloeiro plantado na região Nordeste do Brasil tem uma duração de 18 a 25 dias aproximadamente. A fase de crescimento vegetativo se estende de 10% até cerca de 80% de cobertura do solo e na região Nordeste dura de 18 a 22 dias aproximadamente. A fase de frutificação tem duração aproximada de 16 a 22 dias, período que vai do pegamento dos

frutos, quando a cultura atinge o consumo máximo da água, até o início da maturação. A partir daí, ocorre uma redução gradual do consumo de água pelo meloeiro, até a última colheita (MIRANDA et al., 2008).

2.3 Mudanças climáticas

No Brasil, devido a sua grande extensão territorial, é comum que ocorram adversidades climáticas tais como seca, granizo, geadas, vendavais, chuvas em excesso, dentre outras, que podem afetar direta ou indiretamente a produção agrícola das diversas espécies cultivadas. A baixa disponibilidade hídrica no solo, associada aos períodos de longa estiagem durante a estação chuvosa (veranico), constitui uma das principais causas das quebras de safras das culturas de grãos no país, principalmente, nos estados situados nas regiões Centro-Sul e Nordeste.

A problemática das mudanças climáticas globais levou a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a UNEP (*United Nations Environment Programme*) a criarem o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima) em 1988. O IPCC é uma entidade formada por cientistas de todo o mundo, com objetivo de estudar e divulgar abertamente as informações técnicas e sócio-econômicas e os impactos relevantes aos riscos à humanidade visando criar mecanismos para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais (ASSAD et al., 2004).

As projeções do IPCC se baseiam em equações matemáticas que buscam reproduzir o comportamento do sistema climático global e prever o que acontecerá com a temperatura e com outros parâmetros do clima até o final deste século. Todos os modelos matemáticos operam a partir de seis cenários possíveis, que pressupõem trajetórias distintas para uma série de fatores econômicos.

De acordo com as projeções recentemente apresentadas no quarto relatório de avaliação do IPCC (2007), o setor econômico mais diretamente afetado deverá ser a agropecuária, pois é dependente das condições de temperatura e precipitação, e a previsão é de aumento tanto na média da temperatura do ar como em sua variância. Por isso, a incidência de eventos extremos deve aumentar como verões ou invernos, excepcionalmente, chuvosos ou secos, quentes demais ou de menos. Essas oscilações terão diferenças regionais importantes e levarão a uma redistribuição da agricultura no Brasil e no mundo.

Desde a década de 1980, as evidências científicas são cada vez mais fortes acerca da possibilidade de mudança do clima global por efeito antrópico (MARENGO, 2001). De acordo com o IPCC (2007), há projeção de aumento da temperatura média da superfície global entre 2 °C e 4,5 °C para o final do século XXI, em relação ao período de 1980 a 1999, com uma estimativa média de aumento de 3 °C.

Segundo Nobre (2001), caso se mantenha o padrão atual de emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, resultantes de ações antrópicas, há uma grande probabilidade de ocorrer mudanças climáticas globais de grande magnitude nos próximos 100 anos. As mais significativas para o Brasil são: aumento de temperatura, modificações nos padrões de chuvas e alterações na distribuição de extremos climáticos tais como secas e inundações, penetração de frentes frias, geadas, tempestades severas, vendavais, granizo, dentre outros.

O aumento das concentrações dos gases carbônico, metano e óxido nitroso na atmosfera, é um dos fatores responsáveis pela ocorrência de eventos climáticos extremos, aumento da temperatura global, elevação do nível dos oceanos e intensificação da variabilidade espacial e da magnitude dos valores de precipitação. Com base no relatório do IPCC, alterações da concentração de gás carbônico devem ser atribuídas ao uso de combustíveis fósseis, enquanto as concentrações de metano e de óxido nitroso estão relacionadas à expansão das atividades agropecuárias (IPCC, 2007).

Investigações sobre a variabilidade e a mudança do clima usam a temperatura média global da superfície para estabelecer o grau e o significado das mudanças do clima durante o último século (SILVA et al., 2006).

Considerando o cenário de aumento da temperatura do globo, outros impactos ambientais estão ocorrendo, como consequência da mudança no clima, tais como a redução da cobertura de gelo nos pólos, o aumento do nível do mar devido ao degelo das geleiras, eventos extremos de secas, chuvas e mudanças no regime de precipitação pluvial em diferentes regiões do globo. Esses são alguns exemplos de desastres naturais que poderão ter impactos decorrentes das mudanças climáticas devido à grande vulnerabilidade associada aos sistemas naturais (MARENGO & VALVERDE, 2007).

Um grande desafio para as gerações futuras será manter a competitividade e sustentabilidade na agricultura com o aumento da demanda de alimentos, e para lidar com os desafios da agricultura no futuro é de suma importância abordar as respostas das culturas às mudanças climáticas (TRAVASSO et al., 2009) e compreender os processos da planta como base nos cenários das mudanças climáticas (KIM et al., 2007).

Estudos numéricos com modelos de circulação geral da atmosfera (General Circulation Models - GCM) indicam que é bastante provável que se verifiquem aumentos de 1,1°C a 6,4°C na temperatura média do ar até o final deste século, em vários locais do planeta (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007), até mesmo no Brasil (SIQUEIRA et al., 2001; ASSAD et al., 2004; IPCC, 2007).

Mudanças climáticas estão relacionadas a um conjunto de alterações no estado do clima que tanto podem ser identificadas como mudanças nas médias como na variabilidade das propriedades do clima e que persistem por um período extenso, cerca de décadas ou mais (GONDIM, 2009).

Considerações sobre as modificações do ambiente e dos padrões de produção, bem como a contínua demanda por alimentos, têm exigido a aplicação de técnicas que permitam avaliar os possíveis efeitos das alterações do clima (SILVA et al., 2009).

A produtividade das culturas é afetada pela mudança climática e pela alteração da concentração de CO₂ na atmosfera. Elevadas concentrações de CO₂ irão estimular diretamente a produtividade das plantas e aumentar a eficiência de uso de água. Por outro lado, temperaturas mais elevadas irão acelerar o desenvolvimento fenológico das culturas e aumentar a necessidade de água. A esperada diminuição de precipitação na primavera e no verão irá aumentar as necessidades de água para irrigação e causar estresse hídrico nas culturas de sequeiro, embora a antecipação do ciclo produtivo possa parcialmente evitá-lo. O efeito do aquecimento global sobre a produção irá depender da relativa alteração das concentrações de CO₂, temperatura, radiação solar e precipitação (CCIAM, 2010).

No Brasil, a região semiárida será uma das mais afetadas pelas mudanças climáticas globais. Os impactos devido ao aumento de temperatura e anomalias na precipitação poderão afetar a produção das culturas, os recursos hídricos, o manejo da irrigação, a biodiversidade, o Bioma Caatinga e acelerar o processo de desertificação (ANGELOTTI et al. 2010).

Segundo Santos et al. (2010), o interesse da comunidade científica pelo estudo da variabilidade e mudanças climáticas vem aumentando de forma bastante acentuada nas últimas décadas, devido principalmente às suas consequências para a humanidade e a biodiversidades dos sistemas naturais. Muitos estudos têm sido desenvolvidos em várias partes do mundo visando compreender melhor e mitigar os efeitos desses processos (ARNELL, 1999; CUNHA et al., 2002; SILVA, 2004; MODARRES & SILVA, 2007; MA et al., 2008; TODISCO & VERGNI, 2008).

Diversos estudos sobre mudanças climáticas no Brasil se juntam a essas pesquisas uma vez que o clima do País também tem experimentado alterações, em particular na região semiárida. Secas severas e enchentes são exemplos reais que servem de advertência para o futuro (SANTOS et al., 2010).

Incertezas no processo de detecção e atribuição das mudanças climáticas ainda perduram, pois algumas forçantes ainda são omitidas nos estudos, como mudanças no uso e ocupação de terra. Porém a análises de detecção e atribuição de mudanças climáticas atribuem significativa influência antropogênica para a temperatura do século 20. Outra fonte de incerteza são erros de instrumentação, tais como métodos de medição ou influência da urbanização (HEGERL et al., 2007).

2.3.1 Modelos de mudanças climáticas

Segundo Tanajura et al. 2010, a principal característica que se busca no modelo climático para simulação hidrológica é a sua capacidade de produzir uma variabilidade sazonal e interanual de boa qualidade, e ser sensível às alterações nas condições de contorno de superfície e de composição química da atmosfera. Como os ciclos sazonais da precipitação e das outras variáveis atmosféricas na superfície foram bem reproduzidos pelo HadRM3P sobre o Estado da Bahia, pode-se considerar esse modelo como uma boa opção para avançar na investigação dos efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos na região.

A dinâmica do modelo HadRM3P é baseada no HadRM3, uma versão mais recente da componente atmosférica do Modelo de Circulação Global HadCM3 (Johns et al., 2003) do Hadley Centre, Inglaterra.

Alves 2007, avaliou a destreza do modelo regional, HadRM3P do Hadley Centre, em simular a variabilidade sazonal dos principais padrões climatológicos sobre a região da América do Sul e oceanos adjacentes e concluiu que o modelo simula razoavelmente bem o padrão espacial e temporal da precipitação, temperatura e as principais características da circulação atmosférica, porém regionalmente há erros sistemáticos que podem estar relacionados à física interna do modelo (esquema de convecção, de superfície e topografia) e/ou das condições de fronteira herdadas do modelo global.

O sistema PRECIS foi desenvolvido a partir da crescente demanda dos países que necessitavam gerar cenários climáticos regionais com alta resolução espacial de forma

relativamente “barata” e simples. O PRECIS já é utilizado e consolidado como uma importante ferramenta para estudos de vulnerabilidade climática em vários países, como a Inglaterra, Índia, África do Sul e China. Mais informações acerca do sistema PRECIS podem ser obtidas em Jones et. al. (2004)

Os modelos climáticos são baseados em princípios físicos bem estabelecidos e devem ser capazes de reproduzir características do clima recente e mudança climática passada. Há considerável confiança de que Modelos de Circulação Global Oceânico-Atmosférico provêm estimativas quantitativas aceitáveis das mudanças climáticas futuras, particularmente na escala continental ou maior (Gondim 2009).

Os modelos de circulação global, geralmente utilizados para simular o clima presente e a projeção climática futura, com forçantes de gases de efeito estufa e aerossóis, dividem a atmosfera e o oceano em grades de resolução horizontal de 2° a 4° de latitude e longitude, com 10 a 20 camadas na vertical. Em geral, simulam processos na escala global ou continental em detalhe e provêm uma representação de precisão razoável da média climática planetária. Por outro lado, esses métodos são incapazes de representar as características locais (DIBIKE & COULIBALY, 2005).

Krol et al. (2006) e Krol & Bronstert (2007) aplicaram o modelo “Semi-arid Integrated Model” – SIM (Modelo Integrado do Semi-Árido) sobre os estados do Ceará e do Piauí, com cenários climáticos futuros, resultantes da técnica estatística e de tendências climáticas dos Modelos de Circulação Global: ECHAM4 e HadCM2, e observaram que projeções para precipitação sobre a região (2070/2090, em relação a 1961/1990) divergiram, sendo estimada uma redução de 50% quando utilizado o modelo ECHAM4 e um aumento de 21% com o modelo HadCM2.

Segundo Gondim et al. (2008), a aplicação de modelo climático regional permite a avaliação de impactos em áreas menores, e a melhoria na resolução espacial permite a análise mais detalhada dos impactos locais.

Fagundes et al. (2010) utilizaram para a criação dos cenários de mudanças climáticas o modelo LARS-WG Weather Generator, que é um modelo estocástico, frequentemente usado em estudos de impacto de cenários de mudanças climáticas sobre o desempenho de agroecossistemas (Weiss et al., 2003; Richter & Semenov, 2005; Streck & Alberto, 2006a, 2006b), capaz de produzir séries de dados sintéticos com uso de funções semi empíricas de distribuição de probabilidade, que mantém as estatísticas da série original de dados observados (SEMENOV et al., 1998).

Se os modelos climáticos conseguem reproduzir o clima sazonal presente e passado, possivelmente as suas projeções futuras poderão ser menos incertas. Sendo assim, uma consideração inicial a ser feita é que os modelos climáticos ainda não conseguem reproduzir com alto grau de confiabilidade o padrão sazonal que a climatologia observacional apresenta. No entanto, os modelos conseguem simular coerentemente o ciclo anual, apesar dos vieses sistemáticos encontrados. Por esse motivo, se constituem na principal ferramenta de previsão de clima (VALVERDE & MARENGO, 2010).

2.3.2 Correção de viés

Segundo Mourato et al. (2008a), as simulações de mudanças climáticas para um período de referência apresentam desvios sistemáticos ou viés relativamente às séries históricas correspondentes ao mesmo período, assim, os resultados fornecidos pelos RCMs (modelos climáticos regionais) devem ser corrigidos do viés, para evitar interpretações incorretas dos cenários de clima futuro. As técnicas de correção baseiam-se em relações mensais que se estabelecem entre observações e resultados dos modelos climáticos no período de controle (1961-1990) e que são aplicadas num período futuro.

De acordo com Pendergrass & Elmore (2005), o resultado da previsão por conjunto é geralmente mais acurado quando cada membro do conjunto é corrigido através da remoção do viés.

Para melhorar as previsões de temperaturas mínimas e máximas, estas são corrigidas a partir de um método estatístico baseado na remoção do erro médio (viés), estimado a partir das previsões mais recentes, na escolha de tal método, se considera o fato de que os modelos podem apresentar variações nas tendências do erro dependendo do período de previsão, e estas variações, que são de curto prazo, podem ser determinadas através do cálculo do erro médio das previsões mais recentes (Cardoso et. al., 2006).

A utilização de dados dos RCMs (modelos climáticos regionais) sem correção pode conduzir a interpretações incorretas dos efeitos das alterações consideradas nos recursos hídricos. Este erro, designado por viés deve ser sujeito à correção precedendo a utilização dos dados. Os métodos de correção baseiam-se em hipóteses mais ou menos simplificadas relativas a relações que se podem estabelecer entre observações e resultados dos modelos num

período de referência e sua aplicação num período futuro, cenário. Para a avaliação do impacto das alterações climáticas, é necessário selecionar o modelo climático mais adequado à região em estudo, corrigir o viés com base nas observações de temperatura e precipitação locais e introduzir as séries corrigidas num modelo hidrológico (MOURATO et al., 2008b).

Correções do viés de modelos com base em previsões mais recentes foram desenvolvidas nos estudos de Eckel e Mass (2005), Gritmit et al. (2006) e Silva Dias e Moreira (2006), sendo demonstrado que estas correções podem contribuir para melhorar a confiabilidade e a resolução das previsões por conjunto.

Segundo Silva Dias e Moreira (2006) um período de 15 dias é suficiente para otimizar a correção pelo viés médio. Tendo em vista estes resultados, foram consideradas as previsões dos 15 dias anteriores ao dia selecionado, para o cálculo do viés a ser removido.

2.3.3 Climatologia de base (*baseline*)

A climatologia de base pode ser definida como aquela através do qual a mudança climática é mensurada, o que torna a caracterização climática da região de suma importância. A escolha da climatologia de base e cenários podem fortemente influenciar nos resultados dos estudos de impactos de mudanças climáticas (Carter et al., 2007).

De acordo com Gondim (2009), a climatologia de base (*baseline*) ou de referência pode ser definida como aquela em relação a qual a mudança é mensurada, o que torna a caracterização climática da região de suma importância em estudo de impactos de mudanças climáticas. A escolha da climatologia de base e dos cenários pode influenciar fortemente nos resultados. Para a seleção da climatologia de base devem-se considerar os tipos de dados requeridos, duração do período de referência, fontes de dados e como podem ser aplicados na avaliação de impactos.

A seleção da climatologia de base do modelo deve levar em consideração alguns critérios, conforme recomendações do IPCC (1994) citadas por Carter et al. (2007), descritas abaixo:

- Ser representativa do clima atual ou englobe médias recentes da região de estudo;
- Ter uma duração que abranja as variações climáticas, incluindo um número significativo de anomalias climáticas (como secas severas e estações amenas);

- Cobrir um período para o qual, dados da maioria das variáveis climáticas sejam abundantes, adequadamente distribuídos sobre o espaço e prontamente disponíveis;
- Incluir dados de alta qualidade para uso em avaliações de impactos;
- Ser consistente e prontamente comparável com climatologias de base utilizadas em outros estudos de impactos.

Uma climatologia de base bem conhecida é a normal climatológica de um período de 30 anos, conforme definida pela Organização Mundial de Meteorologia, a qual pode ser utilizada como referência ou padrão. Há um número de fontes alternativas de dados de climatologia de base que podem ser aplicadas em estudos de impactos: agências ou arquivos de meteorologia, conjunto de dados globais, saídas de modelos climáticos e geradores climáticos. Um dos conjuntos de dados disponíveis de domínio público é do *Climate Research Unit* (CRU) (CARTER et al., 2007).

2.3.4 Cenários de Mudanças Climáticas

Os cenários climáticos projetados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) até o final deste século, do mais otimista ao mais pessimista, sinalizam aumento na temperatura média mundial, com consequências graves para todos os setores da sociedade.

Cenários climáticos são representações do futuro que são consistentes em hipóteses sobre emissões futuras de gases de efeito estufa e ou outros poluentes, considerando-se as forçantes que os influenciam (Nakicenovic et al., 2000).

Uma família de cenários básicos foi definida no Relatório Especial Sobre Cenários de Emissões (Nakicenovic et al., 2000):

A1: baixo crescimento populacional, crescimento do PIB muito elevado, elevado consumo de energia, baixa mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos alta a média, rápido desenvolvimento tecnológico, energia fóssil e balanceada;

A2: alto crescimento populacional, crescimento do PIB médio, elevado consumo de energia, média a alta mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos baixa, lento desenvolvimento tecnológico, energia regional;

B1: baixo crescimento populacional, crescimento do PIB elevado, baixo consumo de energia, alta mudança no uso da terra, baixa disponibilidade de recursos, médio desenvolvimento tecnológico, eficiência e introdução de tecnologias limpas;

B2 : médio crescimento populacional, crescimento do PIB médio, médio consumo de energia, média mudança no uso da terra, disponibilidade de recursos média, médio desenvolvimento tecnológico, dinâmica energética, como a usual.

O cenário mais otimista, chamado de B1, é aquele em que todos os países deixariam progressivamente de usar os combustíveis fósseis como fonte de energia e passariam a consumir a energia obtida de fontes alternativas, como o vento ou a luz solar. O resultado seria um aumento entre 1,1 e 2,9 °C na temperatura média global.

O cenário A2 é um cenário pessimista, que prevê que o mundo continuará consumindo energia gerada predominantemente a partir de combustíveis fósseis, ocasionando uma elevação de 2 a 5,4 °C na temperatura.

Já o B2, um dos cenários otimistas, aposta no surgimento de uma matriz energética global mais equilibrada, com igual participação de fontes renováveis e de combustíveis fósseis, com aumento de 1,4 a 3,8 °C.

Estudos realizados pelo Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) utilizam apenas os cenários A2 e B2 em suas projeções por os considerarem os mais adequados à realidade brasileira.

O ponto de partida para o desenvolvimento de cenários considerará que o sistema de recursos hídricos pode ser visto como um sistema produtivo que provê bens e serviços, tanto para a população como para o ecossistema. Estes bens e serviços podem ser de várias categorias: água para a agricultura, água para indústria, água para natureza e água para população. (AERTS & DROOGERS, 2004).

A modelagem de cenários aponta todas as consequências de longo prazo imagináveis e permite a integração de diferentes disciplinas e metodologias (Jessel & Jacobs 2005).

Westhoek et al. (2006) relatam que é extremamente recomendável o uso de um conjunto de cenários contrastantes, considerando-se a direção de importantes fatores forçantes (pode ser o crescimento macro-econômico, demografia, produção e consumo agrícola mundial e seus preços, tecnologia). Os cenários precisam levar em conta os fatores relacionados à biodiversidade agrícola, legislação ambiental, uso e ocupação da terra.

2.3.5 Impactos na agricultura irrigada

No Brasil, estudos do impacto das mudanças climáticas sobre a agricultura, com uso de modelos matemáticos, já foram realizados com várias culturas em diversas regiões brasileiras (Siqueira et al., 2000, 2001; Assad et al., 2004; Gondim et al., 2008, Streck & Alberto, 2006a). Estudos desenvolvidos por Pimenta et al., 1998; Silva, 2004; Sousa Júnior, 2006 indicam que a região Nordeste vem sofrendo com fortes variabilidades climáticas.

Segundo Siqueira et. al. (2001), as pesquisas voltadas ao efeito de mudanças climáticas globais na agricultura brasileira são ainda muito restritas.

Com o aquecimento global, em um futuro próximo, espera-se cenário de clima mais extremo com secas, inundações e ondas de calor mais frequentes. Impactos como a elevação do nível dos oceanos e furacões mais intensos e mais frequentes também poderão ser sentidos, assim como o derretimento das geleiras (Salati et al., 2012).

Considerando-se os prognósticos de aumento das temperaturas, pode-se admitir que as regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas se tornarão desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal. Quanto maior a anomalia, menor a aptidão da região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor. Culturas tolerantes a altas temperaturas provavelmente serão beneficiadas até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente são limitantes ao desenvolvimento de culturas suscetíveis a geadas, com o aumento do nível térmico decorrente do aquecimento global, passarão a apresentar condições favoráveis ao desenvolvimento de vegetações (ASSAD et al. 2004; PINTO et al. 2004).

O tempo meteorológico e o clima afetam os sistemas agrícolas de diversas maneiras, na produção e produtividade das culturas, na incidência de pragas e doenças e na execução das operações de campo. Assim, os fatores e elementos climáticos afetam de maneira direta a distribuição geográfica das culturas assim como questões sócio-econômicas. Então, os impactos das mudanças climáticas na agricultura podem causar desafios ainda maiores quanto ao crescimento e desenvolvimento que garanta segurança alimentar e redução da pobreza (MACHADO; MARENGO, 2006).

Os cenários futuros sinalizam para a tendência de estiagem no Nordeste brasileiro, apontando para uma maior aridez da região semiárida até o final do século XXI. O balanço hídrico realizado por meio da temperatura e precipitação com as médias dos valores dos

modelos do IPCC (2007) sugere redução dos índices pluviométricos na estação chuvosa e maiores deficiências de umidade do solo ao longo do ano (MARENGO, 2006).

Como possíveis mudanças no clima e impactos projetadas pelo cenário A2 (pessimista, altas emissões) para a segunda metade do século XXI, no que diz respeito à região Nordeste do Brasil, pode-se citar a elevação de 2 a 4 °C da temperatura, a alta evaporação que pode afetar níveis de açudes, impactos na biodiversidade da caatinga, na agricultura de subsistência e na saúde da população. A área mais afetada seria o Semiárido.

Para o Semi-Árido brasileiro, a previsão é ainda mais dramática. Essa região, onde já chove pouco (em média 600 milímetros por ano) e com pouca frequência, pode se transformar em um ambiente semelhante a um deserto: mais seco, com solos mais pobres, vegetação com menor diversidade biológica e alguns lugares inabitáveis. Com a diminuição das chuvas, menos água penetra no solo, prejudicando o reabastecimento dos reservatórios subterrâneos. Desse modo, pode haver uma redução de até 70% na recarga dos aquíferos dessa região, onde vivem cerca de 20 milhões de pessoas.

Projeções de longo prazo indicam que a temperatura média do planeta poderá aumentar entre 1,8 °C e 4,0 °C nos próximos 100 anos, com implicações diretas em mudanças nos índices de risco que governam o desempenho das culturas agrícolas (IPCC, 2007).

Schlenker et al., (2007), ao analisar o impacto da mudança climática na agricultura irrigada na Califórnia, concluíram que, com aplicação de uma escala geográfica menor, o escoamento superficial durante a maior parte da estação de cultivo sofrerá decréscimo, com a possibilidade de aumento, em menor dimensão, na precipitação, o que resulta em redução na disponibilidade de água, aumentando conseqüentemente a necessidade de água para irrigação.

Evidências científicas contemporâneas têm advertido para anomalias na temperatura e nos padrões de precipitação, com conseqüências diretas nas atividades humanas e, especialmente, naquelas relacionadas à produção agrícola (Assad et al., 2008).

Os impactos diretos do clima sobre a produção e a distribuição da produção agrícola no país são apenas alguns dos efeitos econômicos causados por esse fenômeno. A atividade agrícola, afetada diretamente pela mudança climática, repercute sobre diversos setores econômicos (Domingues et. al., 2008).

De acordo com Assad et al., (2008), para as próximas décadas, as mudanças do clima devem ser tão intensas a ponto de mudar a geografia da produção agrícola brasileira. Municípios que hoje são grandes produtores poderiam não ser mais em 2020. O aquecimento

global pode provocar perdas nas safras de grãos de R\$ 7,4 bilhões já em 2020, número que pode subir para R\$ 14 bilhões em 2070.

A agricultura irrigada influencia diretamente na disponibilidade da água numa bacia hidrográfica, especialmente numa região onde essa atividade é intensiva, logo o conhecimento local sobre o assunto permitirá o desenvolvimento de políticas para reduzir impactos e vulnerabilidades. Perdas sociais, econômicas e ambientais causadas por planejamento deficiente e ausência de critérios de decisão para definir medidas de mitigação e adaptação tornariam a igualdade de acesso e sustentabilidade do uso da água, incertos (Gondim et al., 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2 Área de estudo

A área de domínio do estudo foi delimitada entre as coordenadas geográficas $4^{\circ}25'26''$ e $5^{\circ}10'09''$ de latitude sul e $37^{\circ}06'29''$ e $38^{\circ}28'41''$ de longitude oeste, correspondendo a uma área de 10.925,10 km² e altitude máxima de aproximadamente 185 m acima do nível do mar. O estudo abrangeu a região responsável por quase 90% da produção brasileira de melão, de acordo com dados do Agriannual 2010, correspondente ao pólo meloeiro do RN/CE, que é um conjunto composto pelo Agropolo de Mossoró e Açu, no Rio Grande do Norte, e o Agropolo do Baixo Jaguaribe no Ceará. Esses agropolos abrangem os seguintes municípios: Icapuí, Aracati, Itaiçaba, Jaguaruana, Russas, Limoeiro do Norte e Quixeré no Ceará e Baraúna, Mossoró, Tibau e Grossos no Rio Grande do Norte (Figura 1).

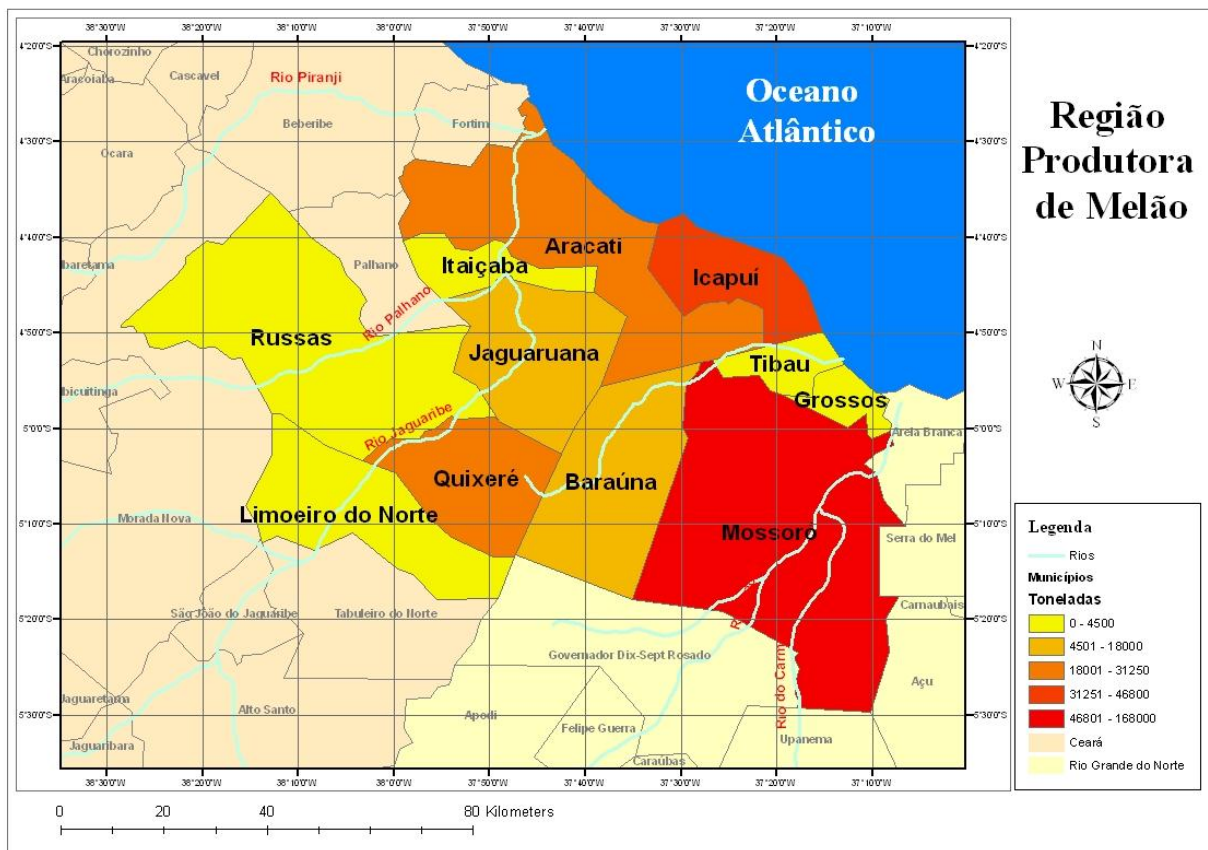


Figura 1 - Área de estudo – principais municípios produtores de melão nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte

3.1.2 Climatologia das regiões produtoras

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região em estudo apresenta clima do tipo BSw'h' (quente e semiárido, tendendo a árido). No Estado do Rio Grande do Norte, o município de Grossos é do tipo BSw'h, caracterizando-se por um clima muito quente e semiárido, com estação chuvosa atrasando-se para o outono, e temperatura média anual de 27,3 °C. Tibau é classificado como BSw'h, semiárido e um período de chuvas compreendido entre os meses de fevereiro e maio, a temperatura média anual é de 27,3 °C, sendo 21 °C a mínima temperatura e 32°C a máxima. A cidade de Baraúna tem o tipo climático de BSw'h', que significa um clima muito seco, com estação de chuva no verão. O clima de Mossoró é semiárido, do tipo 'BSWh', com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono e muito seco, sua temperatura média anual de 27,4°C.

No Estado do Ceará, obedecendo a classificação Köppen o município de Quixeré é do tipo BSw'h', tropical quente semiárido, com temperatura média anual de 28,5 °C, sendo de 22,5 °C e 35,3 °C, as médias anuais das temperaturas mínimas e máximas, respectivamente. Limoeiro do Norte, o clima da região é BSw'h', pela classificação de Köppen, quente e semi-árida, com temperatura média anual de 28,5 °C. A cidade de Russas é do tipo BSw'h', que significa semiárido de clima quente e temperatura média anual de 27 °C. Icapuí é do tipo BSw'h', tropical quente semiárido e 27,4 °C de temperatura média anual. Aracati é do mesmo tipo que Icapuí.

3.2 Etapa 1

3.2.1 Dados de entrada no modelo climático

Para a utilização do modelo de mudanças climáticas foi utilizado dados de temperatura máxima e mínima e precipitação, composto de uma *baseline* (climatologia de base) do período 1961-1990 fornecidos pelo modelo de mudança climático, que simula o clima presente. Isto se deve ao padrão climatológico adotado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), pela maioria dos centros de pesquisas meteorológica para validação de modelos climáticos e pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)

como período base em projeções de mudanças climáticas futuras, geradas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE-CPTEC (Alves, 2007).

Foi empregado o Sistema de Informação Geográfica – SIG (ARCGIS 9.3), visando à utilização de informação espacial de dados meteorológicos, de modo que seja possível incorporar a variabilidade espacial e temporal das variáveis de demanda de água de irrigação, como foi realizado por Biju et al., (2004) no Uzbequistão e por Fortes et al., (2005) na Índia.

3.2.2 Caracterização do Modelo Climático Regional (HadRM3P)

No presente estudo foi utilizado o Modelo Climático Regional (HadRM3P) desenvolvido no Hadley Centre e que faz parte do Sistema integrado de Modelagem Regional PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies), versão 1.2. O modelo HadRM3P (Modelo Regional do *Hadley Centre*, versão 3 com sistema Precip) foi implementado no Brasil pelo CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

O motivo da utilização desse modelo é o fato dele ser integrado a um sistema de modelagem amigável, com um ótimo desempenho. Através de uma interface gráfica o usuário pode integrá-lo sobre qualquer área do globo em um microcomputador relativamente simples e obter informações climáticas regionais necessárias para a compreensão do funcionamento do sistema climático, incluindo a geração de cenários de mudanças climáticas.

O modelo regional HadRM3P possui resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical (da superfície até 30 km na estratosfera) e 4 níveis no solo. A especificação de 19 níveis na vertical é favorável por utilizar o mesmo número de níveis do modelo global. A resolução espacial é de $0,44^\circ \times 0,44^\circ$ latitude/longitude, o que corresponde a uma grade de aproximadamente 50 km. Quando a finalidade é mudança climática o modelo usa uma representação do ciclo de sulfato e de alguns aerossóis.

3.2.3 Caracterização dos cenários de mudanças climáticas

Para a caracterização do clima atual foram consideradas informações referentes ao período de 1961 a 1990. Os cenários futuros utilizados foram A2 e B2, centrados na década de 2040 (IPCC, 2001).

De acordo com o IPCC (2001) o cenário A2 é um cenário de elevadas emissões de gases de efeito estufa, isto é, assume a manutenção dos padrões atuais de emissões. Descreve um mundo futuro muito heterogêneo, com preservação das identidades locais e da tradição. Os padrões de fertilidade entre regiões convergem muito lentamente, o que resulta em alto crescimento populacional. O desenvolvimento econômico é principalmente orientado regionalmente e o crescimento econômico per capita e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos, comparados às outras famílias de cenário. O cenário B2 é um cenário de menores emissões, com características mais otimistas em relação ao cenário A2. Descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo com moderado crescimento populacional, níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa, do que o B1 e o A1. É orientado para a proteção do meio ambiente e a equidade social, mas com foco nos níveis local e regional (IPCC, 2001).

Os cenários A1 e B1 possuem as mesmas projeções populacionais, com baixas taxas de fertilidade e de mortalidade. O cenário A2 assume alta fertilidade e mortalidade e o cenário B2 é intermediário. Portanto serão simulados os cenários A2 e B2 que projetam para 2040, uma população global entre 8,93 e 10,71 bilhões de habitantes e demais hipóteses de projeções futuras do Produto Interno Bruto (PIB), energia primária, emissões cumulativas de CO₂ e uso da terra, conforme a Tabela 1 (Nakicenovic et al., 2000).

| 2040 | A2 | B2 |
|---|-------------|-------------|
| População (milhões) | 10.715 | 8.930 |
| PIB (Trilhões de US\$ a preço de 1990) | 72,3 a 82,2 | 85,5 a 93,2 |
| Energia Primária (EJ) | 871 | 773 |
| Carvão | 211 | 93 |
| Óleo | 244 | 238 |
| Gás | 208 | 251 |
| Nuclear | 34 | 32 |
| Biomassa | 97 | 79 |
| Outras Renováveis | 77 | 80 |
| Emissões cumulativas (GtCO ₂) | 530,7 | 446,0 |
| Uso da Terra (milhões de ha) | 12.949 | 12.949 |
| Cultivos | 1.623 | 1.598 |
| Pastagens | 3.546 | 3.508 |
| Biomassa | 252 | 190 |
| Florestas | 4.307 | 4.323 |
| Outros | 3.220 | 3.300 |

Fonte: IPCC – SRES (Nakicenovic, 2000)

3.2.4 Dados de saída do modelo climático

O modelo fornece dados de temperaturas máxima, mínima e precipitação, que foram então interpolados considerando-se a latitude/longitude, através da geoestatística (krigagem) associada a um Sistema de Informação Geográfica. A mesma metodologia foi empregada no Sri Lanka por Silva et al. (2007) e na bacia do Guadalquivir, Espanha, por Díaz et al. (2007) para estimativa de impacto de mudanças climáticas nas necessidades hídricas das culturas irrigadas.

Foram extraídos os dados considerando-se as coordenadas geográficas da região em estudo, gerando-se as quadrículas para cada variável, a fim de abranger toda a região estudada. O horizonte temporal para avaliação do impacto das mudanças climáticas

considerado é o ano de 2040, por se tratar de um período mediano (daqui a 28 anos), trata-se de um tempo futuro, porém próximo.

A correção de viés para as projeções das variáveis climáticas foi obtida por meio das diferenças entre os dados climatológicos da climatologia de base (1961 a 1990) e dados interpolados em alta resolução do mesmo período oriundos da base de dados da *Climatic Research Unit* (CRU), Universidade de *East Anglia* (Mitchel & Jones, 2005).

A correção foi feita referente a cada mês, considerando a latitude e a longitude da região em estudo, conforme é demonstrado para o mês de janeiro na Tabela 2.

Tabela 2 - Correção de viés dos dados de chuva, temperatura máxima e mínima para o mês de janeiro

| Mês | Long | Lat | Chuva CRU | Chuva Base | Viés Chuva | Chuva Corrigida | Tmín CRU | Tmín Base | Viés Tmín | Tmín Corrigida | Tmáx CRU | Tmáx Base | Viés Tmáx | Tmáx Corrigida |
|-----|-------|------|-----------|------------|------------|-----------------|----------|-----------|-----------|----------------|----------|-----------|-----------|----------------|
| 1 | -38,5 | -5,5 | 78 | 71,7 | -6,3 | 78,0 | 23,22 | 24,45 | 1,2 | 23,25 | 33,77 | 37,33 | 3,6 | 33,73 |
| 1 | -38 | -5,5 | 67,49 | 69,6 | 2,1 | 67,5 | 23,02 | 24,13 | 1,1 | 23,03 | 33,52 | 37,18 | 3,7 | 33,48 |
| 1 | -37,5 | -5,5 | 54,99 | 58,5 | 3,5 | 55,0 | 23,12 | 24,15 | 1,0 | 23,15 | 33,66 | 37,27 | 3,6 | 33,67 |
| 1 | -37 | -5,5 | 51,5 | 49,2 | -2,3 | 51,5 | 22,86 | 24,12 | 1,3 | 22,82 | 32,98 | 37,03 | 4,1 | 32,93 |
| 1 | -38,5 | -5 | 78,99 | 58,8 | -20,2 | 79,0 | 23,4 | 24,27 | 0,9 | 23,37 | 33,06 | 36,56 | 3,5 | 33,06 |
| 1 | -38 | -5 | 72,5 | 50,1 | -22,4 | 72,5 | 23,58 | 24,52 | 0,9 | 23,62 | 33,39 | 36,55 | 3,2 | 33,35 |
| 1 | -37,5 | -5 | 54,49 | 50,1 | -4,4 | 54,5 | 23,48 | 24,78 | 1,3 | 23,48 | 33,23 | 36,15 | 2,9 | 33,25 |
| 1 | -37 | -5 | 51,49 | 33,3 | -18,2 | 51,5 | 23,37 | 25,43 | 2,1 | 23,33 | 33,08 | 34,52 | 1,4 | 33,12 |
| 1 | -38,5 | -4,5 | 89,5 | 54,6 | -34,9 | 89,5 | 23,6 | 24,15 | 0,5 | 23,65 | 32,23 | 35,43 | 3,2 | 32,23 |
| 1 | -38 | -4,5 | 76,5 | 67,5 | -9,0 | 76,5 | 23,91 | 24,89 | 1,0 | 23,89 | 32,66 | 35,03 | 2,4 | 32,63 |
| 1 | -38,5 | -4 | 91 | 121,5 | 30,5 | 91,0 | 23,86 | 24,22 | 0,4 | 23,82 | 31,79 | 32,90 | 1,1 | 31,80 |

3.3 Etapa 2

3.3.1 Estimativa da ETo Penman-Monteith utilizando dados mínimos

Em razão da inexistência de estações meteorológicas em número suficiente para cobrir todas as áreas onde exista irrigação e insuficiência de dados para estimar a ETo pelo método de Penman-Monteith FAO (disponibilidade apenas das temperaturas máxima, mínima

e precipitação), utilizou-se o método de Penman-Monteith FAO com dados limitados, conforme proposto por Allen et al. (1998). Popova et al. (2006) na Bulgária e Jabloun & Sahli (2008) na Tunísia, empregaram uma metodologia similar.

O modelo matemático de Penman-Monteith FAO, proposto por Allen et al. (1998) é:

$$ET_o = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \dots(2)$$

Onde:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm/dia);

R_n = radiação líquida na superfície das culturas (MJ/m²/dia);

G = fluxo de calor no solo (MJ/m²/dia);

T = média diária da temperatura do ar a 2 m de altura (°C);

u_2 = velocidade do vento a 2 m de altura (m/s);

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a = pressão de vapor atual (kPa);

$(e_s - e_a)$ = déficit de saturação de vapor (kPa);

Δ = inclinação da curva da pressão de vapor versus temperatura (kPa /°C);

γ = constante psicométrica (kPa /°C).

Os dados básicos utilizados para estimar ET_o Penman-Monteith FAO foram temperatura máxima e mínima, pressão de vapor real ou atual, radiação líquida e velocidade do vento. De posse dos dados de temperatura máxima e mínima e das equações descritas a seguir, foi possível estimar as diversas variáveis, conforme a equação 4:

- Constante psicométrica – γ (kPa /°C)

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P_{atm} \quad \dots(3)$$

Em que:

P_{atm} = pressão atmosférica (kPa).

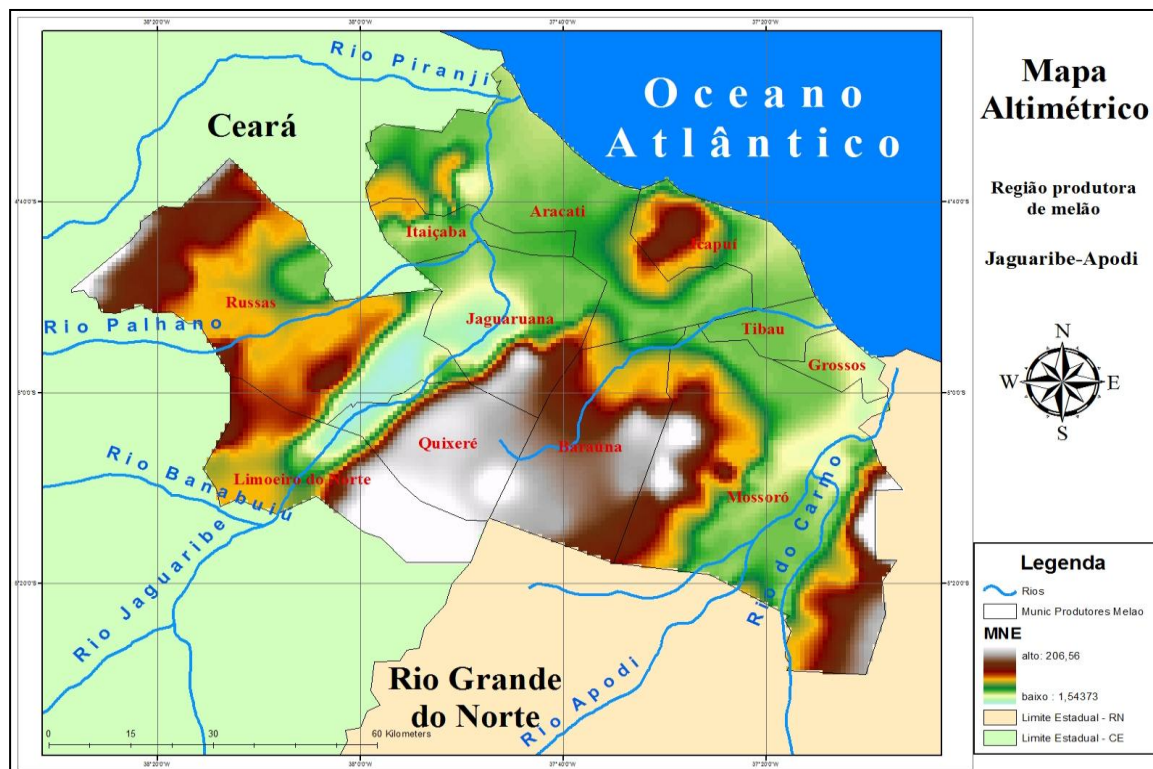
$$P_{atm} = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad \dots(4)$$

Em que:

z = altitude da estação em relação ao nível do mar (m).

Foi feito um mapa temático de altitude, a partir de dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Os dados de elevação foram obtidos em escala global aproximada. Dessa forma, foi utilizado o programa *Global Mapper*® para inserir os dados georeferenciados do levantamento SRTM. O mapa temático de altitude (Figura 2) foi então empregado para a estimativa da EToPM, utilizando-se os dados da altitude na Equação 4 da pressão atmosférica.

Figura 2 - Mapa temático de altitude da região estudada



- Inclinação da curva da pressão de vapor versus temperatura - Δ (kPa/°C)

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp \frac{17,27T}{T + 237,3} \right]}{(T + 237,3)^2} \quad \dots(5)$$

Onde:

exp = base do logaritmo natural (2,7183);

T = média da temperatura do ar (°C).

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T}{T + 237,3} \right] \quad \dots(6)$$

Em que:

$e^{\circ}(T)$ = pressão de saturação de vapor em determinada temperatura do ar T (kPa);

T = temperatura do ar (°C).

- Pressão de saturação de vapor – e_s (kPa);

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + (T_{\min})}{2} \quad \dots(7)$$

- Radiação líquida na superfície das culturas - R_n ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)

$$R_N = R_{ns} - R_{nl} \quad \dots(8)$$

Onde:

R_{ns} = radiação de onda curta líquida que chega a superfície terrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

R_{nl} = radiação de onda longa líquida que chega a superfície terrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

$$R_{ns} = 1 - \alpha(R_s) \quad \dots(9)$$

Em que:

α = albedo ou coeficiente de reflexão da cobertura vegetal, ao qual assume o valor de 0,23 para a grama de referência hipotética (adimensional).

...(10)

$$\text{Onde: } R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max} K^4 + T_{\min} K^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a})(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35)$$

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

$T_{\max} K$ = temperatura máxima absoluta durante período de 24 h (K);

$T_{\min} K$ = temperatura mínima absoluta durante período de 24 h (K);

R_s = radiação solar incidente medida ou calculada ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

R_{SO} = radiação do céu claro medida ou calculada ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad \dots(11)$$

Em que:

z = altitude da estação em relação ao nível do mar (m);

R_a = radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A radiação extraterrestre (R_a) do 15° dia do mês para o hemisfério sul foi estimada, conforme Allen et al. (1998), interpolando-se para a região de estudo, conforme apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) para os meses do ano, de acordo com a latitude

| R_a | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|----------------------------|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) | | | | | | | | | | | |
| 4° | 37,6 | 38,3 | 38,0 | 36,0 | 33,4 | 31,8 | 32,3 | 34,6 | 37,0 | 38,0 | 37,6 | 37,2 |
| 6° | 38,3 | 38,7 | 38,0 | 35,6 | 32,7 | 30,9 | 31,5 | 34,0 | 36,8 | 38,2 | 38,2 | 38,0 |
| Fator para interpolação | 0,35 | 0,20 | 0,00 | -0,20 | -0,35 | -0,45 | -0,40 | -0,30 | -0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,40 |
| 5,5° | 38,1 | 38,6 | 38,0 | 35,7 | 32,9 | 31,1 | 31,7 | 34,2 | 36,9 | 38,2 | 38,1 | 36,6 |
| R_a média | 37,9 | 38,5 | 38,0 | 35,9 | 33,2 | 31,5 | 32,0 | 34,4 | 37,0 | 38,1 | 37,9 | 36,8 |

A proposta do modelo de estimativa da evapotranspiração de referência por Penman- Monteith FAO com dados limitados assume que:

1. Ao amanhecer a temperatura está próxima da temperatura mínima e esta por sua vez considera-se que esteja próxima do ponto de orvalho, o ar está próximo da saturação com vapor d'água e a umidade relativa próxima de 100%. Esta temperatura é empregada para estimativa da pressão de vapor real (e_a), então:

$$e_a = e^o(T_{\min}) = 0,611 \exp \left[\frac{17,27 T_{\min}}{T_{\min} + 237,3} \right] \quad \dots(12)$$

Em que:

e_a = pressão de vapor real (kPa);

$e^o(T_{\min})$ = pressão de saturação de vapor na temperatura mínima (kPa);

T_{\min} = temperatura mínima (°C).

2. Na ausência de dados, u_2 é considerado 2 m s^{-1} que é a média de mais de 2.000 estações ao redor do globo;

3. O efeito do fluxo de calor no solo (G) é ignorado para cálculos diários, uma vez que sua magnitude é pequena;

4. A diferença entre a temperatura máxima e mínima está relacionada com o grau de cobertura de nuvens de uma localidade. Condições de céu claro resultam em altas temperaturas durante o dia (T_{\max}) por causa da transparência atmosférica a radiação solar que chega, e temperaturas mais baixas durante a noite (T_{\min}) por causa de menos radiação de onda longa refletida que é absorvida pela atmosfera. Por outro lado, em dias nublados, T_{\max} é relativamente menor porque parte significativa da radiação solar nunca atinge a superfície da terra e é absorvida e refletida pelas nuvens. De forma similar, T_{\min} será relativamente mais alta, uma vez que a cobertura de nuvens age como uma coberta que diminui a radiação de onda longa líquida refletida. Desta forma, o cálculo da radiação é baseado pela diferença entre temperaturas máxima e mínima:

$$R_s = k_r \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} R_a \quad \dots(13)$$

Onde:

R_s = radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

R_a = radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

T_{\max} = Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$);

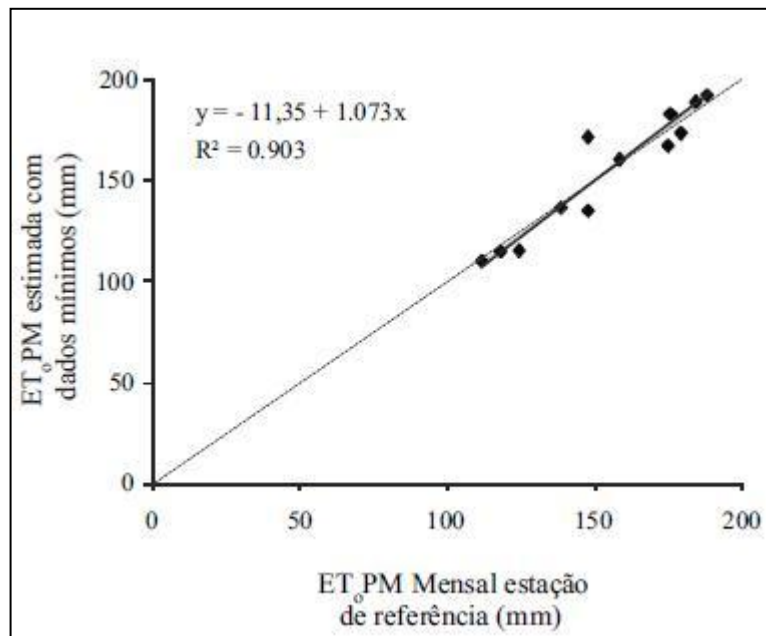
T_{\min} = Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$);

K_r = coeficiente de ajuste (0,16;...;0,19) ($^{\circ}\text{C}^{-0,5}$).

5. Segundo Allen et al. (1998), o coeficiente de ajuste, K_r , varia de 0,16 para o interior, e massas de ar que não sofrem influência de um grande corpo hídrico a 0,19 para locais costeiros onde as massas de ar são influenciadas por um corpo hídrico próximo, sendo necessária a sua validação local.

Antes de estimar a EToPM com dados limitados, foi ajustado os valores do K_r (coeficiente de ajuste que varia de 0,16 a 0,19, segundo Allen et al. (1998)) para a região. O melhor K_r para a cidade de Limoeiro do Norte foi ajustado por Gondim (2009), sendo o K_r de 0,17 com R^2 de 0,90 e $b=1,07$ (Figura 3), quando comparado à qualidade de ajuste para um K_r de 0,16; 0,18 e 0,19.

Figura 3 - Regressão linear entre EToPM estimada com dados da estação de referência localizada em Limoeiro do Norte – Ce e com dados limitados utilizando $K_r = 0,17$ por Gondim (2009)



Sabendo-se que a região em estudo está situada entre Limoeiro do Norte ($K_r = 0,17$) e o litoral (segundo Allen et al. (1998) com o $K_r = 0,19$) adotou-se o valor de 0,18 como K_r .

3.4 Etapa 3

3.4.1 Programação dos ciclos de plantio

Para efeito do manejo da irrigação e do consumo de água, o ciclo do meloeiro pode ser dividido em quatro fases de desenvolvimento: inicial, crescimento vegetativo, frutificação e maturação. Miranda et al. (1999) recomendam para o meloeiro o uso de valores de coeficiente de cultivo (K_c), de 0,2 a 1,2 durante todo o cultivo, portanto foi calculado um valor de K_c para cada fase.

Foram considerados no experimento três ciclos de cultivo: 1º de julho até 5 de setembro; 1º de setembro a 5 de novembro e 1º de novembro a 5 de janeiro, tendo por base o período em que se produz melão irrigado na região. A seguir foi calculada a

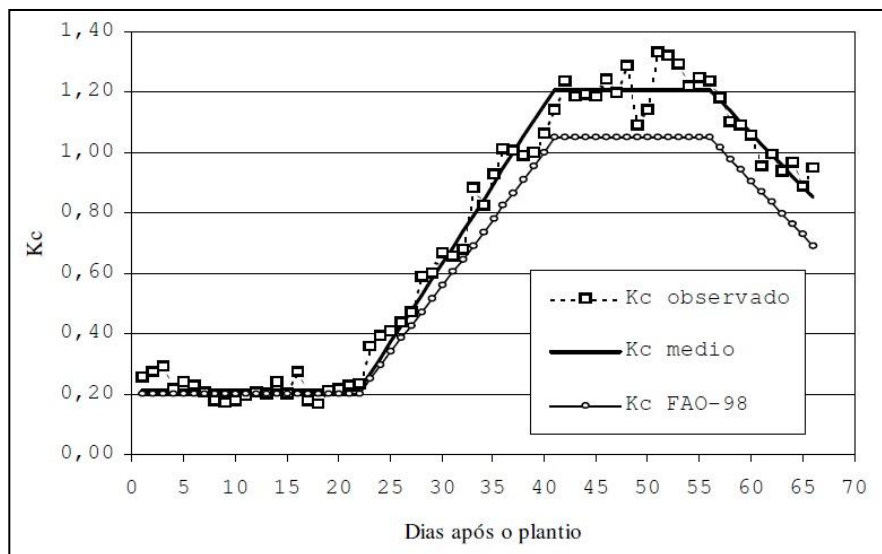
evapotranspiração da cultura (ETc) para cada fase e cada ciclo de cultivo para a climatologia de base e para o ano de 2040, nos cenários A2 e B2.

3.4.2 Determinação dos valores de Kcs e ETcs

Os valores da evapotranspiração do melão, foram calculados utilizando uma planilha do Microsoft Excel desenvolvida a partir dos coeficientes de cultivo do meloeiro obtidos por Miranda et al., (2008).

Os valores do coeficiente de cultivo (Kc) foram extraídos do gráfico (Figura 4) obtido por Miranda et. al (1999). Em que 0,30 corresponde a média do Kc no primeiro mês, 1,1 ao Kc no segundo mês e 1,03 ao Kc nos últimos 5 dias.

Figura 4 - Variação do coeficiente de cultivo ao longo do ciclo da cultura do melão



A planilha (Figura 5) fornece resultados de evapotranspiração de referência, coeficiente da cultura, evapotranspiração da cultura, tempo volume de irrigação por dia. Porém como não se possuía todos os dados meteorológicos necessários para obter esses resultados, foi utilizada outra opção que a planilha também disponibiliza, que é a de usar apenas evapotranspiração média em cada fase como dado de entrada, tendo como resultado a evapotranspiração (ETc melão).

Figura 5 - Planilha utilizada para o cálculo da ETc do meloeiro (Miranda et al., 2008)

| Dia após o Plantio | ET _o Média (mm) | Cobertura do solo (%) | Temp. Máxima (C°) | Temp. Mínima (C°) | Umidade Relativa (%) | Radiação Solar MJ·m ⁻² ·d ⁻¹ | Veloc. Vento (km.d ⁻¹) | Precipitação (mm) | RESULTADOS | | | | |
|---|----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|--|------------------------------------|-------------------|--------------------|----------|---------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | | | | | | | ET Referência (mm) | Kc Melão | ET Melão (mm) | Tempo de Irrigação por dia (horas) | Volume Aplicado (m ³ /ha) |
| Fase Inicial: da sementeira até 10% de cobertura do solo | | | | | | | | | | | | | |
| Pré-Plantio | | | | | | | | | | | | 3,0 | 30,0 |
| 0 | | | 35,0 | 22,0 | 60,0 | 23,0 | 200 | 0 | 5,8 | 0,13 | 0,8 | 0,9 | 8,5 |
| 1 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 4 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 5 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 6 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 7 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 8 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 9 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 10 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 11 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 12 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 13 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 14 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 15 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 16 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 17 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 18 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 19 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 20 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 21 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 22 | | | | | | | | | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

3.4.3 Cálculo da necessidade hídrica

Para o cálculo das necessidades hídricas dos ciclos do meloeiro aplicou-se um modelo simples de balanço hídrico com precipitação e evapotranspiração mensal. A estimativa da demanda de água para irrigação foi calculada considerando-se as diferenças entre a evapotranspiração da cultura e precipitação efetiva. Assumindo-se que no início das irrigações não haja déficit de umidade no solo (Díaz et al., 2007), a necessidade hídrica líquida do melão (NHL) foi obtida pela equação 14 :

$$NHL_i = ET_{o_i} \times Kc - ppt_i \quad \dots(14)$$

Onde:

- NHL_i = necessidade hídrica líquida no mês i (mm);
- ET_{o_i} = evapotranspiração de referência no mês i (mm);
- Kc = coeficiente de cultivo mensal (adimensional);
- ppt_i = precipitação média no mês i (mm).

Foram gerados mapas anuais de precipitação através dos dados fornecidos pelo modelo de mudanças climáticas para o período de *baseline* e no ano de 2040 nos cenários A2 e B2. Em seguida foi extraído desses mapas anuais a precipitação média referente a cada mês, e em cada uma das condições fornecidas, conforme pode ser observado nas Figuras 6, 7 e 8 respectivamente.

Figura 6 - Mapa temático da precipitação anual (mm) para o período 1961-1990 (baseline)

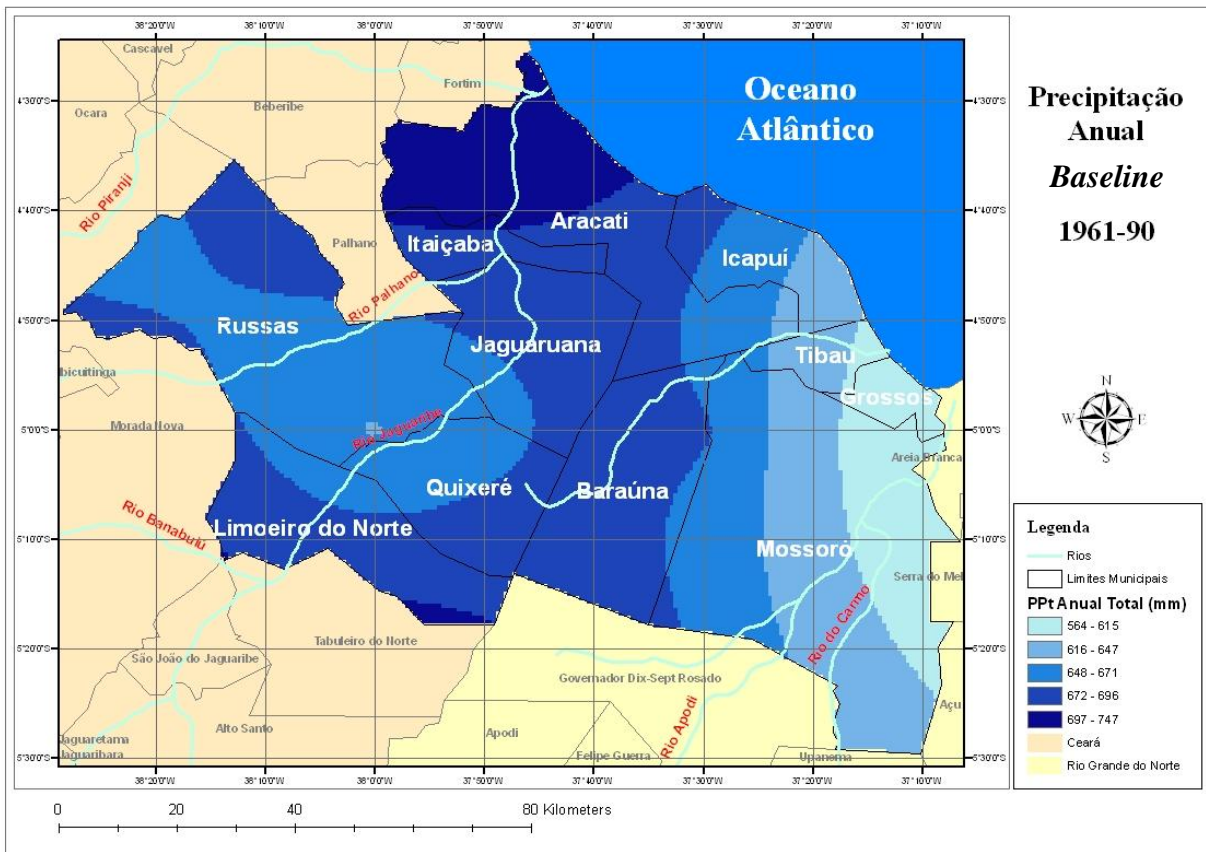


Figura 7 - Mapa temático das projeções da precipitação anual (mm) para 2040, cenário A2

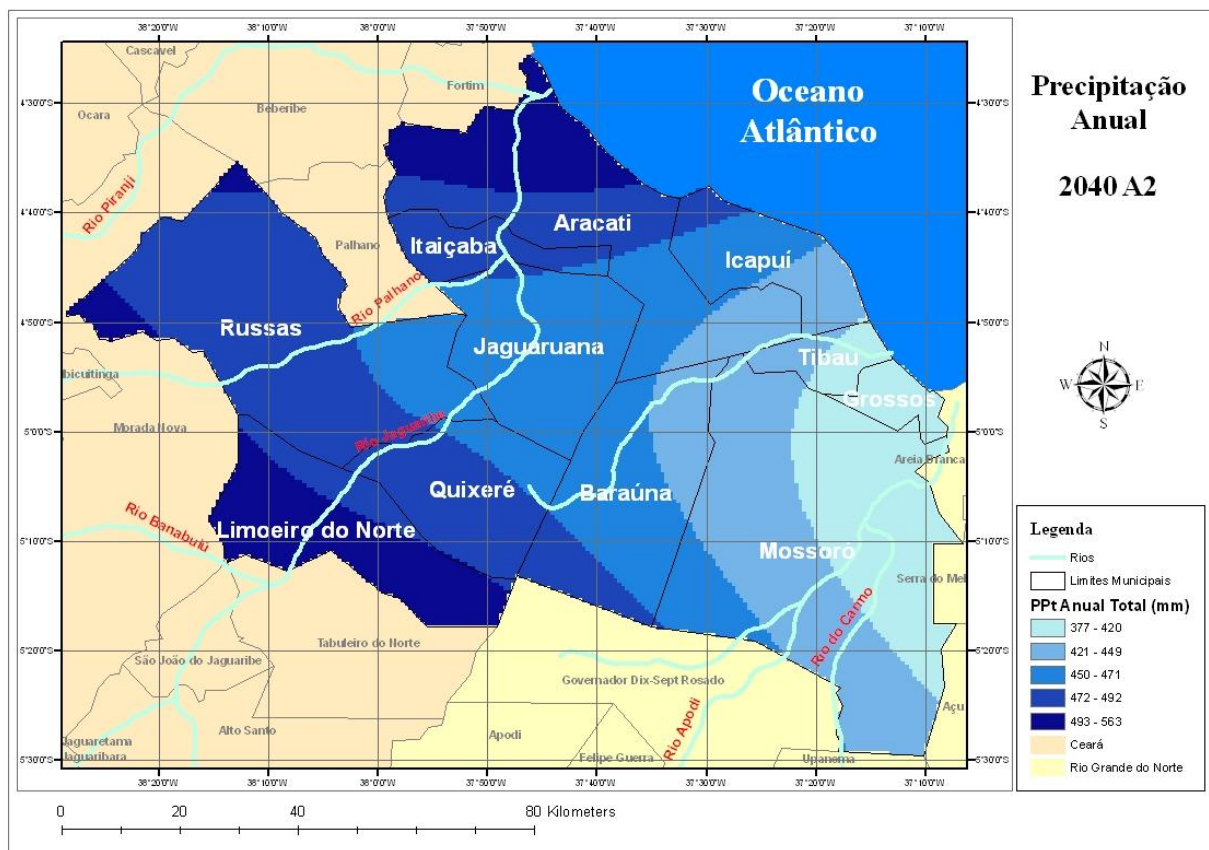
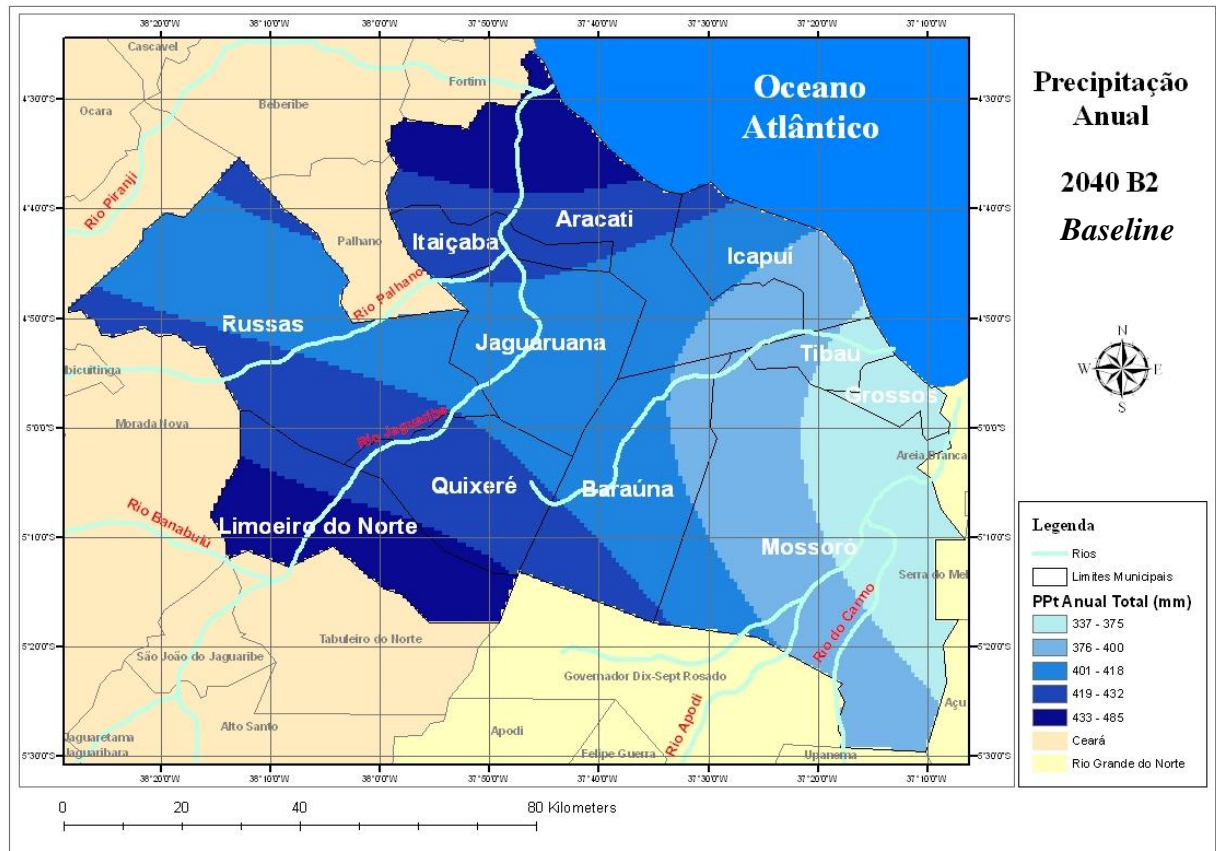


Figura 8 - Mapa temático das projeções da precipitação anual (mm) para 2040, cenário B2



A Necessidade Hídrica Bruta (NHB) do meloeiro foi calculada pela equação 15:

$$NHB_i = \frac{NHL_i}{E_a} \quad \dots(15)$$

Em que:

NHB_i = necessidade hídrica bruta no mês i (mm);

NHL_i = necessidade hídrica líquida no mês i (mm);

E_a = eficiência de aplicação

Foi adotado um valor médio de 0,85 para a eficiência dos sistemas de irrigação localizada da região estudada.

Os mapas temáticos das necessidades hídricas brutas nos ciclos 1, 2 e 3 para 1961-90 e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2 foram resultados da interpolação dos dados georeferenciados, empregando-se o método da krigagem.

Para os mapas das projeções da necessidade hídrica bruta (mm) foram feitos mapas algébricos utilizando a ferramenta *raster calculator* do programa *Arc Gis* versão 9.3, aplicando a fórmula a seguir para cada ciclo e dentro de cada período:

$$\text{NHB}_{\text{CICLO1}} = (((\text{ETO}_{\text{julho}} \times 0,30) - \text{Ppt}_{\text{julho}}) / 0,85) + (((\text{ETO}_{\text{agosto}} \times 1,1) - \text{Ppt}_{\text{agosto}}) / 0,85) + (((\text{ETO}_{\text{setembro}/30} \times 5) \times 1,03) - ((\text{Ppt}_{\text{setembro}/30} \times 5) / 0,85))$$

$$\text{NHB}_{\text{CICLO2}} = (((\text{ETO}_{\text{setembro}} \times 0,30) - \text{Ppt}_{\text{setembro}}) / 0,85) + (((\text{ETO}_{\text{outubro}} \times 1,1) - \text{Ppt}_{\text{outubro}}) / 0,85) + (((\text{ETO}_{\text{novembro}/30} \times 5) \times 1,03) - ((\text{Ppt}_{\text{novembro}/30} \times 5) / 0,85))$$

$$\text{NHB}_{\text{CICLO3}} = (((\text{ETO}_{\text{novembro}} \times 0,30) - \text{Ppt}_{\text{novembro}}) / 0,85) + (((\text{ETO}_{\text{dezembro}} \times 1,1) - \text{Ppt}_{\text{dezembro}}) / 0,85) + (((\text{ETO}_{\text{janeiro}/31} \times 5) \times 1,03) - ((\text{Ppt}_{\text{janeiro}/31} \times 5) / 0,85))$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Evapotranspiração de referência (ET_o)

Utilizando o programa *Arc Gis* versão 9.3 foram feitos mapas temáticos da evapotranspiração nos ciclo 1, 2 e 3, para o período de *baseline* e cenários 2040 A2 e B2. No programa, utilizou-se a ferramenta *raster calculator* para produzir os mapas de cada ciclo a partir da seguinte fórmula:

$$ET_{o\text{ ciclo}_1} = ET_{o\text{julho}} + ET_{o\text{agosto}} + ((ET_{o\text{setembro}}/30) \times 5)$$

$$ET_{o\text{ ciclo}_2} = ET_{o\text{setembro}} + ET_{o\text{outubro}} + ((ET_{o\text{novembro}}/30) \times 5)$$

$$ET_{o\text{ ciclo}_3} = ET_{o\text{novembro}} + ET_{o\text{dezembro}} + ((ET_{o\text{janeiro}}/31) \times 5)$$

A fórmula envolve a aplicação dos mapas de evapotranspiração dos meses correspondentes a cada ciclo, como cada ciclo tem aproximadamente 65 dias, então significa que cada ciclo terá dados da ET_o de dois meses completos e de 5 dias do terceiro mês.

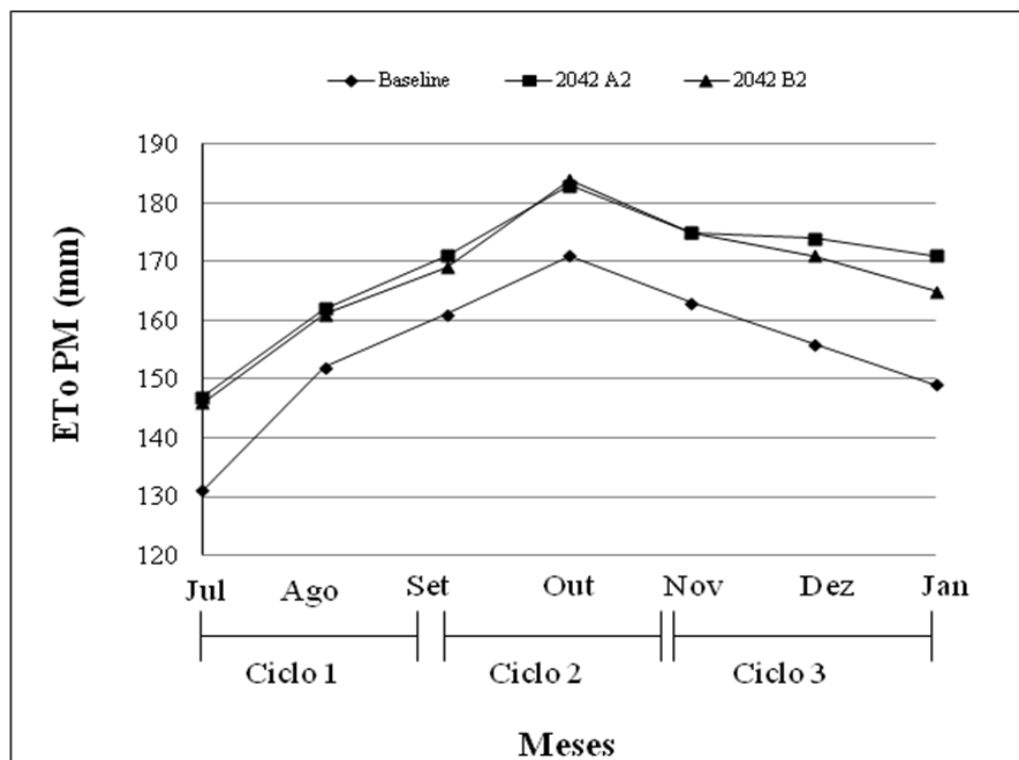
Na Tabela 4 são apresentados as médias mensais de evapotranspiração de referência (mm) e totais de cada ciclo, segundo Penman Monteith FAO, estimada com dados mínimos, para o período de 1961-90, a climatologia de base do modelo (*baseline*) e projeções para o ano de 2040, nos cenários A2 e B2, assim como valores mínimos, máximos, médias e desvio padrão observados na região estudada. Com os valores dos totais observados nos períodos dos três ciclos analisou-se as diferenças entre as condições iniciais e o ano de 2040. A comparação gráfica está representada na Figura 9.

Foi estimada uma elevação média na evapotranspiração total em relação à climatologia de base dos três ciclos de 63 mm e 77 mm (6,2 % e 7,6%) para os cenários A2 e B2, respectivamente. Para o cenário A2 o modelo projetou uma maior elevação da evapotranspiração no mês de dezembro (18 mm). Para o cenário B2 a maior elevação ocorreu nos meses de dezembro e janeiro (ambos 15 mm).

Tabela 4 - Projeções da evapotranspiração de referência - ETo Penman-Monteith mensal (mm) para os três ciclos, estimada com dados mínimos para o ano de 2040, cenários A2 e B2 - mínimos, máximo, média e desvio padrão observados e o total nos ciclos (mm), em relação ao período de referência (1961-90) na região estudada

| EToPM (mm) | Baseline – 1961-90 | | | | 2040 A2 | | | | | 2040 B2 | | | | |
|------------|--------------------|--------|-------|---------------|---------|--------|-------|---------------|------------|---------|--------|-------|---------------|------------|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão | Variação % | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão | Variação % |
| Julho | 109 | 145 | 131 | 8,0 | 135 | 156 | 147 | 5,0 | 12,2 | 135 | 155 | 146 | 5,0 | 11,5 |
| Agosto | 128 | 167 | 152 | 9,0 | 150 | 172 | 162 | 6,0 | 6,6 | 148 | 172 | 161 | 6,0 | 5,9 |
| Setembro | 22 | 30 | 27 | 2,0 | 26 | 31 | 29 | 0,7 | 7,4 | 26 | 31 | 29 | 1,1 | 7,4 |
| Ciclo 1 | 259 | 342 | 310 | | 311 | 359 | 338 | | 9,0 | 309 | 358 | 336 | | 8,4 |
| Setembro | 134 | 178 | 161 | 10,0 | 155 | 183 | 171 | 7,0 | 6,2 | 153 | 181 | 169 | 7,0 | 5 |
| Outubro | 143 | 190 | 171 | 11,0 | 166 | 197 | 183 | 8,0 | 7,0 | 167 | 198 | 184 | 7,0 | 7,6 |
| Novembro | 23 | 30 | 27 | 14,0 | 20 | 30 | 26 | 1,7 | -3,7 | 27 | 31 | 29 | 1,7 | 7,4 |
| Ciclo 2 | 300 | 398 | 359 | | 341 | 410 | 380 | | 5,8 | 347 | 410 | 382 | | 6,4 |
| Novembro | 137 | 180 | 163 | 10,0 | 120 | 179 | 175 | 13,0 | -4,9 | 159 | 188 | 175 | 7,0 | 7,4 |
| Dezembro | 129 | 172 | 156 | 10,0 | 158 | 187 | 174 | 7,0 | 11,5 | 155 | 184 | 171 | 7,0 | 9,6 |
| Janeiro | 20 | 27 | 24 | 2,0 | 25 | 30 | 28 | 1,2 | 16,7 | 23 | 28 | 25 | 1,8 | 4,2 |
| Ciclo 3 | 286 | 379 | 343 | | 303 | 396 | 357 | | 4,1 | 337 | 400 | 371 | | 8,2 |
| Total | 845 | 1119 | 1012 | | 955 | 1165 | 1075 | | 6,2 | 993 | 1168 | 1089 | | 7,6 |

Figura 9 - Projeções da evapotranspiração mensal - ETo (mm) para os três ciclos, no período de *baseline* e no ano de 2040, cenários A2 e B2 na região estudada



Os mapas temáticos da evapotranspiração de referência (mm), segundo Penman-Monteith FAO, estimada com dados limitados, para 1961-90 e 2040 cenários A2 e B2, são apresentados nas figuras 10, 11 e 12 (ciclo 1), figuras 13, 14 e 15 (ciclo 2) e figuras 16, 17 e 18 (ciclo 3).

Figura 10 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o período de 1961-1990

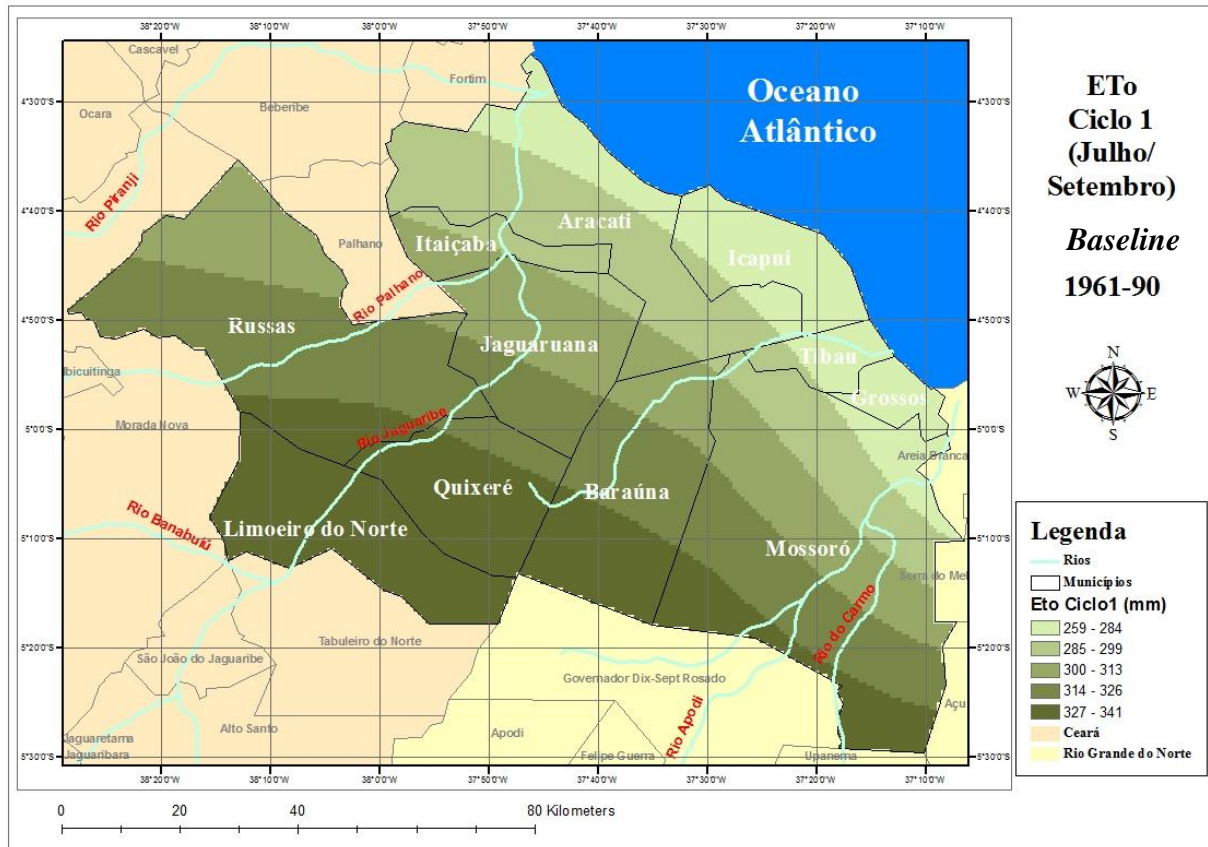


Figura 11 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o ano de 2040, no cenário A2

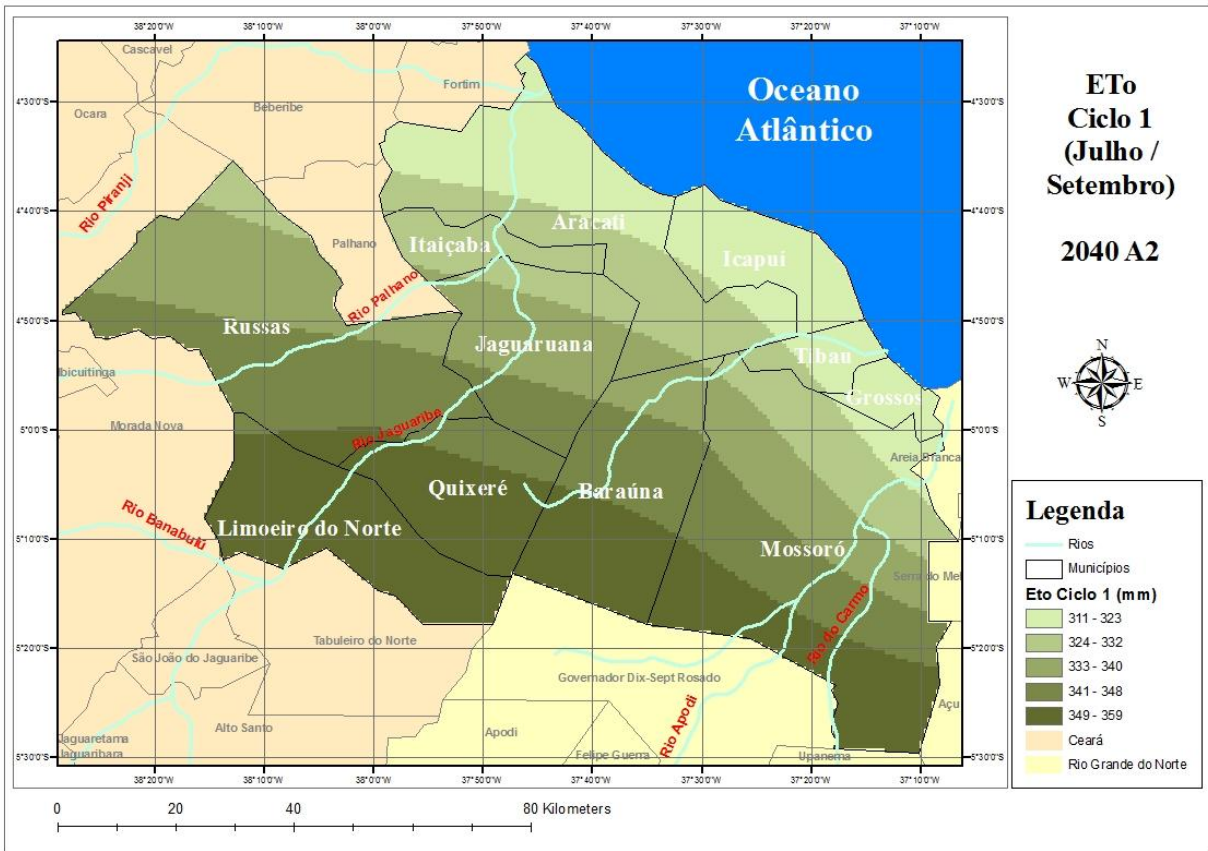


Figura 12 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o ano de 2040, no cenário B2

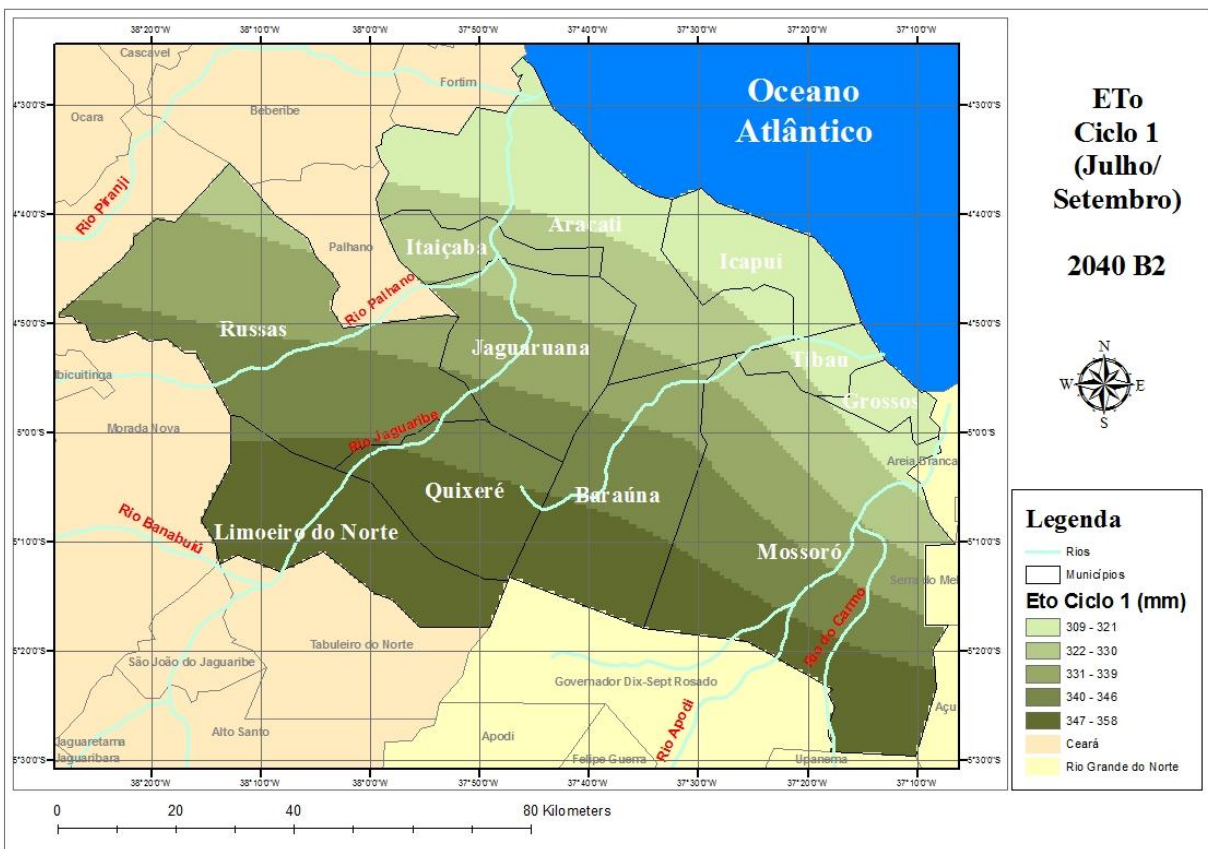


Figura 13 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 2 (julho a setembro) do melão, para o período de 1961-1990



Figura 14 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 2 (julho a setembro) do melão, para o ano de 2040 no cenário A2.

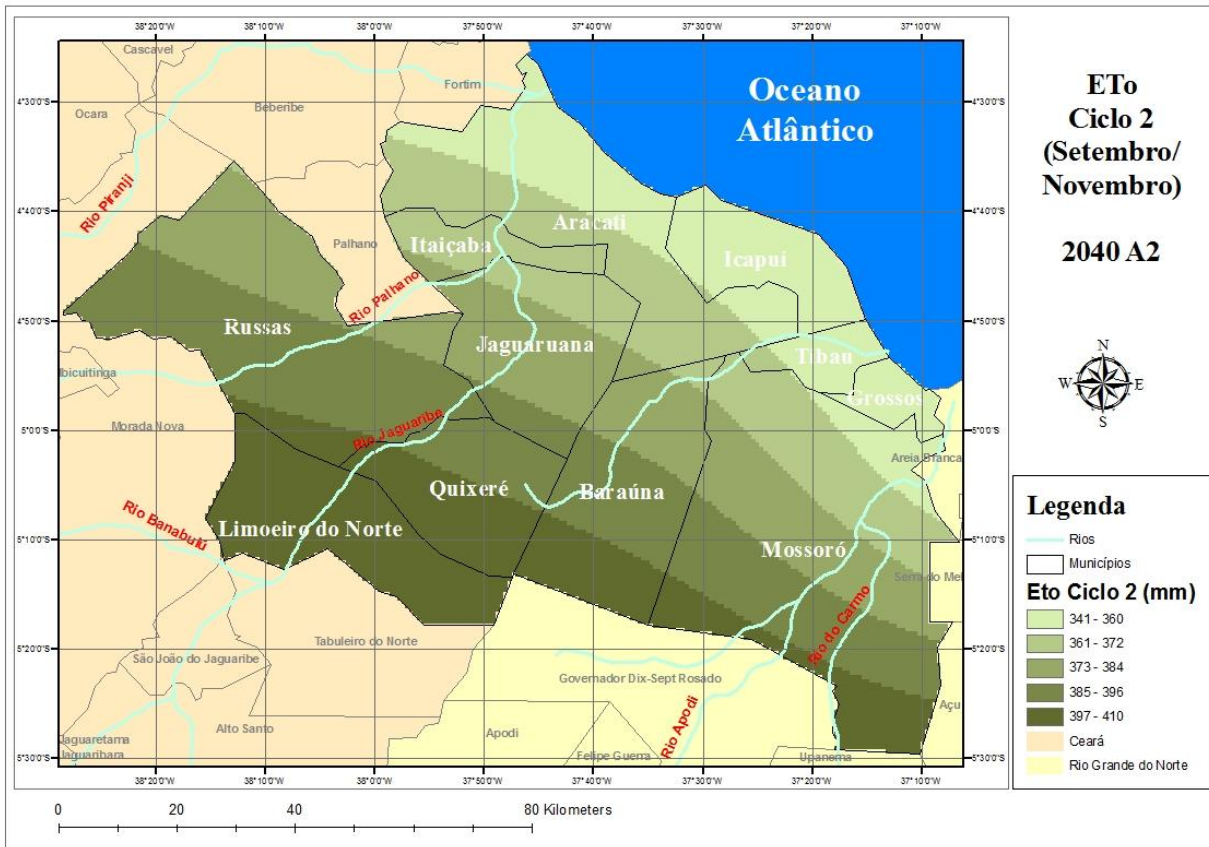


Figura 15 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 2 (julho a setembro) do melão, para o ano de 2040 no cenário B2

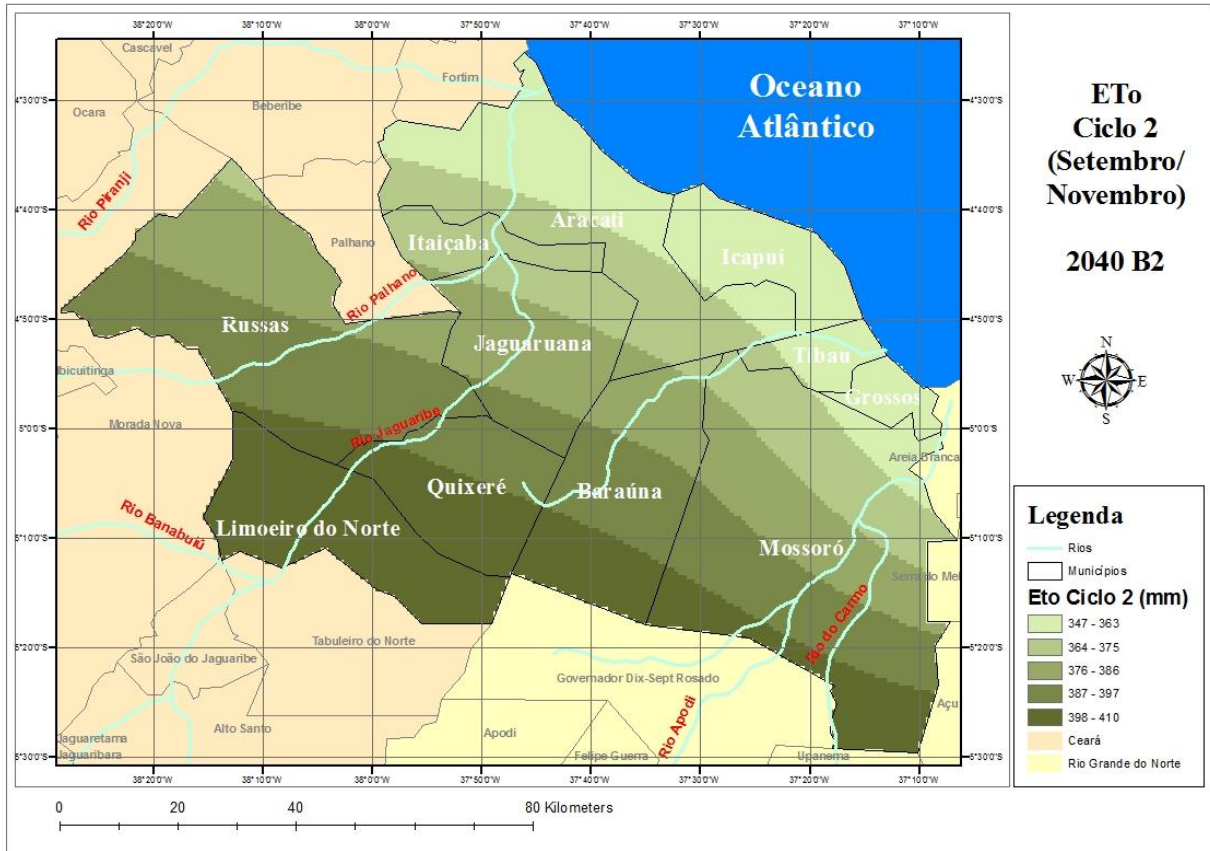


Figura 16 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 3 (setembro a novembro) do melão, para o período de 1961-1990

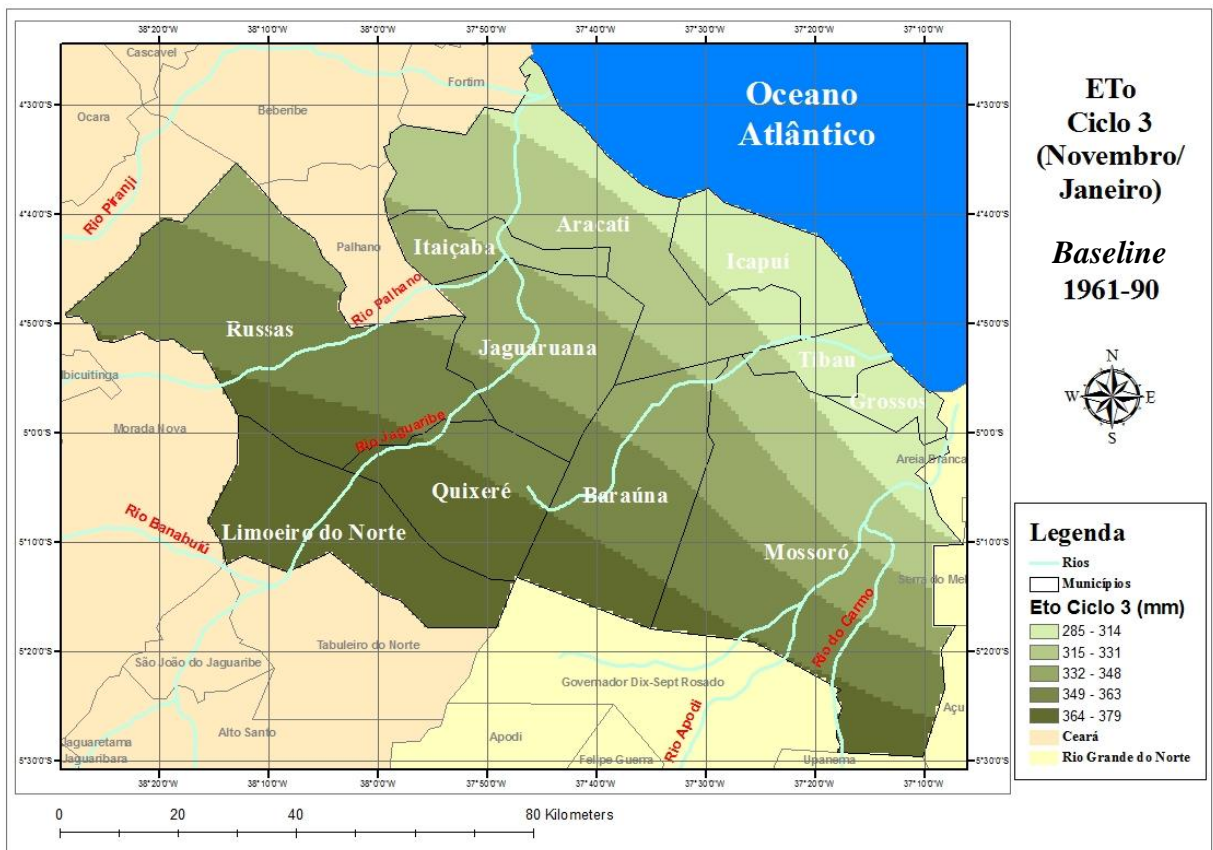
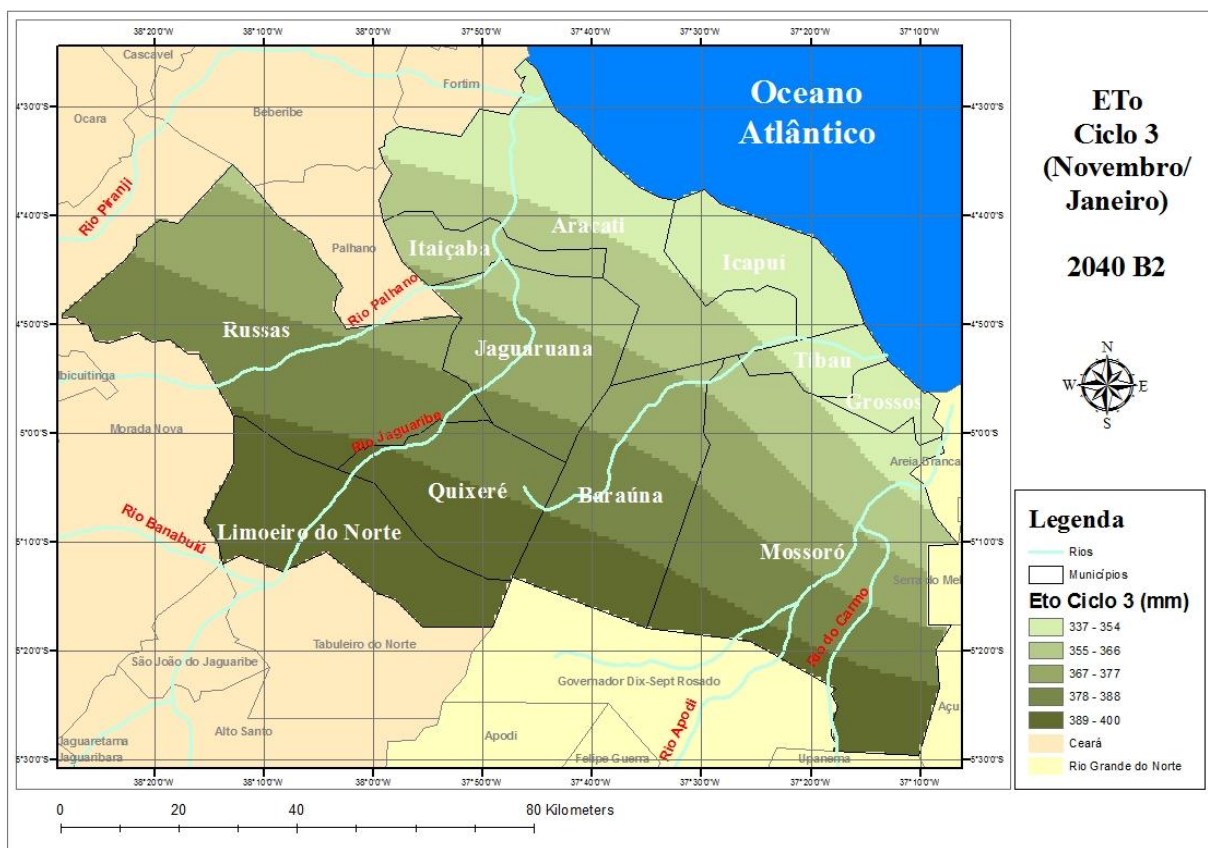


Figura 17 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 3 (setembro a novembro) do melão, para o ano de 2040 no cenário A2



Figura 18 - Mapa temático da EToPM (mm) no ciclo 3 (setembro a novembro) do melão, para o ano de 2040 no cenário B2



4.2 Coeficiente de Cultivo

Com o auxílio da planilha de Miranda et al., (2008) e de posse dos dados de evapotranspiração média, foram obtidos os valores de Kc e ETc dentro de cada ciclo (1° de julho até 5 de setembro; 1° de setembro a 5 de novembro e 1° de novembro a 5 de janeiro), em cada período (*baseline*, 2040 A2 e 2040 B2), para cada fase (inicial – fase 1, crescimento vegetativo – fase 2, frutificação – fase 3 e maturação – fase 4).

Os resultados dos coeficientes de cultivos (Kc) e evapotranspiração da cultura (ETc) para os três ciclos, no período *baseline* e ano de 2040, cenários A2 e B2, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de Kcs, ETcs diárias e ETo total durante os ciclos, dentro de cada fase e para o período de *baseline* e 2040, nos cenários A2 e B2, na região estudada

| Ciclo de cultivo | Kc | | | | ETc (mm dia ⁻¹) | | | | Evapotranspiração de Referência (ETo) total durante todo o ciclo da cultura (mm) |
|--|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|--|
| | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 4 | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | Fase 4 | |
| <i>Baseline</i> | | | | | | | | | |
| Ciclo 1 - 1° de julho a 6 de setembro | 0,26 | 0,76 | 1,2 | 1,03 | 1,1 | 3,6 | 5,9 | 5,3 | 227,4 |
| Ciclo 2 - 1° de setembro a 6 de novembro | 0,26 | 0,76 | 1,2 | 1,03 | 1,4 | 4,1 | 6,6 | 5,6 | 260,1 |
| Ciclo 3 - 1° de novembro a 6 de janeiro | 0,26 | 0,76 | 1,2 | 1,03 | 1,4 | 3,9 | 6,0 | 5,0 | 241,6 |
| 2040 A2 | | | | | | | | | |
| Ciclo 1 - 1° de julho a 6 de setembro | 0,26 | 0,76 | 1,2 | 1,03 | 1,5 | 4,0 | 6,3 | 5,7 | 281,3 |
| Ciclo 2 - 1° de setembro a 6 de novembro | 0,26 | 0,76 | 1,2 | 1,03 | 1,5 | 4,4 | 7,1 | 5,5 | 275,0 |
| Ciclo 3 - 1° de novembro a 6 de janeiro | 0,26 | 0,76 | 1,2 | 1,03 | 1,4 | 4,2 | 6,7 | 5,7 | 261,7 |
| 2040 B2 | | | | | | | | | |
| Ciclo 1 - 1° de julho a 6 de setembro | 0,26 | 0,76 | 1,2 | 1,03 | 1,2 | 3,8 | 6,2 | 5,6 | 242,9 |
| Ciclo 2 - 1° de setembro a 6 de novembro | 0,26 | 0,76 | 1,2 | 1,03 | 1,5 | 4,4 | 7,1 | 6,0 | 278,4 |
| Ciclo 3 - 1° de novembro a 6 de janeiro | 0,26 | 0,76 | 1,2 | 1,03 | 1,5 | 4,2 | 6,6 | 5,5 | 264,0 |

A planilha permitiu a obtenção da evapotranspiração de referência total, sendo essa uma variável importante a ser observada, principalmente no âmbito de estudos de impactos das mudanças climáticas em agricultura irrigada. No que diz respeito aos ciclos de cultivo 2 e 3 (1° de setembro a 5 de novembro e 1° de novembro a 5 de janeiro, respectivamente) não tem a mesma tendência que o ciclo 1, haja vista que a ETo total na

climatologia de base apresenta os menores valores, 2040 B2 os maiores valores e 2040 A2 os valores intermediários.

Como esperado, no período da climatologia de base foram obtidos os menores níveis de evapotranspiração de referência total, seguido de 2040 A2 e 2040 B2, com exceção apenas do ciclo 1 em A2 que apresentou a maior evapotranspiração de referência 281,3 mm.

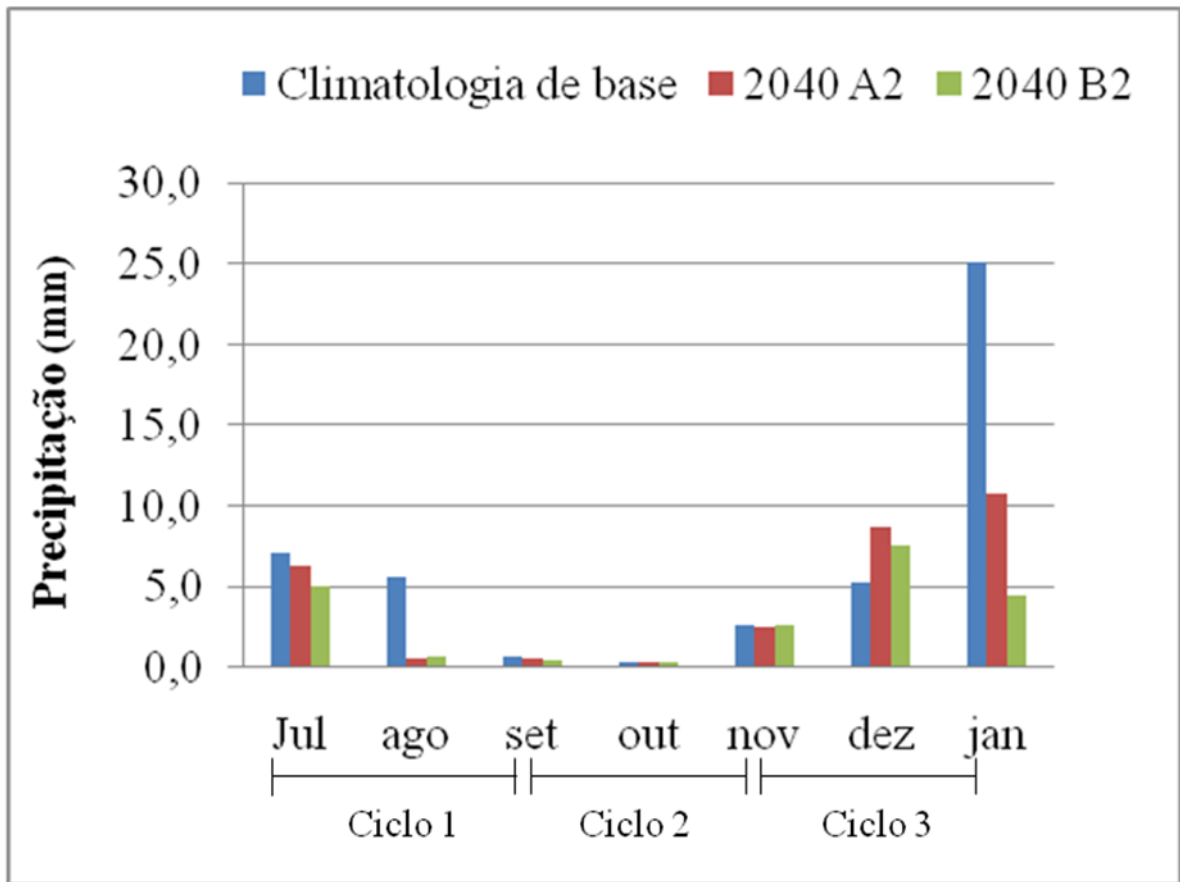
4.3 Precipitação Média Mensal (PPT)

Na Tabela 6 são apresentados os valores de precipitação média mensal de cada ciclo (mm) para a climatologia de base do modelo (1961-1990) e projeções para 2040, cenários A2 e B2, bem como mínimos, máximos, média e desvio padrão observados para a região estudada e a representação gráfica pode ser observada na Figura 19. Projetou-se para o ano de 2040 reduções nos valores da precipitação, em que a maior redução observada ocorreu no ciclo 1, especificamente no mês de agosto, sendo 89,3% e 88,4% nos cenários A2 e B2, respectivamente. Em contrapartida a redução em menor escala o foi no ciclo 3, em novembro, 3,8% para A2 e 0,8% para B2. Vale salientar que em ambos os cenários o mês de outubro não apresentou nenhuma redução ou elevação. O modelo climático estima que o total precipitado durante o período dos três ciclos (julho a janeiro) para *baseline* (49,3 mm) sofra um decréscimo de 38,3% (30,4 mm) no cenário A2 e de 55,9% (21,76 mm) no cenário B2.

Tabela 6 - Precipitação média mensal (mm) para os três ciclos, na climatologia de base do modelo e projeções para o ano de 2040, cenários A2 e B2 - mínimos, máximos, média e desvio padrão observados na região estudada

| Precipitação (mm) | Baseline | | | | 2040 A2 | | | | | 2040 B2 | | | | |
|-------------------|----------|--------|-------|---------------|---------|--------|-------|---------------|-------|---------|--------|-------|---------------|-------|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão | % | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão | % |
| Julho | 4,8 | 8,5 | 7,1 | 0,7 | 4,5 | 8,3 | 6,3 | 0,6 | -11,3 | 4,34 | 6,18 | 5,08 | 0,3 | -28,5 |
| Agosto | 3,9 | 6,7 | 5,6 | 0,4 | 0,8 | 1,0 | 0,6 | 0,2 | -89,3 | 0,6 | 0,75 | 0,65 | 0,02 | -88,4 |
| Setembro | 0,1 | 0,8 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,03 | -66,7 | 0,01 | 0,2 | 0,08 | 0,01 | -73,3 |
| Ciclo 1 | 8,8 | 16 | 13 | 1,2 | 5,5 | 9,5 | 7,0 | 0,8 | -46,2 | 5,0 | 7,1 | 5,8 | 0,33 | -55,3 |
| Setembro | 0 | 1,2 | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 0,6 | 0,2 | -14,3 | 0,06 | 1,05 | 0,5 | 0,1 | -28,6 |
| Outubro | 0,1 | 1,1 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 1,1 | 0,4 | 0,2 | 0 | 0,03 | 1,07 | 0,4 | 0,3 | 0 |
| Novembro | 1,0 | 5,0 | 2,2 | 0,9 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,1 | -81,8 | 0,23 | 0,89 | 0,4 | 0,1 | -81,8 |
| Ciclo 2 | 1,1 | 7,3 | 3,3 | 1,3 | 0,5 | 2,9 | 1,4 | 0,5 | -57,6 | 0,3 | 3 | 1,3 | 0,5 | -60,6 |
| Novembro | 1,4 | 5,5 | 2,6 | 0,9 | 1,5 | 4,6 | 2,5 | 0,7 | -3,8 | 1,4 | 5,2 | 2,62 | 0,9 | 0,8 |
| Dezembro | 3,2 | 8,2 | 5,3 | 1,0 | 5,3 | 10,0 | 8,7 | 1,0 | 64,2 | 5,4 | 10,2 | 7,53 | 1,0 | 42,1 |
| Janeiro | 19,4 | 34,3 | 25,1 | 2,6 | 9,2 | 15,4 | 10,8 | 1,6 | -57,0 | 3,7 | 6,4 | 4,5 | 0,4 | -82,1 |
| Ciclo 3 | 24,0 | 48,0 | 33,0 | 4,5 | 16,0 | 30,0 | 22,0 | 3,0 | -33,3 | 11 | 22 | 15 | 2,0 | -55,6 |
| Total | 33,9 | 71,3 | 49,3 | 7,03 | 22 | 42,4 | 30,4 | 4,63 | -38,3 | 15,77 | 32 | 21,76 | 3,13 | -55,9 |

Figura 19 - Precipitação mensal (mm) para os três ciclos, no período de *baseline* e no ano de 2040, nos cenários A2 e B2



O modelo projetou no mês de janeiro uma elevada precipitação para *baseline* 1961-1990 quando comparada com o ano de 2040 A2 e B2.

Os mapas temáticos de precipitação efetiva dos ciclos 1, 2 e 3, para o período de *baseline* e cenários 2040 A2 e B2 foram obtidos da mesma forma que os de evapotranspiração, através do programa *ArcGis* versão 9.3, com o uso da ferramenta *raster calculator* empregando a seguinte fórmula:

$$\text{Ppt ciclo}_1 = \text{Ppt}_{\text{julho}} + \text{Ppt}_{\text{agosto}} + ((\text{Ppt}_{\text{setembro}}/30) \times 5)$$

$$\text{Ppt ciclo}_2 = \text{Ppt}_{\text{setembro}} + \text{Ppt}_{\text{outubro}} + ((\text{Ppt}_{\text{novembro}}/30) \times 5)$$

$$\text{Ppt ciclo}_3 = \text{Ppt}_{\text{novembro}} + \text{Ppt}_{\text{dezembro}} + ((\text{Ppt}_{\text{janeiro}}/31) \times 5)$$

Da mesma forma que foi feito com a EToPM, foi aplicado na confecção dos mapas de precipitação, em que aplicou-se o cálculo dos meses correspondentes a cada ciclo, como cada ciclo tem aproximadamente 65 dias, então significa que cada ciclo teve dados da precipitação de dois meses completo e de 5 dias do terceiro mês. Os mapas para o ciclos 1, 2 e 3 são apresentados nas figuras 20 a 28.

Figura 20 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o período de 1961-1990

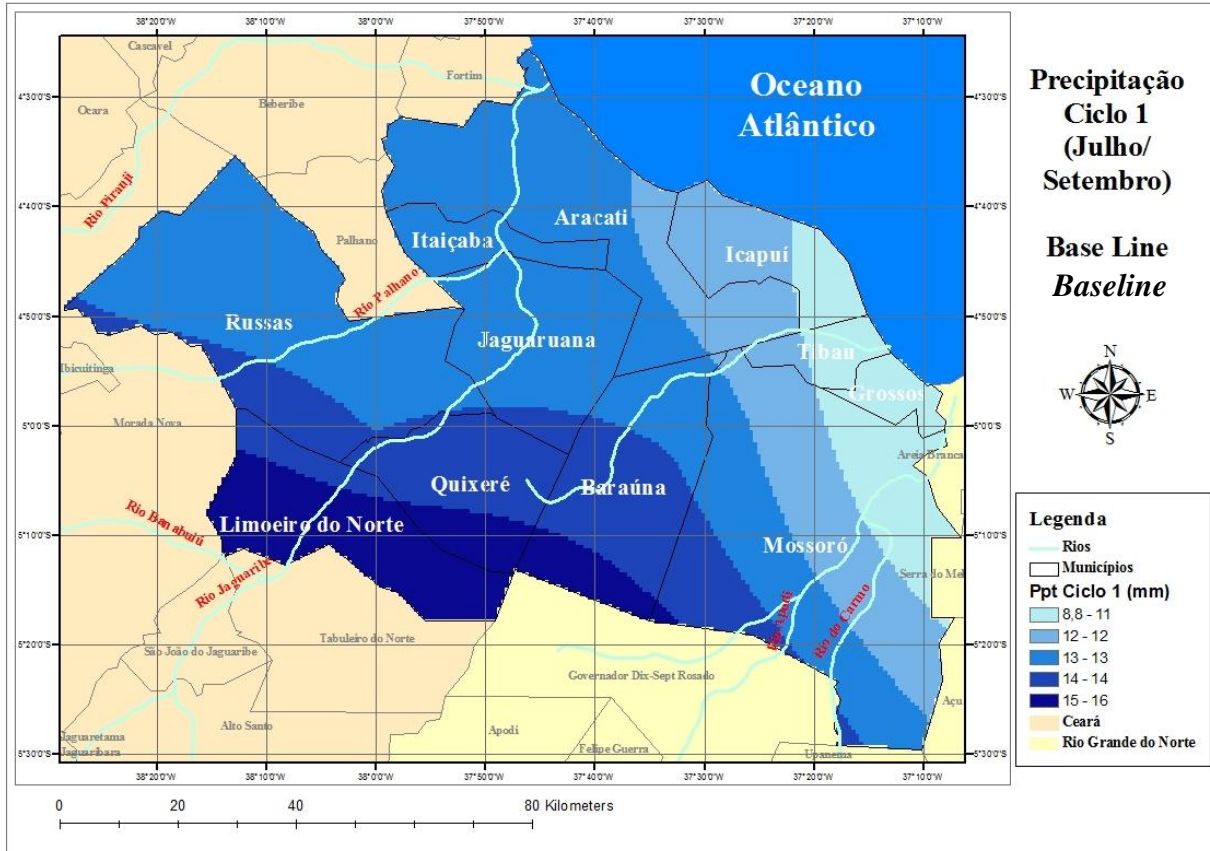


Figura 21 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o ano de 2040, no cenário A2

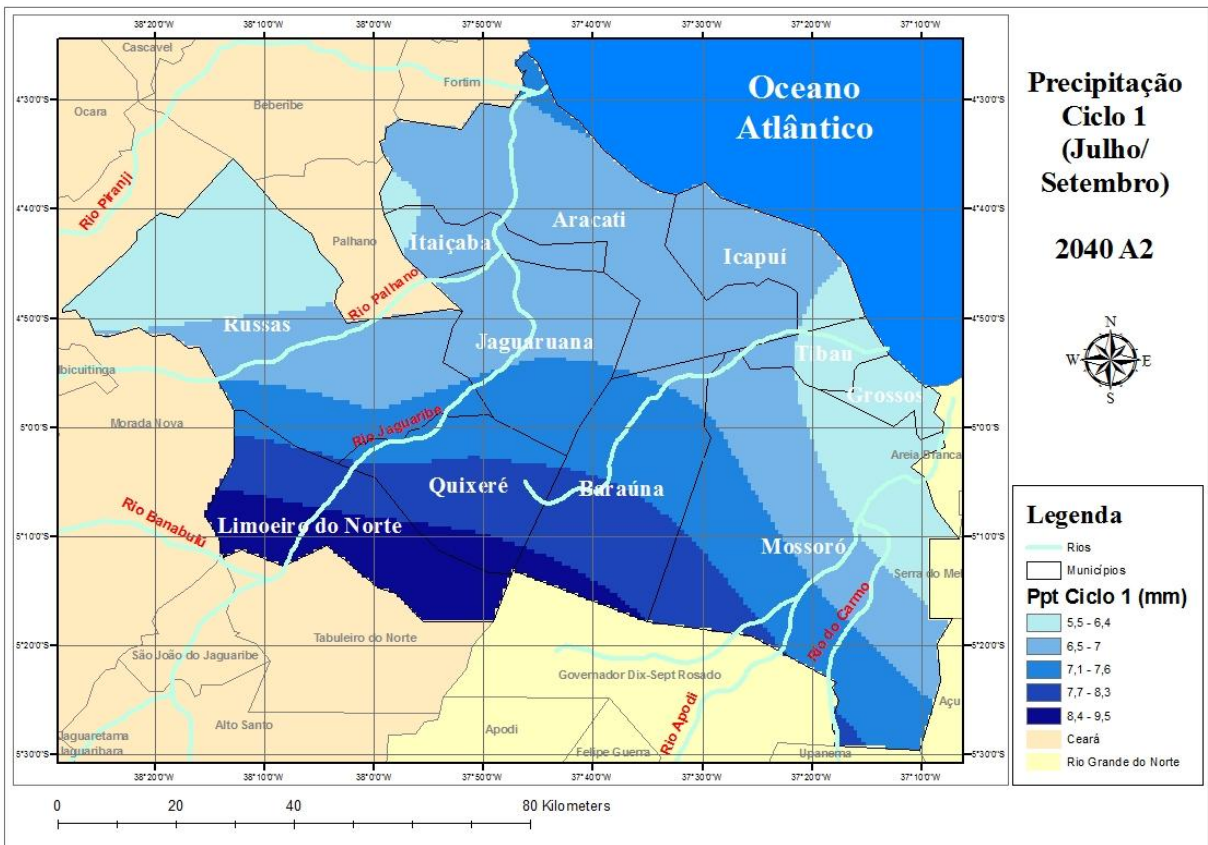


Figura 22 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 1 (julho a setembro) do melão, para o ano de 2040, no cenário B2

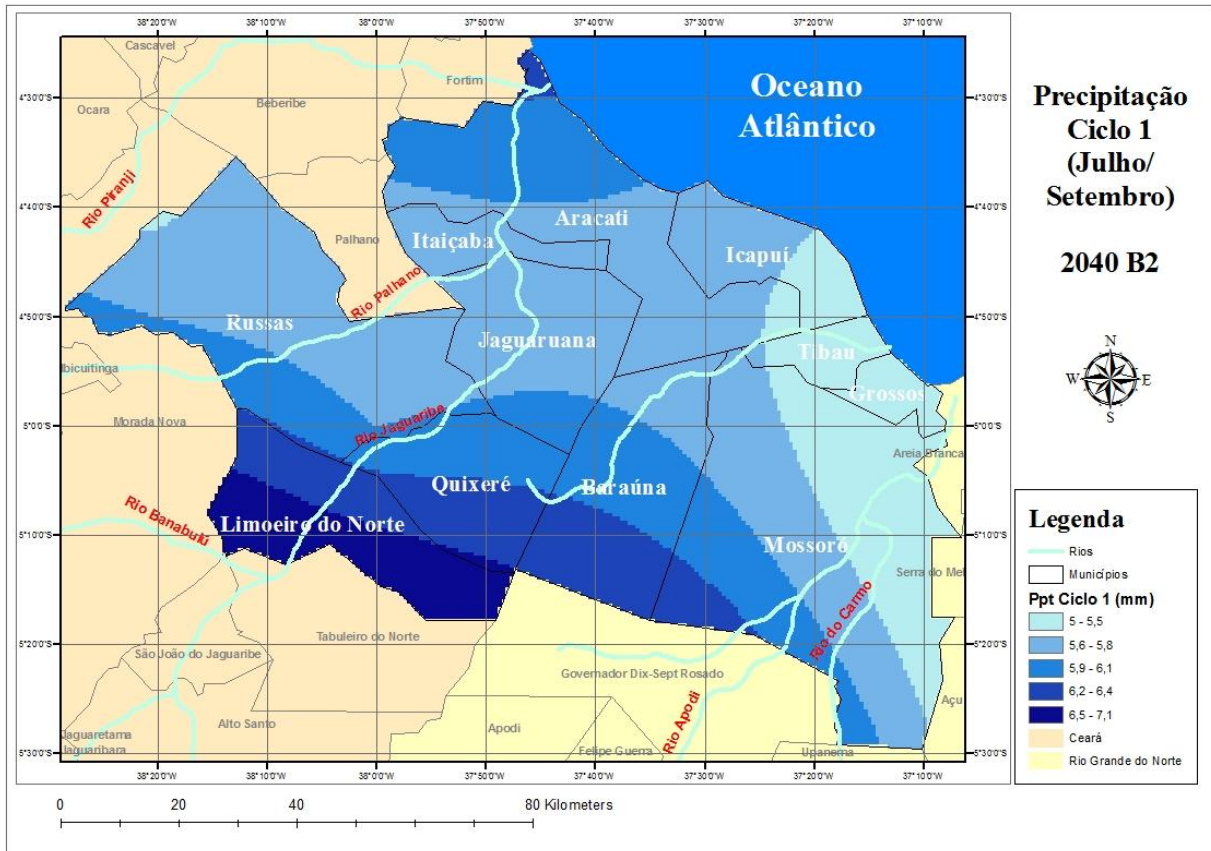


Figura 23 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 2 (setembro a novembro) do melão, para o período de 1961-1990

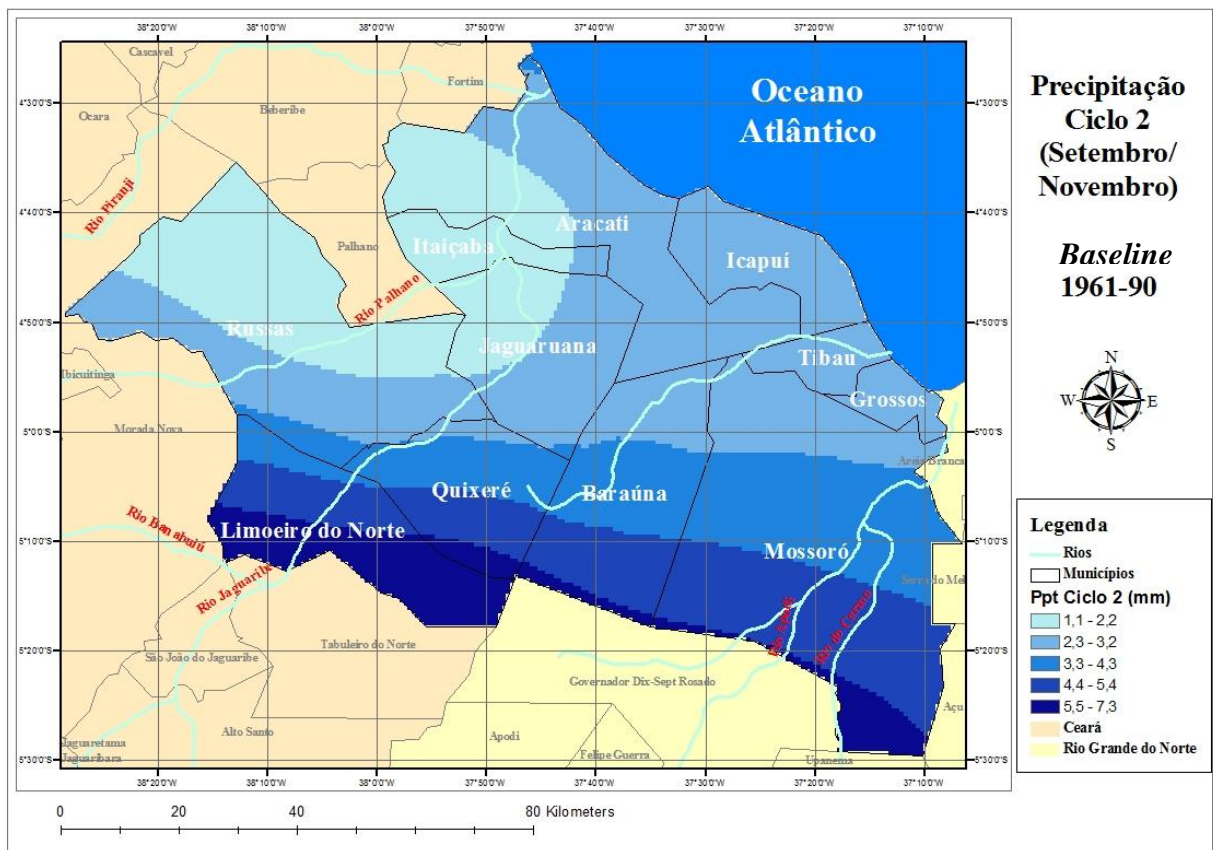


Figura 24 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 2 (setembro a novembro) do melão, para o ano de 2040, no cenário A2

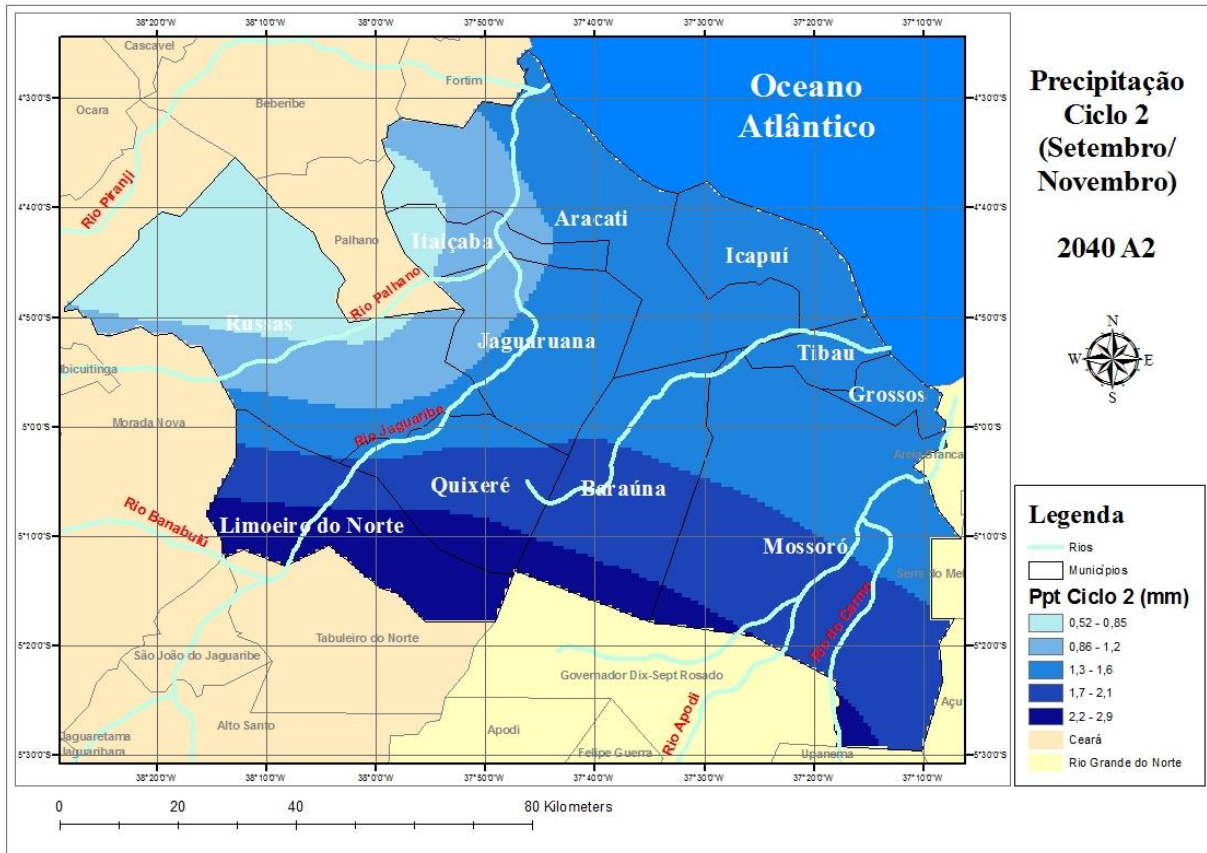


Figura 25 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 2 (setembro a novembro) do melão, para o ano de 2040, no cenário B2

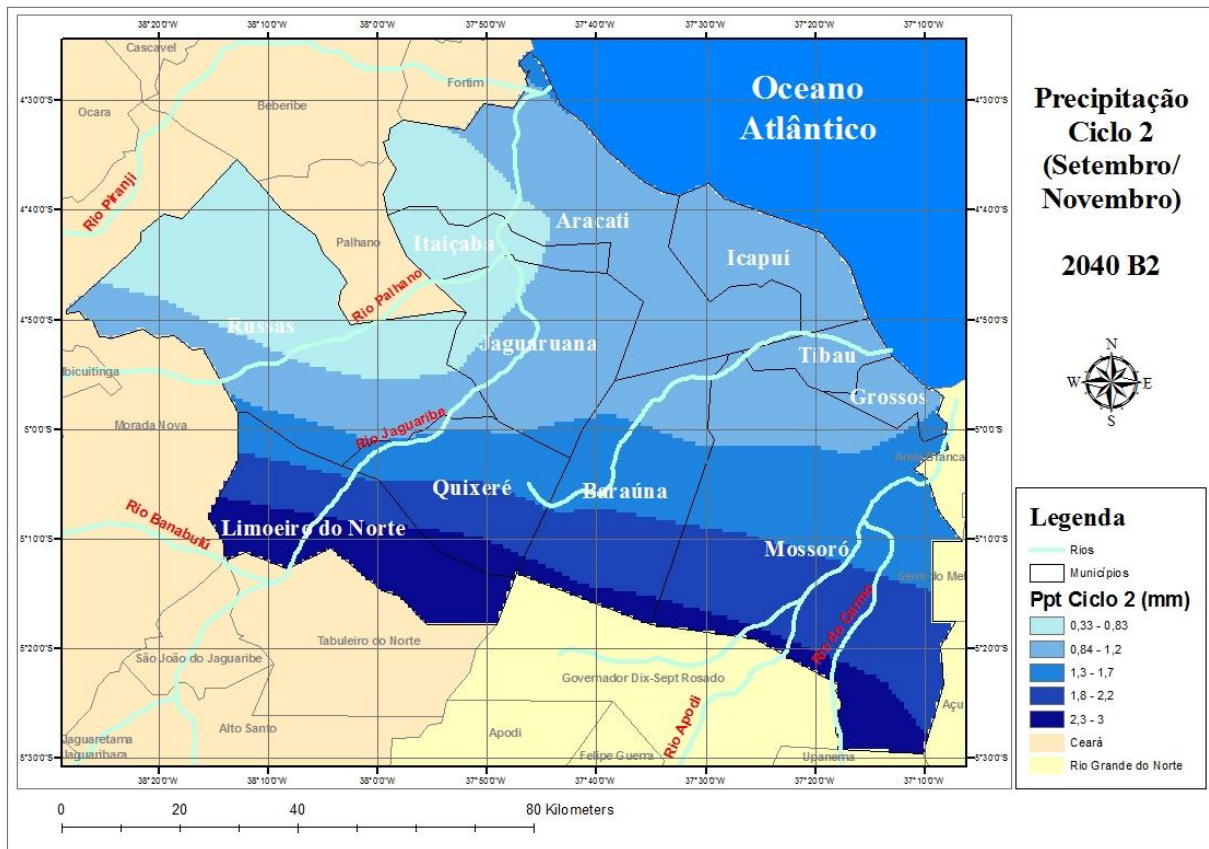


Figura 26 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 3 (novembro a janeiro) do melão, para o período de 1961-1990

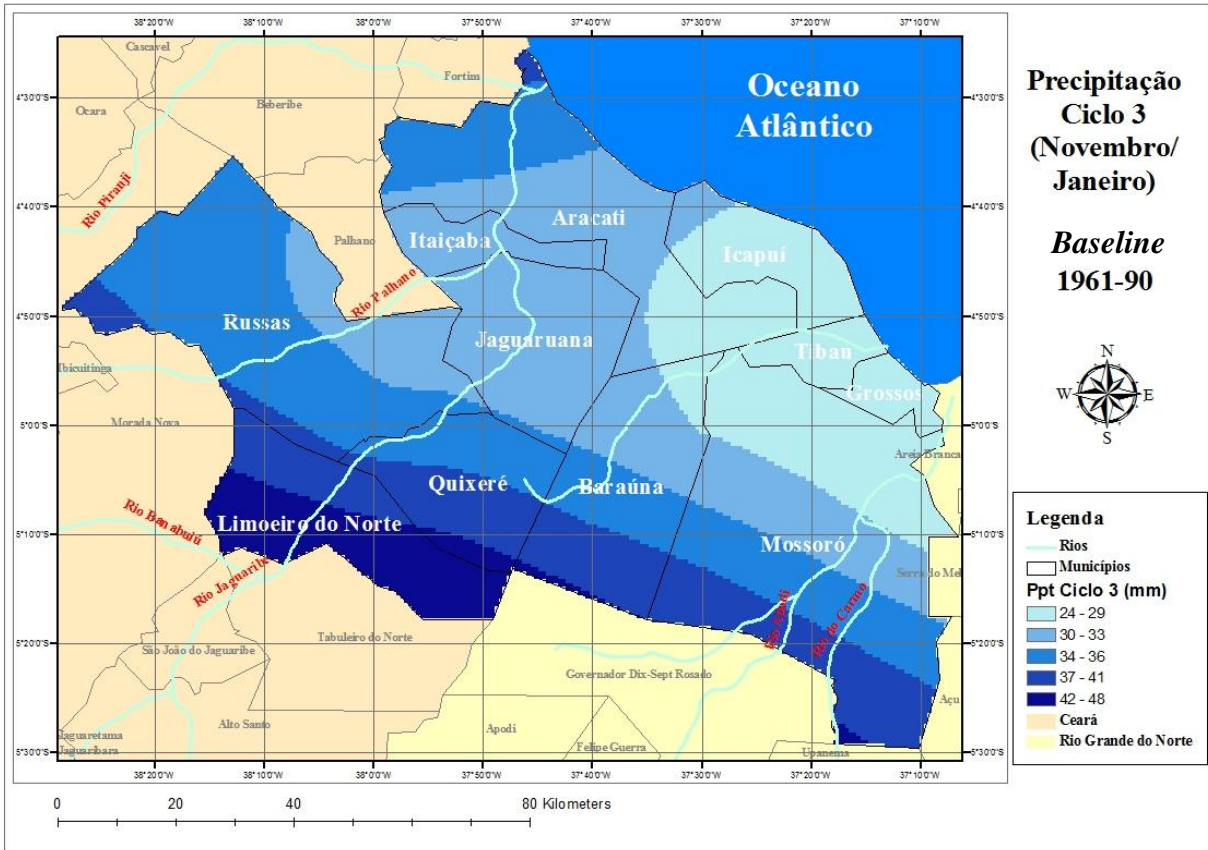


Figura 27 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 3 (novembro a janeiro) do melão, para o ano de 2040, no cenário A2

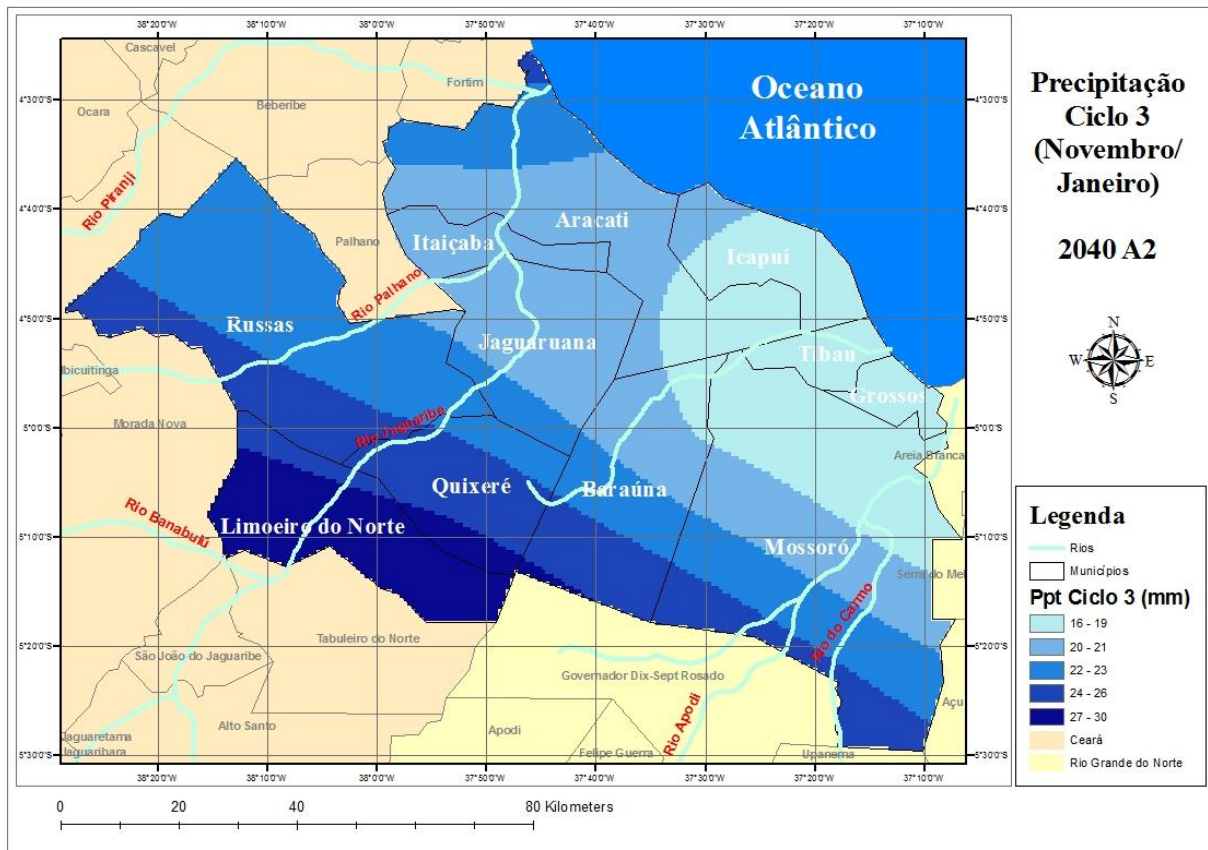
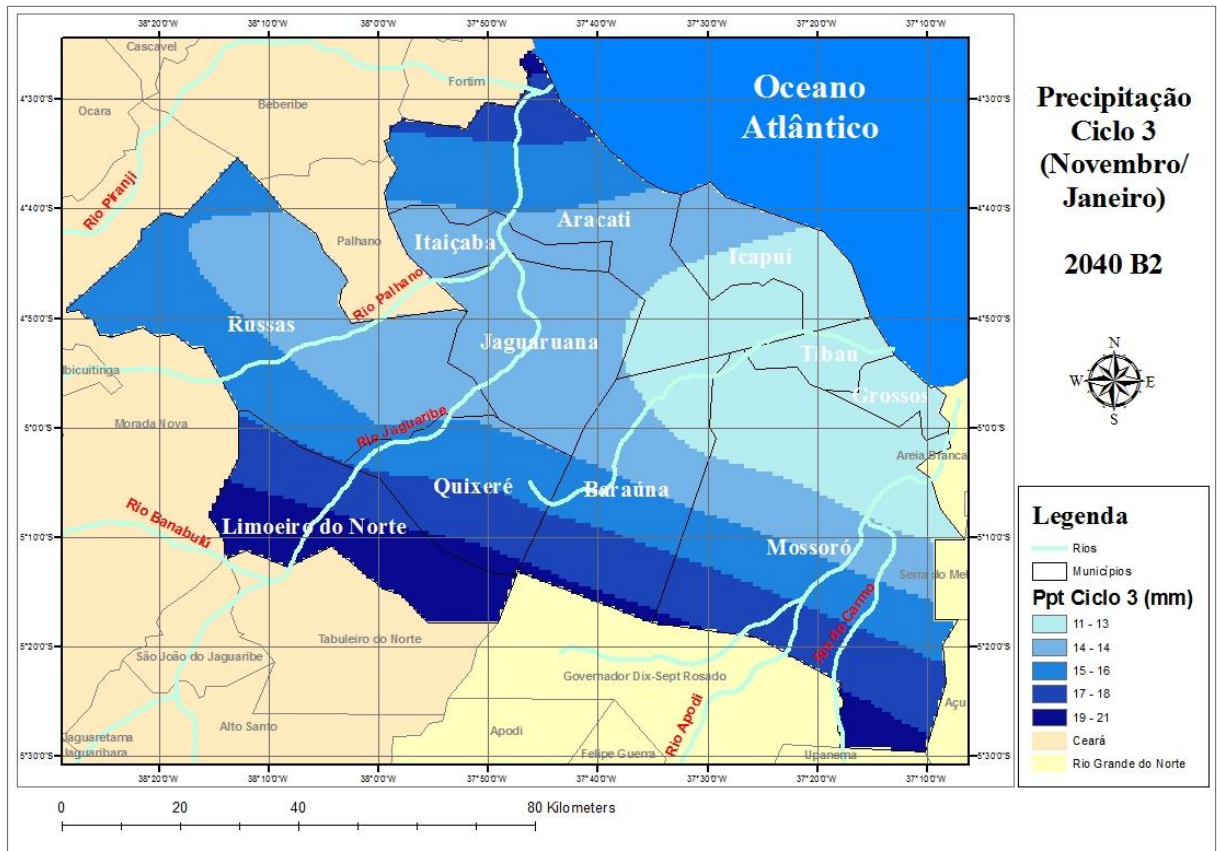


Figura 28 - Mapa temático da precipitação efetiva (mm) no ciclo 3 (novembro a janeiro) do melão, para o ano de 2040, no cenário B2



4.4 Necessidade hídrica bruta (NHB)

Na Tabela 7 são apresentados os valores das projeções das necessidades hídricas brutas (NHB) de cada ciclo (mm) na região produtora de melão, considerando a climatologia de base do modelo (1961-1990) e para o ano de 2040, cenários A2 e B2, com os mínimos, máximos, média e desvio padrão obtidos. No ciclo 1 o modelo projetou uma elevação da necessidade hídrica bruta média de 259,5 mm para 287,8 mm e 287,6 mm (10,9% e 10,8%, respectivamente) para os cenários A2 e B2. No ciclo 2 a elevação foi de uma menor magnitude, uma vez que para *baseline* a necessidade foi de 308 mm e no ano de 2040 de 326,3 mm (5,9%) no cenário A2 e 331,8 mm (7,7%) no cenário B2. No ciclo 3 a elevação foi de 9,6% e 13,5% nos cenários A2 e B2, respectivamente, que apresentaram valores de NHB de 288,7 mm e 298,8 mm em A2 e B2, respectivamente. A comparação gráfica pode ser observada nas figuras 29 e 30, que apresentam picos de máximos e mínimos bem distintos por se tratar da necessidade hídrica individual de cada ciclo, logo como a representação gráfica está disposta na forma dos meses de todos os três ciclos.

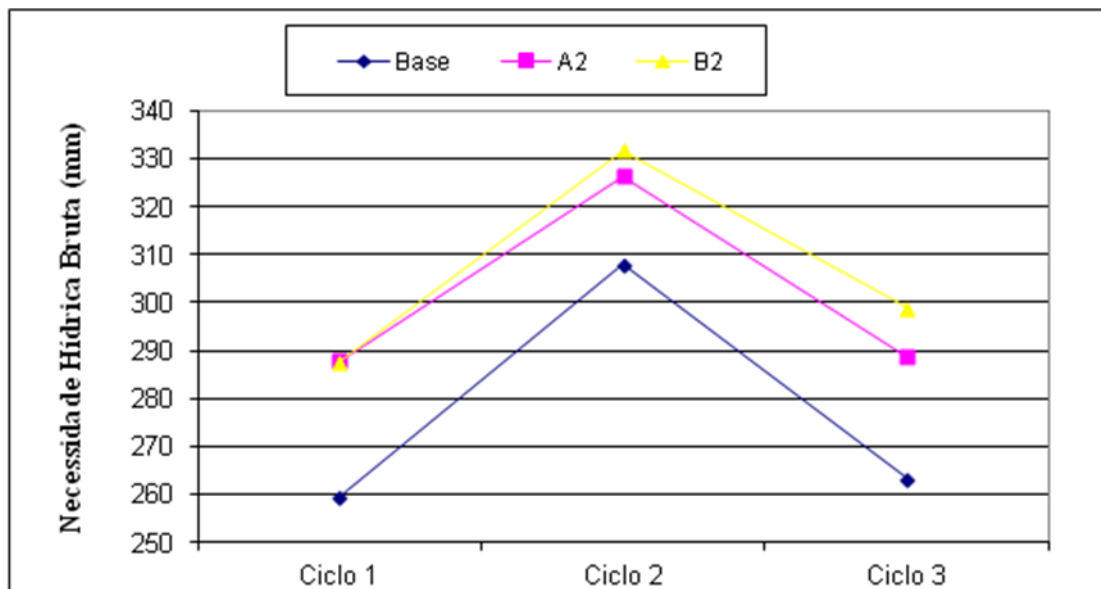
Tabela 7 - Necessidade hídrica bruta (NHB) em cada ciclo (mm) para o período de *baseline* e 2040 nos cenários A2 e B2

| NHB (mm) | <i>Baseline</i> | | | | 2040 A2 | | | | | 2040 B2 | | | | |
|----------|-----------------|--------|-------|---------------|---------|--------|-------|---------------|------|---------|--------|-------|---------------|------|
| | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão | % | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão | % |
| Julho | 27,1 | 38 | 33,3 | 2,05 | 40,2 | 47,2 | 44,4 | 1,27 | 33,3 | 41 | 49,1 | 45,6 | 1,58 | 36,9 |
| Agosto | 164 | 214 | 194 | 11,7 | 193 | 222 | 209 | 7,08 | 7,7 | 191 | 222 | 208 | 7,83 | 7,2 |
| Setembro | 26,9 | 35,4 | 323 | 1,96 | 31,2 | 36,9 | 34,4 | 1,44 | 6,8 | 30,7 | 36,4 | 34 | 1,41 | 5,6 |
| Ciclo 1 | 218 | 287,4 | 259,5 | 15,71 | 264,4 | 306,1 | 287,8 | 9,79 | 10,9 | 262,7 | 307,5 | 287,6 | 10,82 | 10,8 |
| Setembro | 45,9 | 59,6 | 55,3 | 3,27 | 54 | 63,8 | 59,6 | 2,49 | 7,8 | 53,3 | 62,7 | 59 | 2,38 | 6,7 |
| Outubro | 184 | 243 | 221 | 13,6 | 214 | 253 | 236 | 9,74 | 6,8 | 216 | 254 | 238 | 9,53 | 7,7 |
| Novembro | 26,7 | 34,1 | 31,7 | 1,81 | 23,9 | 35,2 | 30,7 | 2,62 | -3,2 | 31,7 | 36,9 | 34,8 | 1,33 | 9,8 |
| Ciclo 2 | 256,6 | 336,7 | 308 | 23 | 291,9 | 352 | 326,3 | 14,85 | 5,9 | 301 | 353,6 | 331,8 | 13,24 | 7,7 |
| Novembro | 42,6 | 53,7 | 50,1 | 2,48 | 40,1 | 57,9 | 51,6 | 4,26 | 3 | 53,5 | 61 | 58,7 | 1,84 | 17,2 |
| Dezembro | 161 | 209 | 194 | 11,6 | 197 | 231 | 217 | 8,47 | 11,9 | 191 | 227 | 213 | 8,71 | 9,8 |
| Janeiro | 12,5 | 22,5 | 19,1 | 2 | 14,8 | 23,3 | 20,1 | 1,36 | 5,2 | 21,4 | 29,5 | 27,1 | 1,55 | 41,9 |
| Ciclo 3 | 216,1 | 285,2 | 263,2 | 19,06 | 251,9 | 312,2 | 288,7 | 14,09 | 9,7 | 265,9 | 317,5 | 298,8 | 12,1 | 13,5 |
| Total | 690,7 | 909,3 | 830,7 | | 808,2 | 970,3 | 902,8 | | 8,7 | 829,6 | 978,6 | 918,2 | | 10,5 |

Apesar do cenário A2 ser mais crítico em relação a mudanças climáticas, o cenário B2 apresentou um maior aumento da necessidade hídrica do meloeiro. Observando-se a Tabela 7 e a Figura 29 pode-se concluir que há uma maior necessidade de irrigação no ciclo 2, especificamente nos meses de setembro e outubro para ambos os cenários. Vale salientar que nesse ciclo os cenários A2 e B2 apresentaram valores elevados em sua evapotranspiração também (respectivamente 380 mm e 382 mm), apesar de que o maior incremento na taxa de evapotranspiração ocorreu no ciclo 1 (9%). No que diz respeito à necessidade hídrica bruta o maior incremento ocorreu no ciclo 3 (13,5%) e a maior demanda foi no ciclo 2 (331,8 mm).

Ao analisar os ciclos com relação a 2040 nos cenários A2 e B2, tem-se que no ciclo 1 a necessidade hídrica em ambos os cenários é bem próxima. No ciclo 2 a diferença de A2 para B2 é de apenas 5,5 mm. No ciclo 3 a diferença na NHB entre os cenários é mais acentuada (10 mm). De modo geral o cenário A2 apresentou resultados menos críticos em relação ao aumento da NHB na produção de melão quando comparado ao cenário B2, para o ano de 2040.

Figura 29 - Comparação gráfica da necessidade hídrica bruta (NHB), para o período de *baseline* e o ano de 2040 nos cenários A2 e B2, para cada ciclo (mm)



Assad et al. (2004) em um estudo da cafeicultura brasileira, nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná, observaram que ao acrescentar 1°C na temperatura, ocorre um aumento na demanda da evapotranspiração, provocando maior deficiência hídrica mesmo considerando um acréscimo de 15% na precipitação pluvial.

O aumento da necessidade hídrica foi projetado também por Díaz et al. (2007) que aplicaram o modelo HadCM3, na Espanha. Para o ano de 2050 a demanda de água para irrigação foi prevista aumentar 19,3% e 16,3% nos cenários A2 e B2, respectivamente, o que ocorreu principalmente por causa do aumento da evapotranspiração (8,6% e 7,7% cenários A2 e B2, respectivamente), acompanhado de uma redução da precipitação na época de plantio (-6,7% e -0,5% para os cenários A2 e B2).

Silva et al. (2007) aplicaram o modelo do Hadley Centre for Climate Prediction (HadCM3) com resolução de 300 km x 300 km, após uma redução de escala para 16 km x 16 km, por conta das mudanças climáticas obtiveram um aumento na necessidade hídrica do Sri Lanka, utilizando krigagem. Foi previsto um aumento na demanda de água para irrigação do arroz em 2050, de 23% e 13% para os cenários A2 e B2, respectivamente. Este aumento foi motivado por um conjunto de mudanças, tais como a redução na precipitação (-17% e -9% nos cenários A2 e B2, respectivamente), mesmo tendo sido previsto um aumento na precipitação total anual, aliado a um aumento da temperatura e conseqüentemente da evapotranspiração.

Para a cultura da bananeira, Gondim et al. (2011) projetaram uma elevação na necessidade hídrica bruta média anual para 2040, de 1.989 mm para 2.536 mm e 2.491 mm (27,50 e 25,24 %) para os cenários A2 e B2, respectivamente. Os autores utilizaram também o sistema de modelagem PRECIS, versão 1.2 e o mesmo modelo deste trabalho, em nível de bacia hidrográfica, no rio Jaguaribe, em um trecho entre as barragens do Castanhão e Itaiçaba. Aquele trabalho, entretanto não efetivou correção de viés, causa das diferenças nos percentuais dos incrementos projetados quando comparado aos resultados obtidos neste trabalho.

Para o ciclo 1, os mapas temáticos da necessidade hídrica bruta para 1961-1990 e 2040, nos cenários A2 e B2, são apresentados pelas Figuras 30, 31 e 32.

Figura 30 - Mapa temático da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 1 para o período de 1961-1990

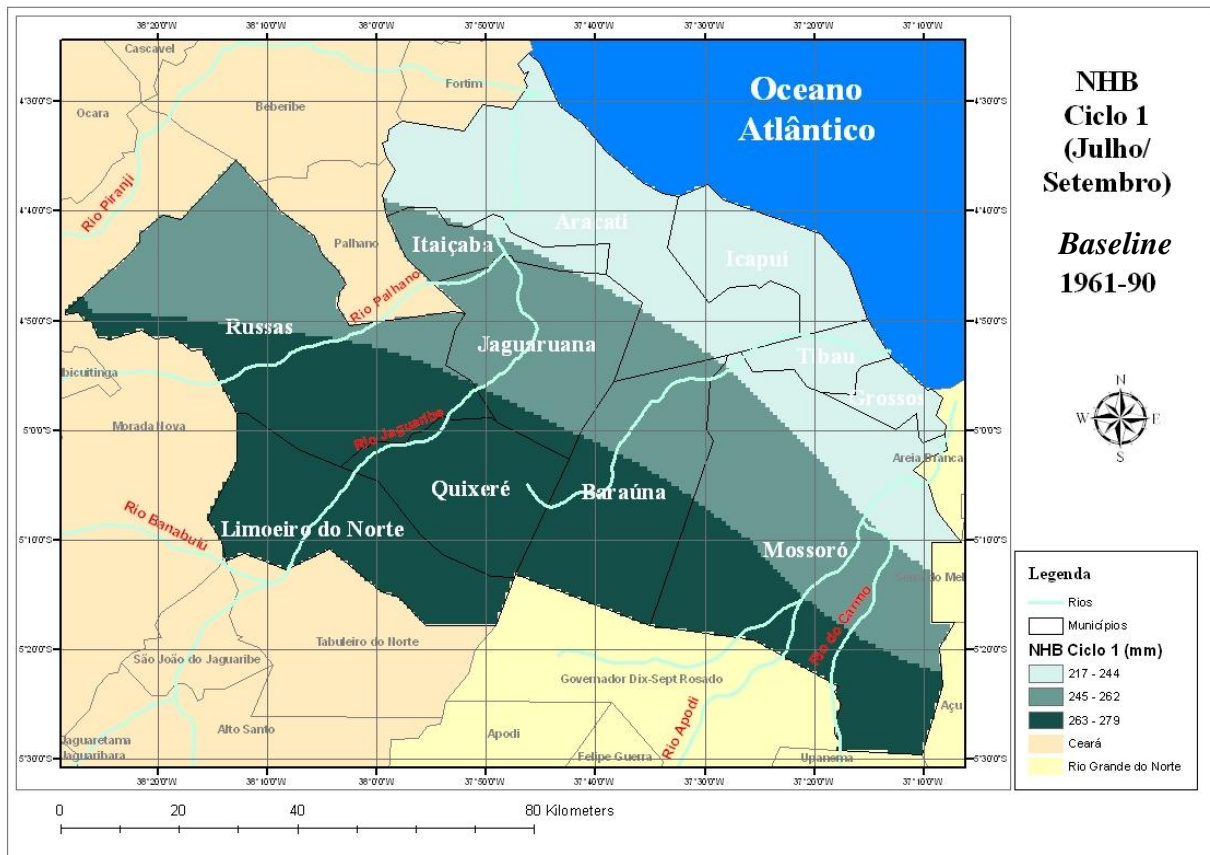


Figura 31 - Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 1 para 2040, cenário A2

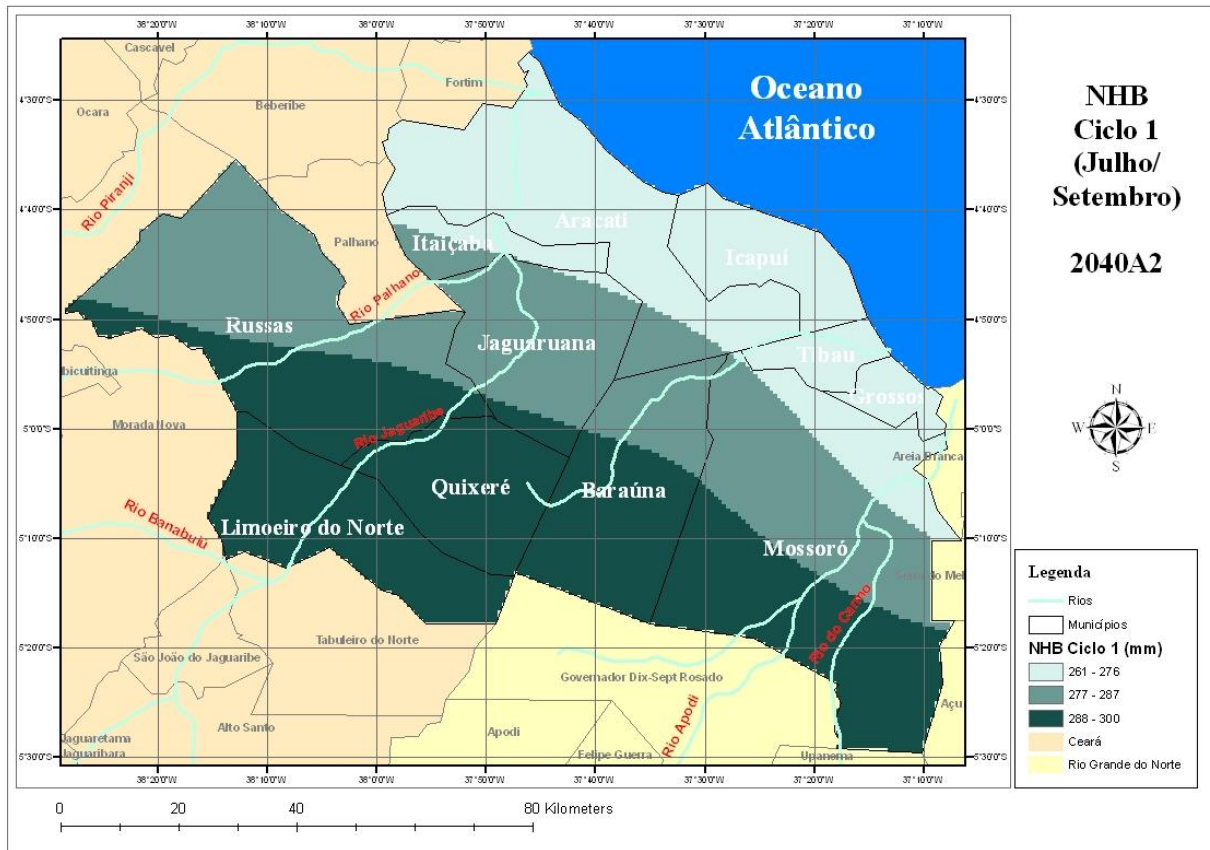
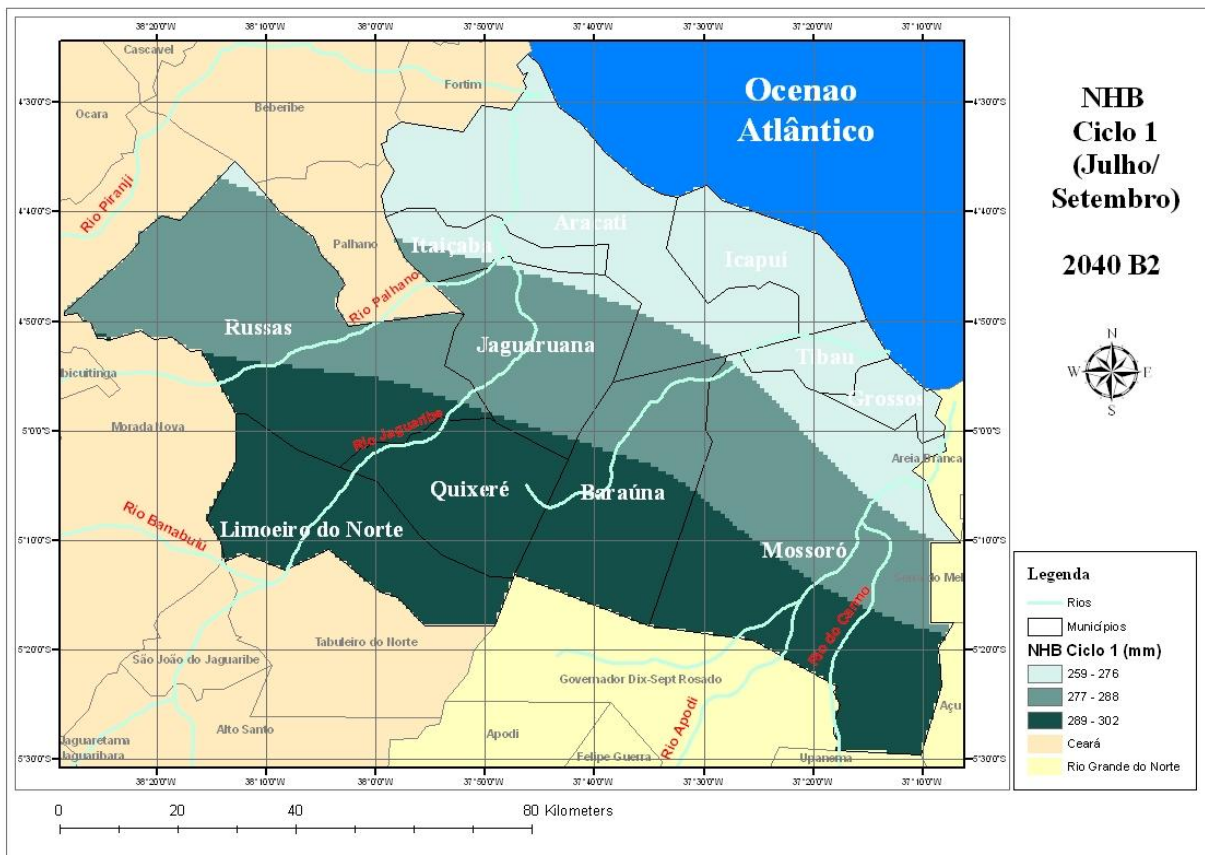


Figura 32 - Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 1 para 2040, cenário B2



Para o ciclo 2, os mapas temáticos das projeções da necessidade hídrica bruta para 1961-90 e 2040 cenários A2 e B2, podem ser observados nas Figuras 33, 34 e 35.

Figura 33 - Mapa temático da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 2 para o período de 1961-1990

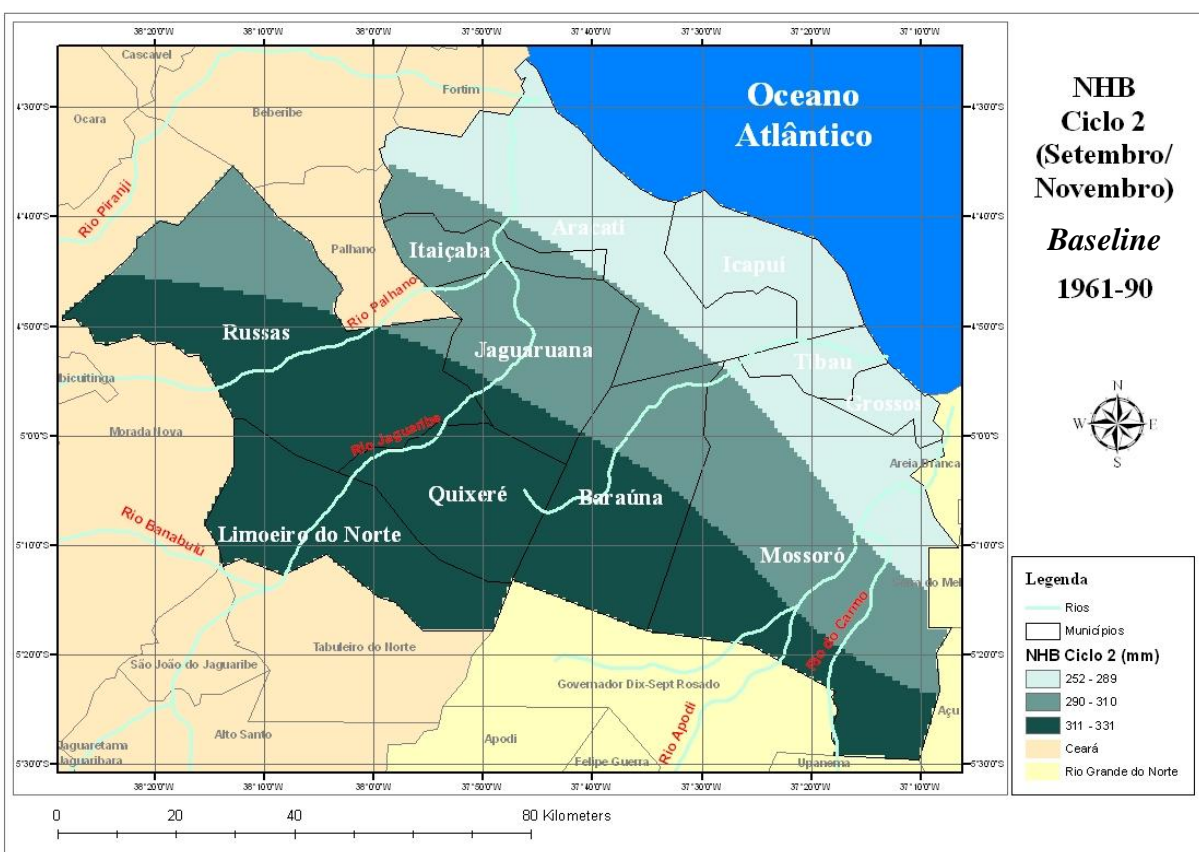


Figura 34 - Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 2 para 2040, cenário A2

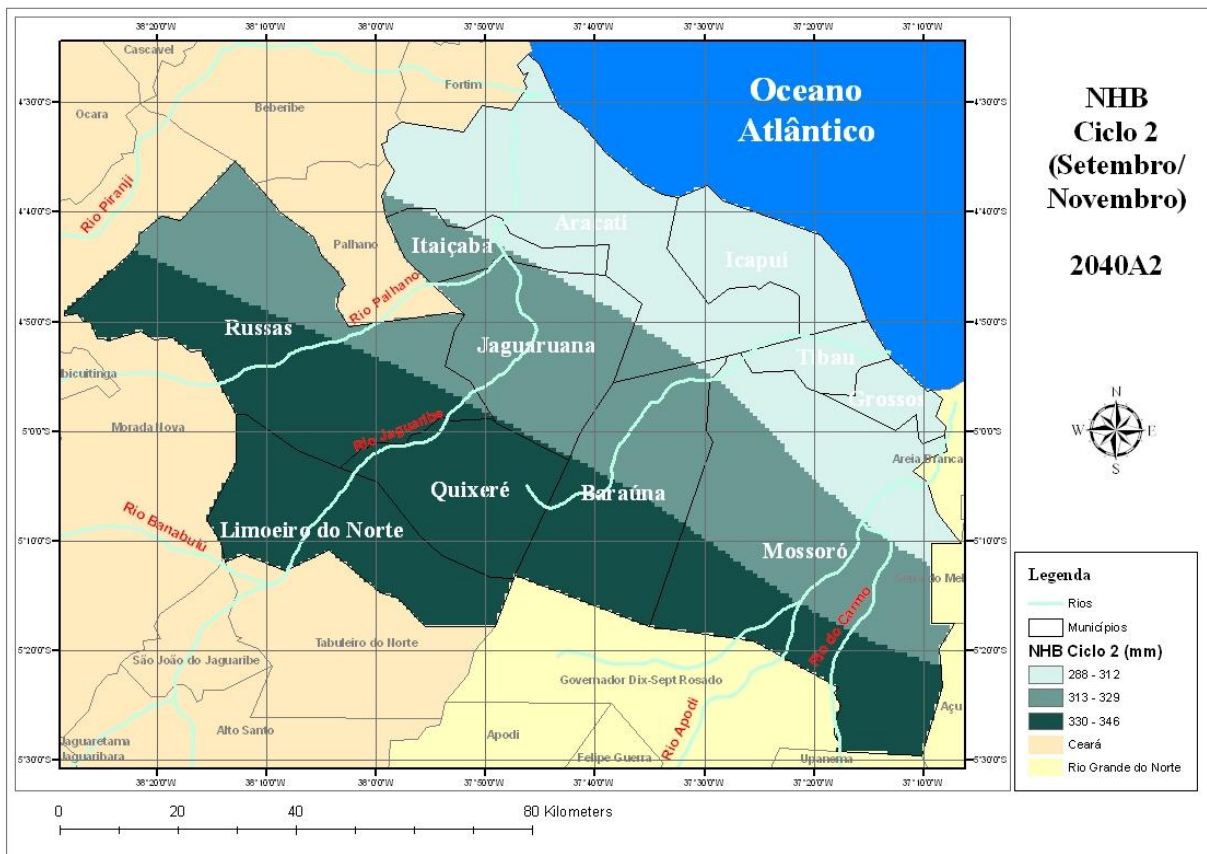
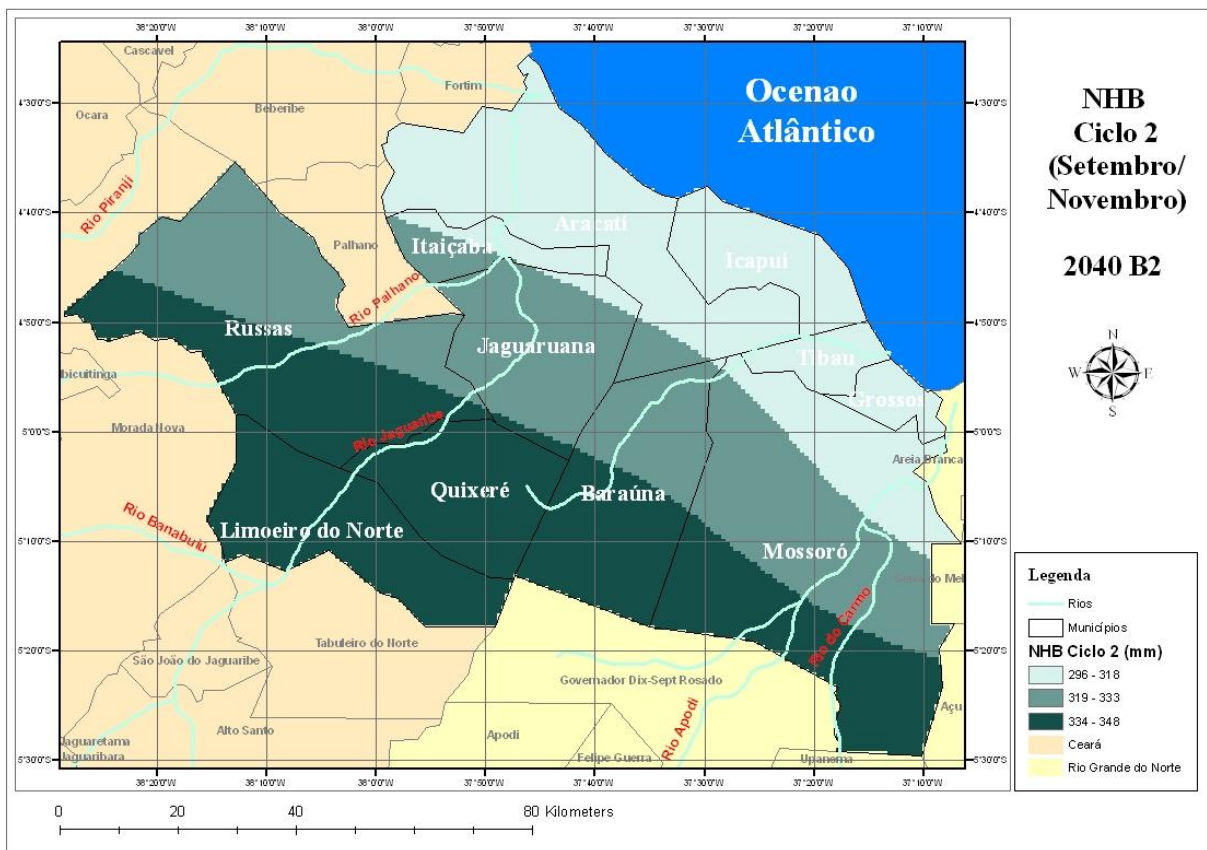


Figura 35 - Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 2 para 2040, cenário B2



Nas Figuras 36, 37 e 38 estão os mapas temáticos das projeções da necessidade hídrica bruta para 1961-90 e 2040 cenários A2 e B2, no ciclo 3.

Figura 36 - Mapa temático da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 3 para o período de 1961-1090.

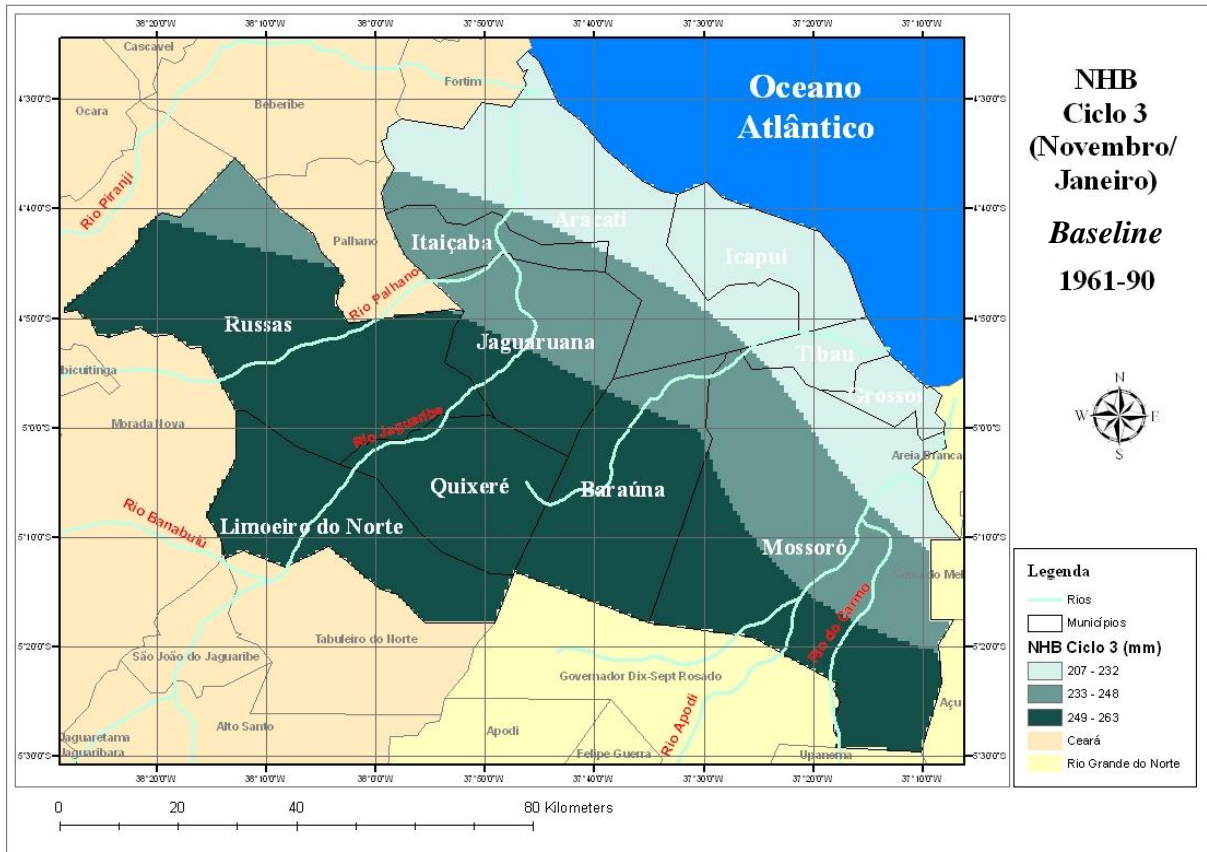


Figura 37 - Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 3 para 2040, cenário A2

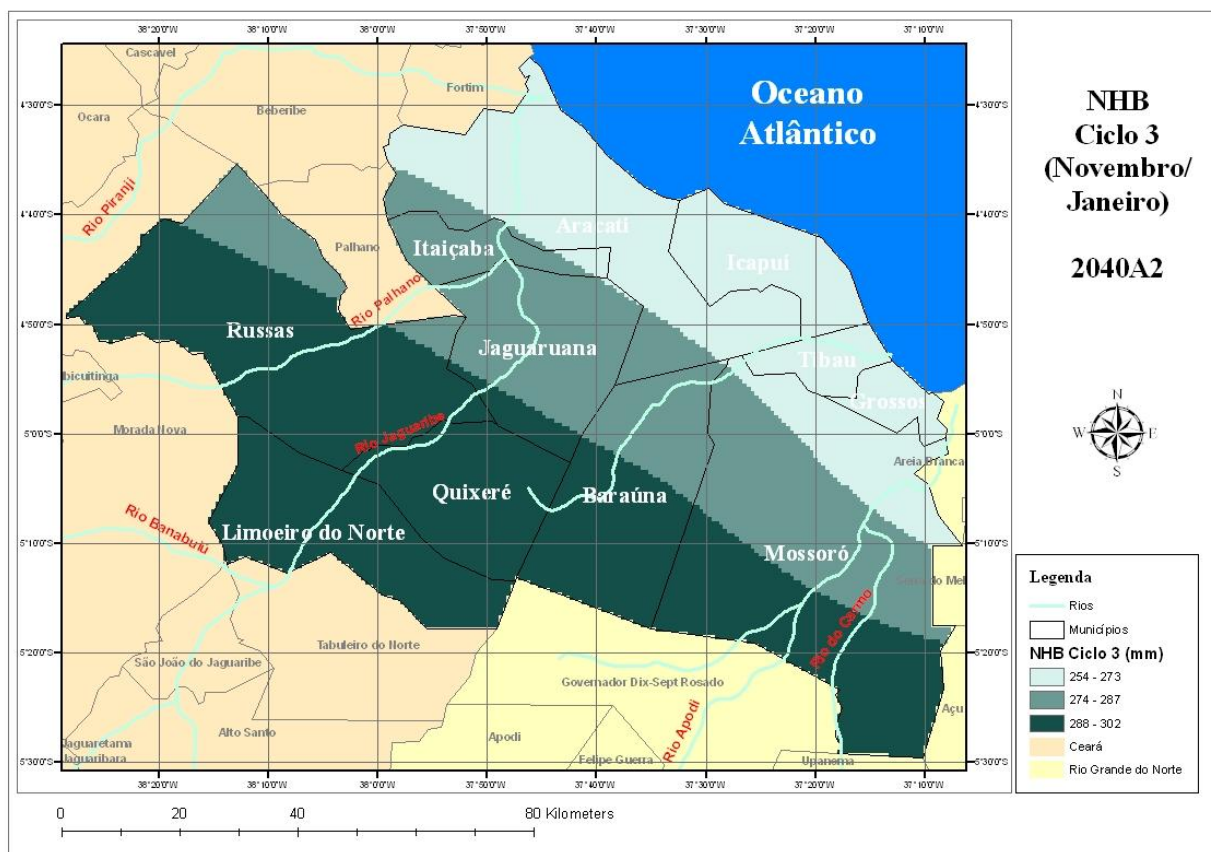
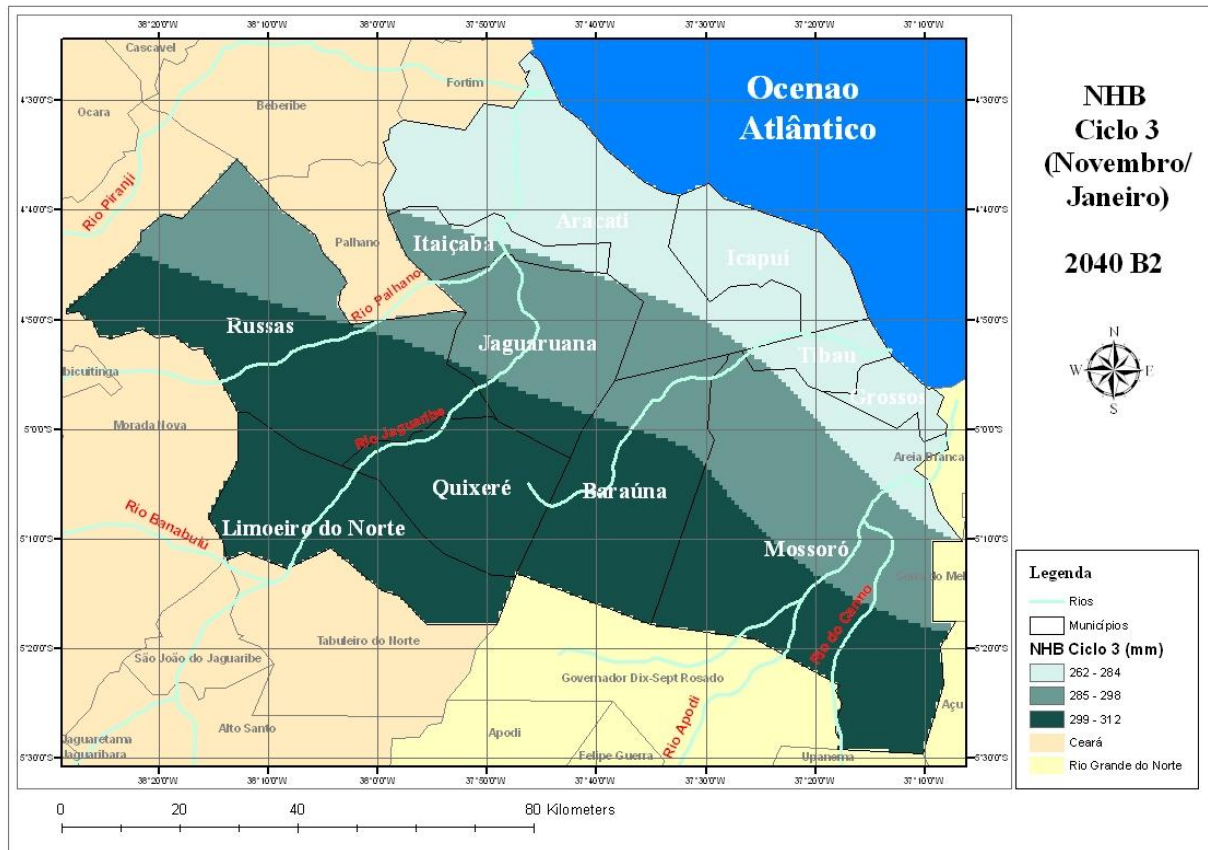


Figura 38 - Mapa temático das projeções da Necessidade Hídrica Bruta (mm) no ciclo 3 para 2040, cenário B2



5 CONCLUSÕES

1. O modelo de mudanças climáticas aliado aos cenários projeta uma elevação na temperatura e evapotranspiração de referência e uma redução na precipitação (de baixa magnitude) na região estudada.

2. O desvio padrão, que retrata a variabilidade espacial da demanda hídrica na região estudada, apresenta menores valores no futuro em ambos os cenários.

3. O modelo de mudanças climáticas utilizado projeta aumentos na demanda hídrica da cultura do melão na região estudada da ordem de 8,7% (total de três ciclos) no cenário A2 e 10,5% no cenário B2 no ano de 2040.

4. Em relação às épocas de plantio estudadas (ciclos 1, 2 e 3), apesar do maior incremento de demanda ser observado no ciclo 1 (10,8%) a maior demanda é observada no ciclo 2 (331,8 mm).

5. De forma geral o cenário A2 foi mais favorável à produção de melão no que se refere a sua demanda hídrica na região estudada.

REFERÊNCIAS

- AERTS, J.C.J.H.; DROOGERS, P. **Adaptation for regional water management** In: Climate Change in Contrasting River Basins – adaptation strategies, for water, food and environment. AERTS, J.C.J.H.; DROOGERS, P. eds. Cambridge: CABI Publishing. P. 1-24, 2004.
- AGRIANUAL. **Anuário estatístico do Brasil**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, p.397-400, 2010.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. de; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, F. de; SEDIYAMA, G. C.; BEZERRA, J. R. C.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. **ITEM: Irrigação & Tecnologia Moderna**. Brasília, n. 52/53, p. 49-57, 4º trimestre 2001 / 1º trimestre 2002.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVES, L. M. **Simulações da variabilidade do clima presente sobre a América do Sul utilizando um modelo climático regional**. São José dos Campos: INPE, 2007. 92p. Dissertação de Mestrado.
- ANGELOTTI, F.; PETRERE, V. G.; TEIXEIRA, A. H. de C.; SÁ, I. B.; MOURA, M. S. B.de. Cenários de Mudanças Climáticas para o Semiárido brasileiro. Cap. 5. **Semiárido Brasileiro – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**. Embrapa. Petrolina, PE. 2010. 38 p.
- ARNELL, N. W. Climate change and global water resources. **Global Environmental Change**, v.9, Supplement 1, p.S31-S49, 1999.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JR, J. et al. **Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil**. 1. ed. Brasília: Embaixada Britânica, v. 1. 84 p., 2008.
- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.39, p.1057-1064, 2004.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 ed. Viçosa, UFV. Imprensa Universitária, 656p., 2002.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 625 p. 2006.
- BIJU, A.; GEORGE, N. S.; RAGHUWANSHI, R.; Singh. Development and testing of a GIS integrated irrigation scheduling model. **Agricultural Water Management**, v.66, p.221-237, 2004.
- BLACK, P. Revising the Thornthwaite and Mather water balance. **Journal of the American Water Resources Association**, v.43, n.6, p.1604-1605, 2007.

BRAGA SOBRINHO, R.; GUIMARÃES, J.A.; FREITAS, J.A.D.; ASSIS, J.S.; MESQUITA, A.L.M.; AZEVEDO, F.R. A produção integrada de Melão no Brasil. In: BRAGA SOBRINHO, R.; GUIMARÃES, J.A.; FREITAS, J.A.D.; TERAPO, D. (Ed.). **Produção Integrada de Melão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical,. 338 p., 2008.

BRANDÃO FILHO, J. U. T.; VASCONCELLOS, M. A. S. **A cultura do meloeiro**. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais. São Paulo: UNESP, p.161-193, 1998.

BRAZ, V. B. **Frutos da Limeira ‘Tahiti’ irrigada com diferentes frequências e lâminas de água**. 2007. 94 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2007.

CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimating reference evapotranspiration with FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 145, p. 22-35, 2007.

CARDOSO, A O. et al... **Correção estatística das previsões de tempo por conjunto do MGCA CPTEC/COLA através da remoção do viés**. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis-SC, 2006.

CARTER, T.R.; ALFSEN, K.; BARROW, E.; BASS, B.; DAI, X. DESANKER, P.; DAFFIN, S.R.; GIORGI, F.; HULME, M.; LAL, M.; MATA, L.J.; MEARNES, L.O.; MITCHEL, J.F.B.; MORITA, T.; MOSS, R.; MURDIYARSO, D.; PABON-CAICEDO, J.D.; PALUTIKOF, J.; PARRY, M.L.; ROSENZWEIG, C.; SEGUIN, B.; SCHOLLES, R.J.; WHETTON, P.H. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment – Tash group on data na scenario support for impact and climate assessment (TGICA) – **Intergovernmental Panel on Climate Change**. 66 p. 2007.

CARVALHO, L. C. C. de, **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do melão sob diferentes lâminas de irrigação**. Fortaleza : UFC, 2006. 73p. Dissertação. Mestrado.

CCIAM – Climate Change impacts adaptation and mitigation research group. **Agricultura – Impactos e medidas de adaptação SIAM I**. Disponível em: <http://www.siam.fc.ul.pt/ag_S1.PDF>. Acesso: 12 set 2011.

CINTRA, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A. de; ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 1 – 10. 2005.

COSTA, N. D. **A cultura do melão**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. 114 p. il. (Coleção Plantar, 44)

DÍAZ, J. A. R.; WEATHERHEAD, E. K.; KNOX, J. W.; CAMACHO, E. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. **Regional Environmental Change**, v.7, n. 3, p.149-159, 2007.

DIBIKE, Y.B.; COULIBALY, P. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. **Journal of Hydrology**, v.307, p.145-163, 2005.

DOMINGUES, E. P. ; MAGALHÃES A. S.; RUIZ R. M. **Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região nordeste**. Belo Horizonte UFMG/Cedeplar, 25p. (Texto para discussão: 340) 2008.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas da cultura**. Campina Grande, UFPB, 1997. 204p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem).

ECKEL, F.A., Mass, C. F. Aspects of effective mesoscale short-range ensemble forecasting. **Weather Forecasting**, 20, p. 328-350, 2005.

FAGUNDES, J. D.; STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A.; SCHWANTS, A. P.; ALBERTO, C. M. Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 351-360, abr. 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**. Disponível em: <[http:// http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor](http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor)>. Acesso em: 5 out 2010.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de Olericultura**. 2. Ed. Viçosa: UFV, 387p. 2000.

FILGUEIRAS, H. A. C.; MENEZES, J. B.; ALVES, R.E.; COSTA, F. V.; PEREIRA, L. de S. E.; GOMES JÚNIOR. Colheita e manuseio pós-colheita. **Melão pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA-SPI/FRUTAS DO BRASIL, p. 23-41 (Frutas do Brasil,10). 2000.

FORTES, P. S.; PLATONOV, A. E.; PEREIRA, L. S. GISAREG – A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. **Agricultural Water Management**, v.77, p. 159-179, 2005.

GONDIM, R. S.; CASTRO de, M. A. H.; EVANGELISTA, S. R. de M.; TEIXEIRA, A. dos S.; FUCK JUNIOR, S. C. de F. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p.1657-1664, dez. 2008.

GONDIM, R. S.; CASTRO de, M. A. H.; TEIXEIRA, A. dos S.; EVANGELISTA, S. R. de M. Impacto das mudanças climáticas na demanda de irrigação da bananeira na Bacia do Jaguaribe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.15, n.6, p. 594-600, jan. 2011.

GONDIM, R. S.; FUCK JÚNIOR, S. C. DE F.; MAIA, A. DE H. N.; EVANGELISTA, S. R. M. **Balanço Hídrico na Bacia do Jaguaribe, Ceará, utilizando Evapotranspiração de Referência Penman-Monteith FAO Estimada com Dados Mínimos**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa AgroindústriaTropical, ISSN 1679-6543; 36. 48 p. Fortaleza, 2010.

GONDIM, R. S., MAIA, A. de H. N., FUCK JUNIOR, S. C. de F., EVANGELISTA, S. R. M. **Mudanças climáticas, agricultura irrigada e integração de modelos.** In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO, 3., 2010, Fortaleza. Anais... Sobral: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2010. HIPERTEXTO. 2010.

GONDIM, Rubens Sonsol. **Mudanças climáticas e impactos na demanda de água para irrigação na bacia do Jaguaribe.** 2009, 209 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza 2009.

GONDIM, R. S. TEIXEIRA, A. dos S.; BARBOSA, F. C. Novo paradigma para a água e coeficientes de cultivos aplicados à gestão de recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica. **Revista Item Irrigação e Tecnologia**, n.67, p.14-18, 2005.

GRIMIT, E.P. et al.. The continuous ranked probability score for circular variables and its application to mesoscale forecast ensemble verification. **Quart. J. Roy. Met. Soc.**, v. 132, p. 1-17, 2006.

GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T. de; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. da. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. v.14, n.1, p.3-10, 2010-2009.

HEGERL, G.C.; ZWIERS, F.W.; BRACONNOT, P.; GILLET, N. P.; LUO, Y.; MARENGO ORSINI, J.A.; NICHOLLS, N.; PENNER, J.E.; STOTT, P.A. 2007. Understanding and Attributing Climate Change. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. p. 663 – 745, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de recuperação automática – Sidra: Produção agrícola municipal. **Quantidade produzida, valor da produção, área plantada, e área colhida da lavoura temporária.** Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 maio 2009.

IPCC – Intergovernmental Panel Climate Change. Climate change 2001: **The physical science basis, summary for policymakers.** Geneva: IPCC, 2001. 20p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: IPCC, 989p., 2007.

IPCC. **Climate Change 2007 - The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S, Qin, M, Manning, Z, Chen, M, Marquis, K.B, Averyt, M, Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp, 2007.

IPCC - Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas. **Sumário para os Formuladores de Políticas. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.** 10ª sessão do GT I do IPCC, Paris, fev. de 2007.

JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, v.95, n.6, p.707-715, 2008.

JENSEN, M. E. Consumptive use of water and irrigation water requirements. **American Society of Civil Engineers**. New York, 1973, 215p.

JESSEL, B.; JACOBS, J. Land use scenario development and stakeholder involvement as tools for watershed management within the Havel River Basin. **Limnologica**, v.35, n. 1-2, p. 220-233, 2005.

JOHNS, T.C.; GREGORY, J.M.; IGRAM, W.J.; JOHNSON, C.E.; JONES, A.; LOWE, A.; MITCHELL, J.F.B.; ROBERTS, D.L.; SEXTON, D.M.H.; STEVESON, D.S.; TETT, S.F.B.; WOODAGE, M.J. Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. **Climate Dynamics**, v.20, p.583-612, 2003.

JONES, R.G.; NOGUER, M.; HASSELL, D.C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G.J.; MITCHELL, J.F.B. **Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS**. Exeter, UK: Met Office Hadley Centre, 2004.

KIM, S.H.; GITZ, D.C.; SICHER, R.C.; BAKER, J.T.; TIMLIN, D.J.; REDDY, V.R. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂. **Environmental and Experimental Botany**, v.61, p.224-236, 2007.

KLAR, A. E. **Irrigação na medida, Cultivar máquinas**, jan/fev. 2001, ano 1, n. 1.

KROL, M.S.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. Integrated modeling of climate change, water, soil, agricultural and social-economic processes: a general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid Northeast of Brazil. **Journal of Hydrology**, v.328, p.417-431, 2006.

KROL, M.S.; BRONSTERT, A. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resources usage in semi-arid Northeast Brazil. **Environmental Modelling & Software**, v.22, p.259-268, 2007.

MACHADO, M. A. M.; MARENGO, A. J. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos Sobre a Agricultura Brasileira**. NewsLetter do projeto GOF-UK-CPTEC. Ano 1, p.4-6. 2006.

MATOS, J. A.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Avaliação da distribuição de água de um microaspersor autocompensante. In: **Revista Irriga**, Botucatu, v.4, n.3, p. 168-174, 1999.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. 2ª Ed., Viçosa: Ed. UFV, 2007, 358p.

MA, Z.; KANG, S.; ZHANG, L.; TONG, L.; SU, X. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. **Journal of Hydrology**, v.352, p.239-249, 2008.

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, p.1-18, 2001.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 202 p. (Série Biodiversidade, v.26).

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 8, p.5-28, 2007.

MEDEIROS, J. F. de; NASCIMENTO, I. B.; COSTA, M. da C.; SCALOPPI, E. J. Produção de melão sob diferentes lâminas de água com dois níveis de salinidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.18, p.612-614, jul. 2000. Suplemento.

MENDONÇA, E. A.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.196–202, 2010.

MIRANDA, F. R. de; GONDIM, R. S.; FREITAS, J. de A. D, de; PINHEIRO NETO, L. G. **Produção integrada de melão: irrigação do meloeiro**. Embrapa Agroindústria Tropical, p.153-165. Fortaleza, 2008.

MIRANDA, F. R.; SOUZA, F. de; RIBEIRO, R. S. F. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo para o a cultura do melão plantado na região litorânea do Ceará. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.4, p.63-70, 1999.

MITCHELL, T.D; JONES, D.P. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. p. 693-712, 2005.

MOURATO, S. DE J. M.; MOREIRA, M. M. **Correção de viés em modelos regionais de clima e impactos na modelação dos recursos hídricos**. 9º Congresso da Água, Centro de Congressos do Estoril – Cascais, Abril de 2008. Anuário Científico 2008, ESTG. Artigos do Departamento de Ciências Jurídicas (2008a).

MOURATO, S. DE J. M.; MOREIRA, M. M. **Impactos das alterações climáticas na disponibilidade de água para o abastecimento público**. VIII Seminário Ibero-Americano SEREA (2008b).

MODARRES R.; SILVA, V. DE P. R. Rainfall trends in arid and semiarid regions of Iran. **Journal of Arid Environments**, v.70, n.2, p.344-355, 2007.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão das chuvas no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.1, p.1-10, 2002.

MONTEIRO, R. O. C. **Função de resposta da cultura do meloeiro aos níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu, Ce.** 2004. 93f. (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

MOREIRA, S.R.; MELO, A.M.T. de; PURQUERIO, L.F.V.; TRANI, P.E.; NARITA, N. **Melão (*Cucumis melo* L.)**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/melao/index.htm>. Acesso em: 23 fev 2011.

NAKAMEA, I.J. **Agrianual – anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 496p, 2004.

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GR, A.; JUNG, T.Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E.L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHL, A.; ROGNER, H.H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. **Special report on emission scenarios**. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>>. Acesso em: 15 mar 2011.

NICOLAS, M. Z. et al. **El Melon**. Madrid: Ediciones Mundi – Prensa, 173 p., 1989.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Revistas Parecerias Estratégicas**, no 12, Ministério da Ciência e Tecnologia. 20p. 2001.

PAIVA, C. **Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranico, na Bacia do Rio Doce**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa - MG, 69 f. 1997.

PAIVA, W. O.; QUEIROZ, M. A. Origem, evolução e classificação botânica. In: SILVA, H. R.; COSTA, N. D. **Melão produção: aspectos técnicos**. Brasília: Empraba., p.19-21., 2003.

PEDROSA, J. F. **Cultura do Melão**. Mossoró – RN: ESAM, 50 p., Apostila, 1997.

PENDERGRASS, A.G.; ELMORE, K. L. **Ensemble forecast bias correction**. In: 4TH ANNUAL STUDENT CONFERENCE, Amer. Meteor. Soc., San Diego, CA, P1.30, 2004, **Anais**.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 118 – 143, 1997.

PEREIRA, L.S. **Necessidades de Água e Métodos de Rega**. Publ. Europa-América, Lisboa, 2004, 313 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478 p., 2002.

PIMENTA, M. T.; SANTOS, M. J.; Rodrigues, R. A. Susceptibilidade à desertificação. **Revista Florestal**, v.11, n.1, p.27-33, 1998.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J. & ÁVILA, A. M. H. **Variabilidade Climática**. Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios. 13p. 2004.

POPOVA, Z.; KERCHEVA, M.; PEREIRA, L. S. Validation of the FAO methodology for computing ETo with limited data. application to South Bulgaria. **Irrigation and Drainage**, v. 55, n. 2, p. 201-215, 2006.

REIS JUNIOR, F. N. dos. **Política de Promoção da Exportação: Um olhar sobre a evolução da cultura de melão do Rio Grande do Norte**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

RICHTER, G.M.; SEMENOV, M.A. Modelling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: assessing drought risks. **Agricultural Systems**, v.84, p.77-97, 2005.

RUBATZKY, V. E.; YAMAGUSHI M. **World vegetables: principles, production and nutritive values**. Chapman & Hall, New York, 2 nd ed., 1997.

SALATI, E.; SANTOS, A.A. dos; NOBRE, C. **As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros**. Disponível em: <www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm> Acesso em: 10 jan 2012.

SANTOS, D. N. dos; SILVA, V. de P. R. da; SOUSA, F. de A. S.; SILVA, R. A. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. v.14, n.5, p.492-500, 2010.

SANTOS, F.J. DE S.; LIMA, R.N. de; CRISÓSTOMO, L.A.; SOUZA, F. de. **Irrigação do melão: manejo através do tanque classe A**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. (Embrapa Agroindústria Tropical, Circular Técnica, 11). 2001. 8p.

SCHLENKER, W.; HANEMANN, W.M.; FISHER, A.C. Water availability, degree days and the potential impact of climate change on irrigated agriculture in California. **Climatic Change**, v.81, p.19-38, 2007.

SEMENOV, M.A.; BROOKS, R.J.; BARROW, E.M.; RICHARDSON, C.W. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. **Climate Research**, v.10, p.95-107, 1998.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, v.97, n.5, p.635-644, 2010.

SENTELHAS, P. C.; SANTOS, D. L.; MACHADO, R. E. **Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration.** *Ambiágua*, v.3, n.3, p.28-42, 2008.

SILVA, C. S. DE; WEATHERHEAD, E. K.; KNOX, J. W.; DÍAZ, J. A. R. Predicting the impacts of climate change – A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. ***Agricultural Water Management***, v.93, p.19-29, 2007.

SILVA DIAS, P.L.; Moreira, D. S. The Master Super Model Ensemble System (MSMES). Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brazil, April 24-28, **INPE**, p. 1751-1757, 2006.

SILVA, H. R. de; COSTA, N. D. e CARRIJO, O. A. **Exigências de clima e solo e época de plantio.** In: SILVA, H. R. da; COSTA, N. D. (Ed.) *Melão: produção e aspectos técnicos.* Brasília: Embrapa Hortaliças; Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2003. p.23-28. (Frutas do Brasil, 33).

SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; SÁ, I. I. S.; ZOLNIER, S.; TURCO, S. H. N.; JUSTINO, F.; CARMO, J. F. A. do; SOUZA, L. S. B. de. Impactos das mudanças climáticas na produção leiteira do estado de Pernambuco: análise para os cenários B2 e A2 do IPCC. ***Revista Brasileira de Meteorologia***, v.24 N.4 São Paulo, dez. 2009.

SILVA, V. de P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. ***Journal of Arid Environments***. v.58, n.4, p.575-596, 2004.

SILVA, V. de P. R.; SOUSA, F. A. S.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, B. da. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. ***Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics***, v.68, n.1, p.781-792, 2006.

SIQUEIRA, O.J.W. de; STEINMETZ, S.; FERREIRA, M.F.; COSTA, A.C.; WOZNIAK, M.A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. ***Revista Brasileira de Agrometeorologia***, v.8, p.311-320, 2000.

SIQUEIRA, O.J.W. de; STEINMETZ, S.; SALLES, L.A.B. **Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas.** In: LIMA, M.A. de; CABRAL, O.M.R.; GONZALES MIGUEZ, J.D. Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.33-63.

Sistema de recuperação automática – Sidra: Produção agrícola municipal. Quantidade produzida, valor da produção, área plantada, e área colhida da lavoura temporária. **IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar 2011.

SOUSA JUNIOR, I. F. **A influência da urbanização no clima da cidade de Campina Grande, PB.** Campina Grande: DCA, 2006. 94p. (Dissertação Mestrado).

SOUSA, S. A. V. **Programa computacional para simulação da ocorrência de veranicos e queda de produção.** 1999. 124 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

SOUSA, V. F.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; COELHO, E. F.; VIANA, F. M. P.; SILVA, P. H. S. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no meio-norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1999. 68p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 21).

STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1351-1359, 2006a.

STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v.36, p.424-433, 2006b.

TANAJURA, C. A. S.; GENZ, F.; ARAÚJO, H. A.de. Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HadRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25 n.3, 2010.

TRAVASSO, M.I.; MAGRIN, G.O.; RODRIGUEZ, G.R.; SOLMAN, S.; NUÑEZ, M. Climate change impacts on regional maize yields and possible adaptation measures in Argentina. **International Journal of Global Warming**, v.1, p.201-213, 2009.

TODISCO, F.; VERGNI, L. Climatic changes in Central Italy and their potential effects on corn water consumption. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, n.1, p.1-11, 2008.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25 n.1 São Paulo, mar. 2010.

WEISS, A.; HAYS, C.J.; WON, J. Assessing winter wheat response to climate change scenarios: a simulation study in the U.S. great plains. **Climatic Change**, v.58, p.119-147, 2003.

WESTHOEK. H. J.; van den BERG, M.; BAKKES, J. A. Scenario development to explore the future of Europe's rural areas. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 114, n. 1, p. 7-20, 2006.