



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Análise de Detecção de Variabilidades Climáticas com Base na Precipitação nas Bacias Hidrográficas do Sertão de Pernambuco

Janaina Maria Oliveira de Assis¹, Maria do Carmo Martins Sobral², Werônica Meira de Souza³

¹ Geógrafa, mestranda do Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/UFPE, Recife, Pernambuco - Brasil. Email: jmoassis@gmail.com. ² Professora do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. Professora do Departamento de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil. Email: msobral@ufpe.br. ³ Professora da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UAG/UFRPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil. Email: veronicameira@gmail.com

Artigo recebido em 15/10/2012 e aceito em 19/10/2012

RESUMO

Os padrões climáticos estão mudando em todo planeta e prevê-se, como impacto das mudanças climáticas, a alteração na frequência da precipitação e secas mais intensas e prolongadas, particularmente em áreas áridas e semiáridas. Desta forma, estudar a vulnerabilidade e os impactos da potencial modificação climática sobre os recursos hídricos no Nordeste do Brasil é um assunto estratégico para o país, a fim de planejar medidas mitigadoras em associação com as ações existentes de gerenciamento dos recursos hídricos. Nesse contexto, o presente artigo aborda a questão das tendências de mudanças climáticas no semiárido nordestino, sertão de Pernambuco, com recorte espacial das bacias dos rios Brígida e Pajeú. Foram analisadas séries históricas de precipitação pluviométrica de 19 postos, espacialmente distribuídos na área das bacias, no período de 1964 a 2004. O software utilizado para o processamento e controle de qualidade dos dados foi o RCLimdex (2.11.1). Os resultados mostraram mudança no padrão de precipitação sobre as bacias em estudo, que evidenciaram a diminuição da precipitação total anual e aumento dos dias secos consecutivos, colaborando, dessa forma, para a escassez hídrica e impactos na agricultura local.

Palavras-chave: Precipitação pluviométrica, RCLimdex, bacia hidrográfica, agricultura.

Analysis of Climate Variability Detection Based on Watershed Precipitation in the Sertão of Pernambuco

ABSTRACT

The weather patterns are changing all over the planet and it is expected, as the impact of climate change, the change in frequency of precipitation and more intense and prolonged drought, particularly in arid and semiarid regions. Thus, to study the vulnerability and the potential impacts of climate change on water resources in northeastern Brazil is a strategic issue for the country, to plan potential mitigation measures in combination with the existing shares management of water resources. In this context, this paper addresses the issue of climate change trends in the semiarid northeast, interior of Pernambuco, with spatial area of river basins and Bridget Pajeu. We analyzed time series of rainfall of 19 stations spatially distributed in the basin in the period 1964 to 2004. The software used for processing and quality control data was RCLimdex (2.11.1). The results showed changes in the pattern of precipitation over the basins under study, which demonstrated a decrease in annual rainfall and an increase of consecutive dry days, contributing thus to the water scarcity and impacts on local agriculture.

Keywords: Rainfall, RCLimdex, hydrographic basin, agriculture.

1. Introdução

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on

Climate Change - IPCC) concluiu no seu Terceiro Relatório de Avaliação (IPCC, 2001), que a temperatura média da atmosfera tem aumentado em 0.6°C + 0.2°C durante o século XX. Os modelos globais do IPCC têm

* E-mail para correspondência: jmoassis@gmail.com (Assis, J. M. O.).

mostrado que entre 1900 e 2100 a temperatura global pode aquecer entre 1.4 e 5.8°C, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX e que, aparentemente, não possui precedentes durante, pelo menos, os últimos 10.000 anos (Marengo, 2006).

As incertezas em relação às mudanças climáticas ainda representam obstáculos para o planejamento das cidades, apesar deste fato, ações devem ser tomadas para evitar ou minimizar os impactos decorrentes das possíveis mudanças no clima e das variabilidades climáticas, pois exercem uma influência significativa sobre as atividades humanas, pois podem oscilar quanto à temperatura, precipitação e frequência de eventos extremos como: secas e chuvas intensas, resultando em impactos na agricultura, nos recursos hídricos, na saúde, sobre o meio ambiente, em escala local ou regional (Souza e Azevedo, 2012).

Os efeitos das mudanças climáticas são sentidos em todas as esferas do planeta e seus impactos já são visíveis sobre os ecossistemas naturais, agricultura e recursos hídricos, em escala global. Segundo o último relatório do IPCC (2007), as regiões semiáridas e áridas são as mais vulneráveis aos impactos das mudanças do clima, uma vez que, a área já carente em recursos hídricos, tende para uma diminuição do regime de chuvas, ocasionando um aumento no número de dias consecutivos secos e possibilidade de ocorrência de secas mais

intensas e prolongadas.

Segundo Nobre et al (2010), o aquecimento global é o aumento da temperatura do globo terrestre, que é causado principalmente pela intensificação do efeito estufa. A origem do aquecimento global de procedência antropogênica está relacionada com o aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, dos quais o dióxido de carbono – CO₂ é o mais abundante, gerado, principalmente, por atividades humanas.

Fatores como o desmatamento e o mau uso dos ecossistemas, potencializam os efeitos no sistema climático global. Em áreas vulneráveis com ecossistemas frágeis, tais como o semiárido do Nordeste do Brasil, os impactos devem ser mais intensos, devido à soma das ações antrópicas tais como desmatamento do bioma e mau uso do solo nos ecossistemas locais (Santos & Brito, 2007). De acordo com Paiva & Cavalcanti (2011) a caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro e ocupa cerca de 11% do território brasileiro. Dessa forma, o cenário semiárido do Nordeste do Brasil é uma descrição da Caatinga, que apresenta índices pluviométricos abaixo de 1.000 mm anuais e possui temperaturas médias geralmente superiores a 25 °C durante o ano.

Sendo o Nordeste brasileiro, um dos lugares mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, como apontou o IPCC (2007), o estudo do clima é essencial para o planejamento e gestão do uso da água, assim

como dos demais recursos naturais renováveis (Silva & Ferreira, 2011), fazendo-se necessário compreender os problemas decorrentes das mudanças do clima e seus possíveis impactos e, então empreender ações de adaptação e mitigação.

A agricultura é uma atividade que depende essencialmente de fatores climáticos, principalmente da temperatura e da precipitação. A mudança climática pode afetar a produção agrícola de várias formas, a principal delas se refere a mudanças na frequência e a severidade de eventos extremos. Entretanto, no Brasil não existem muitos estudos sobre o reflexo das mudanças climáticas e seus impactos na agricultura. Alguns estudos simulando os impactos sobre a agricultura por meio de modelos matemáticos foram apresentados por Siqueira et al. (2000) para o trigo, milho e soja, por Pinto et al. (2002) para o café e por Nobre et al. (2005) e Assad et al. (2001) para o milho, feijão, arroz, soja e café. Estes autores apresentam ainda as perdas econômicas anuais provocadas pelas alterações do clima.

Investigações sobre tendências climáticas no Nordeste brasileiro tem sido o objetivo de inúmeros estudos (Hastenrath, 1993). Várias pesquisas tem sido de cunho regional e outras local. Entretanto, nas últimas décadas, devido às controvérsias sobre aquecimento global, estudos de caráter regional sobre tendências climáticas tem se intensificado. Santos & Brito (2007) mostraram tendência de aumento no total da

precipitação anual nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Por outro lado, Haylock et al. (2006), identificaram tendência de diminuição das chuvas anuais em duas localidades, no Ceará, ratificando, ainda que com uma amostragem menor, o fato de que as tendências de diminuição estão prevalecendo.

Procurando dar uma padronização às pesquisas, a OMM (Organização Mundial de Meteorologia) criou um grupo de trabalho que construiu índices de monitoramento e detecção de mudanças climáticas. Esse grupo elaborou um software denominado RClimdex, que proporciona uma interface amigável para o cálculo de índices de extremos climáticos. O RClimdex é uma ferramenta imprescindível na elaboração de índices climáticos, apesar de poucos trabalhos científicos estarem utilizando este programa para monitoramento do clima no Brasil. Alguns pesquisadores como Souza (2011), Souza & Azevedo (2012), Santos & Brito (2009), Silva & Azevedo (2008) tem utilizado a ferramenta para monitorar as tendências climáticas em alguns Estados da região Nordeste do Brasil.

No Nordeste brasileiro e particularmente em Pernambuco, a precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes, sua variabilidade espacial e temporal é determinante para caracterizar o clima local. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi analisar as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas e conseqüentemente os seus impactos nas bacias hidrográficas dos

rios Brígida e Pajeú, localizadas no semiárido de Pernambuco.

2. Material e Métodos

2.1 Localização da área de estudo - Este artigo tem como objeto de estudo as bacias hidrográficas dos rios Pajeú e Brígida, localizadas no Sertão do estado de Pernambuco, na porção semiárida do Nordeste brasileiro (Figura 1). A Bacia do Pajeú localiza-se entre as coordenadas 07°16'20" e 08°56'01" de latitude sul, e 36°59'00" e 38°57'45" de longitude oeste, especificamente nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e do São Francisco. Envolvendo as microrregiões do Pajeú, em

sua totalidade, e parte do sertão do Moxotó, Salgueiro e Itaparica. Possui uma área de 16.685,63 km², o que equivale a 16,9% da área total do estado de Pernambuco. A bacia do Pajeú limita-se ao norte com os estados do Ceará e Paraíba, ao sul com o grupo de bacias de pequenos rios interiores GI3 (UP22) e a bacia do rio Moxotó (UP8), a leste com a bacia do rio Moxotó e o estado da Paraíba e a oeste com a bacia do rio Terra Nova (UP10) e o grupo de bacias de pequenos rios interiores GI4 (UP24). A bacia do rio Pajeú abrange um total de 27 municípios, sendo 16 deles com área total incluída dentro da bacia e 11 parcialmente incluídos (PERNAMBUCO, 2006).

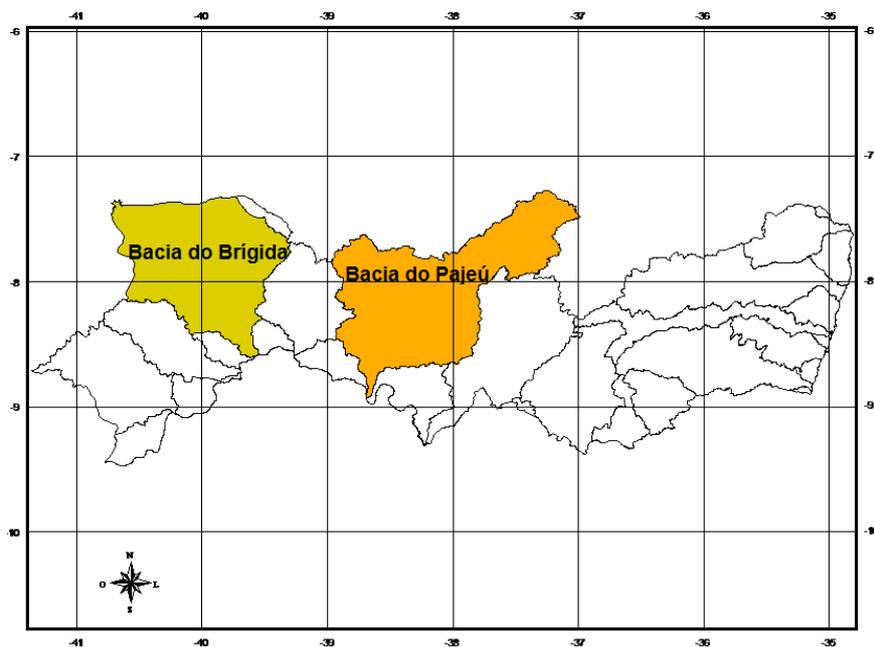


Figura 1. Mapa de localização das bacias do Pajeú e Brígida

A bacia do rio Brígida fica entre as coordenadas 07°19'02" e 08°36'32" de latitude sul e 39°17'33" e 40°43'06" de longitude oeste. Está localizada na mesorregião do sertão de Pernambuco, no alto

Sertão. Possui uma área de 13.495, 73 km², o equivalente a 13,7% do território pernambucano. Tem sua nascente na chapada do Araripe e sua foz no rio São Francisco. A bacia do Brígida se limita ao norte com os

estados de Ceará e Piauí e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores GI9 (UP28), ao sul com a bacia do riacho das Garças (UP12) e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores GI6 (UP25), a leste com a bacia do rio Terra Nova (UP10) e o grupo de bacias de pequenos rios interiores GI5 (UP24) e, a oeste, com o estado do Piauí. Possui um total de 15 municípios, dentre os quais 6 tem sua área total inserida dentro do perímetro da bacia e 9 estão parcialmente inseridos (PERNAMBUCO, 2006).

As duas bacias possuem uma área de aproximadamente 31.204 km² e se caracterizam por serem as duas maiores bacias hidrográficas do estado de Pernambuco, em extensão territorial.

Do ponto de vista climático, a área dessas duas bacias é caracterizada pela grande irregularidade das precipitações pluviométricas e apresenta como principal período chuvoso os meses de janeiro a abril. As chuvas que ocorrem no Sertão tem sua origem nas Frentes Frias, nos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O início das chuvas no Sertão de Pernambuco ocorre em dezembro (extremo oeste) e está associado às Frentes Frias e aos VCAS. A partir de fevereiro, a ZCIT começa a atuar em todo o Sertão, que já se encontra em seu principal período chuvoso. Os totais pluviométricos anuais oscilam, geralmente, entre 400 e 800 mm. (PERNAMBUCO, 2006).

A estação seca pode se prolongar por 7 a 10 meses. Em ambas as bacias a semiaridez é bem acentuada na parte mais baixa, próximo ao rio São Francisco, onde denominam totais anuais entre 400 e 500 mm. Para o norte, as precipitações aumentam atingindo médias entre 700 e 800 mm. A mesorregião do sertão pernambucano, onde estão inseridas as bacias em estudo, está inserida em uma região com clima do tipo BSw'h' e BSw'h', quente e seco, segundo a classificação climática de Köppen. O clima é tropical tendendo a seco, isso se dá em função da irregularidade da ação das massas de ar (Tropical e Equatorial). O tipo climático BSw'h' se caracteriza como clima semiárido, quente, tipo estepe, com estação chuvosa retardada para outono. O mês mais frio apresenta temperatura superior a 18°C. As mesmas características se observam para o tipo climático BSw'h', no entanto, este tem a estação chuvosa no verão, apresentando um inverno seco e um verão que concentra toda a precipitação anual.

2.2 Dados pluviométricos - Foram utilizados, nesse estudo, dados diários de precipitação pluviométrica de janeiro de 1964 a dezembro de 2004. Estes dados foram obtidos do banco de dados (PluvWin) do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

Preliminarmente, foram analisados para a área de estudo, os dados diários de precipitação de 41 postos pluviométricos de 27 municípios da bacia do Pajeú e 32 postos

pluviométricos de 15 municípios da bacia do Brígida, porém muitos não passaram pelo controle de qualidade, pois, apresentavam falhas ou dados duvidosos.

Após a avaliação detalhada da qualidade e homogeneidade dos dados, foram selecionados 19 postos de diferentes municípios, os quais apresentaram dados com uma boa qualidade e representaram as bacias em estudo, além de apresentar uma boa distribuição espacial. Nesta pesquisa foram utilizadas séries históricas com o período de 40 anos, que compreende de janeiro de 1964 a

dezembro de 2004. A precipitação diária de cada bacia foi estimada como sendo a média aritmética dos totais diários de precipitação dos postos pluviométricos de cada bacia, sendo 11 postos na bacia do Pajeú e 8 na bacia do Brígida.

Na Tabela 1 estão indicados os postos pluviométricos que são utilizados no trabalho juntamente com suas respectivas coordenadas geográficas. Estas estações pluviométricas estão espacialmente distribuídas na área de estudo, conforme mostra a Figura 2.

Tabela 1. Postos pluviométricos utilizados

| BACIA DO PAJEÚ | | | |
|---------------------------------|----------|-----------|----------|
| Postos pluviométricos | Latitude | Longitude | Altitude |
| Afogados da Ingazeira | -7,75 | -37,64 | 525 |
| Betânia | -8,27 | -38,03 | 431 |
| Carnaíba | -7,80 | -37,79 | 485 |
| Floresta | -8,38 | -38,33 | 395 |
| Iguarací (Jabitacá) | -7,83 | -37,37 | 585 |
| Itapetim | -7,37 | -37,20 | 630 |
| Mirandiba | -8,11 | -38,72 | 450 |
| São José do Egito (Faz. Muquém) | -7,44 | -37,28 | 575 |
| Serra Talhada (Varzinha) | -8,03 | -38,12 | 480 |
| Triunfo | -7,83 | -38,10 | 1.003 |
| Tuparetama | -7,71 | -37,35 | 689 |
| BACIA DO BRÍGIDA | | | |
| Postos pluviométricos | Latitude | Longitude | Altitude |
| Araripina | -7,45 | -40,41 | 622 |
| Exu | -7,51 | -39,72 | 512 |
| Granito | -7,71 | -39,61 | 447 |
| Ipubi | -7,65 | -40,14 | 535 |
| Moreilândia | -7,60 | -39,55 | 531 |
| Ouricuri | -7,88 | -40,08 | 451 |
| Parnamirim | -8,08 | -39,57 | 394 |
| Trindade | -7,75 | -40,27 | 518 |

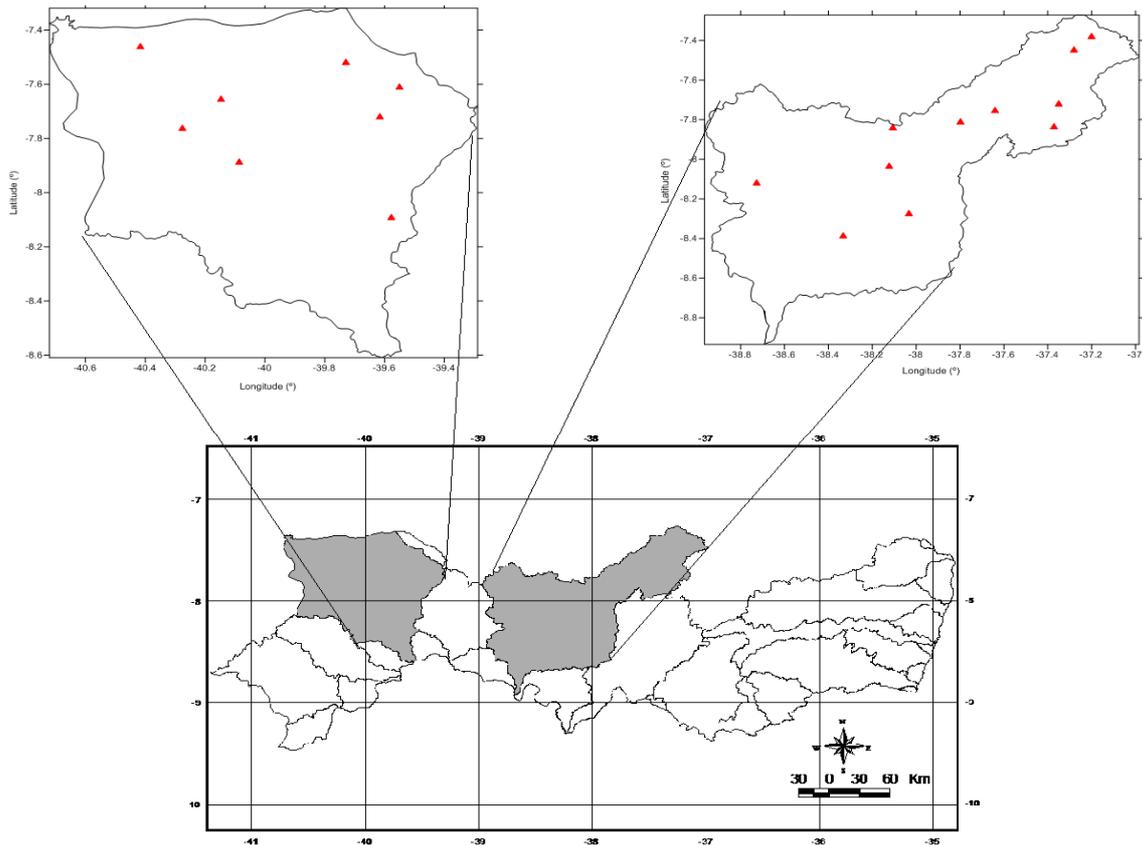


Figura 2. Distribuição espacial dos postos pluviométricos na área de estudo

2.3 Software RClindex 2.11.1 - O Software utilizado para o processamento e controle de qualidade dos dados foi o RClindex, que é recomendado pela OMM. É baseado no Microsoft Excel, que proporciona um pacote computacional que é usado no cálculo de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas. Foi desenvolvido por Byron Gleason, pesquisador do National Climate Data Centre (NCDC) da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e tem sido empregado recentemente em workshops e oficinas de índices climáticos da CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) desde 2001.

O RClindex 2.11.1 calcula todos os 27 índices básicos recomendados pelo Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) e fornece, para cada índice calculado, informações estatísticas, tais como tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados, nível de significância estatística da tendência (valor p), coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão de estimativa, além dos gráficos das séries anuais. O valor p representa o nível de significância estatística, caso o valor de p de um índice qualquer seja igual ou inferior a 0,1 a tendência do índice é estatisticamente significativa em 90%, se for igual ou inferior a 0,05 em 95% e para p menor que 0,01 tem-se uma tendência com

significância estatística de 99%.

Nesse trabalho, O RCLimdex 2.11.1 foi utilizado para o cálculo de dois índices

climáticos provenientes da precipitação pluviométrica, os quais estão identificados na Tabela 2.

Tabela 2. Índices climáticos dependente da precipitação pluviométrica diária com definições e unidades

| ÍNDICE | NOME DO INDICADOR | DEFINIÇÃO | UNIDADE |
|---------|--------------------------|---|---------|
| PRCPTOT | Precipitação total anual | Precipitação total anual nos dias úmidos ($RR^* \geq 1\text{mm}$) | mm |
| CDD | Dias consecutivos secos | Número máximo de dias consecutivos com $RR^* < 1\text{mm}$ | dias |

*RR indica precipitação diária

Os índices climáticos acima descritos fornecem gráficos das séries anuais, compostos pelas tendências e calculadas pelo método de regressão linear dos mínimos quadrados, com boa significância estatística, mostrando estatisticamente os ajustes destas tendências lineares aos gráficos.

O controle de qualidade dos dados é um pré-requisito para o cálculo dos índices por meio do software RCLimdex 2.11.1. O controle de qualidade atende aos seguintes procedimentos:

- Substitui todos os valores faltosos (estes já devem estar codificados como -99.9) para formatos internos reconhecidos pelo R (isto é, declara-os como não disponíveis);
- Substitui todos os valores da matriz de dados que sejam considerados não aceitáveis também por -99.9.

Todos os arquivos de dados são lidos e escritos em formato de lista de colunas.

Abaixo estão descritos os requisitos para os dados de entrada do RCLimdex 2.11.1:

- arquivo de texto ASCII (American standard code for information interchange);
- colunas de sequências: ano, mês, dia, precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima. A unidade para a precipitação (PRCP) é em milímetro (mm) e para temperatura (TMAX, TMIN), considera-se grau Celsius (°C);
- o formato requer que as colunas sejam espaçadas, com cada elemento separado por um ou mais espaços;
- para os registros dos dados serem reconhecidos pelo RCLimdex 2.11.1, os dados faltosos devem, necessariamente, ser codificados como -99.9 e os registros dos dados devem estar em ordem cronológica, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Dados de entrada para o RCLimdex 2.11.1

| ANO | MÊS | DIA | PRCP | TMAX | TMIN |
|------|-----|-----|-------|-------|-------|
| 1965 | 1 | 13 | 2.1 | -99.9 | -99.9 |
| 1965 | 1 | 14 | 17.0 | -99.9 | -99.9 |
| 1965 | 1 | 15 | 6.5 | -99.9 | -99.9 |
| 1965 | 1 | 16 | 0.0 | -99.9 | -99.9 |
| 1965 | 1 | 17 | 18.4 | -99.9 | -99.9 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1994 | 8 | 13 | -99.9 | -99.9 | -99.9 |
| 1994 | 8 | 14 | 0.0 | -99.9 | -99.9 |
| 1994 | 8 | 15 | 7.1 | -99.9 | -99.9 |

Na tabela acima estão representados um período de dados do posto pluviométrico localizado no município de Triunfo (a exemplo), utilizado nesse estudo. Tem-se para a primeira linha, o significado de que no dia 13 de janeiro de 1965 ocorreu precipitação de 2,1 mm, como para esse estudo só foram utilizadas séries de precipitação, no lugar das temperaturas foi colocado -99.9, este procedimento permite que os dados sejam rodados e os resultados dos índices fornecidos. A compreensão para as outras linhas é análoga. Acrescenta-se, ao entendimento, que o 0 (zero) na quarta coluna e quinta linha indica que não choveu na data correspondente, enquanto -99.9 na mesma coluna e oitava linha, indica que não houve registro de dados e, portanto, o dado é faltoso. (RCLIMDEX 1.0 – MANUAL DEL USUARIO, 2004).

Os índices climáticos básicos, definidos pelo ETCCDMI, utilizados foram os seguintes:

- **PRCPTOT (Precipitação total anual dos dias úmidos*)**

Seja ij RR a quantidade diária de precipitação num dia i de um período j . Se I representa o número de dias em j , tem-se:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

*Considera-se dias úmidos, os dias com precipitação acima de 1 mm (RCLIMDEX 1.0 – MANUAL DEL USUARIO, 2004).

- **DSC (Dias secos consecutivos)**

Seja ij RR a quantidade diária de precipitação em um dia i de um período j , soma-se o maior número de dias consecutivos, em que:

$$RR_{ij} < 1mm$$

3. Resultados

A Tabela 4 mostra a tendência do índice PRCPTOT para as bacias do Brígida e do Pajeú, juntamente com o valor p , calculado pelo software RCLimdex 2.11.1. Houve uma tendência média de diminuição do índice PRCPTOT, onde a bacia do Pajeú mostrou um índice negativo de $-8,42 \text{ mm.ano}^{-1}$ e a bacia do Brígida mostrou índice de diminuição da precipitação de $-11,06 \text{ mm.ano}^{-1}$. Desse modo, verificou-se que na bacia do

Pajeú, no período estudado (1964 a 2004) houve uma diminuição em torno de 337 mm e na bacia do Brígida, houve uma diminuição

da tendência média da precipitação de 442 mm nos 40 anos estudados.

Tabela 4. Tendências do índice de Precipitação Total Anual (PRCPTOT) e seus respectivos valores de tendência e estatística p

| Bacia | PRCPTOT | |
|---------|--------------------|----------|
| | Tendência (mm/ano) | Valor p. |
| Pajeú | -8,42 | 0,009 |
| Brígida | -11,06 | 0,000 |

Este resultado de diminuição da precipitação concorda com Moncunill (2006), que identificou uma tendência negativa na precipitação para o Estado do Ceará, em sua pesquisa que utilizou 32 estações pluviométricas para o período de 1974 a 2003, em que encontrou tendência negativa em 27 das 32 localidades analisadas.

Diferentemente, Santos (2007) encontrou resultados opostos na análise do mesmo índice (PRCPTOT) para os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, que encontrou o aumento da tendência da precipitação total anual. As Figuras 3AB mostram a tendência linear da Precipitação Total Anual (PRCPTOT), nas bacias do Pajeú e Brígida.

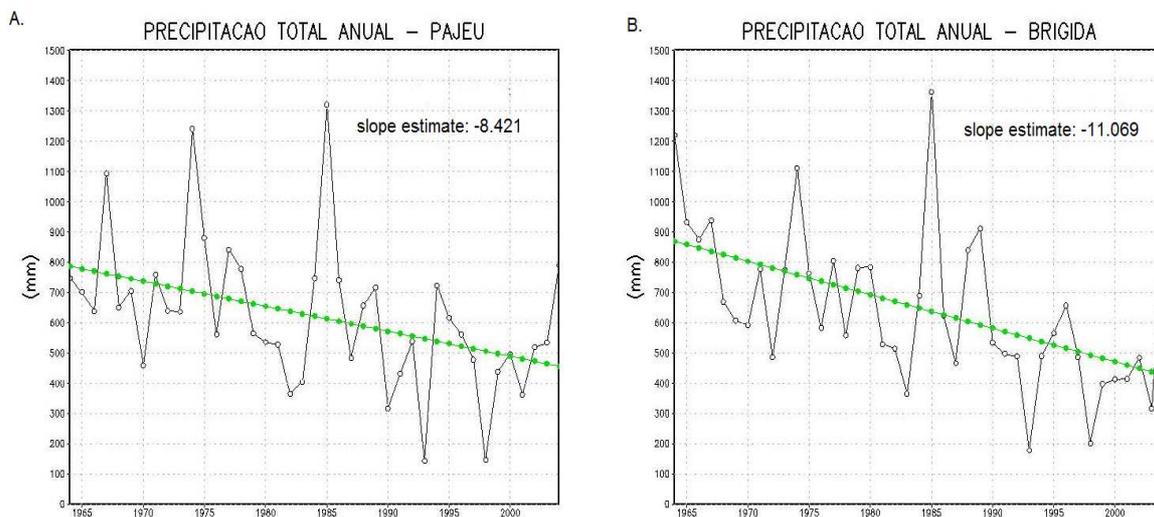


Figura 3. Gráfico de tendência linear da Precipitação Total Anual (PRCPTOT). (A) Bacia do Pajeú (B) bacia do Brígida, de 1964 a 2004.

Corroborando com os resultados encontrados nesse estudo, simulações elaboradas pelo CPTEC/INPE-PNUD (CPTEC/INPE-PNUD, 2012) com o modelo *eta-echam* apresenta tendência de diminuição

da precipitação na parte norte do Nordeste incluindo Pernambuco (particularmente o sertão), no período de 1961 a 1990. Já a simulação do modelo *eta-hadcm* apresenta tendência de aumento de precipitação em todo

Nordeste, para o mesmo período (1961 a 1990). Ressalta-se que na simulação do CPTEC/INPE-PNUD foram utilizadas informações do período de 1961 a 1990, enquanto no presente trabalho o período foi de 1964 a 2004. A década de 1991-2000 foi uma das mais secas no Nordeste do Brasil e esta década não foi utilizada nas simulações

do CPTEC/INPE-PNUD. Em se falando de cenários futuros, resultados das simulações futuras dos dois modelos (*eta-echam* e *eta-hadcm*) mostram tendência de diminuição da precipitação. Na Figura 4 estão ilustrados os campos de tendências da PRCPTOT, para os dois modelos citados, dos períodos de 1961 – 1990 e 2011 – 2040.

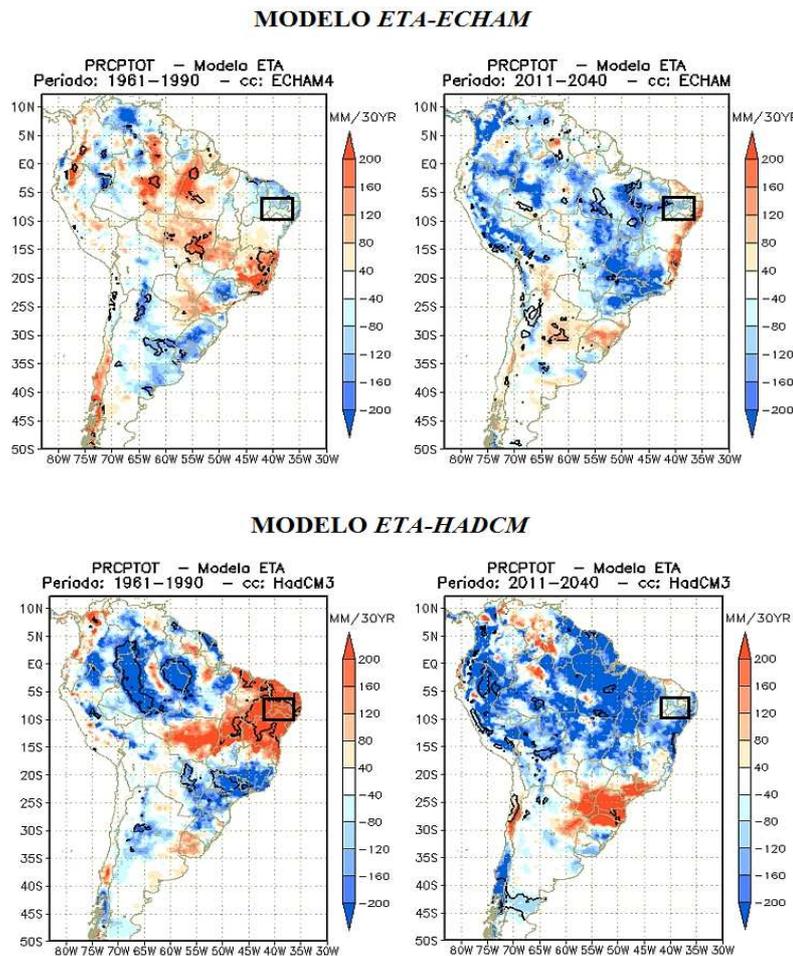


Figura 4. Campos de tendência da PRCPTOT dos modelos *eta-echam* e *eta-hadcm*, no período de 1961-1990 e 2011-2040. Fonte: CPTEC/INPE-PNUD, 2012.

Conforme pode ser observado, as projeções de mudanças no regime e distribuição da precipitação para climas do semiárido do Nordeste brasileiro mostram, de acordo com o relatório do IPCC (IPCC-AR4, 2007), que em média, na maioria dos modelos, existe uma maior probabilidade de

redução das chuvas como consequência das mudanças climáticas globais. As projeções apresentadas no Relatório do Clima do INPE (2007) mostram que, pelo fato de praticamente todos os modelos convergirem numa situação de clima mais seco, considera-se essas projeções como tendo um grau de

certeza grande. Considerando o modelo do centro climático britânico, o HadCM3 e o cenário pessimista, relata-se uma tendência de extensão da deficiência hídrica por praticamente todo o ano para a região Nordeste do Brasil, particularmente para a região semiárida, que sofre uma tendência de “aridização” até o final do século XXI. Segundo Marengo (2012), define-se “aridização” como a situação em que o déficit hídrico, que se apresenta de 6 a 7 meses, se estende para todo o ano em consequência da redução das chuvas.

A Tabela 5 mostra a tendência do índice CDD para as bacias do Pajeú e Brígida, juntamente com o valor p, calculado pelo

software RCLimindex 2.11.1. Houve uma tendência de aumento do índice CDD, onde a bacia do Pajeú apresentou uma tendência média de 1,03 dias consecutivos secos e a bacia do Brígida apresentou uma tendência média de aumento em torno de 0,96 dias consecutivos secos ao ano. Dessa forma, significa dizer que no período estudado, que foi de 1964 a 2004, houve um aumento em torno de 41,2 e 38,4 dias consecutivos sem chuva para as bacias do Pajeú e Brígida, consecutivamente.

As Figuras 5A e 5B mostram a tendência linear dos dias secos consecutivos nas bacias do Pajeú e Brígida.

Tabela 5. Tendências do índice de dias consecutivos secos (CDD) e seus respectivos valores de tendência e estatística p

| Bacia | CDD | |
|---------|---------------------|----------|
| | Tendência (dia/ano) | Valor p. |
| Pajeú | 1,03 | 0,01 |
| Brígida | 0,96 | 0,03 |

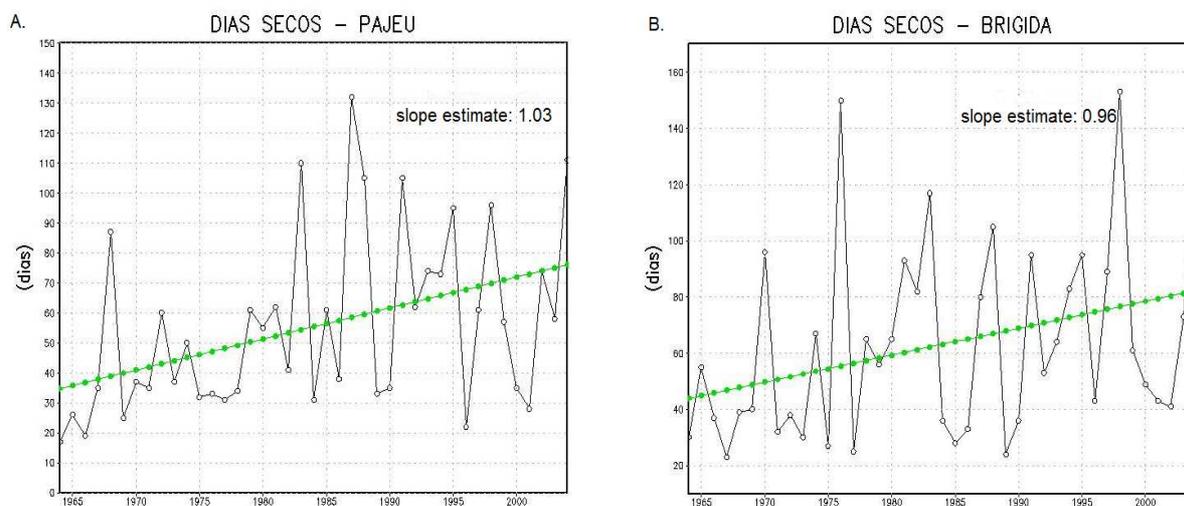


Figura 5. Gráfico de tendência linear de dias secos consecutivos (CDD). (A) Bacia do Pajeú (B) bacia do Brígida, de 1964 a 2004

Pesquisas elaboradas pelo CPTEC/INPE-PNUD (CPTEC/INPE-PNUD, 2012), confirmam a veracidade dos resultados desse estudo quando apresentam, igualmente, tendência positiva dos dias secos, onde simulações elaboradas pelos modelos *eta-echam* e *eta hadcm* mostram tendência de aumento dos dias secos consecutivos (CDD), para o semiárido nordestino, em particular para o sertão de Pernambuco. Ressalta-se que na simulação do CPTEC/INPE-PNUD foram

utilizadas informações do período de 1961 a 1990, enquanto no presente trabalho o período foi de 1964 a 2004. Ao analisar os cenários futuros, os resultados das simulações futuras dos dois modelos (*eta-echam* e *eta-hadcm*) mostram tendência de aumento dos dias secos, embora em maior proporção no modelo *eta-hadcm*. Na Figura 6 estão ilustrados os campos de tendências do índice climático CDD, para os dois modelos citados, dos períodos de 1961 – 1990 e 2011 – 2040.

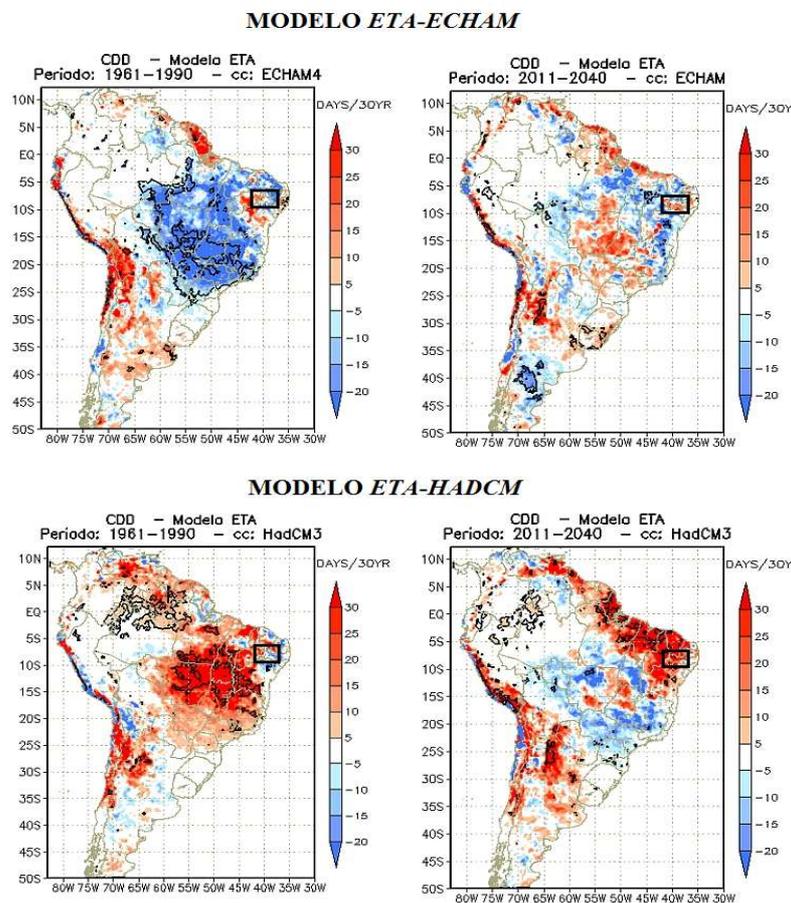


Figura 6. Campos de tendência do CDD dos modelos *eta-echam* e *eta-hadcm*, no período de 1961-1990 e 2011-2040. Fonte: CPTEC/INPE-PNUD, 2012

4. Conclusões

1. Todos os índices de precipitação total anual (PRCPTOT) apresentaram tendências negativas, de diminuição da

precipitação.

2. Todos os índices de dias secos consecutivos (CDD) apresentaram tendências positivas, com aumento do número de dias

secos consecutivos.

3. Considerando a diminuição do regime de chuvas e o aumento do número de dias secos consecutivos, constata-se que a água é um recurso cada vez mais escasso, que tende a se agravar em função do crescimento populacional, com aumento da demanda e redução da oferta;

4. A agricultura sofre os impactos diretos da escassez hídrica, uma vez que depende essencialmente de fatores climáticos, principalmente da precipitação.

5. Com base nesses resultados é possível inferir que a área em estudo está ficando mais seca, o que indica que é cada vez mais forte a tendência de mudança e não apenas de variabilidade.

6. Em todas essas análises não se pode afirmar, categoricamente, que ditas tendências estejam relacionadas com uma mudança dos padrões globais do clima e, sim, com uma variabilidade climática.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), pela concessão dos dados de precipitação pluviométrica, aos autores do RCLimdex, Xuebin Zhang e Feng Yang por disponibilizarem o “software” gratuitamente.

6. Referências

Assad, E. D.; Evangelista, B.; Silva, F. A. M.; Cunha, S.A. R.; Alves, E. R.; Lopes, T. S. S.; Pinto, H. S.; Zullo Jr, J. (2001). Zoneamento

agroclimático para cultura do café (*Coffea arabica L.*) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. Revista brasileira de agrometeorologia, v. 9, p. 510-518.

CPTEC/INPE. (2007). Relatório do Clima do INPE. Caracterização do clima atual e definições das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. In: Mudanças Climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade. São Paulo.

CPTEC/INPE-PNUD. Projeção de cenários climáticos. Simulações de índices extremos. http://pnud.cptec.inpe.br/pnud_ie.html Acesso em: 09 de fevereiro de 2012.

Hastenrath, S.; Greischar, L. (1993). Further work of Northeast Brazil rainfall anomalies, *Journal Climate*, v.6, p.743-758.

Hayloch, M. R, et all. (2001). Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, v. 19, p. 1490-1512, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. (2001). “Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”. Cambridge University Press, Cambridge.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. (2007). *Climate Change – The physical science basis*.

Contribution of working group I to the fourth assessment Report of the IPCC. Cambridge University. Press, Cambridge.

Marengo, J. A. (2006). 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. Ministério de Meio Ambiente, Brasília.

Marengo, J. A. Possíveis impactos da mudança do clima no Nordeste. <http://www.algosobre.com.br/atualidades/possiveis-impactos-da-mudanca-de-clima-no-Nordeste.html>, acessado em 06 de fevereiro de 2012.

Moncunill, D. F. The rainfall trend over Ceara and its implications. In: 8ª Conferência Internacional de Meteorologia e Oceanografia do Hemisfério Sul, Foz do Iguaçu, Abr, p. 315-323, 2006.

Nobre, C. A.; Assad, E. D.; Oyama, M. D. (set- 2005). Mudança ambiental no Brasil: o impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. In: scientific American Brasil. Nº 12.

Nobre, P.; Lacerda, F.F. (2010). Aquecimento global: conceituação e repercussões sobre o Brasil. Revista brasileira de geografia física, v. 3, p. 14-17.

Paiva, S. C.; Cavalcanti, E. P. (2011). Fluxos de calor latente e sensível à superfície em Caatinga: estudo observacional e de

simulação com o BRAMS no início do período de secas. Revista brasileira de geografia física, v. 4, p. 677-691.

PERNAMBUCO. (2006). Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco. Simone Rosa da Silva (Org.), Recife: Ed. A secretaria.

Pinto, H. S.; Assad, E. D., Zullo Jr. J.; Bunini, O. (2002). O Aquecimento global e a agricultura. Revista eletrônica de jornalismo científico. Comciência – SBPC, v. 35, p. 1-6.

RCLIMDEX 1.0 – MANUAL DEL USUARIO (versão em espanhol). (2004). Disponível em <http://cccma.seos.uvic.ca/ETC/CDMI/software.shtml>

Santos, C. A.; Brito, J. I. B. (2007). Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, p. 303-312.

Santos, C. A. C.; Brito, J. I. B.; Ramana R.; T. V.; Menezes, H. E. A. (2009). Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, p. 39-47.

Silva, G.B.; Azevedo, P.V. (2008). Índices de tendências de mudanças climáticas no Estado da Bahia. Revista de Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, Vol. 5, p. 141-151.

Silva, M.M.; Ferreira, V.O. (2011). Estacao chuvosa e ocorrencia de veranicos em

Aracuai, Itamarandiba e Pedra Azul, na porcao mineira da b cia do rio Jequitinhonha. Revista brasileira de geografia fisica, v.5, p. 1068-1081.

Siqueira, O.J.W.; Steinmetz, S.; Ferreira, M.F.; Costa, A.C.; Wozniak, M.A. (2000). Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.8, p.311-320.

Souza, W. M; Azevedo, P. V. (2012). Índices

de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. Revista Brasileira de Geografia Física, 01 (2012) 143-159, Recife.

Souza, W. M. (2011). Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 121 f., Campina Grande-PB.