

Zoneamento Agroecológico da Mesorregião do Sul Cearense

APTIDÃO CLIMÁTICA

Relatório Técnico

2013

Aptidão climática

1 – Introdução.

A Região Nordeste do Brasil é caracterizada pela predominância de clima semiárido e de vegetação xerófita. A principal característica são as irregularidades tanto espacial como temporal do seu regime de chuvas. Estudos sobre o clima indicam que fenômenos do tipo El Niño - Oscilação Sul (ENOS) e circulação geral da atmosfera seriam os responsáveis pela ocorrência de baixos totais pluviométricos (Climanálise, 1986). No Nordeste, os modelos numéricos em uso permitem inferir sobre a tendência da qualidade de chuvas da quadra chuvosa. Tais prognósticos normalmente são efetuados, com alguns meses de antecedência, levando em conta a fase do fenômeno El Niño — Oscilação-Sul (ENOS) e sua intensidade. Esses prognósticos são cada vez mais comuns e já se incorporaram ao planejamento de inúmeras atividades agropecuárias na região Nordeste (Varejão-Silva; Barros, 2001).

Devido seu posicionamento na Região Nordeste, o Estado do Ceará, tem como principais características climáticas as irregularidades da precipitação pluviométrica e a pouca variação sazonal na radiação solar bem como no fotoperíodo e na temperatura do ar. A proximidade da linha do Equador é um fator natural que condiciona um número elevado de horas de sol por ano e índices acentuados de evapotranspiração, em função da incidência perpendicular dos raios solares sobre a superfície do solo.

O regime de chuvas do Estado está diretamente relacionado com as configurações da circulação atmosférica e oceânica em grande escala sobre os trópicos, dentre os quais se destacam a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); os Sistemas Frontais (SF), alimentados pela umidade do Atlântico Sul, que definem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); as ondas de Leste, que são agrupamentos de nuvens que se movem no Atlântico, de leste para oeste; e dos Ventos Alísios de Nordeste e Sudeste (Figura 1).

Além disso, o Ceará fica submetido também à influência de sistemas meteorológicos, que organizam a convecção em escala sinótica, os quais interagem entre si, tais como os vórtices ciclônicos de altos níveis que provocam precipitação durante a primavera, verão e outono (setembro a abril), com ocorrência máxima no mês de janeiro (Kousky e Gan, 1981) e a oscilação 30-60 dias ou oscilação de Madden-Julian (Kousky e Kayano, 1994).

Entretanto, a ZCIT é o sistema meteorológico mais importante na determinação da pluviometria do Estado do Ceará, cuja sua posição mais ao norte, aproximadamente 14º N em agosto-outubro para posições mais ao sul, aproximadamente 2º S a 4º S entre fevereiro a maio determina a intensidade e a qualidade da estação chuvosa. Esse deslocamento da ZCIT está relacionado aos padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre o oceano Atlântico Tropical (Uvo, 1989).

Na mesoescala têm-se os complexos convectivos e as brisas marítimas e terrestres que influenciam as sub-regiões do Litoral, além das circulações orográficas e pequenas células convectivas que constituem os fenômenos de microescala (Molion e Bernardo, 2002). As regiões costeiras sofrem muita influência da circulação local das brisas marítimas e terrestres devido ao gradiente horizontal de pressão provocado pelo contraste de temperatura diária entre o continente e oceano. Essa circulação tem uma importante influência para amenizar a alta temperatura do ar diária e distribuir umidade

para as áreas adjacentes ao Litoral, provocando chuvas esporádicas durante todo o período do ano.

De acordo com Niner (1979), as condições térmicas da Região Nordeste, de forma geral, não possuem importantes variações no decorrer do ano e sua variabilidade é pouco significativa. Nas áreas de altitudes mais elevadas, em contato com as encostas e mais expostas aos ventos de Nordeste, as temperaturas médias do ar são mais amenas, em torno de 25 °C.

Em geral, a precipitação pluviométrica é reduzida e escassa. Em alguns pontos o índice pluviométrico registrado fica abaixo dos 1.000 mm e em alguns 600 mm (bacia do rio Caxitoré). Em outros, como no vale do Cariri, Serra de Uruburetama e Baturité e chapada do Ibiapaba as chuvas ocorrem com mais frequência, em índices superiores a 1.000mm. Nestas serras e chapadas as chuvas são mais regulares e com período mais longo, tornando as temperaturas nestas áreas mais amenas.

A pluviosidade no Sul Cearense é superior 1000 mm anuais, com chuvas concentradas de janeiro à abril e com temperaturas que variam, conforme a época do ano e local, de mínimas de aproximadamente 15 °C até máximas de 35 °C.

A extensão territorial do Estado do Ceará é de 148.825,602 km², com aproximadamente 75% de sua área total incluída na isoieta inferior a 800 mm anuais e com médias térmicas elevadas, variando de 23° a 28° (FUNCEME, 1991). De acordo com a classificação climática de Köppen, o Estado apresenta três tipos de clima: BSw'h', Aw' e Cw', havendo uma predominância em aproximadamente 80% como BSw'h'(semi-árido).

O zoneamento de aptidão climática, utilizando cenários pluviométricos, representa uma metodologia mais aperfeiçoada em relação ao zoneamento tradicional, baseado na média dos totais de precipitação pluviométrica mensais, pois se fundamenta em sub-conjuntos de dados pluviométricos selecionados, conforme as situações prognosticadas pelos modelos numéricos. Assim, indica as áreas climaticamente mais apropriadas para o cultivo de cada espécie de interesse agrícola, de acordo com a tendência pluviométrica esperada fornecida pelos modelos numéricos e regularmente divulgada pela mídia.

Essa nova abordagem climática, utilizando cenários pluviométricos, evidencia-se a conveniência de abandonar em definitivo, a utilização de zoneamentos estáticos, utilizando apenas a média pluviométrica, como representativa do que acontece na pluviometria do Nordeste, cujo a variabilidade espaço-temporal é bastante acentuada. Em relação ao zoneamento tradicional, deve-se lembrar, ainda, que a média constitui um bom estimador do valor mais frequente (moda) dos totais mensais ou anual de chuva, apenas nos locais em que os dados da série pluviométrica disponível se ajustam bem a um modelo simétrico de distribuição de probabilidades. Somente quando a distribuição é simétrica (modelo gaussiano, por exemplo) a média, a moda e a mediana da amostra coincidem. Nessa situação particular de simetria, típico de regiões muito chuvosas, a média representa o valor mais provável (moda) e, ainda, divide a amostra em duas partes iguais (mediana) (Varejão-Silva & Barros, 2002).

Este zoneamento contempla para algumas culturas, notadamente aquelas de ciclo curto, três diferentes cenários pluviométricos (“seco”, “regular” e “chuvoso”). Uma dessas opções poderá ser adotada pelo usuário, em função dos prognósticos publicados antecipadamente pelos núcleos estaduais e nacionais de meteorologia, obtidos por meio de análises dos modelos numéricos regionais e globais atualmente em uso.

Este trabalho teve como objetivo elaborar o zoneamento de aptidão climática para as culturas do Algodão Herbáceo, Feijão *Phaseolus* e Vigna, Mamona, Mandioca e

Milho para a região Sul Cearense, levando-se em consideração a variabilidade natural do regime pluviométrico, estabelecida em três cenários pluviométricos.

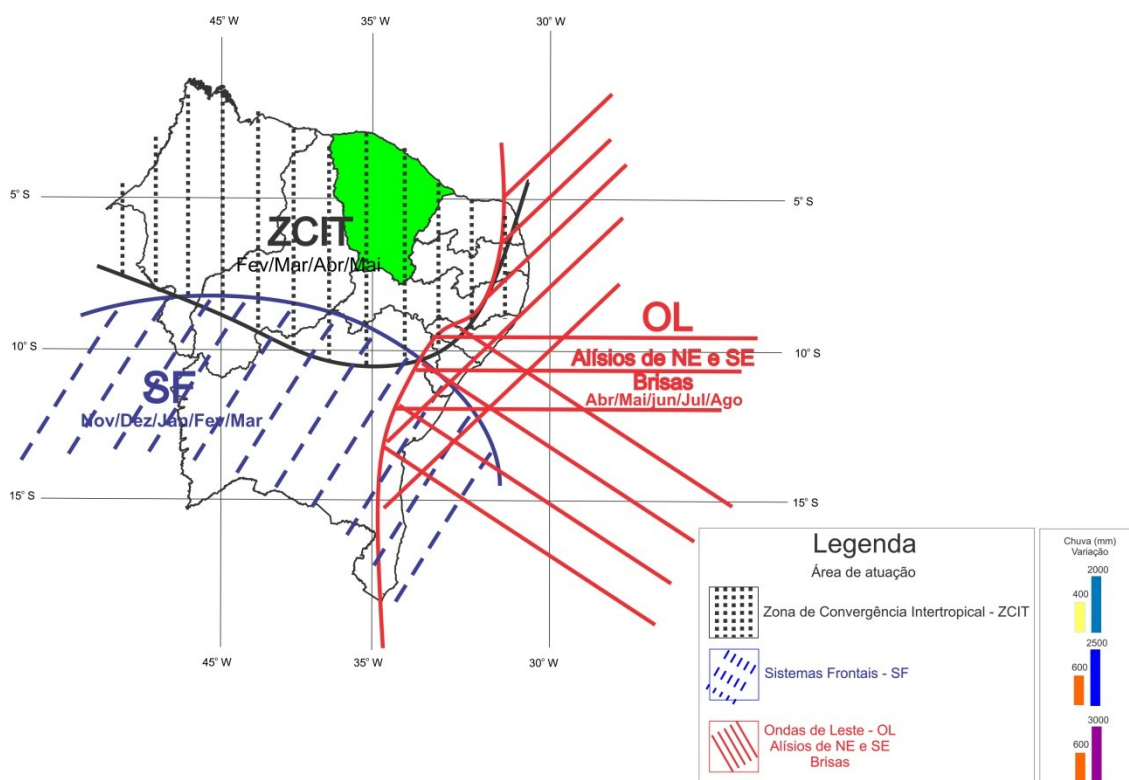


Figura 1 - Sistemas meteorológicos que provocam chuvas na região Nordeste. Detalhe em verde do Estado do Ceará. Fonte: Adaptado de Nobre, 1986; Molion e Bernardo, 2002

2. Metodologia

2.1 Dados utilizados

Para o Estado do Ceará estão disponíveis dados de precipitação pluviométrica oriundos de postos pluviométricos da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA) e médias mensais de temperatura do ar para alguns aeroportos e algumas estações meteorológicas.

2.2 Médias Mensais e Anual da Temperatura do Ar

A baixa concentração espacial de locais com registros de temperatura do ar no Estado do Ceará limitaria o cálculo do balanço hídrico climatológico para algumas localidades, em número bem menor que a dos postos pluviométricos.

Para contornar esse problema, foi necessário estimar as médias mensais de temperatura do ar naqueles locais onde apenas se dispunham de dados de chuva. A estimativa das médias mensais de temperatura do ar (T_m) em cada mês ($m = 1, 2,$

3...12) e anual (m=13) foi feita utilizando o seguinte modelo de regressão múltipla quadrática, tomando-se a latitude (ϕ), a longitude (λ) e a altitude (ξ) como variáveis independentes:

$$T_m = A_m + B_m \phi + C_m \lambda + D_m \xi + E_m \phi^2 + F_m \lambda^2 + G_m \xi^2 + H_m \lambda\phi + I_m \lambda\xi + J_m \phi\lambda. \quad \text{Eq. 1}$$

Os coeficientes A_m , B_m , ... J_m , da Equação 1, foram determinados, para cada mês e ano, pelo método dos mínimos quadrados dos desvios, utilizando-se os valores médios mensais de temperatura disponíveis no Ceará e nos estados vizinhos, considerando as normais climatológicas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela FUNCEME e SUDENE.

Foram obtidas, por conseguinte, 13 equações de regressão. Na aplicação dessas equações, para a estimativa de T_m os requeridos valores de altitude foram os da grade altimétrica da Diretoria de Serviços Geográficos (DSG) do Ministério do Exército, onde ϕ (latitude) é cotada numa malha de 920 m x 920 m do terreno. O erro padrão da estimativa das temperaturas médias mensais do ar foi inferior a $\pm 1^\circ\text{C}$.

2.3 Totais Mensais de Precipitação

Foram utilizados os totais mensais de precipitação pluviométrica do Ceará e dos estados vizinhos, oriundos da FUNCEME, INMET, SUDENE e do HidroWeb da ANA.

Para assegurar maior confiabilidade aos resultados, suprimiram-se todos os valores considerados pela SUDENE como “duvidosos” ou “estimados”. Também foram eliminados aqueles indicados como “homogeneizados”, por se tratarem de valores interpolados e que, portanto, tendem a reduzir a variância das séries (introduzindo uma suavização). Foram também eliminados do acervo os dados “consistidos” e os “estimados” presentes nos registros do HidroWeb.

Além dos postos do Estado do Ceará (Figura 2), foram incluídos os dados pertencentes a outros estados, situados nas vizinhanças, exatamente para assegurar maior representatividade das interpolações nas áreas limítrofes deste Estado. Foram considerados apenas os postos com séries pluviométricas com 20 ou mais anos completos de registros.

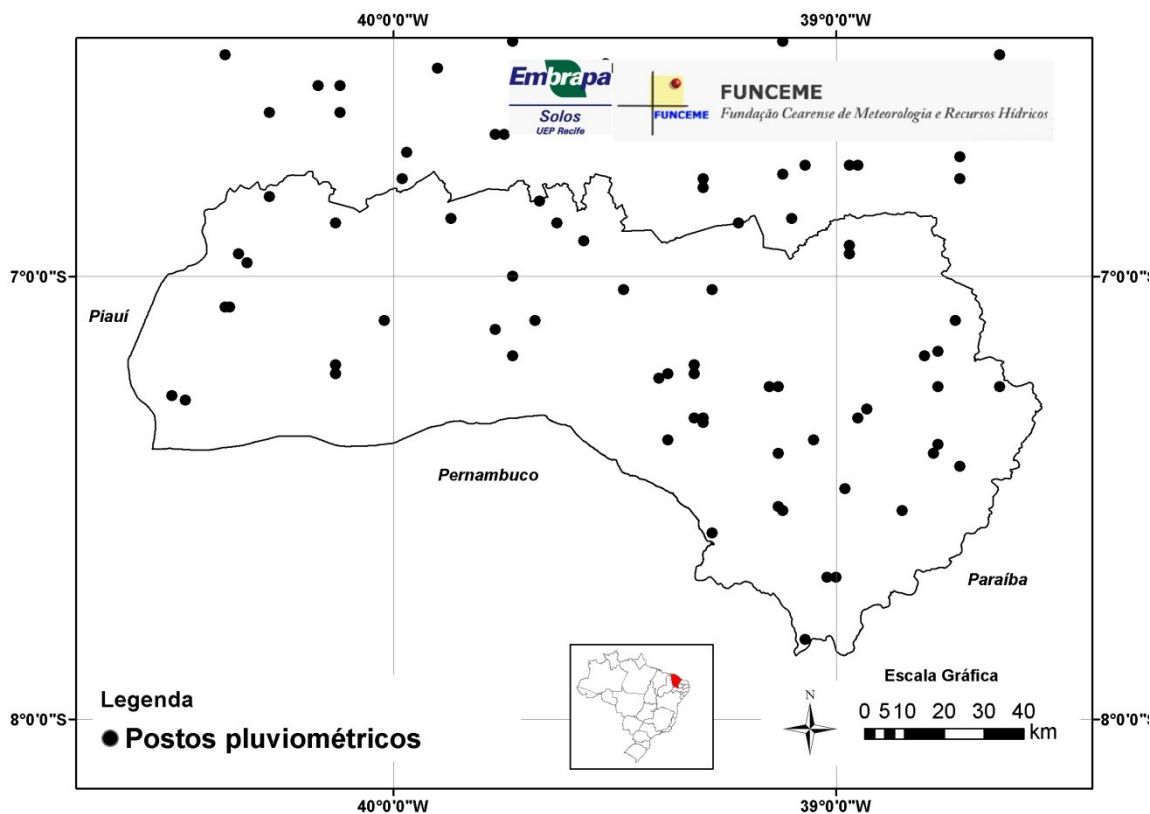


Figura 2. Localização dos postos pluviométricos utilizados para o zoneamento de aptidão climática para região Sul do Estado do Ceará.

2.3.1 Discriminação dos cenários

A média aritmética constitui um bom estimador do valor mais frequente (moda) dos totais de chuva, apenas nos casos em que os elementos da amostra disponível se ajustam bem a um modelo simétrico de distribuição. Somente quando a distribuição é simétrica (modelo normal ou gaussiano) a média, a moda e a mediana da amostra coincidem (Figura 3). Nessa situação particular de simetria, a média representa o valor mais provável (moda) e, ainda, divide a amostra (mediana) em duas partes iguais (Varejão-Silva e Barros, 2002).

Os totais pluviométricos se distribuem assimetricamente como acontece na região Nordeste do Brasil. Nestes casos a média pode-se afastar muito da moda, e quando isso acontece, deixa de constituir um estimador confiável do valor mais provável de chuva esperada. Nesses casos, a melhor distribuição é a gama incompleta, na qual é assimétrica (Hargreaves, 1973; Mosiño e Miranda, 1981). Detalhe da função de densidade de probabilidade da distribuição gama incompleta pode ser encontrada em Varejão-Silva, 2000.

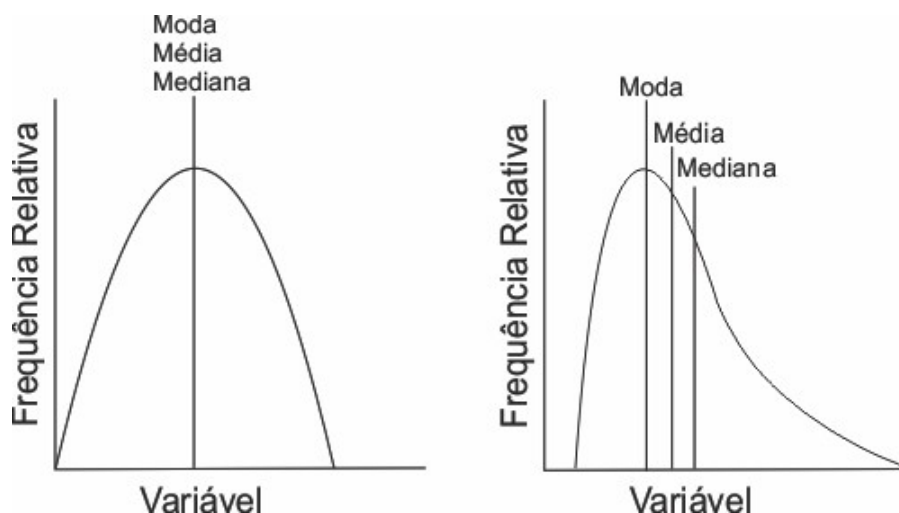


Figura 3. Posição relativa da média, da moda e da mediana numa distribuição simétrica (esquerda) e não simétrica (direita). Fonte: Varejão-Silva e Barros, 2002.

A discriminação dos cenários pluviométricos seguiu a metodologia proposta por Varejão & Barros (2002). Para cada posto pluviométrico, foi estabelecido o total de precipitação pluviométrica registrado nos três meses consecutivos mais chuvosos de cada ano hidrológico completo. Em seguida, a distribuição gama incompleta, seguindo a conceituação de Thom (1951), foi ajustada à série desses totais em cada posto, seguindo a metodologia indicada por Mielke (1976).

A qualidade do ajustamento da curva teórica aos valores observados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1980) ao nível de significância de 95%. A Figura 4 ilustra os critérios para caracterização dos cenários em anos em secos, regulares e chuvosos, segunda a distribuição dos totais de chuva acumulada nos três meses consecutivos mais chuvosos. A Probabilidade de 25% no exemplo corresponde a 198 mm e 75% ou mais, 389 mm. Assim, todos os anos analisados em que a precipitação seja igual ou inferior a (25%) 198 mm, este ano será considerado seco. No caso de ser superior a 389 mm (75%), será considerado chuvoso. E todos aqueles anos em que o total de precipitação pluviométrica estiver entre 198 mm e 389 mm serão considerados chuvosos.

Foram usados os critérios abaixo descritos para discriminar os anos hidrológicos de cada posto pluviométrico, numa das categorias indicadas (Varejão-Silva, 2000):

"anos secos" aqueles em que o total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, foi igual ou menor que o valor correspondente à probabilidade de 25%;

"anos chuvosos" aqueles cujo total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, é superior ao valor correspondente à probabilidade de 75%;

"anos regulares", todos aqueles anos não classificados nas duas categorias anteriores.

O conjunto dos anos "secos", "regulares" e "chuvosos" de cada posto, foi utilizado para obter as correspondentes médias mensais dos totais pluviométricos, necessárias para caracterizar os respectivos cenários.

Os balanços hídricos climatológicos foram estimados, separadamente, para os cenários "seco", "regular" e "chuvoso", usando-se o conhecido método proposto por Thornthwaite e Mather (1957) e Varejão-Silva (2000).

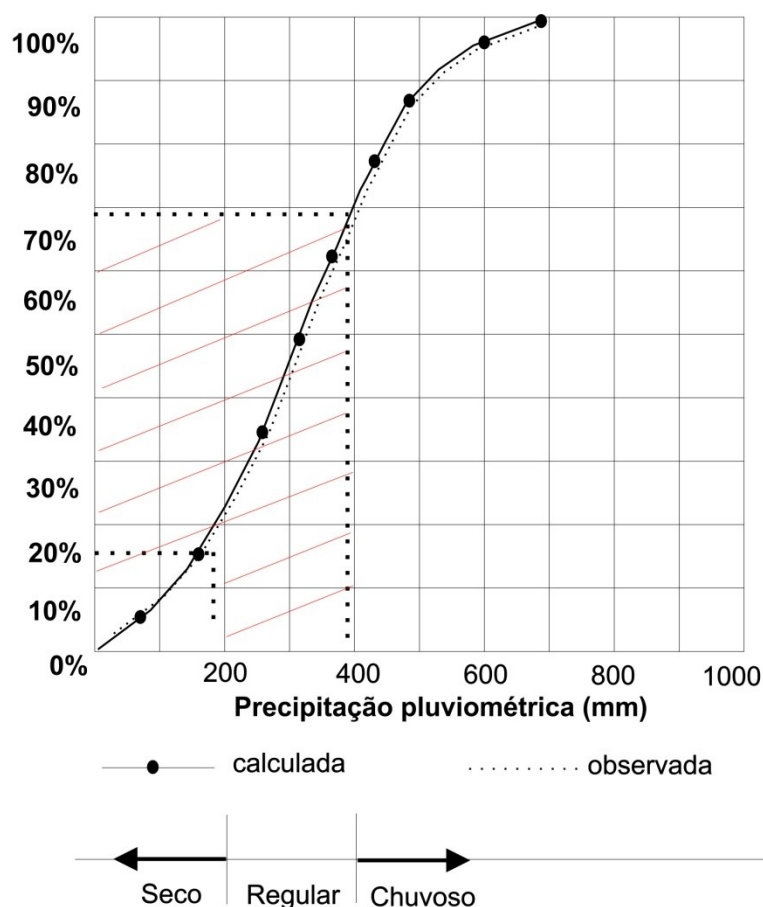


Figura 4. Aplicação dos critérios para caracterização dos anos em secos, regulares e chuvosos, segunda a distribuição dos totais de chuva acumulada nos três meses consecutivos mais chuvosos. Todos os anos em que a precipitação neste local é inferior a 25%, os anos serão considerados secos, superior a 75%, chuvosos; e entre 25% e 75%, regulares. Adaptado de Varejão-Silva e Barros, 2002.

2.4 Critérios de aptidão climática

Em estudos de aptidão climática de culturas a fenologia das plantas é indispensável, sobretudo na avaliação das interações solo-planta-clima. A caracterização dos eventos fenológicos permite identificar todo o desenvolvimento das plantas a fim de estabelecer relações com as condições do ambiente (Bergamaschi e Matzenauer, 2009).

As culturas agrícolas apresentam potencialidades fisiológicas de adaptação diferentes, as quais são expressões da adaptabilidade ao ambiente, apresentando mecanismos fisiológicos diferentes. Algumas plantas apresentam elevada eficiência no uso do CO₂ e da água, sendo extremamente importante em ambientes com estresses múltiplos, como ocorre no Nordeste. O milho (*Zea mays* L.), por exemplo, é extremamente eficiente na fotossíntese (C4) e no uso da água; no entanto, tem crescimento determinado e floração grupada, o que o torna bastante vulnerável ao clima do Nordeste e, em geral, produz muito pouco. Elas não apresentam fotorrespiração

detectável e produzem muito mais matéria seca por unidade de água transpirada. O algodão possui atributos fisiológicos como crescimento indeterminado, gemas auxiliares nos pontos de frutificação, acúmulo de amido e outras substâncias de reserva nas raízes e caule, etc. (Brown 1994).

De fato, a disponibilidade energética e de água são os dois fatores físicos de ordem edafoclimático a determinar o crescimento e o desenvolvimento das plantas e sua produtividade (Pereira et al., 2002). O estudo das relações entre esses fatores e os processos biofísicos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera torna possível a caracterização das exigências climáticas das culturas agrícolas e a delimitação de áreas potenciais para seu pleno crescimento e desenvolvimento.

Em geral, a caracterização das exigências climáticas para as culturas é realizada a partir de índices que sintetizam os elementos climáticos, tais como a temperatura do ar, a insolação e a precipitação pluviométrica, ou muitas vezes, torna-se mais prático utilizar as variáveis obtidas do balanço hídrico climatológico, notadamente os índices de aridez, hídrico e o de umidade.

Nesse sentido, o método de Thornthwaite (THORNTHWAITE; MATHER, 1957) foi utilizado para calcular o balanço hídrico climatológico (BHC) de cada localidade, considerando-se como sendo a capacidade média de armazenamento de água no solo (CAD) de acordo com as exigências edafo-climáticas da cultura, uma vez que, dependendo da cultura, a profundidade do sistema radicular encontra-se em diferentes profundidades.

Os índices de Umidade (Im), Hídrico (Ih) e de Aridez (Ia) proveniente do balanço hídrico, os quais sintetizam as exigências da cultura quanto à disponibilidade de água. No caso particular das culturas de período vegetativo longo, foram usados, como critérios de zoneamento, um ou mais dos seguintes parâmetros:

EXC	- estimativa do excedente hídrico anual/mensal (mm);"
DEF	- estimativa da deficiência hídrica anual/mensal (mm);"
Im	- índice efetivo de umidade;
Ia	- índice de aridez; e
Ih	- índice hídrico.

Além dos índices, a altitude e a temperatura do ar foram levadas em consideração, quando estas constituíam fatores limitantes da produção, ou ao pleno desenvolvimento da cultura para os diversos cultivos em escala comercial.

Em se tratando de culturas de ciclo curto, foram empregados elementos do evapopluviograma para cada localidade de acordo com o cenário pluviométrico, que leva em consideração as exigências das plantas, separadamente em cada mês do seu ciclo vegetativo, expressas em termos de um ou mais dos seguintes parâmetros mensais:

P_m/EP_m	- relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial no mês m;
EXC_m	- estimativa do excedente hídrico no mês m; e
DEF_m	- estimativa da deficiência hídrica no mês m.

Devido à baixa distribuição espacial dos postos pluviométricos, a metodologia usada não permitiu avaliar a aptidão climática de pequenas áreas. Ressalta-se, também, que a aptidão está baseada em condições climáticas gerais de ocorrência de elementos climáticos e, por conseguinte, possui intrinsecamente certo grau de incerteza, associado à variabilidade climática interanual, bastante acentuada no Nordeste (SILVA et al.,

2001), especialmente a precipitação pluviométrica, e consequentemente do balanço hídrico climatológico.

Além disso, o zoneamento é elaborado em macroescala e não considera as variações de relevo, que podem provocar diferentes condições topoclimáticas de microescala, principalmente a configuração e a exposição do terreno a radiação solar, que podem induzir a diferenças importantes na temperatura e consequentemente no desenvolvimento das culturas.

Há ainda, a incerteza na posição das isolinhas que é tanto maior quanto mais afastada estiver dos postos termo-pluviométricos e aumenta com a ampliação da escala gráfica da carta em que está representada. Assim, nos estudos de aptidão climática das culturas, foram utilizadas as cartas de relevo e das fases de vegetação do Estado do Ceará para melhorar o traçado das isolinhas naquelas áreas em que os dados climáticos foram insuficientes.

Do exposto, o usuário deve interpretar a(s) área(s) de uma determinada classe de aptidão com sendo não estática(s) e sem limite(s) rígidos. Não se pode esquecer que elas representam valores médios de um parâmetro obtido dentro de um cenário climático particular (seco, regular e chuvoso). Em cada cenário o parâmetro e ou elemento climático considerado varia dentro de um certo intervalo. Cada faixa de aptidão climática deve ser considerada também como uma área de transição, onde as condições climáticas vão gradualmente mudando, quando se parte da porção central dessa mesma faixa em direção à(s) faixa(s) vizinha(s).

Deve-se mencionar que, para contornar a deficiência hídrica provocada pelo insuficiente suprimento pluvial, os agricultores costumam utilizar-se das vazantes dos açudes e dos aluviões, próximos ou no leito seco de cursos d'água, para o cultivo de diversas culturas em escala doméstica de subsistência. Essas situações especiais, no entanto, não são "captadas" pela metodologia aqui utilizada.

Os zoneamentos foram elaborados a partir dos dados disponíveis, sobretudo médias de temperatura do ar e totais mensais de precipitação pluviométrica. Assim, áreas com características climáticas diferentes do seu entorno, mas para as quais não existem dados, não podem ser detectadas por meio da metodologia utilizada. Por fim, existem pequenos ambientes sujeitos a condições de umidade muito diferentes daquelas que predominam na área circunvizinha, cujo a metodologia não permite perceber essas variações localizadas.

Para validação dos resultados dos mapas de aptidão climática de cada cultura serão realizadas entrevistas com agricultores, extensionistas e técnicos para aperfeiçoar e complementar os mapas de aptidão climática.

3. Resultados

3.1 Cultura da mandioca (*Manihot utilíssima*)



A mandioca (*Manihot utilíssima*) é oriunda de região tropical, encontrando condições favoráveis para o seu desenvolvimento em todos os climas tropicais e subtropicais, sendo cultivada na faixa compreendida entre 30 graus de latitudes norte e sul, embora a concentração de plantio de mandioca esteja entre as latitudes 15°N e 15°S. Altitudes que variam desde o nível do mar até 800 metros são as mais favoráveis (SOUZA e SOUZA, 2000).

A temperatura média do ar ideal situa-se entre os limites de 20° C a 27 °C. Produzindo bem entre a faixa de temperatura de 16° C e 38°C. Temperaturas muito baixas retardam a germinação, diminuem a taxa de formação de folhas, o peso seco total e o peso seco de raízes (SOUZA e SOUZA, 2000). A temperatura afeta vários processos fisiológicos, sendo a fotossíntese, a respiração e a transpiração os mais comprometidos (CAVALCANTI FILHO, 1999).

No caso da deficiência hídrica no solo, efeito semelhante ocorre quando a planta aparenta estar em estado de dormência, perdendo as folhas completamente e encurtando os espaços internodais. A faixa mais adequada de precipitação pluvial para a mandioca está compreendida entre 1.000 e 1.500mm/ano. Em regiões tropicais, a cultura da mandioca produz em locais com totais pluviométricos anuais de até 4000 mm/ano, sem estação seca em nenhum período do ano, sendo importante que os solos sejam bem drenados, pois o encharcamento promove a podridão de raízes. Em regiões semiáridas, com 500 a 700 mm de chuva por ano é necessário adequar a época de plantio ao período chuvoso para que não ocorra deficiência de água nos primeiros cinco meses de cultivo (SOUZA e SOUZA, 200; CAVALCANTE, 2005).

A aptidão climática da mandioca na região Sul do Estado do Ceará foi classificada considerando dados meteorológicos, sobretudo de médias mensais de temperatura do ar e precipitação pluviométrica, obtidos nas diversas estações do Estado. A partir desses dados foram calculados os balanços hídricos climatológicos de localidades buscando cobrir todas as regiões.

No Estado do Ceará não se observou restrição térmica para a cultura da mandioca, condição semelhante ao período de luminosidade de 12 horas/dia, uma vez

que todo o estado apresenta temperatura média do ar e luminosidade na faixa ótima para o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Por se tratar de uma cultura de ciclo vegetativo longo, superior a doze meses foi considerado apenas o mapa de aptidão climática para anos regulares. Os mapas de aptidão climática para anos secos e chuvosos são apresentados apenas para observar as condições que a cultura pode estar submetida de ano para ano, seja no plantio, no manejo e ou na colheita, já que se trata de uma cultura de ciclo superior a 12 meses.

O método de Thornthwaite (THORNTHWAITE;MATHER, 1957) foi utilizado para calcular o balanço hídrico climatológico (BHC) de cada localidade, considerando-se 125 mm como sendo a capacidade média de armazenamento de água no solo, uma vez que grande parte do sistema radicular da mandioca encontra-se nesta profundidade.

O índice efetivo de umidade (Im), proveniente do balanço hídrico, o qual sintetiza as exigências da cultura quanto à disponibilidade de água, foi utilizado como um dos critérios de seleção dos ambientes com aptidão climática para a cultura da mandioca. Além do índice efetivo de umidade, a altitude e a deficiência hídrica anual foram consideradas de forma indireta na avaliação das limitações para o seu cultivo em escala comercial. Os critérios discriminantes de aptidão climática constam na Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios utilizados na avaliação de aptidão climática da cultura da mandioca

Aptidão climática	Im (-)
Moderada por excesso hídrico (dificuldade de colheita)	$Im \geq 40$
Plena, com possibilidade de período chuvoso ser muito longo	$-10 < Im \leq 40$
Plena, sem limitação climática	$-35 < Im \leq -10$
Moderada por deficiência hídrica	$-45 < Im \leq -35$
Inaptidão climática por insuficiência hídrica	$Im \leq -45$

Para os anos regulares estima-se que cerca de 85% (12.504 km²) apresentam condições climáticas plenamente favoráveis; 7% (1043 km²), condição plena com probabilidade de o período chuvoso ser prolongado; e 8% (1242 km²) moderada por deficiência (Tabela 2).

A maior parte da região Sul do Estado apresenta condições de aptidão climática plena, quando se caracteriza o cenário regular. Uma redução significativa das áreas com aptidão climática plena é observada no cenário seco. Já no cenário chuvoso, verifica-se uma expansão das áreas moderadas por excesso hídrico, principalmente na região do Crato e Juazeiro do Norte (Figuras 5, 6 e 7).

Nos anos secos as condições climáticas para o cultivo da cultura da mandioca se restringem muito e nos anos chuvosos a uma significativa expansão das áreas com aptidão plena ao cultivo da mandioca. Nesses anos não se observa áreas com inaptidão para o cultivo (Figura 5 e 6).

Deve-se ressaltar que, em muitos casos a colheita da mandioca é geralmente realizada decorridos aproximadamente 14 a 16 meses após a semeadura, e dependendo da época do plantio, poderá haver problemas de colheita devido ao excesso hídrico.

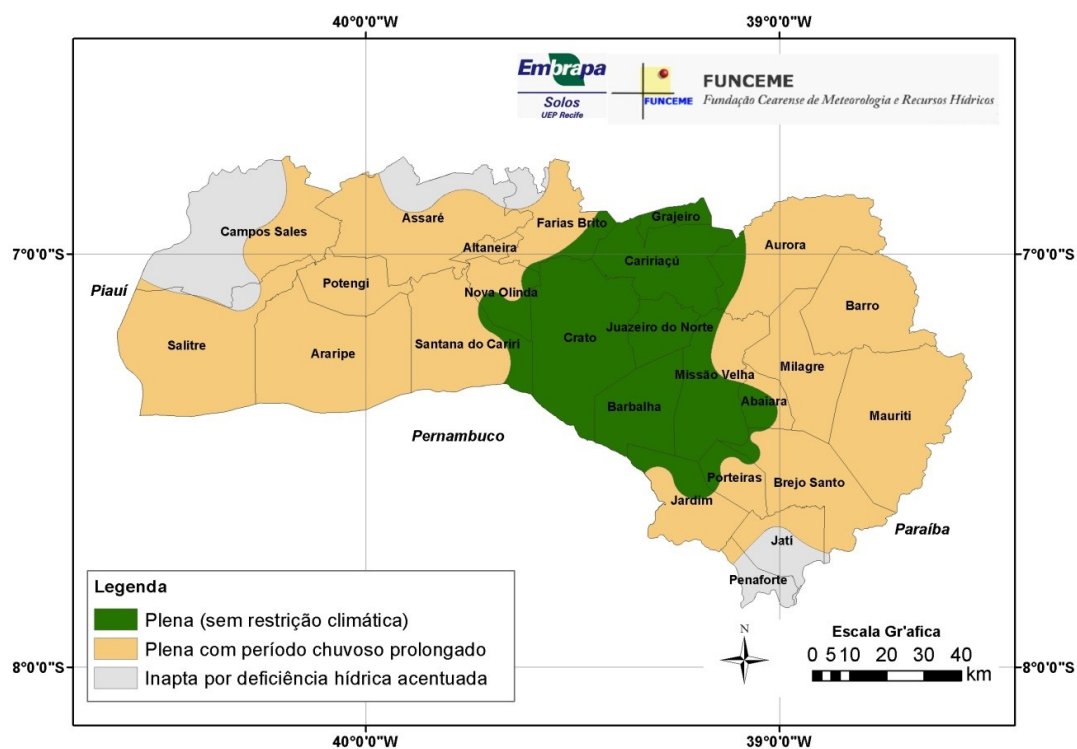


Figura 5. Zoneamento de aptidão climática da cultura da mandioca para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário seco

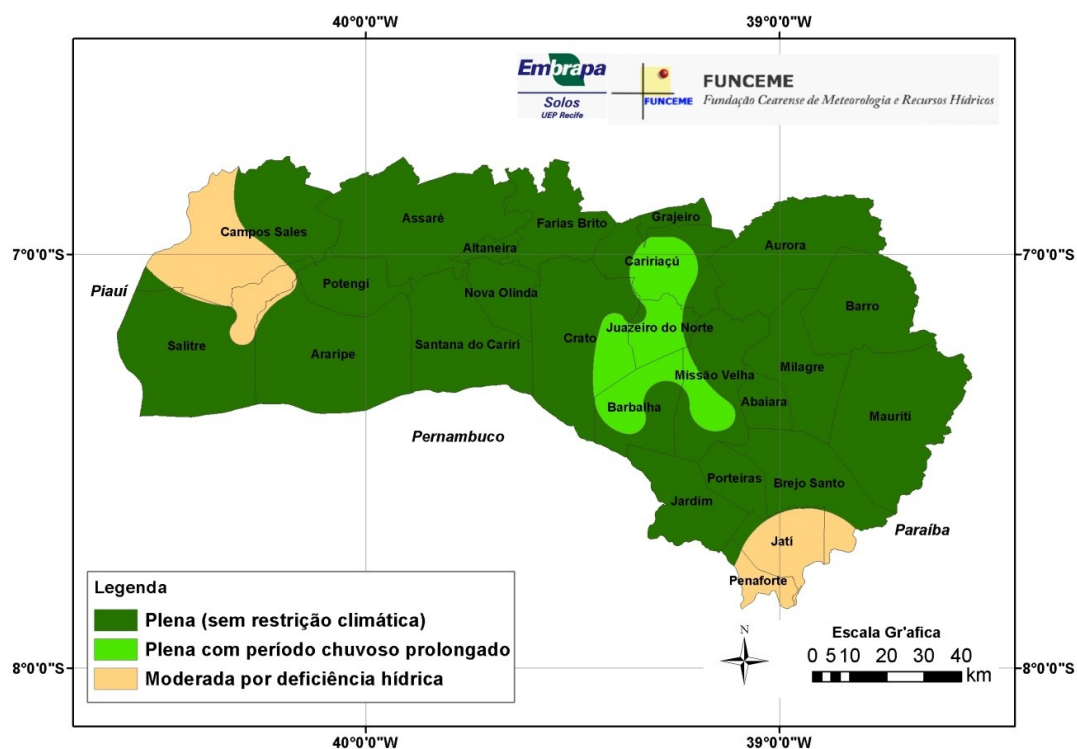


Figura 6. Zoneamento de aptidão climática da cultura da mandioca para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário regular

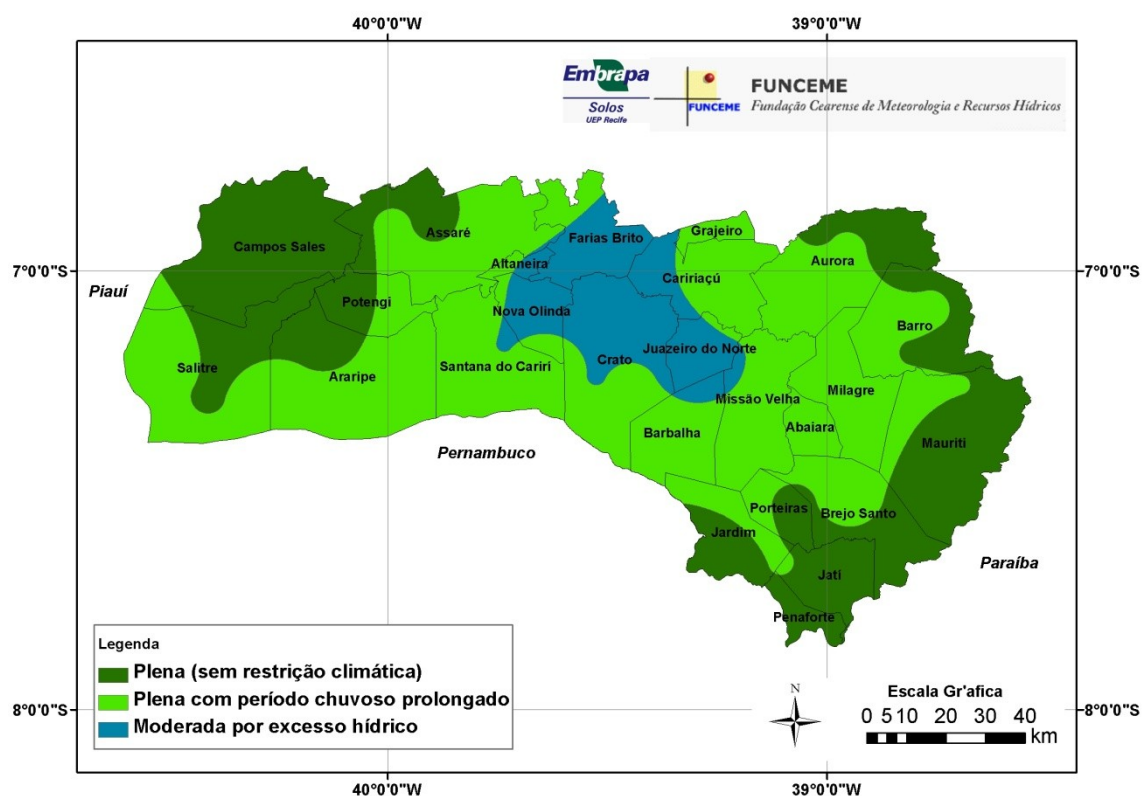


Figura 7. Zoneamento de aptidão climática da cultura da mandioca para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário chuvoso

Tabela 2. Quantitativo de classes de aptidão climática para cultura da mandioca na região Sul do Estado do Ceará no cenário climático regular

Aptidão climática	Área (km ²)	%
Plena (sem restrição climática)	12504	85
Plena com período chuvoso prolongado	1043	7
Moderada por excesso hídrico	0	0
Moderada por deficiência hídrica	1242	8
Inapta por acentuada deficiência hídrica	0	0
Total	14790	100

4.2 Cultura do Milho (*Zea mays* L.)



A cultura do milho (*Zea mays* L.) apresenta pouca tolerância à falta de água. São muito baixos os rendimentos da cultura no Ceará. O milho é cultivado em sua maioria por pequenos agricultores. Verificam-se, ainda, os baixos níveis tecnológicos empregados no Estado e apesar dos baixos rendimentos, o milho consiste de um cereal tradicional e apresenta aspectos culturais e históricos na região.

No Brasil, pela sua continentalidade, observa-se que os fatores que afetam a estação de crescimento da cultura de milho variam com a região. Nas regiões temperadas e subtropicais, a limitação maior se deve à temperatura do ar e a radiação solar. No Nordeste, a precipitação, a temperatura e a evapotranspiração da cultura tem um papel de destaque.

Pode-se considerar que a radiação solar, a precipitação e a temperatura são os de maior influência no desenvolvimento da cultura do milho, pois afetam as atividades fisiológicas, interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca.

A temperatura do ar ideal está entre 25° C e 30° C. Temperaturas do solo inferiores a 10° C e superior a 35° C há prejuízo no desenvolvimento da cultura. Temperaturas do ar superiores a 35° C provoca a diminuição da atividade da redutase do nitrato, provocando queda de rendimento e da composição protéica do grão. Temperaturas do ar acima de 33° C durante a polinização reduzem sensivelmente a germinação do grão de pólen e temperaturas noturnas superiores a 24° C proporcionam um aumento da respiração de tal forma que a taxa de fotossimilados cai e, com isso, reduz a produção.

O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 400 mm, caso do semiárido nordestino, com baixíssimos rendimentos, a valores superiores a 1500 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm (Aldrich et al., 1982). É uma das culturas mais afetadas pela variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica. A produção de grãos é drasticamente afetada por períodos curtos de estiagem (verânicos), principalmente quando ocorre nas fases críticas do estágio de desenvolvimento da

cultura, do pendoamento a fase de enchimento de grãos. Portanto, conhecer os períodos de escassez hídrica consecutivos é fundamental na delimitação das áreas com aptidão climática para a cultura.

Além disso, a cultura está entre as culturas de maior consumo de água. A deficiência hídrica na planta é quase diária, devido a alta demanda evaporativa da atmosférica, notadamente nas regiões tropicais, onde as taxas de transpiração é elevada. Nos dias mais quentes, a planta perde mais água do que consegue absorver, mesmo em condições de disponibilidade de água no solo. A escassez hídrica na planta afeta todos os processos relacionados ao desenvolvimento da cultura.

Os critérios discriminantes utilizados para caracterizar diferentes graus de aptidão climática para cultivo do milho (*Zea mays*) foram obtidos após diversas tentativas, a partir do balanço hídrico climatológico mensal, todas acompanhando, mês a mês, do plantio à colheita, as condições de desenvolvimento da cultura (Varejão Silva; Barros, 2001).

Para o zoneamento da cultura do milho foram adotados os parâmetros indicados adiante, relacionados aos meses (1, 2, 3 e 4) do ciclo vegetativo (tomado como 120 dias). Foram usados os seguintes índices: $j = 1, 2$ e 3 (cumulativo), para designar todos os três meses iniciais do ciclo; e $i = 1, 2$ ou 3 (não cumulativo) para indicar um dos três meses iniciais do ciclo; os outros dois meses foram representados por k . Por exemplo: se $i = 3$, então $k = 1$ e 2 . O último mês (secagem e colheita) foi representado pelo índice 4. Considerou-se 100 mm como a capacidade de armazenamento de água pelo solo mais favorável ao presente estudo.

- a) Aptidão Moderada por excesso hídrico: se a soma do excedente hídrico for igual ou superior a 400mm ($\sum EXC_j \geq 400\text{mm}$) ou, alternativamente, se em qualquer mês for igual ou exceder a 200 mm ($EXC_i \geq 200 \text{ mm}$) haverá água em demasia para a cultura;
- b) Aptidão Plena, com possibilidade de período chuvoso ser muito longo, caracterizando pequeno excesso hídrico ($P_4/EP_4 \geq 1$), podendo prejudicar a secagem dos grãos e a colheita (4º mês após o plantio);
- c) Aptidão Plena ($\sum EXC_j < 400\text{mm}$; $EXC_i < 200 \text{ mm}$; $DEF_i < 5 \text{ mm}$; $DEF_k = 0$ e $P_4/EP_4 < 1$), sem limitações climáticas apreciáveis;
- d) Aptidão Moderada por deficiência hídrica, quando num mês qualquer a deficiência for inferior a 5 mm ($DEF_i < 5 \text{ mm}$), nos demais inferior a 10 mm ($DEF_k < 10 \text{ mm}$), tendo o 4º mês relativamente seco ($P_4/EP_4 < 1$) e/ou, quando num mês qualquer a deficiência for inferior a 5 mm ($DEF_i < 5 \text{ mm}$), nos demais inferior a 20 mm ($DEF_k < 20 \text{ mm}$), tendo o 4º mês relativamente seco ($P_4/EP_4 < 1$); e

- e) Inaptidão climática por insuficiência hídrica, quando a deficiência hídrica for igual ou superior a 20 mm em dois ou mais meses do ciclo ($DEF_i \geq 5$ e $DEF_k \geq 20$ mm).

A tabela 3 apresenta os quantitativos das áreas com aptidão climática para cultura do milho na região Sul do Estado do Ceará nos três diferentes cenários climáticos: secos, regulares e chuvosos. Observa-se que apenas 8% (1224 km²) da área do Sul do Estado apresentam condições plenas para o cultivo milho em anos secos; 36% (5305 km²) em anos regulares e 76% (11282 km²) nos anos chuvosos. Nos anos secos 82% (13566 km²) da área do Sul Cearense apresentam alto risco para o plantio de milho, com aptidão moderada inapta por deficiência hídrica. Nos anos chuvosos não se observa esse risco.

No cenário seco as possibilidades climáticas ao cultivo do milho na região Sul Cearense são predominantemente moderadas devido à escassez hídrica (Figura 8). Apenas parte dos municípios do Crato e Juazeiro e áreas circunvizinhas apresentam condições ao cultivo da cultura, com aptidão plena, sem restrições climáticas ao cultivo.

No cenário climático regular a maior parte da região não reúne as melhores condições climáticas para o cultivo do milho por apresentar deficiência hídrica moderada (Figura 9).

Nos cenários regulares e chuvosos observa-se que parte da região Sul pode apresentar problemas para o cultivo do milho devido à possibilidade um período chuvoso muito longo. No entanto, praticamente toda região as condições para o cultivo do milho é favorável com aptidão plena (Figura 9 e 10).

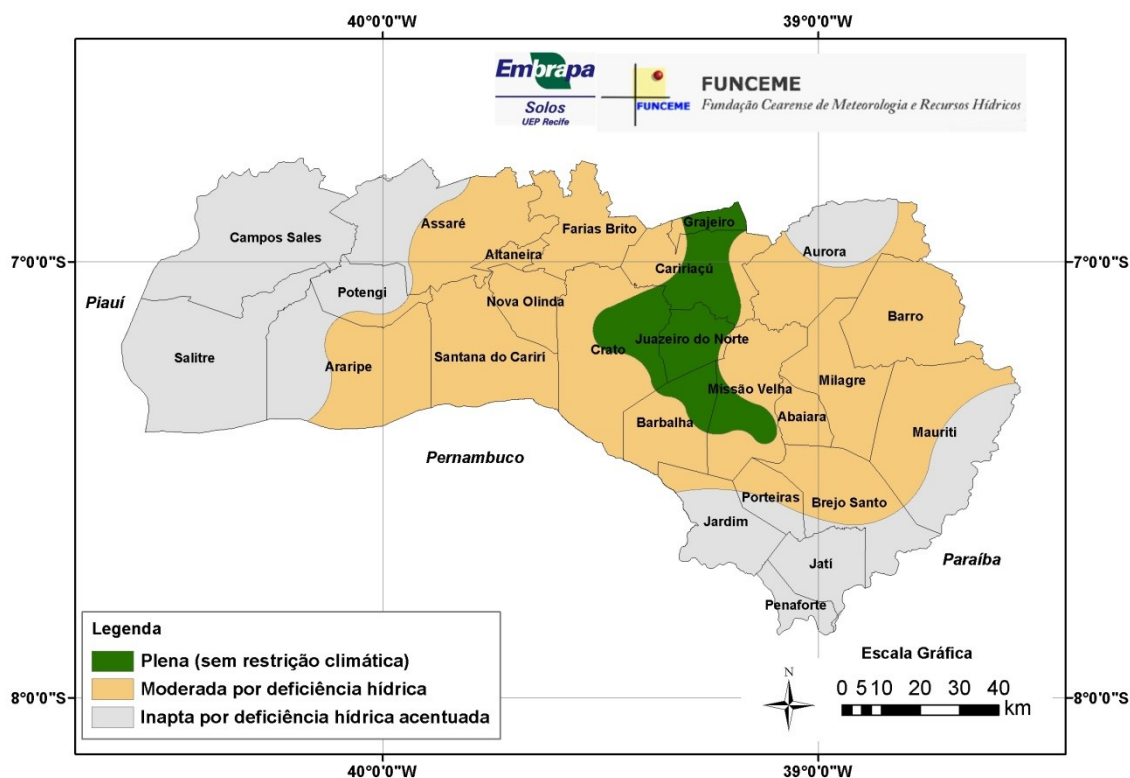


Figura 8. Zoneamento de aptidão climática da cultura do milho para a região Sul do

Estado do Ceará levando em consideração o cenário seco

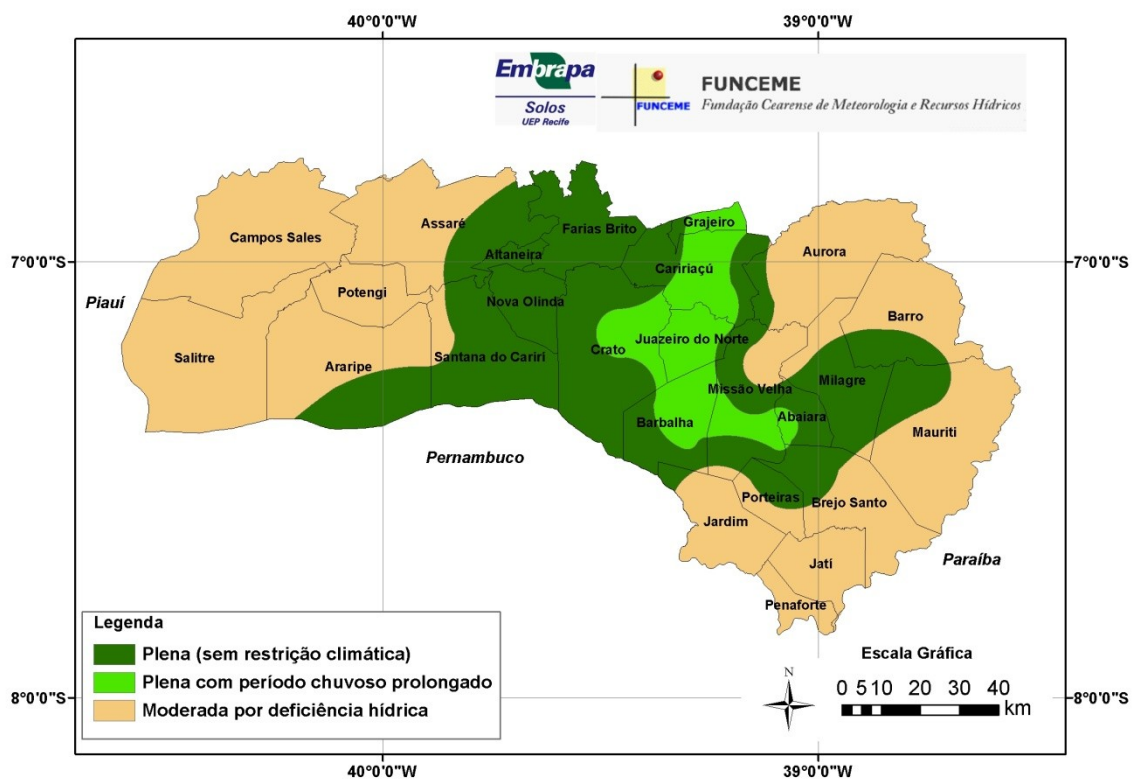


Figura 9. Zoneamento de aptidão climática da cultura do milho para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário regular

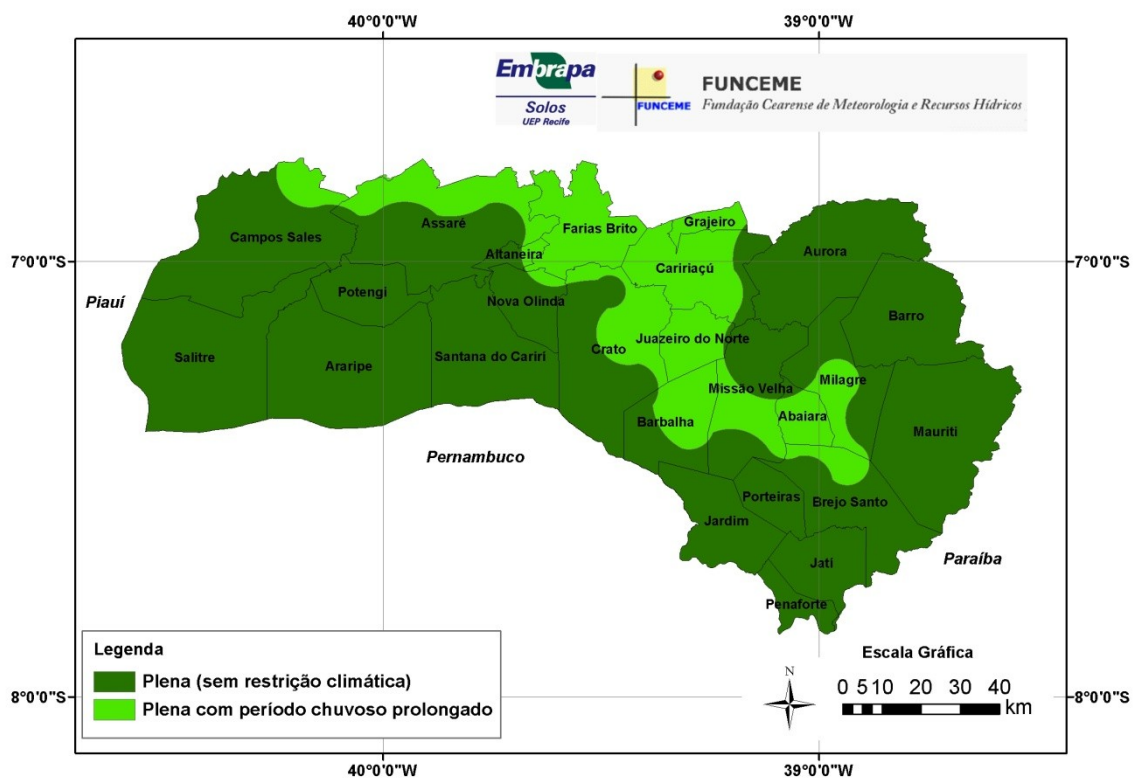


Figura 10. Zoneamento de aptidão climática da cultura do milho para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário chuvoso

Tabela 3. Quantitativo das classes de aptidão climática para a cultura do milho na região Sul do Estado do Ceará, nos três cenários climáticos: secos, regulares e chuvosos.

Aptidão climática	Seco		Regular		Chuvoso	
	Área	%	Área	% (km ²)	Área	%
Plena (sem restrição climática)	1224	8	5305	36	11282	76
Plena com período chuvoso prolongado	0	0	1323	9	3508	24
Moderada por excesso hídrico	0	0	0	0	0	0
Moderada por deficiência hídrica	8297	56	8162	55	0	0
Inapta por acentuada deficiência hídrica	5269	36	0	0	0	0
Total	14790	100	14790	100	14790	100

4.3 Cultura do Feijão Caupi (*Vigna unguiculata*)



O caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa que apresenta grande rusticidade e excelente adaptação às condições de clima e solo da região Nordeste. É utilizado, principalmente na alimentação humana e cultivada nas áreas áridas e semiáridas do Nordeste, onde constitui alimento básico para a população (Freire Filho, 2000).

Em outras regiões do país, difundiu-se como hortaliça, na produção de grãos verdes. Na alimentação animal, é consumido naturalmente ou como feno. É uma excelente fonte de proteínas, apresentando todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas.

Devido às suas características de rusticidade e variabilidade genética é uma espécie de grande valor estratégico, principalmente em áreas que apresentam escassez hídrica. Tendo como habitat as regiões de clima quente (úmida ou semiárida), o caupi é cultivado, predominantemente, nas regiões Norte e Nordeste do país. O Nordeste semiárido enquadra-se na faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento do caupi. Em áreas mais úmidas do Agreste e com a utilização de cultivares melhoradas pode alcançar maior produtividade.

Para a região semiárida do Nordeste brasileiro, devido a sua grande irregularidade na ocorrência das chuvas, a melhor época de plantio do feijão *vigna*, para as variedades de ciclo médio (80 a 90 dias) é o início do período chuvoso de cada região. Para as variedades precoces (70 a 80 dias) o ideal é semear nos dois meses antes do término do período chuvoso. Com isso a colheita será feita em períodos secos, com melhor qualidade do produto final.

Por outro lado, grande parte dos agricultores inicia o plantio nas primeiras chuvas, devido às constantes ameaças de ocorrência de veranicos, pois apesar de sua rusticidade e tolerância a deficiência hídrica, no período de florescimento os períodos prolongados de estresse hídrico inviabilizam a formação de vagens e a produção de grãos é bastante prejudicada.

A cultura do feijão caupi exige um mínimo em torno de 400 mm de precipitação pluviométrica, distribuídos regularmente durante o ciclo vegetativo da cultura para que se produza a contento, sem a necessidade de irrigação suplementar. A cultura tolera ocorrências de déficit hídrico no início de seu desenvolvimento, sendo considerada resistente à seca, condição esta variável de cultivar para cultivar.

De acordo com Doorenbos e Pruitt (1976) o período de florescimento e formação das vagens são mais críticos à falta de água, sendo importante nessa época um adequado nível de umidade do solo para uma boa produção. Segundo Heinemann (2009) independente da magnitude do estresse hídrico, cultivares de feijoeiro respondem diferentemente durante a floração. Assim, a produção de grãos pode diminuir na medida em que os números de dias de estresse aumentam. Por outro lado, a cultura do feijão *vigna* é sensível à umidade do solo excessiva, principalmente na fase de desenvolvimento da cultura.

Médias mensais de temperatura do ar entre 21° C e 30° C, durante o ciclo vegetativo da cultura, constituem a faixa térmica ideal para um bom desenvolvimento da planta. Temperaturas muito elevadas podem causar o abortamento de flores. Temperaturas baixas, inferiores a 19° C influenciam negativamente na produtividade do feijão *vigna*, retardando o aparecimento de flores e aumentando o ciclo da cultura (Leite et al., 1997).

Na região Nordeste, outros fatores como radiação solar, fotoperíodo, vendavais, granizo e geadas não constituem problemas para o crescimento e desenvolvimento do feijão caupi.

Considerado j como um mês do período vegetativo ($j=1, 2, 3$), os critérios discriminantes utilizados para aptidão do feijão caupi foram os seguintes:

- a) Moderado por excesso hídrico, quando o excedente hídrico acumulado nos três meses iniciais do ciclo ultrapassa 180 mm ($\sum EXC_j > 180$ mm) ou ocorrerem dois meses consecutivos com excedente superior a 70 mm em cada um deles;
- b) Aptidão plena, mas com pequeno excesso hídrico na época da colheita ($P_4/EP_4 \geq 0,75$), sendo possível o cultivo nas áreas com drenagem adequada;
- c) Aptidão plena, sem limitações hídricas para o cultivo com excedente hídrico no mês de plantio nulo ou positivo ($EXC_1 \geq 0$), deficiência hídrica igual ou inferior a 5 mm nos demais meses do período vegetativo ($DEF_{2,3} \leq 5$ mm), seguindo-se um mês seco ($P_4/EP_4 < 0,75$);
- d) Aptidão moderada por deficiência hídrica ($EXC_1 \geq 0$ mm; $DEF_{2,3} < 25$ mm e $P_4/EP_4 < 0,75$) e/ou ($EXC_1 \geq 0$ mm; $25 \leq DEF_{2,3} < 40$ mm e $P_4/EP_4 < 0,75$);

- e) Inaptidão climática, por deficiência hídrica acentuada ($DEF_1 > 0$ mm e/ou DEF_2 ou $DEF_3 \geq 40$ mm).

Na tabela 4 verifica-se que de 33% (4810 km²) da área do Sul do Estado, mesmo em anos secos, apresentam condições plenas para o cultivo da cultura do feijão caupi; 86% (12724 km²) em anos regulares e 76% (11313 km²) nos anos chuvosos. Pode-se verificar também que mesmo no ano regular a cultura do feijão *vigna* não tolera o excesso hídrico e se agrava no ano chuvoso, com mais de 17% (2544 km²) com áreas que podem apresentar problemas devido ao período chuvoso se estender além do ciclo vegetativo da cultura (Figuras 11, 12 e 13). Apenas no cenário seco são observadas áreas com inaptidão para o plantio do feijão caupi, totalizando 10% (1427 km²), notadamente nos municípios de Penaforte, Campos Sales e Salitre.

É importante observar que um ano chuvoso não assegura a expansão uniforme de área de aptidão plena para o cultivo do Vigna. Pode acontecer o aumento de área com aptidão moderada (devido ao excesso hídrico), em detrimento daquelas com aptidão plena. Esse comportamento pode ser verificado para a cultura do feijão Vigna, pois as áreas plenas no cenário regular alcançam 86%, enquanto que no cenário chuvoso somam 76%. Pode-se verificar também que há um aumento de 17% das áreas que apresentam condições moderadas devido ao excesso hídrico no cenário chuvoso, enquanto no cenário regular é de apenas 11% (Tabela 4).

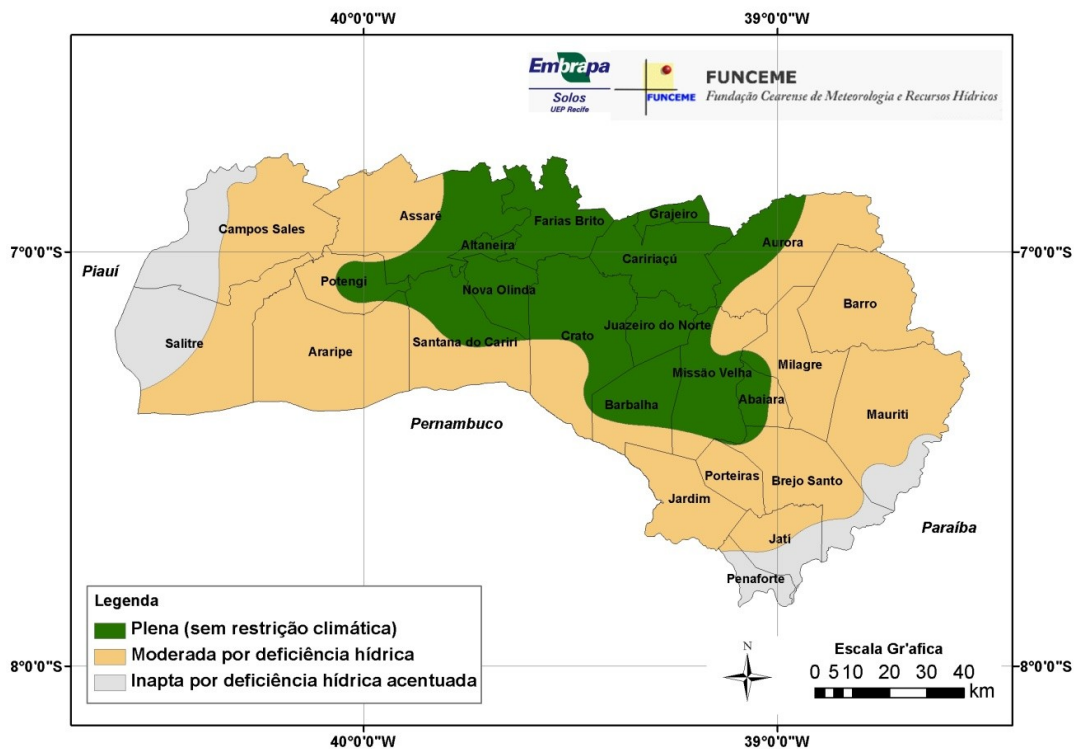


Figura 11. Zoneamento de aptidão climática da cultura do feijão caupi para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário seco

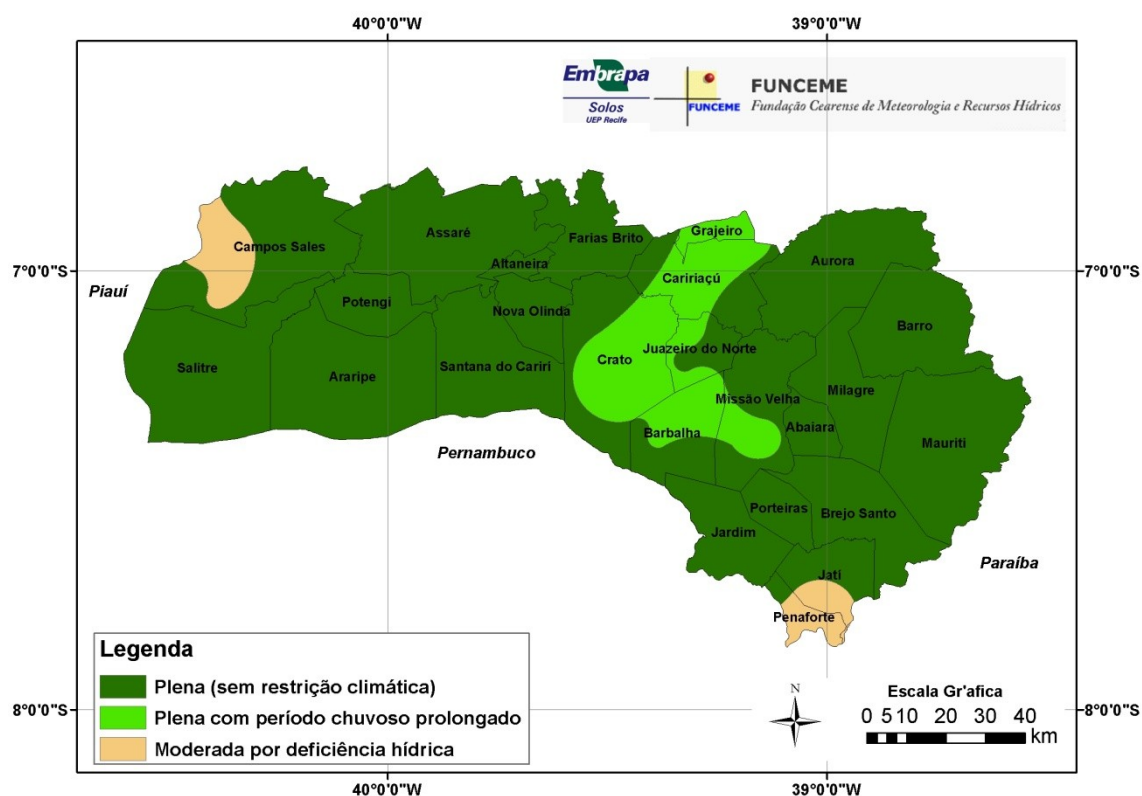


Figura 12. Zoneamento de aptidão climática da cultura do feijão caupi para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário regular

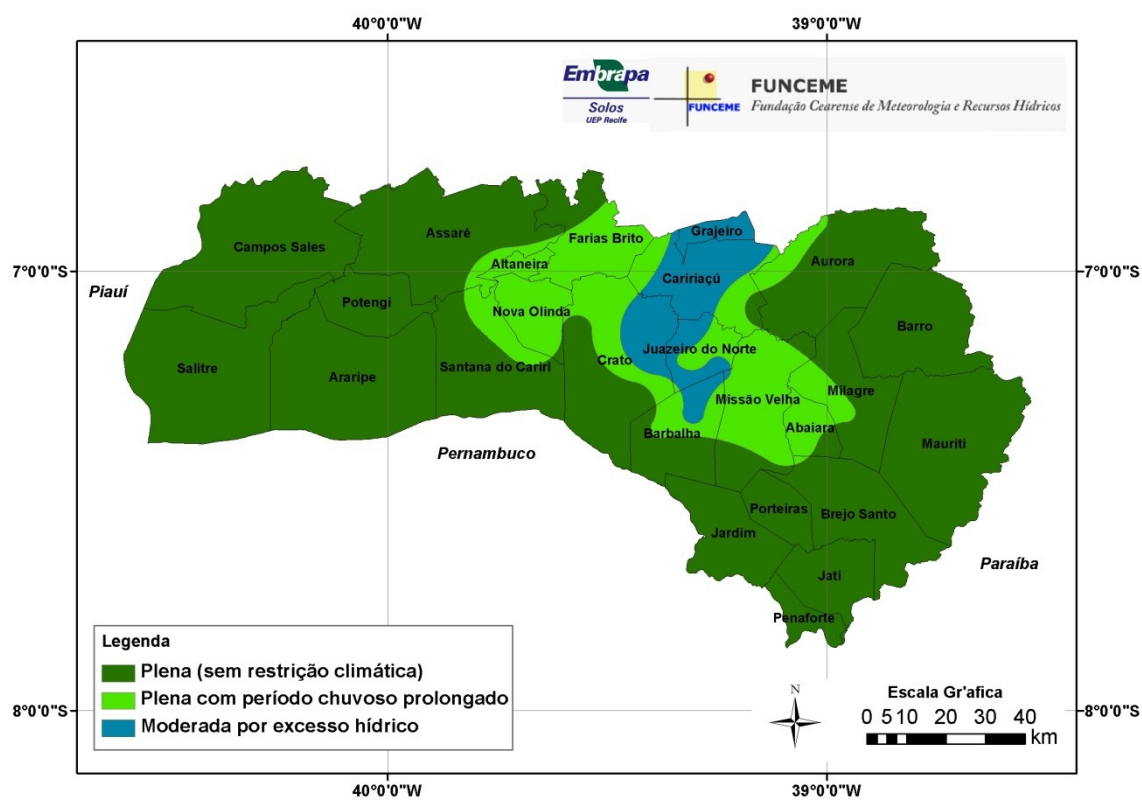


Figura 13. Zoneamento de aptidão climática da cultura do feijão caupi para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário chuvoso

Tabela 4. Quantitativo das áreas para aptidão climática da cultura do feijão caupi na região Sul do Estado do Ceará, nos três cenários climáticos: secos, regulares e chuvosos.

Aptidão climática	Seco		Regular		Chuvoso	
	Área	%	Área (km ²)	%	Área	%
Aptidão Plena (sem restrição climática)	4810	33	12724	86	11313	76
Aptidão Plena com período chuvoso prolongado	0	0	1564	11	2544	17
Aptidão Moderada por excesso hídrico	0	0	0	0	933	6
Aptidão Moderada por deficiência hídrica	8553	58	503	3	0	0
Inaptidão por acentuada deficiência hídrica	1427	10	0	0	0	0
Total	14790	100	14790	100	14790	100

4.4 Cultura do Feijão *Phaseolus* (*Phaseolus vulgaris*)



Feijão (*Phaseolus vulgaris*, L., Leguminosae) é um dos principais alimentos da população brasileira. É cultivado principalmente por pequenos produtores, com uso reduzido de tecnologia agrícola. Sua exploração se reveste de importância dentro do sistema de produção agrícola do Estado do Ceará, tanto no que diz respeito a sua extensa área cultivada, mesmo considerando sua especificidade de cultura de subsistência (Albuquerque, 2002).

Segundo Silva e Didonet (2005), a temperatura do ar pode ser considerada o elemento climático que mais exerce influência sobre a porcentagem de vingamento de vagens, e, de maneira geral, faz referência sobre o efeito prejudicial das altas temperaturas sobre o florescimento e a frutificação do feijoeiro. Para que o feijoeiro possa atingir seu rendimento potencial é necessário que a temperatura do ar apresente valores mínimo, ótimo e máximo de 12° C, 21° C e 29° C, respectivamente. Contudo, regiões que apresentam valores de temperaturas do ar noturnas altas provocam maiores prejuízos ao rendimento do feijoeiro, devido ao abortamento de flores.

A produtividade do feijoeiro também está muito condicionada à condição hídrica do solo, podendo reduzir o rendimento em diferentes proporções e de acordo com as diferentes fases do ciclo da cultura. As fases de floração e desenvolvimento de grãos parecem ser a mais afetada por períodos de estresse hídrico (Doorenbos e Pruitt, 1976). De forma semelhante ao feijão caupi, a redução da produtividade tem estreita relação com o número de dias em que o feijoeiro fica exposto à redução do teor de água no solo (Heinemann et al., 2009).

O feijão *phaseolus* ou popularmente chamado de feijão comum é uma planta sensível ao excesso hídrico do solo e a umidade excessiva do ar, sobretudo porque favorece o aparecimento de doenças radiculares e fungicas, respectivamente. De fato, por apresentar um sistema radicular relativamente curto, um período relativamente longo de encharcamento do solo pode prejudicar o sistema radicular devido ao apodrecimento das raízes.

Períodos prolongados de chuvas no período de desenvolvimento da cultura, e principalmente, durante a colheita, provocam redução na produtividade, devido ao atraso da colheita e o acamamento das plantas, ocasionando a quebra de rendimento e

prejudicando a qualidade de grãos (Heinemann et al., 2009). Em comparação ao feijão caupi, o feijão *Phaseolus* é muito mais sensível ao excesso de umidade do solo e do ar.

Fatores como radiação solar, fotoperíodo, vendavais, granizo e geadas não constituem problemas para o crescimento e desenvolvimento do feijão *phaseolus* na região Nordeste.

Os critérios discriminantes para aptidão do feijão *phaseolus* utilizados foram os seguintes:

Considerado i como um mês do período vegetativo ($j = 1, 2, 3$),

- a) Moderado por excesso hídrico, quando o excedente hídrico acumulado nos três meses iniciais do ciclo ultrapassa 150 mm ($\sum EXC_j > 150$ mm) ou ocorrerem dois meses consecutivos (k) com excedente superior a 50 mm em cada um deles ($EXC_k > 50$ mm);
- b) Aptidão plena, mas com pequeno excesso hídrico na época da colheita ($P_4/EP_4 \geq 0,75$), podendo prejudicar a colheita e secagem de grãos, sendo possível o cultivo nas áreas com drenagem adequada;
- c) Aptidão plena, melhores áreas para o cultivo em relação à disponibilidade hídrica ($EXC_1 \geq 10$ mm; $DEF_{2,3} < 5$ mm e $P_4/EP_4 < 0,75$);
- d) Aptidão moderada por deficiência hídrica ($EXC_1 \geq 0$ mm; $DEF_{2,3} < 15$ mm e $P_4/EP_4 < 0,75$) e/ou ($EXC_1 \geq 0$ mm; $DEF_{2,3} < 30$ mm e $P_4/EP_4 < 0,75$);
- e) Inaptidão climática, por deficiência hídrica acentuada ($DEF_1 \geq 0$ mm e/ou $DEF_{2,3} \geq 30$ mm).

Nos anos secos, regulares e chuvosos as áreas sem restrições climáticas (plena) somam 14% (2093 km²), 60% (8868 km²) e 56% (8353 km²), respectivamente. Pode ocorrer problemas devido ao excesso hídrico nos anos considerados chuvosos, pois 11% da área do Sul do Estado apresenta condições moderadas devido ao excedente hídrico (Tabela 5).

Apenas nos cenários de anos secos observam-se áreas com inaptidão climática por deficiência hídrica para a cultura do feijão *phaseolus*. No cenário climático regular e chuvoso, nos municípios de Farias Brito na direção de Cariaçu e Juazeiro do Norte pode apresentar problemas de excesso de umidade, com probabilidade de ocorrer um período chuvoso prolongado e prejudicar a colheita e secagem de grãos do feijão *phaseolus*, e ou ocorrer doenças devido ao excesso de umidade, tanto do solo como do ar (Figura 14, 15 e 16).

A deficiência hídrica praticamente restringe o cultivo do feijão *phaseolus* em grande parte da região no cenário climático de anos secos (Figura 14). No cenário

chuvoso verifica-se que parte considerável da região central do Sul Cearense o excesso de umidade pode prejudicar o cultivo do *phaseolus* (Figura 16).

Finalmente, deve-se ressaltar que, dentro da área com excesso hídrico, podem ocorrer situações em que o cultivo do feijoeiro torne-se possível, desde que se destine à produção de vagens.

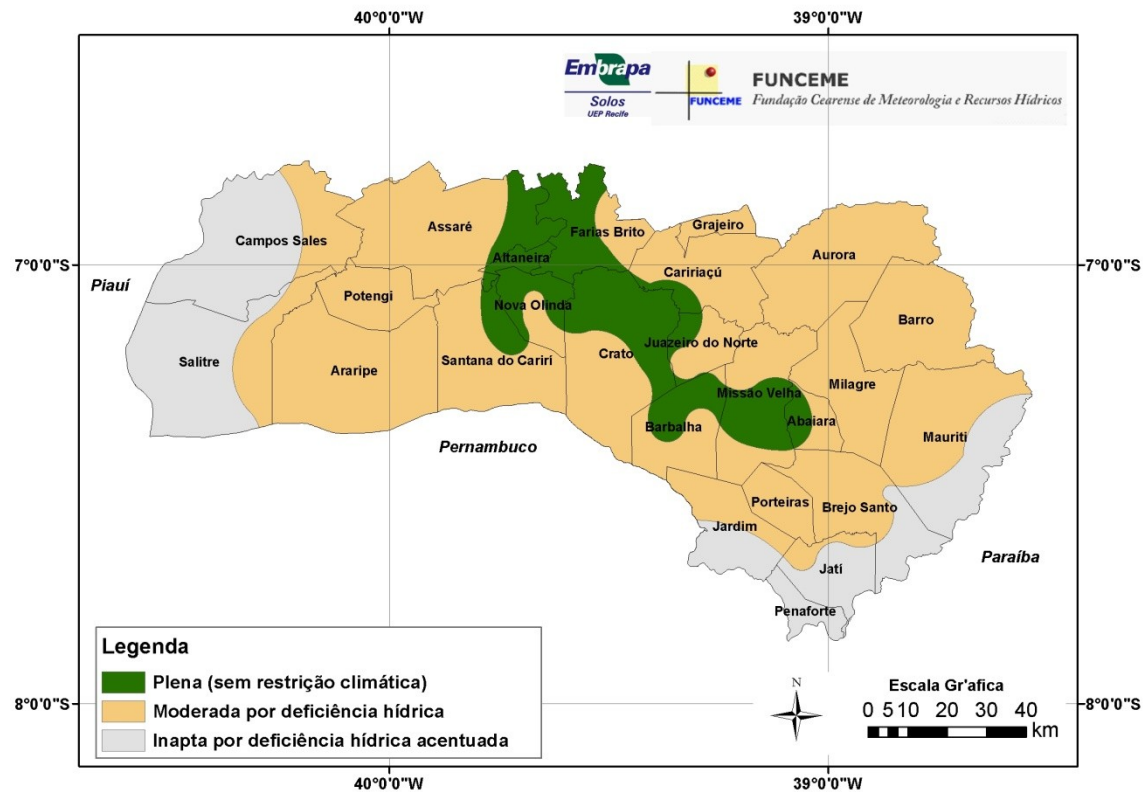


Figura 14. Zoneamento de aptidão climática da cultura do feijão *phaseolus* para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário seco

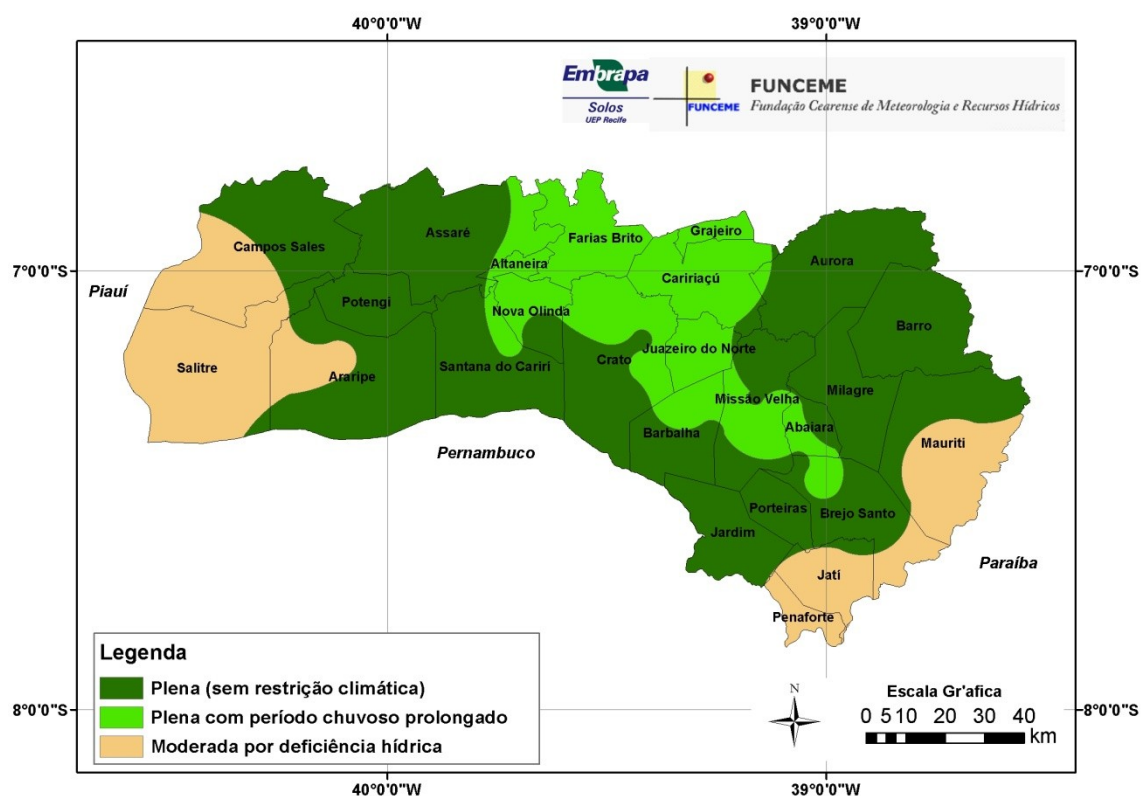


Figura 15. Zoneamento de aptidão climática da cultura do feijão *phaseolus* para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário regular

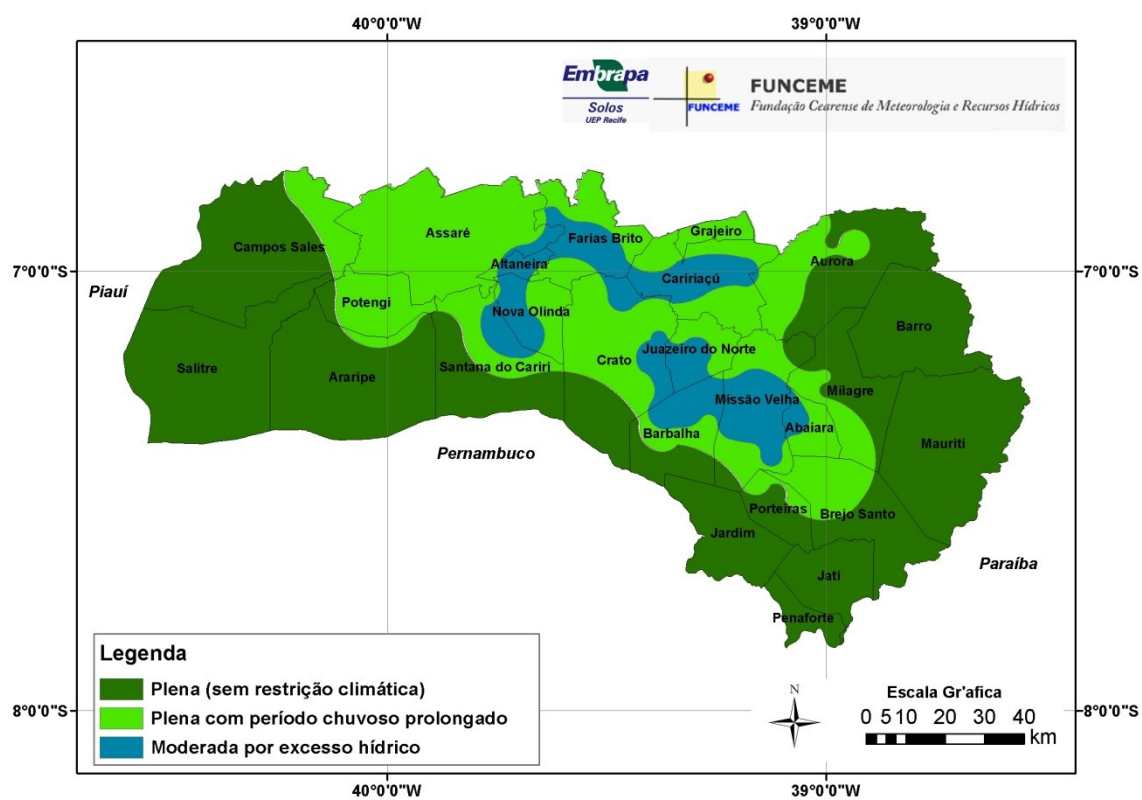


Figura 16. Zoneamento de aptidão climática da cultura do feijão *phaseolus* para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário chuvoso

Tabela 5. Quantitativo das classes de aptidão climática para a cultura do feijão *phaseolus* na região Sul do Estado do Ceará, nos três cenários climáticos: secos, regulares e chuvosos.

Aptidão climática	Seco		Regular		Chuvoso	
	Área	%	Área (km ²)	%	Área	%
Plena (sem restrição climática)	2093	14	8868	60	8353	56
Plena com período chuvoso prolongado	0	0	3060	21	4830	33
Moderada por excesso hídrico	0	0	0	0	1607	11
Moderada por deficiência hídrica	9954	67	2862	19	0	0
Inapta por acentuada deficiência hídrica	2743	19	0	0	0	0
Total	14790	100	14790	100	14790	100

4.5 Cultura da Mamona (*Ricinus communis* L.)



A cultura da mamona (*Ricinus communis* L.) pertence à família das Euforbiáceas, sendo uma planta rústica e resistente à seca. É uma espécie de origem tropical, ocorrendo entre os paralelos 40°N e 40°S.

A mamona foi destaque no cenário econômico nas décadas de 70 e 80 do século passado, chegando a colocar o Brasil como um dos grandes produtores mundiais. Atualmente volta a revestir-se de elevada importância estratégica para a economia do Nordeste brasileiro, sobretudo nos ambientes de clima semiárido, por várias razões: é tolerante à seca, proporciona ocupação e renda, é de fácil cultivo, podendo ser conduzida por pequenos produtores (agricultura familiar) e porque atualmente tem uma ampla possibilidade de seu óleo ser utilizado para a fabricação do biodiesel (Beltrão et al., 2004). É uma das espécies que confere maior produção de óleo por área plantada, apresentando-se como alternativa para a produção de biocombustíveis, inclusive com óleo de qualidade excelente.

A mamona é considerada espécie de dias longos e o seu desenvolvimento pode ser melhor quando o fotoperíodo for maior que 12 horas. A precipitação pluviométrica necessária para o adequado desenvolvimento e produção da cultura é da ordem de 600 mm a 700 mm, bem distribuídos para se obter rendimentos em torno de 1.500 kg/ha (Beltrão e Silva, 1999). De acordo com Távora, 1982 a precipitação pluviométrica apropriada durante a fase vegetativa até o início da floração é de 400 mm a 500 mm. No estágio de formação de frutos e sementes, a deficiência hídrica provoca decréscimo no peso e no teor de óleo das bagas. Após essa fase, o ambiente seco é mais favorável ao longo do estágio de maturação. Segundo Beltrão et al., 2009, embora a mamoeira apresente tolerância ao estresse hídrico requer de pelo menos 500 mm durante o seu ciclo.

A cultura pode ser severamente prejudicada, quando submetida a temperaturas extremas. Temperatura do ar superior a 40°C pode provocar abortamento de flores e redução do teor de óleo, e inferiores a 10°C as plantas não produzem mais sementes,

devido à perda de viabilidade do pólen. A temperatura média do ar ideal é da ordem de 20° C a 30° C. A temperatura ótima é de 23° C a 25° C (Silva, 1983; Andrade Júnior, et al., 2004; Beltrão et al., 2009).

O excesso hídrico é prejudicial em qualquer período de crescimento da cultura, mas o excesso durante a mais é bastante prejudicial à cultura, podendo causar significativa redução da qualidade e na produtividade, devido à possibilidade dos frutos apodrecerem nos cachos (Andrade Junior et al., 2004). De fato, dentre os fatores desfavoráveis ao crescimento e o desenvolvimento da cultura da mamona, destaca-se a umidade excessiva do ar, intensa nebulosidade, alta concentração de sais no solo e ou na água e a baixa disponibilidade de oxigênio nas raízes, seja devido ao encharcamento ou por compactação do solo (Beltrão et al., 2009).

Em geral, admite-se que chuvas superiores a 1500 mm são consideradas excessivas, principalmente quando se concentram em períodos curtos, podendo causar diversos danos à cultura, tais como hipoxia nas raízes, queda de frutos e favorecer a ocorrência de doenças. A época de plantio adequada é aquela em que se aproveita ao máximo o período chuvoso, mas realiza-se a colheita no período seco.

A altitude tem sido um dos critérios utilizados para a realização do Zoneamento da Mamoneira, no qual se considera que o ótimo ecológico em que a planta pode expressar seu potencial produtivo está na faixa de 300 m a 1.500 m de altitude (Beltrão et al., 2009). Entretanto, os trabalhos desenvolvidos por Bahia et. al., (2008); Cerqueira (2008) e Sampaio Filho (2009) mostram o bom desempenho de cultivares em baixas altitudes. Anjos e Silva et. al., (2004), também citam que trabalhos realizados em Pelotas – RS revelam rendimentos superiores para a cultura quando comparado com outras regiões do Brasil. Além disso, a mamoneira em baixa altitude pode até aumentar o teor e qualidade do óleo das sementes (Souza Junior et al., 2010; Santos Almeida, 2010).

Nos últimos anos foram observados excelentes resultados de produtividade e rendimento do óleo da mamona em ambientes com altitude inferior a 300 mm, evidenciando que a altitude pode não ser a principal causa de problemas relacionados à baixa produtividade da cultura. Nesse sentido, decidiu-se elaborar a aptidão da cultura para a região Sul do Estado do Ceará, baseados nos últimos resultados de pesquisa e avanços dos estudos de melhoramento genético da mamona.

A altitude pode influenciar a planta da mamoneira por diversos fatores, mas principalmente pela temperatura, a qual tende a decrescer à medida que a altitude aumenta. A temperatura tem grande impacto sobre a fotossíntese e respiração da planta, pois tem influencia em diversas reações bioquímicas ligadas a estes dois processos fisiológicos (MELO et. al., 2008). Altas temperaturas noturnas fazem com que a planta tenha intenso metabolismo respiratório durante a noite, o que provoca consumo da reserva acumulada durante o dia através da fotossíntese.

Este zoneamento contempla três diferentes cenários pluviométricos (anos secos, regulares e chuvosos). No entanto, por se tratar de uma cultura de ciclo vegetativo longo é considerado apenas o mapa de aptidão climática para anos regulares. Os mapas de aptidão climática para anos secos e chuvosos são apresentados apenas para observar as condições que a cultura pode estar submetida de ano para ano, seja no plantio, no manejo e ou na colheita.

O índice efetivo de umidade (Im) foi utilizado como critério de seleção dos ambientes com aptidão climática para a cultura da mamona. Os critérios utilizados foram:

Tabela 6 - Critérios utilizados na avaliação de aptidão climática da cultura da mamona

Aptidão climática	Im (-)
Moderada por excesso hídrico (dificuldade de colheita)	$Im \geq 20$
Plena, com possibilidade de período chuvoso ser muito longo	$-10 < Im \leq 20$
Plena, sem limitação climática	$-20 < Im \leq -10$
Moderada por deficiência hídrica	$-40 < Im \leq -20$
Inaptidão climática por insuficiência hídrica	$Im \leq -40$

No Estado do Ceará não se observou restrição térmica para a cultura da mamona, condição semelhante ao período de luminosidade de 12 horas/dia, uma vez que todo o estado apresenta temperatura média do ar e luminosidade na faixa que a cultura precisa para o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Estima-se que 40% (5869 km²) do Sul do Estado apresenta condição plena, sem limitação climática para o cultivo da mamona; e 8% (1235 km²) em condição plena, mas que apresenta probabilidade de pequeno excesso hídrico; e 52% (7685 km²) moderada por deficiência hídrica (Tabela 7).

Na região do Crato e Juazeiro apresenta problema devido ao excesso de umidade nos chuvosos (Figura 19). Nos anos secos há restrições devido à escassez hídrica em praticamente toda a região (Figura 17). No cenário regular observa-se aptidão climática plena apenas na região central da região Sul do Estado. O restante da região apresenta restrição hídrica ao cultivo (Figura 18). O plantio da mamona a época de plantio, torna-se muito importante, haja vista escolher a época mais adequada para aproveitar ao máximo o período chuvoso (sem excesso), mas realiza a colheita no período seco.

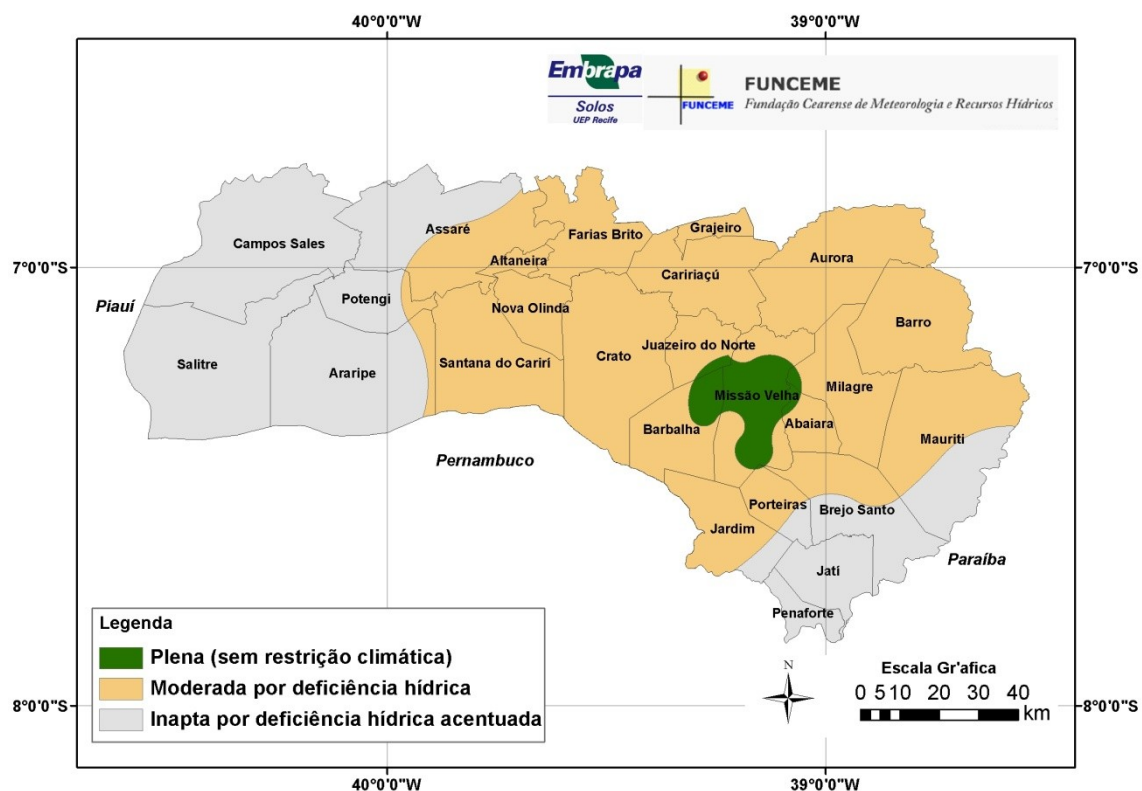


Figura 17. Zoneamento de aptidão climática da cultura da mamona para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário seco

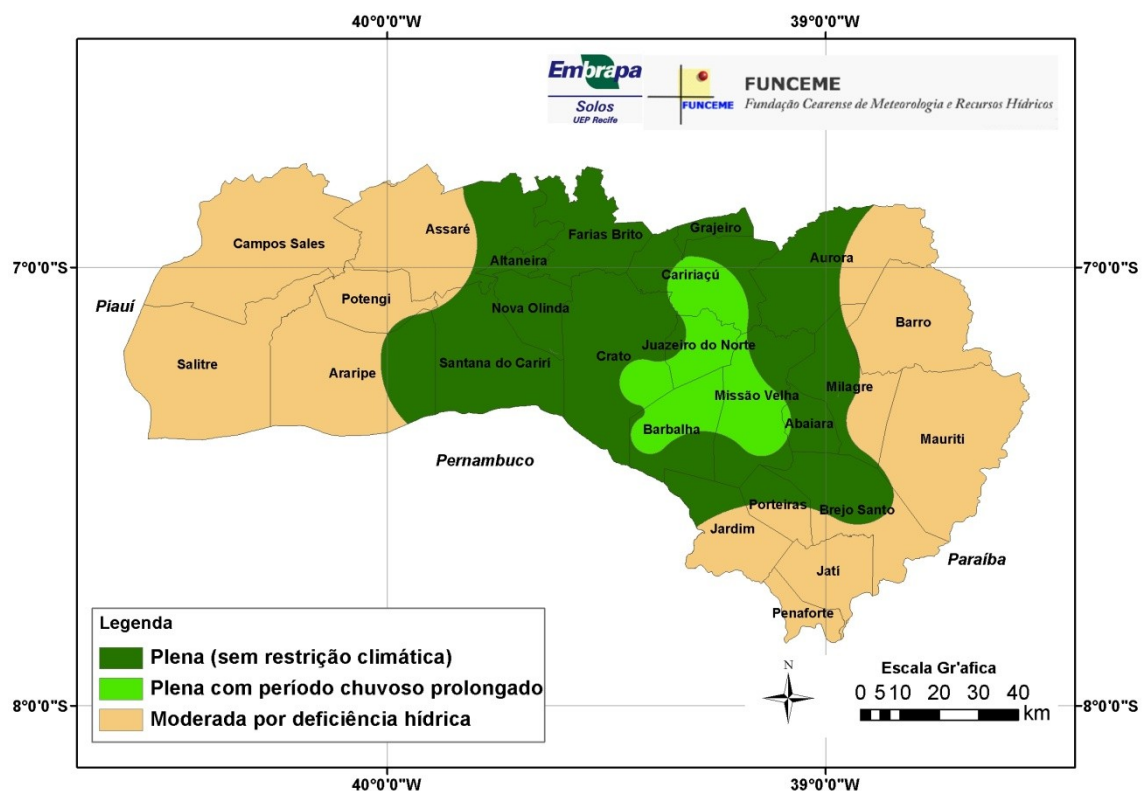


Figura 18. Zoneamento de aptidão climática da cultura da mamona para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário regular

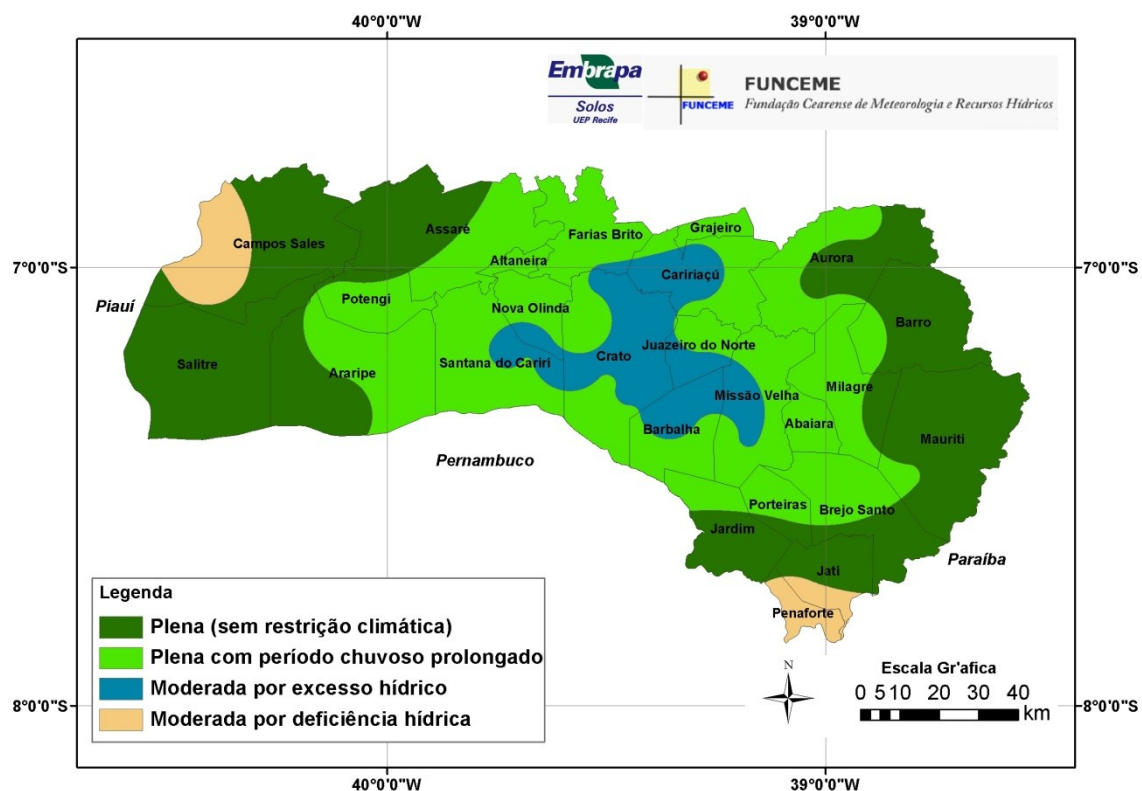


Figura 19. Zoneamento de aptidão climática da cultura da mamona para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário chuvoso

Tabela 7. Quantitativo de classes de aptidão climática para cultura da mamona na região Sul do Estado do Ceará no cenário climático regular

Aptidão climática	Área (km ²)	%
Plena (sem restrição climática)	5869	40
Plena com período chuvoso prolongado	1235	8
Moderada por excesso hídrico	0	0
Moderada por deficiência hídrica	7685	52
Inapta por acentuada deficiência hídrica	0	0
Total	14790	100

4.6 Cultura do Algodão Herbáceo (*Gossypium hirsutum*)



O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) é uma planta de origem tropical, também explorada economicamente em países subtropicais, acima da latitude de 30° N. Um dos fatores ambientais que mais interferem no crescimento e no desenvolvimento é a temperatura do ar, por afetar a fenologia, a expansão foliar, a alongação dos internós, a produção de biomassa e a partição de fotoassimilados em diferentes partes da planta.

Com o uso de novas tecnologias, como cultivares mais precoces, alternativas de controle de pragas, quase ausência de doença, devido ao clima seco e melhor manipulação cultural, é possível produzir-se algodão com rentabilidade e de qualidade excepcional, um dos melhores do mundo, além de gerar milhares de empregos e colaborar na distribuição da renda nacional. Além de se tratar de uma planta de elevada capacidade de resistência à seca, perfeitamente adaptada ao semiárido nordestino e uma das poucas opções fitotécnicas sustentáveis para as nossas condições de aridez (Beltrão, 2001).

A temperatura ótima para adequada produção entre 18° C e 30° C (Reddy et al., 1991). Noites frias e temperaturas diurnas baixas resultam em crescimento vegetativo com poucos ramos frutíferos. É uma planta de dias curtos, porém existem variedades neutras quanto à duração do dia. O algodão necessita também de elevada radiação solar e insolação.

De acordo com Rosolem (2007), apud Oliveira, 2010, o algodoeiro tem tolerância relativamente alta à escassez hídrica, quando comparado a outras culturas, como por exemplo, a soja, arroz, milho, girassol e trigo, dentre outras. Esta característica vem de seus ajustes fisiológicos, assim como de sua capacidade de crescimento e plasticidade radicular. Uma planta de algodão submetida à seca, desde que não haja impedimento físico ou químico no solo, aprofundará seu sistema radicular, explorando melhor as camadas mais profundas e as reservas de água do solo.

O algodoeiro necessita de precipitação pluviométrica anual entre 500 mm e 1500 mm, bem distribuída (Instituto de Desenvolvimento de Pernambuco, 1987). De acordo com Amorim Neto e Beltrão, 1992 muitas cultivares de ciclo curto (100 - 120 dias) e

médio (130 - 150 dias), podem consumir entre 450 mm e 700 mm de água e apresentam potencial de rendimento superior a 3.000 kg/ha de algodão em caroço.

O algodão é cultivado em condições de sequeiro na região Nordeste, em que a estação de cultivo deve coincidir com a estação chuvosa, mas que nem sempre é suficientemente longa para suprir as necessidades hídricas da cultura em todo seu crescimento e desenvolvimento (Azevedo e Maciel, 1993; Steenkamp e Kock, 1996).

O final do seu ciclo vegetativo deve coincidir com um período seco para possibilitar a perfeita secagem do fruto e sua deiscência. Chuvas intensas podem causar o acamamento das plantas o que, durante a floração, provoca queda dos botões florais e das maçãs jovens, enquanto chuvas contínuas durante a floração e a abertura das maçãs comprometem a polinização e reduz a qualidade da fibra. Deve-se evitar, ainda, o excesso hídrico nos períodos de abertura dos capulhos e na colheita (Laca-Buendia et al., 1997). Souza e Beltrão (1997) afirmam que o excesso de água no solo influencia a deficiência total ou parcial do oxigênio e dependendo do estágio e duração do encharcamento afeta o rendimento da cultura.

Embora o algodão seja considerado uma cultura tolerante à seca, a quantidade de fibra produzida é proporcional ao volume de água fornecido durante o seu cultivo (BUCKS, 1988; MENESES, 2007). Além disto, deficiência de água no período de alongamento da fibra, compromete o comprimento, proporcionando sua redução e, dependendo do grau de estresse, ocasiona imaturidade da fibra e baixo micronaire (BELTRÃO et al., 2008).

A região semiárida do Nordeste do Brasil apresenta condições climáticas favoráveis à cotonicultura, haja vista que o algodão necessita de temperaturas ambientais na faixa de 18°C a 30°C, elevadas radiação solar e insolação. Acrescente-se a isto, a existência de cultivares de ciclo (da emergência a primeira colheita) curto (100 – 120 dias) e médio (130 - 150 dias), que consomem entre 450 e 700 mm de água e apresentam potencial de rendimento superior a 3.000 kg/ha de algodão em caroço (Amorim Neto & Beltrão, 1992).

O algodão é cultivado predominantemente em condições de sequeiro, em que a estação de cultivo, a qual deve coincidir com a estação chuvosa, nem sempre é adequada e suficientemente longa para suprir as necessidades hídricas da cultura em todos os seus sub-períodos de desenvolvimento (Azevedo & Maciel, 1993; Steenkamp & Kock, 1996). Para minimizar tais efeitos adversos, deve-se ajustar a época de semeadura dentro da estação chuvosa, de tal forma que haja umidade no solo suficiente para a germinação, evitando-se excesso de umidade nos sub-períodos de abertura dos capulhos e da colheita do algodão em caroço, o que poderá aumentar substancialmente a produtividade do algodoeiro (Fallieri & Silva, 1968; Laca-Buendia et al., 1997).

Os critérios discriminantes utilizados, neste trabalho, para identificar as potencialidades climáticas de Pernambuco, relacionadas ao cultivo do algodoeiro herbáceo, levaram em conta a relação entre a precipitação (P) e a evapotranspiração de

referência (EP) em cada mês i ($i = 1, 2, 3$) do ciclo vegetativo, parâmetro mais conveniente que o emprego tradicional do índice de vegetação mensal (mais genérico). As seguintes classes de aptidão climática foram detectadas:

- a) Aptidão Moderada, com $P_i/EP_i \geq 2,5$ indicando umidade excessiva ou o período chuvoso demasiadamente longo prejudicial à maturação e colheita;
- b) Aptidão Plena, com $2,5 > P_i/EP_i \geq 1,5$, com pequeno excesso de umidade, podendo prejudicar a maturação e a colheita;
- c) Aptidão Plena, com $1,5 > P_i/EP_i \geq 1,0$, sem limitações hídricas para a cultura;
- d) Aptidão Moderada, com $1,0 > P_i/EP_i \geq 0,7$ caracterizando deficiência hídrica no período vegetativo;
- e) Inaptidão Climática, $P_i/EP_i < 0,7$ por deficiência pluviométrica pronunciada.

A condição complementar adotada para a aptidão plena foi que, o quarto mês após o do plantio fosse seco, exatamente para possibilitar que se completasse a maturação das sementes e a subsequente deiscência do fruto.

Nas regiões do Crato e do Juazeiro apresentam as melhores condições ao plantio do algodoeiro herbáceo em todos os cenários climáticos. No chuvoso verifica-se que pode ocorrer problema devido ao excesso de umidade (Figura 22). Nos anos secos há restrições devido à escassez hídrica nas regiões de Jati e Campos Sales (Figura 20). No cenário regular observa-se aptidão climática plena em praticamente toda a região Sul do Estado (Figura 21). Verifica-se também que nos cenários climáticos regulares e chuvosos não apresentam inaptidão climática ao cultivo do algodoeiro.

Cerca de 85% (12525 km²) do Sul do Estado apresenta condição plena, sem limitação climática para o cultivo do algodoeiro, no cenário regular; 37% (5461 km²) no cenário seco e; 69% (10217 km²). No cenário chuvoso cerca de 30% de áreas podem apresentar probabilidade de ocorrer excesso hídrico (Tabela 8).

Aptidão climática	Seco		Regular		Chuvoso	
	Área	%	Área	%	Área	%
	(km ²)					
Plena (sem restrição climática)	5461	37	12525	85	10217	69
Plena com período chuvoso prolongado	0	0	1730	12	3371	23
Moderada por excesso hídrico	0	0	0	0	1201	8
Moderada por deficiência hídrica	6927	47	535	4	0	0
Inapta por acentuada deficiência hídrica	2401	16	0	0	0	0

Total	14790	100	14790	100	14790	100
-------	-------	-----	-------	-----	-------	-----

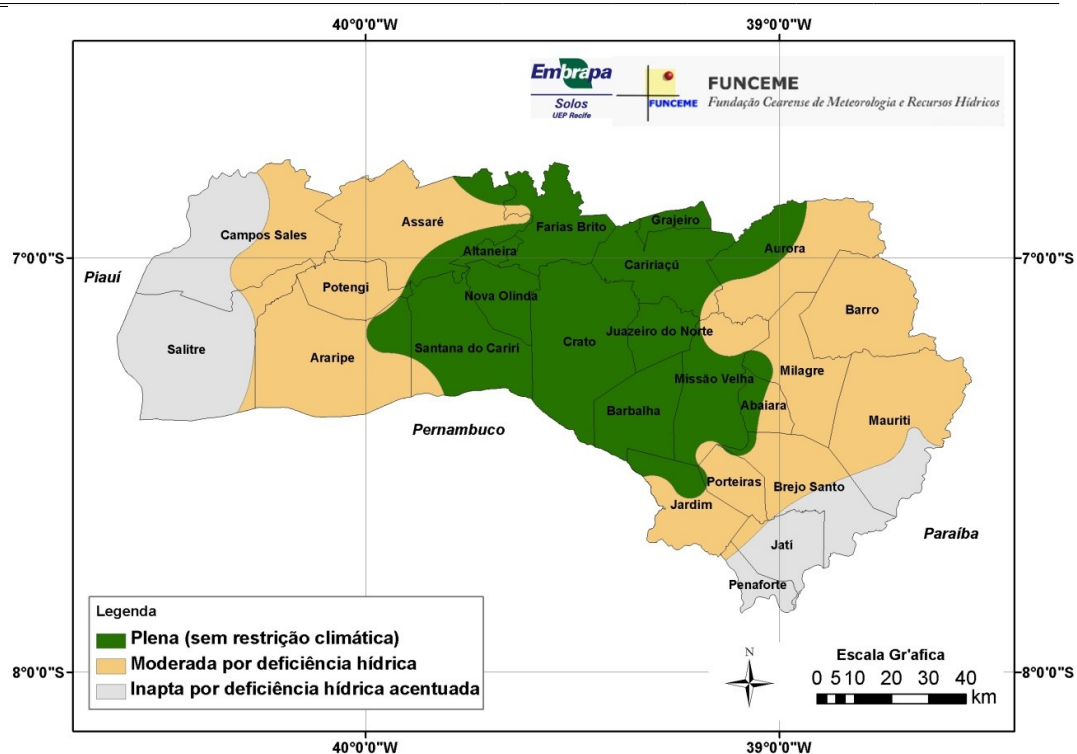


Figura 20. Zoneamento de aptidão climática da cultura do algodão para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário seco

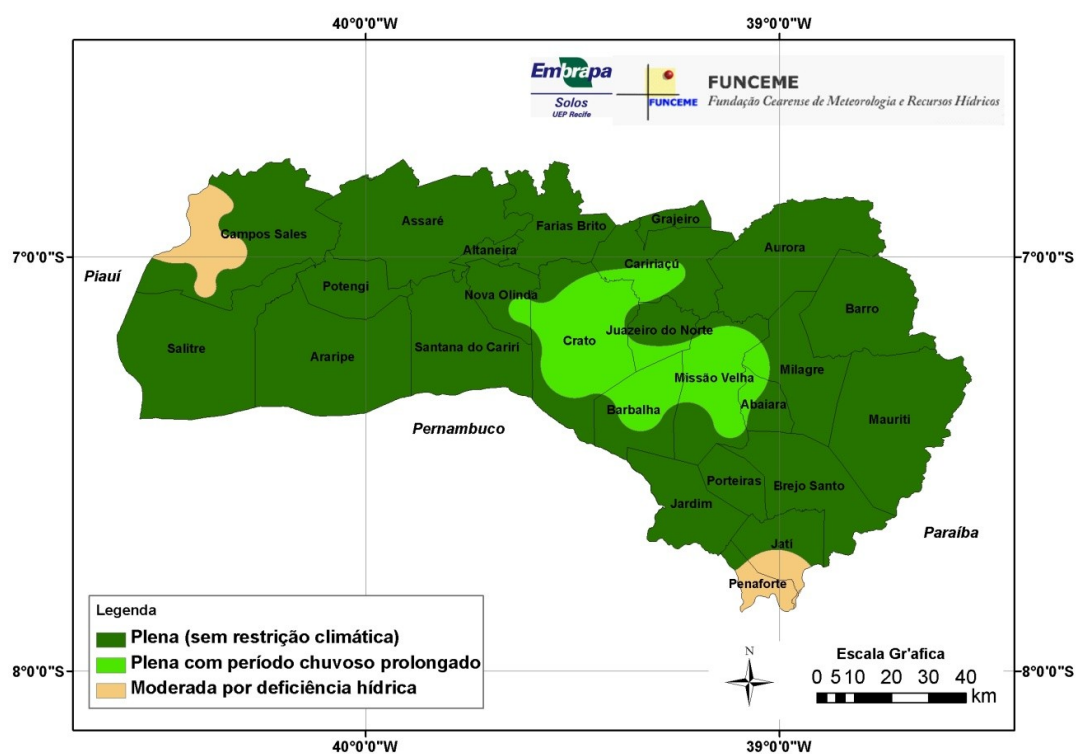


Figura 21. Zoneamento de aptidão climática da cultura do algodão para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário regular

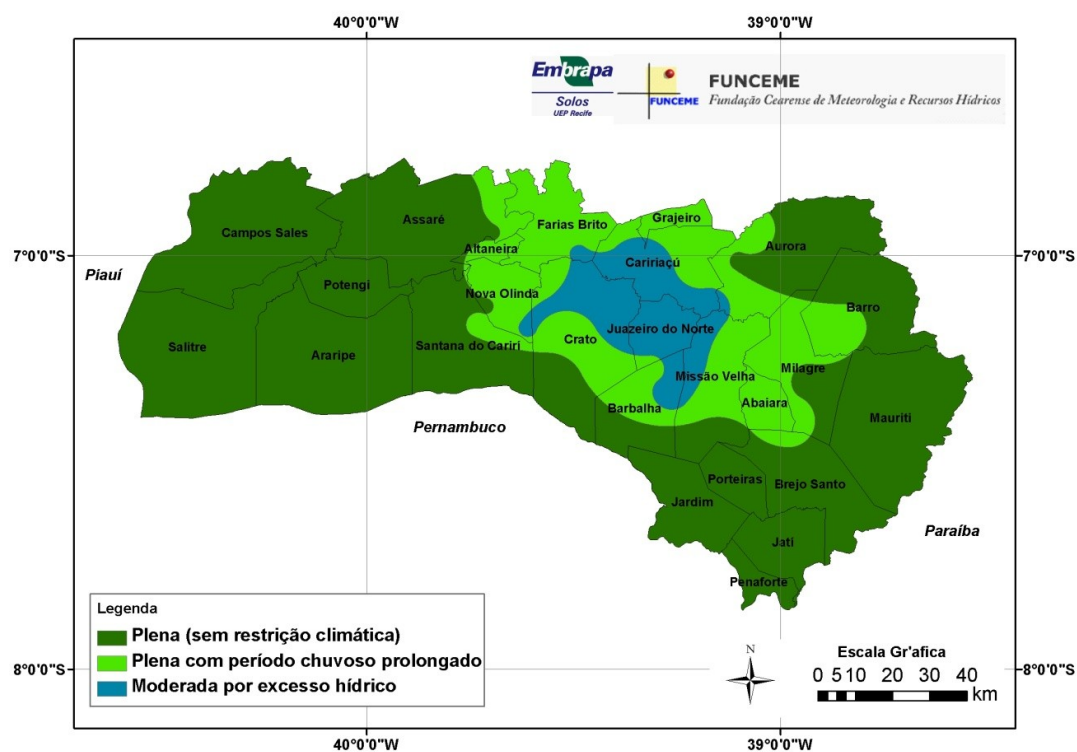


Figura 22. Zoneamento de aptidão climática da cultura do algodão para a região Sul do Estado do Ceará levando em consideração o cenário chuvoso

Tabela 8. Quantitativo das classes de aptidão climática para a cultura do algodão herbáceo na região Sul do Estado do Ceará, nos três cenários climáticos: secos, regulares e chuvosos.

Aptidão climática	Seco		Regular		Chuvoso	
	Área	%	Área (km ²)	%	Área	%
Plena (sem restrição climática)	5461	37	12525	85	10217	69
Plena com período chuvoso prolongado	0	0	1730	12	3371	23
Moderada por excesso hídrico	0	0	0	0	1201	8
Moderada por deficiência hídrica	6927	47	535	4	0	0
Inapta por acentuada deficiência hídrica	2401	16	0	0	0	0
Total	14790	100	14790	100	14790	100

5. REFERÊNCIAS

Brasil. Ministério da Agricultura. Zoneamento agrícola de risco climático. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>. Data de acesso: 10 de abril de 2012.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. ArcGis Desktop Help. Understanding Overlay Analysis e How Weighted Sum works. ArcGis ver. 9.3, 2011.104p.

Ellis, J.; Valença, A. S. Desvio padrão da temperatura média mensal no Brasil. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 1982. 75 p. (INM. Boletim Técnica, 22).

Hargreaves, G.H. Monthly precipitation probabilities for Northeast Brazil. Logan: Utah State University, 1973. 423p.

Massey Jr, F. J. The Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit. Journal of American Statistical Association, v.46, p.68-78, 1980.

Mielke, P. W. Simple iterative procedures for two-parameter gamma distribution maximum likelihood estimates. Journal of App. Meteorology, v.15, n.12, p.181-183, 1976.

Mosiño, P.A. The variability of rainfall in Mexico and its determination by means of gamma distribution. Geografiska Annaler, v.63, n.1/2, p.1-10, 1981.

SUDENE. Dados pluviométricos mensais do Nordeste: Estado de Alagoas. Recife, 1990. 116p. (SUDENE. Série Pluviométrica, 7).

Thon, H. S. C. A note on the gamma distribution. Monthly Weather Review v.86, n.4, p.117-121, 1951.

Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1957. 311p. Publications in Climatology, v.10, n.3.

Varejão-Silva M. A. Meteorologia e climatologia. Brasília: INMET, 2001. 515p.

Varejão-Silva, M.A.; Barros, A.H.C. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. Recife: governo do Estado de Pernambuco. Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária, Recife, PE, 2002, 51p.

Pernambuco. Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Agrário Palma e sorgo forrageiro. Disponível em <http://www.agricultura.al.gov.br/programas/palma-e-sorgo-forrageiro>. Data de acesso: 10 de março de 2012.

Silveira, C. da S.; Costa, A. A.; Coutinho, M. M.; Souza Filho, F. A.; Vasconcelos Júnior, F.C.; Noronha, A.W. Verificação das previsões de tempo para precipitação

usando ensemble regional para o estado do Ceará em 2009. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.4, p. 609-618, 2011.

Silva, B. B.; Ferreira, M. A. F.; Silva, V. P. R.; Ferreira, R. C. Desempenho de modelo climático aplicado à precipitação pluvial do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v.14, n.4, p. 387-395, 2010.