



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

LARYNNE DANTAS DE SENNA

**USO DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA (WPI) ATRAVÉS DA
ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.**

**Natal
2015**

LARYNNE DANTAS DE SENNA

**USO DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA (WPI) ATRAVÉS DA
ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientadora: Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia
Co-orientadora: Profa. Dra. Joana Darc Freire de Medeiros

**Natal
2015**

Senna, Larynne Dantas de.

Uso do índice de pobreza hídrica (WPI) através da análise de componentes principais / Larynne Dantas de Senna. – Natal, RN, 2015.

41f.

Orientadora: Adelena Gonçalves Maia.

Co-orientadora: Joana Darc Freire de Medeiros.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Recursos hídricos - Dissertação. 2. Escassez Hídrica - Dissertação. 3. Análise multivariada - Dissertação. 4. Semiárido. I. Maia, Adelena Gonçalves. II. Medeiros, Joana Darc Freire de. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 556.18

LARYNNE DANTAS DE SENNA

**USO DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA (WPI) ATRAVÉS DA
ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia – Orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Profa. Dra. Joana Darc Freire de Medeiros – Co-orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lúcio – Examinador Interno
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão – Examinador Externo
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

**Natal
2015**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Netieri e Amarilton, que me dão força e suporte diário para eu conseguir alcançar os meus objetivos profissionais. Graças a eles, cresci com a consciência de que devo ter determinação e disciplina para atingir as metas da minha vida. Aos meus irmãos, Lorena, Brenny e Brenno, que sempre estão ao meu lado quando preciso, torcendo e me apoiando com todo carinho. Sou abençoada por Deus pela família que tenho. Ao meu namorado, Felipe, que acompanha meu esforço em obter êxito na profissão, sempre me dando conselhos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia, que foi para mim uma ‘mãe acadêmica’. Desde a graduação, na iniciação científica e no trabalho de conclusão de curso, até o mestrado. Graças a ela, levo comigo uma grande bagagem em termos profissionais e pessoais. Obrigada pela confiança depositada em mim, pela atenção e pelos conselhos.

À minha co-orientadora, Profa. Dra. Joana Darc Freire de Medeiros, que sempre foi muito atenciosa comigo, me ajudando em todas as etapas do trabalho com muita disposição e gentileza.

À toda equipe do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – PPgES, os secretários, técnicos e professores, que trabalham em prol de todos os mestrandos.

Aos meus amigos da graduação (Irmã, Dani, Gió, entre outros) e àqueles que seguiram comigo no mestrado (Alana, Aline, David e Marquinhos). Andamos sempre de mãos dadas nesse período acadêmico, sei que poderei contar com eles.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1 – Pirâmide de Informações | 13 |
| Figura 2 – Área de estudo | 16 |
| Figura 3 – Municípios incluídos e não incluídos no estudo | 17 |
| Figura 4 – Mapa dos resultados do subíndice <i>Recurso</i> | 26 |
| Figura 5 – Mapa dos resultados de Registros de Estiagem e Seca | 27 |
| Figura 6 – Mapa dos resultados do subíndice <i>Acesso</i> | 28 |
| Figura 7 – Mapa dos resultados do subíndice <i>Capacidade</i> | 29 |
| Figura 8 – Mapa dos resultados do subíndice <i>Uso</i> | 30 |
| Figura 9 – Mapa dos resultados do subíndice <i>Ambiente</i> | 31 |
| Figura 10 – Mapa dos resultados do índice WPI' | 34 |
| Figura 11 – Mapa dos resultados do índice WPI | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| Tabela 1 – Subíndices, Indicadores e Variáveis, respectivamente | 15 |
| Tabela 2 – Variáveis dos subíndices recurso, acesso, capacidade, uso e ambiente utilizadas | 19 |
| Tabela 3 – valores dos subíndices para os municípios da Bacia Seridó | 24 |
| Tabela 4 – Matriz de Correlação entre os subíndices | 25 |
| Tabela 5 – Ponderadores de CP1, CP2 e CP3..... | 32 |
| Tabela 6 – valores do WPI' (em ordem decrescente) e do WPI por média simples, para os municípios da Bacia do Rio Seridó | 33 |

APÊNDICES

| | |
|--|-----------|
| APÊNDICE A – Açudes que abastecem os municípios da área de estudo | 41 |
|--|-----------|

RESUMO Para contribuir no desempenho das políticas e estratégias formuladas por comitês de bacia hidrográfica, índices vêm sendo criados na expectativa de expressar as múltiplas dimensões dos recursos hídricos em uma forma facilmente interpretável. O uso do Índice de Pobreza Hídrica (WPI) está se difundindo mundialmente, sendo o mesmo formado pela combinação dos subíndices Recurso, Acesso, Capacidade, Uso e Ambiente. Algumas críticas quanto à formação do WPI foram surgindo, dentre elas destaca-se a atribuição de pesos dos subíndices, feita por um processo arbitrário atribuindo subjetividade ao critério de seleção. Ao envolver análise estatística, quando se considera as características das variáveis geradas pela Análise de Componentes Principais (ACP), verifica-se que a mesma é capaz de solucionar esse problema. O objetivo deste trabalho é comparar os resultados do WPI original com o índice gerado através da Análise de Componentes Principais (ACP), para a indicação dos pesos dos subíndices aplicáveis na bacia hidrográfica do Rio Seridó (RN e PB). Conclui-se que o uso da Análise de Componentes Principais na atribuição dos pesos do Índice de Pobreza Hídrica permitiu identificar que os sub-índices Recurso, Acesso e Ambiente são os mais representativos para a bacia hidrográfica do Rio Seridó, e que este novo índice, o WPI', apresentou faixas de valores mais abrangentes, permitindo identificar mais facilmente as disparidades entre os municípios. Além disso, a avaliação dos subíndices na área de estudo tem grande potencial de informar ao tomador de decisão na gestão dos recursos hídricos, as localidades mais críticas e que merecem maiores investimentos nos aspectos analisados, já que o índice em si não permite captar essa informação.

Palavras-chave: Escassez Hídrica, Análise Multivariada.

ABSTRACT To contribute in the performance of policies and strategies formulated by development agencies, indexes have been created in anticipation of expressing the multiple dimensions of water resources in an easily interpretable form. Use of Hydro Poverty Index (WPI) is spreading worldwide, with the same formed by the combination of sub-indices Resource, access, capacity, use and environment. Some critics as to its formation have emerged, among them stands out the allocation of weights of sub-indexes, made by an arbitrary process attributing subjectivity to the selection criteria. By involving statistical analysis, when considering the characteristics of the variables generated by the Principal Component Analysis (PCA), it turns out that it is able to solve this problem. The objective of this study is to compare the results of the original WPI with content generated by Principal Component Analysis (PCA) for the indication of the weights of sub-indexes applicable in the Seridó River hydrographic Basin. We conclude that the use of Principal Component Analysis in the allocation of weights of Water Poverty Index has identified the sub-indices Resources, Access and Environment are the most representative for the river basin Seridó, and that this new index, WPI, presented the most comprehensive ranges of values, allowing more easily identify disparities among municipalities. In addition, the evaluation of the sub-indexes in the study area has great potential to inform the decision-maker in the management of water resources, the most critical locations and deserve greater investments in the aspects analyzed, as the index itself can not capture this information.

Keywords: Water Scarcity, Multivariate Analysis

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1.INTRODUÇÃO | 11 |
| 2.OBJETIVOS | 12 |
| 2.1.Objetivos Gerais | 12 |
| 2.2.Objetivos Específicos | 12 |
| 3.REVISÃO DA LITERATURA | 13 |
| 3.1.Índice de Pobreza Hídrica (WPI) | 13 |
| 3.2.Aplicação do Índice de Pobreza Hídrica | 14 |
| 4.MATERIAL E MÉTODOS | 16 |
| 4.1.Área de Estudo | 16 |
| 4.2.Construção do Índice de Pobreza Hídrica | 18 |
| 4.3.Definição das variáveis do WPI | 19 |
| 4.4.Análise de Componentes Principais na definição dos pesos | 22 |
| 4.5.Análise dos índices na Bacia do Rio Seridó | 23 |
| 5.RESULTADOS E DISCUSSÃO | 23 |
| 5.1.Determinação dos subíndices do WPI e atribuição dos seus pesos | 23 |
| 5.2.Análise de Componentes Principais | 32 |
| 6.CONCLUSÕES | 36 |
| 7.REFERÊNCIAS | 37 |

1. INTRODUÇÃO

Mundialmente, a disponibilidade de recursos hídricos em quantidade e qualidade adequadas para o uso está cada vez mais limitada, o que faz surgir necessidades de uma abordagem mais sustentável de gestão da água e de estratégias mais justas e ecologicamente mais sensíveis de distribuição e uso da mesma. Dessa maneira, se faria eficaz elaborar e atingir metas internacionais de desenvolvimento para redução da pobreza hídrica (Sullivan, 2002).

No Brasil, a região com maior escassez hídrica é a região semiárida, que hoje abrange mais de 57% da área territorial do Nordeste brasileiro. Esses efeitos da baixa disponibilidade hídrica são recorrentes na região em função de fatores naturais como longos períodos sem precipitação; elevada taxa de evaporação; e baixa capacidade de armazenamento de água no seu subsolo. Além de que as atividades da agricultura e pecuária têm a água como insumo básico necessário ao seu desenvolvimento, o que faz com que a escassez contribua para quadros de miséria e desestruturação familiar para os pequenos produtores.

Há décadas que a necessidade de avaliar a disponibilidade dos recursos hídricos tem sido reconhecida. A partir daí, fez-se perceber que essas questões são locais, interdependentes e significativamente dependentes da interação entre os seres humanos e seus ambientes sócio-técnicos (Alexander et al. 2010). Hoje, a degradação da qualidade da água e sua escassez qualitativa e quantitativa estão entre os principais focos de atenção das políticas ambientais em nível global, cujos temas prioritários destacam-se a mensuração dos estoques hídricos e de seu grau de utilização e esgotamento. Essa situação de escassez nos estoques hídricos trouxe novas exigências de integração de esforços na gestão racional dos usos da água (Magalhães Júnior, 2007).

Nesse sentido, para contribuir no desempenho das políticas e estratégias formuladas por comitês de bacia hidrográfica, índices vêm sendo criados na expectativa de expressar as múltiplas dimensões dos recursos hídricos (socioeconômico, físico, ambiental e institucional) em uma forma facilmente interpretável (Mlote et al. 2002). Eles servem como instrumento para reduzir uma grande quantidade de dados a uma forma mais simples, retendo o seu significado essencial (Ott¹, 1978 apud Magalhães Júnior, 2007).

¹OTT, wr Environmental indices: theory and practice. Michigan: Ann Arbor Science, 1978.

Na área de recursos hídricos, a partir do ano de 2002, se proliferou o uso de Índices de Pobreza Hídrica (WPI), criados considerando que uma das maiores causas de pobreza é a falta de acesso à água (Cho et al., 2009; Gine e Foguet, 2009; Komnenic V. et al., 2008; Lawrence et al., 2002; Lisa G, 2014; Manandhar et al., 2011; Mlote et al., 2002 Pérez-Foguet e Garriga, 2010; Rijsberman, F, 2003; Sullivan et al. 2003, 2006; Sullivan and Meigh 2007; Ty et al. 2010, Zhang Q. et al., 2014). É esperado que o desenvolvimento desses índices possibilite tomadas de decisões de questões hídricas de maneira que integre diretrizes físicas, econômicas e sociais que relacionam a água com a pobreza. Essa relação pode ser feita através de vários aspectos, reconhecidos por água para saneamento, higiene e saúde; água para produção e geração de emprego; gestão do desenvolvimento sustentável; igualdade entre as classes sociais; e direitos sobre a água bem como das baixas classes sociais (Rijsberman 2003).

Muitos estudos têm usado o WPI para avaliar situação de escassez hídrica em bacias hidrográficas pelo mundo inteiro e identificaram vários indicadores úteis para diferentes localidades. Isso faz refletir que questões de escassez de água e indicadores para representá-los são localmente específicas e por isso devem ser cuidadosamente escolhidos (Manandhar et al, 2011). O uso do WPI está se difundindo e, em consonância, algumas críticas quanto à sua formação foram surgindo (Feitelson e Chenoweth, 2002; Jiménez et al., 2009; Gine e Foguet, 2009, Cho et al., 2009). Dentre elas está a atribuição de pesos dos subíndices, feita por um processo arbitrário atribuindo subjetividade ao critério de seleção. Ao envolver análise estatística, quando se considera as características das variáveis geradas pela Análise de Componentes Principais (ACP), verifica-se que a mesma é capaz de solucionar essa questão da escolha arbitrária dos pesos utilizados no WPI (Cho et al., 2009).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso da Análise de Componentes Principais (ACP) na indicação dos pesos dos subíndices que compõem o Índice de Pobreza Hídrica (WPI).

2.2. Objetivos Específicos

Comparar o resultado do Índice de Pobreza Hídrica original com o índice gerado através da Análise de Componentes Principais.

Avaliar quais são as variáveis capazes de serem utilizadas para representar a Bacia do Rio Seridó.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Índice de Pobreza Hídrica (WPI)

Os índices estão bastante interligados com os indicadores, cuja definição se dá por modelos simplificados da realidade com capacidade de facilitar a compreensão dos fenômenos e de aumentar a capacidade de comunicação de dados brutos. Os índices, por sua vez, revelam o estado desses fenômenos através da agregação de valores obtidos por todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que os compõem. Pode-se dizer que um índice é um indicador de alta categoria, pois indicadores normalmente são utilizados como um pré-tratamento aos dados originais (Siche et al., 2007). Como exemplo, temos o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), contemplado por um conjunto de fatores (econômicos, sociais e ambientais), e calculado através dos seus correspondentes indicadores (Bouni, 1996 apud Siche et al., 2007).

Os indicadores vêm tomando um papel fundamental no processo de avaliação de desempenho, tornando-se uma importante ferramenta de gestão por estabelecerem diretrizes na política de gestão e na alocação de recursos. Além disso, eles também se tornaram uma importante ferramenta política, permitindo que os profissionais e o público leigo tenham a possibilidade de fazer julgamentos sobre a eficácia da política de governo (Lawrence et al., 2002). Eles exigem uma ou mais unidades de medida (tempo, área, etc.) e, muitas vezes, padrões para referenciar sua interpretação.

Representando em uma pirâmide de informações, a base seria formada por dados primários e o topo compreenderia os índices integrados (Figura 1).

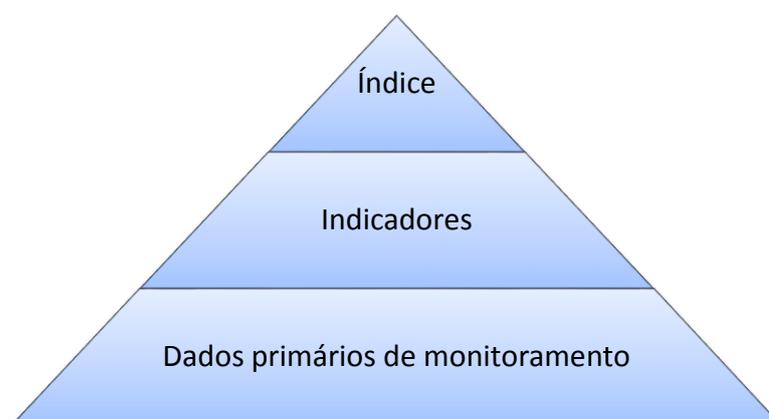


Figura 1: Pirâmide de Informações. Fonte: Adaptado de Magalhães Júnior, 2007.

Apesar do consenso sobre a utilidade do WPI, algumas críticas vêm também sendo feitas com relação ao índice. Feitelson e Chenoweth (2002), Jiménez et al. (2009) e Gine e Foguet (2009) listaram três fraquezas conceituais que existem no WPI, incluindo redundância entre variáveis e a decisão de atribuição de pesos aos subíndices (Manandhar et al, 2011).

Quanto à atribuição de pesos, vem sido criticado como um processo arbitrário que nenhuma estrutura de ponderação pode racionalmente justificar a distribuição de peso atribuída a um determinado indicador (Martinez-Alier et al. 1998). Essa atribuição pode ocorrer segundo diferentes critérios e técnicas estatísticas, mas muitas vezes não é possível ponderar sem incorporar algum nível de arbítrio ou subjetividade nos critérios de avaliação (Magalhães Júnior, 2007).

Um obstáculo que deve ser enfatizado para a elaboração do presente estudo é a dificuldade da construção de indicadores quanto à falta de dados, que geralmente são disponibilizados em escalas político-administrativas (estados ou municípios) ou em estações hidrometeorológicas (Magalhães Júnior, 2007).

3.2. Aplicação do Índice de Pobreza Hídrica

O WPI foi desenvolvido no ano de 2002 por Caroline Sullivan, professora de Economia e Política Ambiental na Universidade Southern Cross na Austrália, cujo trabalho é intitulado por *Calculating a Water Poverty Index*. Em seguida, muitos artigos foram desenvolvidos com o uso do WPI, como Feitelson e Chenoweth, 2002; Cho et al., 2009; Gine e Foguet, 2009; Komnenic V. et al., 2008; Lawrence et al., 2002; Lisa G, 2014; Manandhar et al., 2011; Mlote et al., 2002 Pérez-Foguet e Garriga, 2011; Rijsberman, F, 2003; Sullivan et al. 2003, 2006; Sullivan and Meigh 2007; Ty et al. 2010, Zhang Q. et al., 2014. Alguns deles serão descritos a seguir.

No trabalho desenvolvido em Manandhar et al. (2011), foi proposto a apresentação de um banco de variáveis adequadas para bacias hidrográficas de Nepal, na Ásia. Na metodologia do trabalho é dito que os subíndices utilizados foram: Recursos (R), Acesso (A), Uso (U), Ambiente (E) e Capacidade (C) com seus Indicadores e variáveis utilizadas que mais refletem as questões hídricas da área de estudo em questão (Tabela 1).

Tabela 1: Subíndices, Indicadores e Variáveis, respectivamente. Fonte: Adaptado de Manandhar et al., 2011

| Subíndices | Indicadores | Variáveis |
|-------------------|---------------------------|---|
| Recursos | Disponibilidade (R1) | Recurso de água per capita anual |
| | Variabilidade (R2) | Coefficiente de variação de chuva |
| Acesso | Fornecimento de água (A1) | % de área com cobertura de fornecimento de água |
| | Saneamento (A2) | % de área com cobertura sanitária |
| Uso | Doméstico (U1) | Uso doméstico diário de água per capita |
| | Agricultura (U2) | Porção de terra irrigada por área cultivada |
| Ambiente | Stress Ambiental (E1) | Uso de fertilizante químico por hectare de área cultivada |
| | Cobertura Vegetal (E2) | % de floresta e de Wetland |
| Capacidade | Capacidade Social (C1) | $C1_i$ Taxa de alfabetização (%) |
| | | $C1_{ii}$ População economicamente ativa (%) |
| | Capacidade Econômica (C2) | $C2_i$ Índice GDP (%) |
| | | $C2_{ii}$ Emprego não agrícola (%) |

Os autores, ao avaliarem os valores do WPI para as diversas bacia estudadas e os valores dos subíndices (capacidade, ambiente, uso, acesso e recursos), concluíram que os resultados sugerem uma necessidade de intervenções políticas e planos de gestão em escala específica para melhorar a situação de escassez de água na bacia em estudo.

Em outro trabalho desenvolvido por Pérez-Foguet e Garriga (2010) foi adotado uma estrutura metodológica para a avaliação multidimensional da escassez hídrica. Para isso um aperfeiçoamento do WPI, o eWPI, foi proposto como uma alternativa para composição do índice original. Para demonstrar a adequabilidade do eWPI, foi descrito um estudo piloto implementado na bacia Jequetepeque, no Peru. Neste estudo, utilizou-se a análise de componentes principais para explicitar a correlação existente entre as

variáveis que compõem os subíndices (Recurso, Acesso, Capacidade, Uso e Ambiente). Verificou-se que o uso de CP's removeu de uma a três variáveis mantendo ainda variáveis com muita informação, em torno de 71% a 100% da variância total. Como as variáveis foram inseridas numa matriz de correlação, o critério de remoção partiu do princípio de manter componentes suficientes para dar conta de 70% da variação. Dessa maneira, na conclusão deste trabalho se destacou a utilidade do eWPI para identificar áreas de melhoria e orientar a ação apropriada para uma melhor prestação de serviços e gestão sustentável dos recursos hídricos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

O WPI foi aplicado nos municípios inseridos na bacia hidrográfica do Rio Seridó, uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, encontrada na região semiárida do Nordeste brasileiro (Figura 2 e Figura 3). A exclusão de alguns municípios que encontram-se na bacia deve-se à inconsistência ou à carência na obtenção das variáveis, selecionadas para formação do índice, destes municípios. No apêndice A foram descritos os municípios com os respectivos reservatórios que os abastecem.

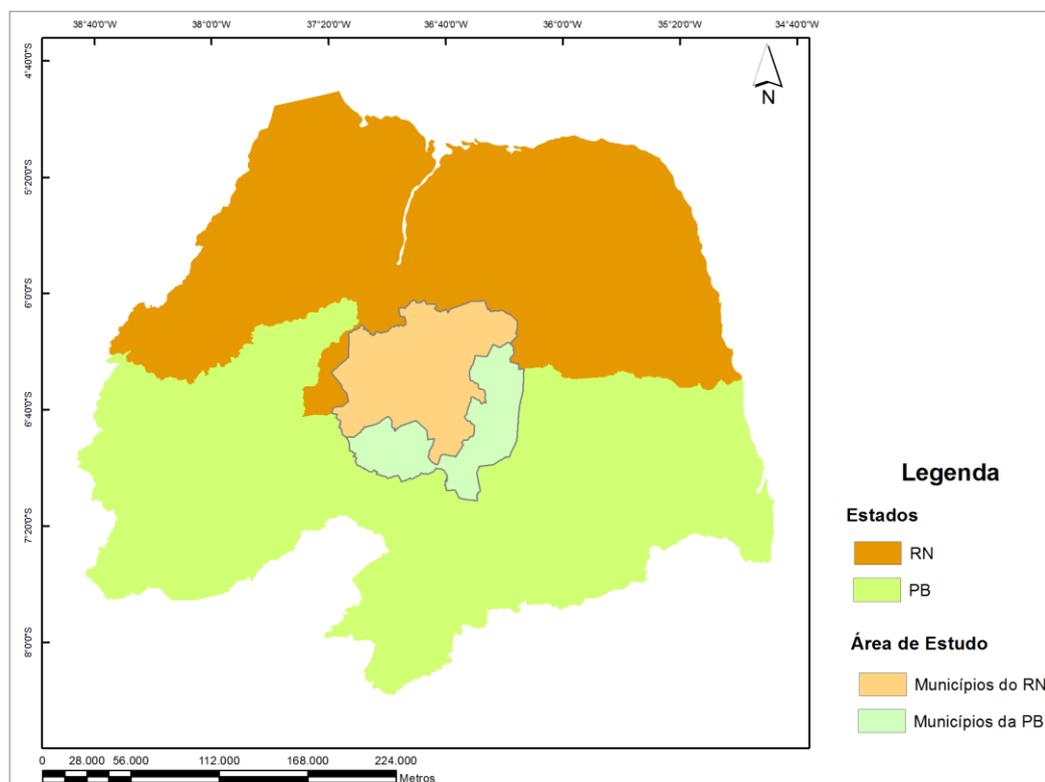


Figura 2. Área de estudo.

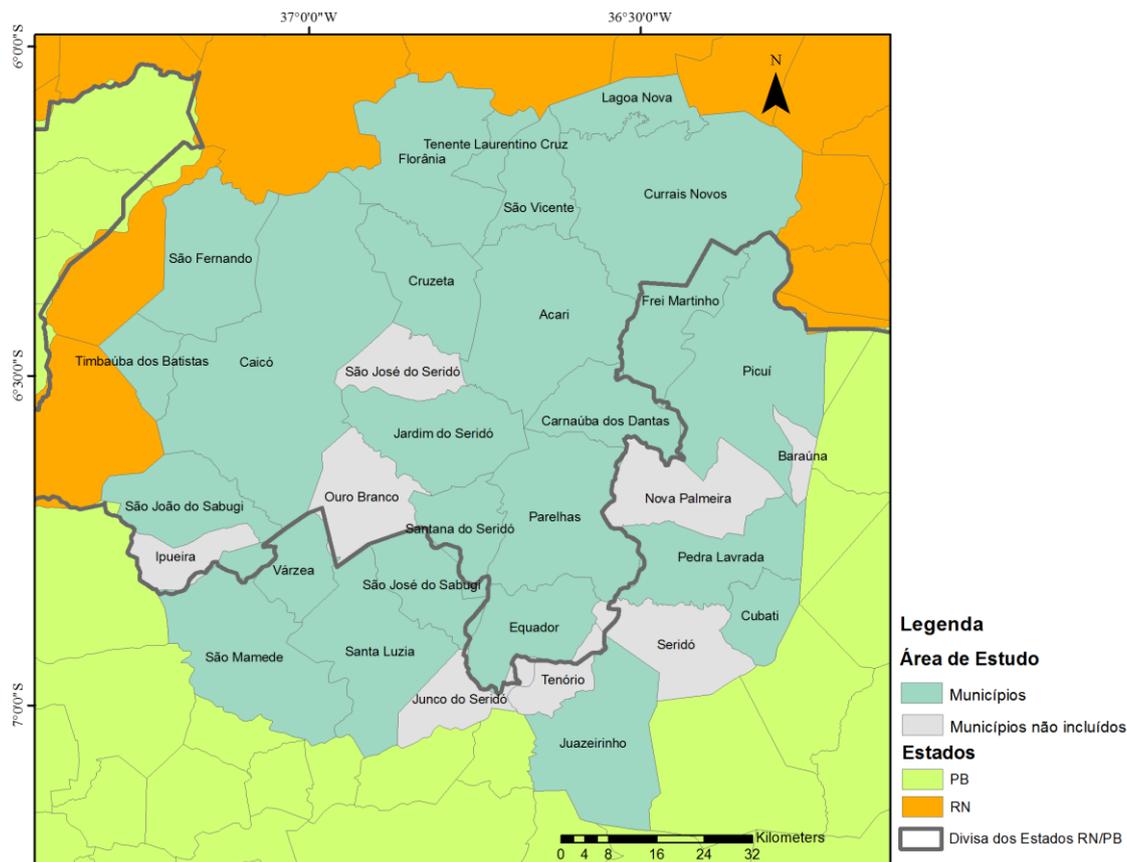


Figura 3. Municípios incluídos e não incluídos no estudo.

A bacia do Seridó possui uma área total de 10.092 km², sendo 6.645 km² no Estado do Rio Grande do Norte e 3.447 km² no Estado da Paraíba. Contém as sedes municipais de 28 municípios, sendo 18 no estado do RN e 10 na PB. A nascente do seu rio principal localiza-se na serra do Alagamar (PB) e sua foz no município de Macau, já no estado do RN (Abrantes, 2011).

A região onde se encontra a bacia hidrográfica do Rio Seridó está completamente contida no clima semiárido, com temperatura média anual situada entre 26 e 28 °C e umidade relativa do ar em torno de 64%. Com relação à classificação climática, a maior parte da bacia apresenta predominância do clima tipo BSw'h', da classificação climática de Köppen, caracterizado por um clima muito quente e semiárido (Abrantes, 2011).

Além disso, a bacia está completamente inserida no bioma da caatinga e em termos geológicos, há predominância de rochas cristalinas pré-cambrianas. Devido à presença do cristalino e do poder erosivo das chuvas, os solos são rasos com alta deficiência de água por incapacidade de acumulação e baixa fertilidade.

4.2. Construção do Índice de Pobreza Hídrica

A construção de um Índice de Pobreza Hídrica pode ser feita por diferentes métodos, dentre eles estão: a abordagem do índice composto; o método Gap; a abordagem matricial; e a abordagem de análise do tempo (Sullivan, 2002). Este trabalho aplicará a abordagem do índice composto, cuja principal vantagem apresentada é a conciliação da natureza multidimensional da pobreza hídrica. Nele, o WPI é construído embasado em cinco subíndices: Recurso, Acesso, Capacidade, Uso e Ambiente, cada um com certa quantidade de variáveis (Por ex.: população com acesso a água potável, uso de água per capita na agricultura, etc.). Subíndices podem ser entendidos como indicadores separados em dimensões que, quando agregados, obtém-se o índice (Siche et al., 2007). A quantificação dos problemas visto nessa percepção será útil na determinação de qual das áreas apresenta maiores necessidades de soluções.

O subíndice ‘Recurso’ reflete a disponibilidade física de água superficial e subterrânea, enquanto que ‘Acesso’ reflete a facilidade de acesso à água por parte da população. Já ‘Capacidade’ reflete a habilidade dos cidadãos de obter e/ou gerir a água, enquanto que ‘Uso’ reflete as formas em que a água é usada para os usos doméstico, agricultura e não-agricultura. Por fim, ‘Ambiente’, indica a integridade ambiental, revelando se há capacidade de lidar com o estresse de água e garantir uso sustentável do recurso.

O valor final de cada subíndice é uma média aritmética das variáveis que foram padronizadas. Nesse método, o valor do WPI será entre 0 e 100, indicando que quanto mais alto o valor do WPI, menor o grau de pobreza hídrica. Os subíndices também apresentarão valores nessa faixa. Através do valor de WPI é possível determinar a posição relativa do município comparado com os outros municípios em análise.

O WPI é finalmente calculado pela Equação 1 (Lawrence et al., 2002):

$$WPI = \frac{w_r R + w_a A + w_c C + w_u U + w_e E}{w_r + w_a + w_c + w_u + w_e} \quad (1)$$

Onde w 's é o peso aplicado à cada subíndice; R é o valor do subíndice *recurso*; A é o valor do subíndice *acesso*; C é o valor do subíndice *capacidade*; U é o valor do subíndice *uso*; e E é o valor do subíndice *ambiente*.

Os pesos variam entre 0 e 1 e são utilizados para incorporar importâncias distintas para os subíndices, o que é usual para enfatizar os principais problemas a serem tratados nas metas políticas (Mlote et al.; 2002). O sistema de ponderação ainda precisa ser revigorado, e uma proposta será feita para a região em estudo.

4.2. Definição das variáveis do WPI

A partir da revisão bibliográfica, foi possível levantar variáveis utilizadas na elaboração do índice. Além disso, também foram encontradas aquelas ditas como sendo de possível utilidade para o Brasil (Magalhães Júnior, 2007). Em seguida, foram definidas as variáveis úteis para o presente trabalho a partir das seguintes considerações: análise da disponibilidade de dados e análise crítica, em função das características da região semiárida (tabela 2).

Tabela 2: Variáveis dos subíndices recurso, acesso, capacidade, uso e ambiente utilizadas.

| Subíndices | Variáveis |
|------------|--|
| | Precipitação anual (mm.ano ⁻¹) |
| Recurso | Vazão regularizada per capita (hm ³ .s ⁻¹ .hab ⁻¹) |
| Acesso | Acesso da população à água tratada (%) |
| | IDH-M |
| Capacidade | Taxa de alfabetização (%) |
| | População Economicamente Ativa (%) |
| | Uso doméstico de água per capita (m ³ .dia ⁻¹ .hab ⁻¹) |
| Uso | Consumo de água para irrigação (m ³ .ano ⁻¹) |
| | Consumo de água para pecuária (m ³ .ano ⁻¹) |
| | Área com vegetação natural (%) |
| Ambiente | Fósforo Total (mg.L ⁻¹) |

Como foi trabalhado com variáveis de unidades distintas, todas elas foram padronizadas pelo método do mínimo-máximo (Equação 2) para uso posterior na construção do WPI através do método estatístico de Análise de Componentes Principais, os quais foram realizados com o auxílio do software *R*.

$$Var_{padronizada} = \frac{var_i - var_{mín}}{var_{máx} - var_{mín}} \quad (2)$$

Onde $Var_{padronizada}$ é a variável padronizada; var_i é a variável original do município *i*; $var_{mín}$ é o menor valor da variável dentre os municípios; e $var_{máx}$ é o maior valor da variável dentre os municípios.

Ao realizar a padronização dos dados, obtemos posições relativas dos municípios quando comparado com os outros municípios, isso faz com que os resultados obtidos no presente trabalho auxiliem na priorização da atuação dos gestores nos aspectos

analisados, mas não identifica quais os municípios que estão com situação de pobreza hídrica boa ou ruim.

4.2.1. *Recurso (R)*

Na composição do subíndice *Recurso* utilizou-se duas variáveis: precipitação média anual e vazão regularizada per capita.

A variável precipitação anual traz uma relação direta com a disponibilidade hídrica da região. Como os municípios da região são abastecidos por reservatórios encontrados na Bacia do Rio Seridó, atribuiu-se ao município a precipitação que ocorre no açude que o abastece.

Nos casos em que o abastecimento da sede municipal se dá por mais de um reservatório, foi gerada uma precipitação média cuja ponderação foi feita pela vazão aduzida de água.

A segunda variável, a vazão regularizada per capita com 90 % de garantia, é um indicador do quantitativo de água disponível pelo reservatório para os municípios que ele abastece. Para obter esse valor por município, também foi gerado uma vazão regularizada média com ponderação feita pela vazão aduzida de água.

A *precipitação anual* dos reservatórios do RN foram coletadas nas fichas técnicas encontradas no site da Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, SEMARH, enquanto que os da PB foram coletados no site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA. Já a *vazão regularizada* dos reservatórios foi obtida na Agência Nacional das Águas, ANA, além do uso do Plano Estadual de Recursos Hídricos, para os casos de pequenas açudagens. A *vazão aduzida*, utilizada como peso ponderador, foram coletadas no site do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, SNIS em tabela de diagnóstico dos serviços de água e esgoto, 2013.

4.2.2. *Acesso (A)*

O subíndice *Acesso* é relevante pois leva-se em conta que ter uma boa disponibilidade hídrica não é o suficiente caso o município não tenha infraestrutura para tornar esse recurso acessível à população. Na obtenção desse subíndice, utilizou-se somente uma variável que representa a porcentagem de domicílios com abastecimento de água tratada via rede geral, coletada em censo demográfico de 2010, através do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE.

4.2.3. Capacidade (C)

Quanto à ‘capacidade’, foram utilizados indicadores socioeconômicos já consolidados e difundidos internacionalmente: o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDH-M; a taxa de alfabetização; e a População Economicamente Ativa (PEA), os quais refletem o desenvolvimento econômico e social da região e, conseqüentemente, indicam a capacidade dos seus habitantes em possuir aptidão para gerir o recurso hídrico. Todas as variáveis foram coletadas em censo demográfico de 2010 através do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE.

4.2.4. Uso (U)

Neste subíndice, em decorrência dos principais usos na região em estudo, foram considerados o uso para consumo doméstico, o uso para irrigação, e o uso para pecuária, este último encontrado a partir do consumo de água para dessedentação de animais. O consumo de água para uso doméstico foi coletada em Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, através do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. As demais foram obtidas do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, em elaboração pela Agência Nacional das Águas, ANA.

4.2.5. Ambiente (E)

Neste subíndice foi selecionada a variável *porcentagem de área com vegetação natural*, que representa o quão saudável o ambiente encontra-se para lidar melhor com problemáticas do setor hídrico. Por outro lado, a *porcentagem de fósforo total* é um dos parâmetros que indica o grau de eutrofização do corpo hídrico, sendo uma variável inversamente proporcional ao índice (quanto maior o seu valor, pior situação hídrica). Para isso, fez-se necessário o uso do método mínimo-máximo para padronização no sentido inverso (Equação 3).

$$Var_{padronizada} = \frac{var_{máx} - var_i}{var_{máx} - var_{mín}} \quad (3)$$

A *porcentagem de área com vegetação natural*, foram coletadas em censo Agropecuário de 2006, através do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. Já os valores de *Fósforo Total* nos açudes do RN, foram obtidos por relatório gerado em 2013 pelo Programa Água Azul, enquanto que os da PB foram obtidos no site da AESA em monitoramento ocorrido em 2005/2006, ambos no período entre setembro e dezembro.

4.3. Análise de Componentes Principais na definição dos pesos

A Análise de Componentes Principais (ACP) é usada para transformar um banco de variáveis correlacionadas em uma quantidade menor de variáveis não correlacionadas, chamadas de componentes principais, as quais contêm grande parcela da variação total das variáveis originais. Quando componentes principais são geradas, na verdade se obtêm combinações lineares das variáveis originais, ou seja, vetores matematicamente calculados após a construção de uma matriz de correlação, ou de covariância, composta pelas próprias variáveis originais (Cho et al., 2009). Inicialmente, determina-se a equação característica da matriz de correlação ou de covariância, pela expressão seguinte.

$$\det[\mathbf{R} - \lambda\mathbf{I}] = 0 \quad \text{ou} \quad |\mathbf{R} - \lambda\mathbf{I}| = 0$$

Onde,

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & r(x_1x_2) & r(x_1x_3) & \cdots & r(x_1x_p) \\ r(x_2x_1) & 1 & r(x_2x_3) & \cdots & r(x_2x_p) \\ r(x_3x_1) & r(x_3x_2) & 1 & \cdots & r(x_3x_p) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r(x_px_1) & r(x_px_2) & r(x_px_3) & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

As raízes da equação característica são chamados de Autovalores (λ), onde

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 \cdots, \lambda_p.$$

Para cada autovalor λ_i existe um autovetor (a), os quais são normalizados e, com isso, apresentam a soma dos quadrados dos coeficientes igual a 1. Além disso, são ortogonais entre si.

As componentes nada mais são do que vetores formados pela multiplicação das variáveis originais com os autovetores. A primeira componente principal gerada explica a maior proporção da variância total do banco de dados originais, enquanto que a segunda capturaria a maior proporção da variância total a qual não foi representada pela primeira, e assim por diante. Para um banco de dados de k variáveis, o número máximo de componentes extraídos seria k apesar de que, se houver uma alta correlação entre as variáveis, relativamente uma quantidade bem menor de componentes seria suficiente para representar a maior parcela de variância total (Cho et al., 2009).

A aplicação de componentes principais pode resultar na redução do número de subíndices de um determinado índice, caso haja correlação entre eles. A pouca ou nenhuma correlação entre as componentes é uma propriedade preciosa, já que variáveis

correlacionadas causa redundância e isso pode, por exemplo, reduzir a utilidade dos índices como uma ferramenta política. No presente trabalho, a análise estatística foi feita com o auxílio do Software R.

A geração dos pesos para compor os subíndices foi então feita a partir do método de agregação sugerido por Pérez-Foguet e Giné Garriga (2011), o qual implica que quanto maior for a proporção da variância expressada pela componente de certo autovetor, maior peso ele terá para compor a ponderação final (Equação 4).

$$P_i = a_1 \frac{\sqrt{\lambda_1}}{\sum_j \sqrt{\lambda_j}} + a_2 \frac{\sqrt{\lambda_2}}{\sum_j \sqrt{\lambda_j}} + \dots + a_j \frac{\sqrt{\lambda_j}}{\sum_j \sqrt{\lambda_j}} \quad (4)$$

Onde P_i é a ponderação final utilizada para o subíndice i , que varia de um a cinco; a_j são os autovetores, que varia de 1 a j ; λ_j são os autovalores, que varia de 1 a j ; e $\sum \sqrt{\lambda_j}$ é o somatório das raízes dos j autovalores, os quais prevaleceram após o critério utilizado.

Na agregação das componentes principais, utilizou-se somente aquelas que obtiveram raízes características da matriz de correlação, autovalores, superiores a 0,7. Este critério foi baseado no trabalho de Jolliffe (1973).

4.4. Análise dos índices na bacia do Rio Seridó

Muitos trabalhos fazem a comparação do índice com indicadores socioeconômicos, como o Índice de Desenvolvimento Humano - IDH (Lawrence et al., 2002; Cho et al., 2009). Porém, para o presente trabalho, o IDH não foi utilizado como indicador comparativo pois o índice gerado pela ACP obteve baixa contribuição do subíndice *Capacidade*, aquele ligado com as questões socioeconômicas. Foi feita a comparação do subíndice *Recurso* com o número de registros de estiagem e seca nos municípios do RN e da PB, e com os municípios que entraram em colapso no abastecimento, já que este subíndice é ligado à disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Determinação dos subíndices do WPI e atribuição dos seus pesos

Os valores dos subíndices gerados através da média aritmética das variáveis padronizadas são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: valores dos subíndices para os municípios da Bacia Seridó.

| | Municípios | Acesso | Capacidade | Uso | Ambiente | Recurso |
|----|-------------------------|---------------|-------------------|------------|-----------------|----------------|
| RN | Acari | 0,926 | 0,737 | 0,559 | 0,292 | 0,321 |
| RN | Caicó | 1,000 | 0,986 | 0,782 | 0,376 | 0,269 |
| RN | Carnaúba dos Dantas | 0,663 | 0,851 | 0,202 | 0,563 | 0,100 |
| RN | Cruzeta | 0,752 | 0,665 | 0,486 | 0,767 | 0,270 |
| RN | Currais Novos | 0,906 | 0,817 | 0,323 | 0,183 | 0,276 |
| RN | Equador | 0,627 | 0,377 | 0,063 | 0,543 | 0,000 |
| RN | Florânia | 0,769 | 0,507 | 0,217 | 0,482 | 0,374 |
| RN | Jardim do Seridó | 0,907 | 0,793 | 0,357 | 0,226 | 0,247 |
| RN | Lagoa Nova | 0,787 | 0,161 | 0,190 | 0,439 | 0,346 |
| RN | Parelhas | 0,873 | 0,755 | 0,203 | 0,518 | 0,108 |
| RN | Santana do Seridó | 0,518 | 0,720 | 0,106 | 0,184 | 0,106 |
| RN | São Fernando | 0,792 | 0,319 | 0,267 | 0,199 | 0,103 |
| RN | São João do Sabugi | 0,784 | 0,651 | 0,323 | 0,493 | 0,364 |
| RN | São Vicente | 0,981 | 0,350 | 0,260 | 0,604 | 0,407 |
| RN | Tenente Laurentino Cruz | 0,974 | 0,515 | 0,356 | 0,445 | 0,709 |
| RN | Timbaúba dos Batistas | 0,880 | 0,705 | 0,131 | 0,191 | 0,477 |
| PB | Cubati | 0,532 | 0,108 | 0,083 | 0,737 | 0,411 |
| PB | Frei Martinho | 0,695 | 0,429 | 0,083 | 0,400 | 0,183 |
| PB | Pedra Lavrada | 0,000 | 0,441 | 0,085 | 1,000 | 0,408 |
| PB | Picui | 0,516 | 0,443 | 0,106 | 0,328 | 0,182 |
| PB | Santa Luzia | 0,936 | 0,652 | 0,127 | 0,608 | 0,760 |
| PB | São José do Sabugi | 0,467 | 0,408 | 0,124 | 0,714 | 0,645 |
| PB | São Mamede | 0,690 | 0,394 | 0,185 | 0,926 | 0,709 |
| PB | Várzea | 0,618 | 0,629 | 0,033 | 0,782 | 0,594 |
| PB | Juazeirinho | 0,234 | 0,218 | 0,267 | 0,724 | 0,388 |

Avaliando a correlação entre as variáveis de cada subíndice, constatou-se que apenas em *Uso* obteve-se uma correlação negativa entre a variável *Uso doméstico* e as demais, *Uso para irrigação* e *Uso para pecuária*. Este fato pode ocorrer já que um maior consumo em determinado uso pode implicar em menor consumo nos demais.

As correlações entre os subíndices são apresentadas na tabela 4 e na figura 4. Observa-se que *Recurso* apresentou correlação negativa com *Capacidade* e *Uso*, sendo com *Uso* uma correlação muito pequena (-0,085), praticamente zero. *Ambiente* apresentou correlação negativa com todos os outros subíndices, com exceção de *Recurso*.

Tabela 4: Matriz de Correlação entre os subíndices.

| | Acesso | Capacidade | Uso | Ambiente | Recurso |
|------------|---------------|---------------|---------------|----------|---------|
| Acesso | 1,000 | | | | |
| Capacidade | 0,442 | 1,000 | | | |
| Uso | 0,505 | 0,492 | 1,000 | | |
| Ambiente | -0,537 | -0,382 | -0,263 | 1,000 | |
| Recurso | 0,042 | -0,166 | -0,085 | 0,454 | 1,000 |

A correlação negativa entre *Capacidade e Recurso* (-0,166) não era esperada, pois é coerente que uma maior disponibilidade de água represente uma melhoria na qualidade de vida do cidadão e, conseqüentemente, nos seus indicadores sociais. No entanto, pode estar relacionado com a amplitude de setores que as variáveis utilizadas em *Capacidade* são capazes de englobar, já que há envolvimento educacional e com questões sociais e econômicas. Portanto, os municípios podem ser desenvolvidos em um ou mais destes setores, mas apresentar pobreza hídrica.

Observa-se também que houve correlação negativa entre *Ambiente* e os outros subíndices, com exceção de *Recursos: Ambiente e Uso* (-0,263); *Ambiente e Acesso* (-0,537); e *Ambiente e Capacidade* (-0,382). Este fato pode ocorrer uma vez que uma região pode dispor de água com qualidade adequada e um ambiente equilibrado, porém a população pode não ter acesso àquele recurso e se privar do seu uso.

Os resultados dos subíndices *Recurso, Acesso, Capacidade, Uso e Ambiente*, e dos Registros de Seca e Estiagem, estão representados nas figuras de 4 a 9.

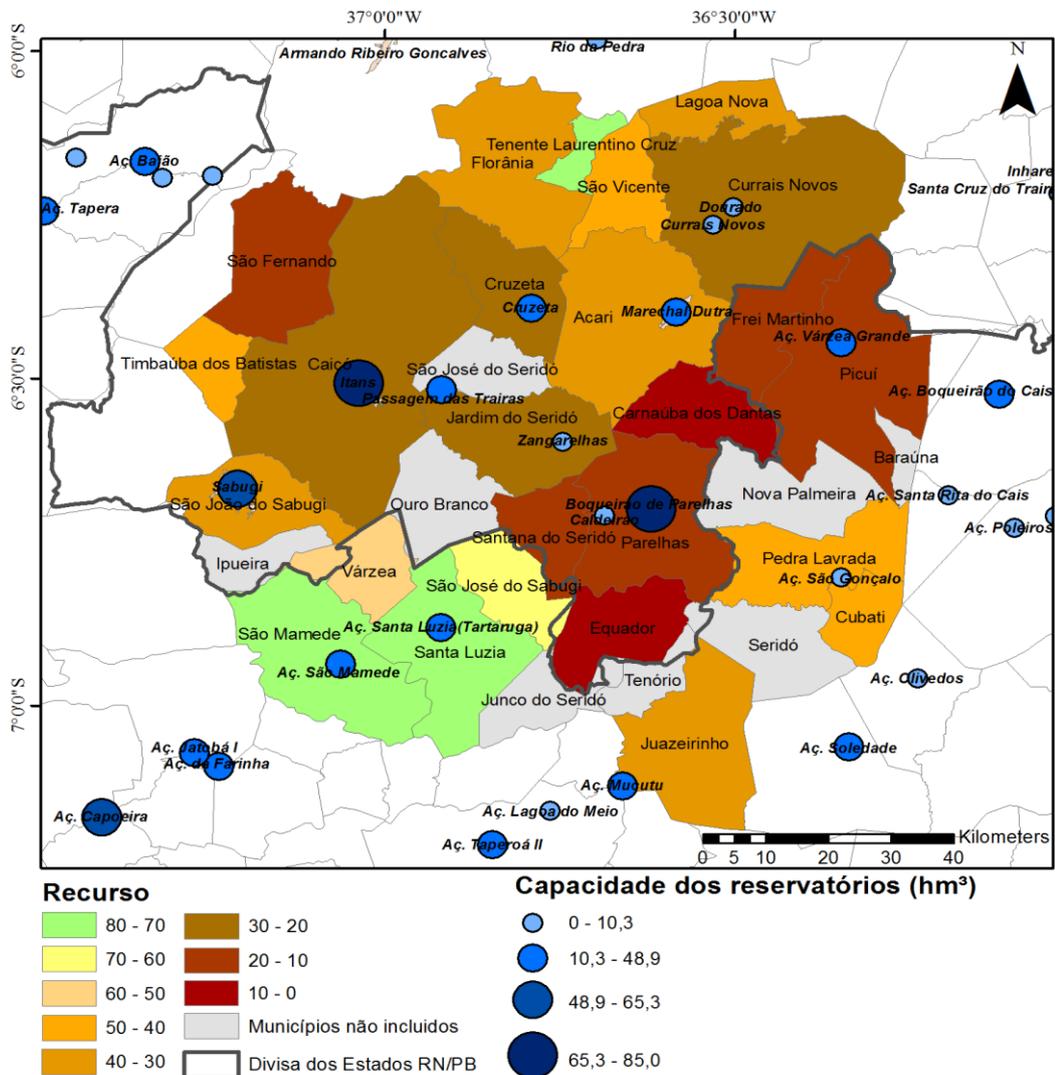


Figura 4. Mapa dos resultados do subíndice *Recurso*.

Os municípios que apresentaram melhores valores para o subíndice *Recurso* (São Mamede, Santa Luzia e Tenente Laurentino Cruz) também apresentam abastecimento de águas provenientes de outras bacias (APÊNDICE A). A disponibilidade hídrica da própria bacia do Rio Seridó, por outro lado, apresentou no geral baixos valores. É interessante observar que, mesmo municípios como Caicó e Parelhas que possuem reservatórios com capacidade de armazenamento superior a 48,9 milhões de m^3 em seus territórios, apresentam baixos valores do subíndice *Recurso*. Isto pode estar associado à sua densidade populacional, já que a variável *vazão regularizada* foi dividida pela população na composição do subíndice.

De acordo com a Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN), os municípios Carnaúba dos Dantas e Equador estão inclusos na lista de cidades em colapso no abastecimento de água, justamente aqueles que apontam os menores valores no aspecto *Recurso* (Equador com 0,0 e Carnaúba dos Dantas com 0,1).

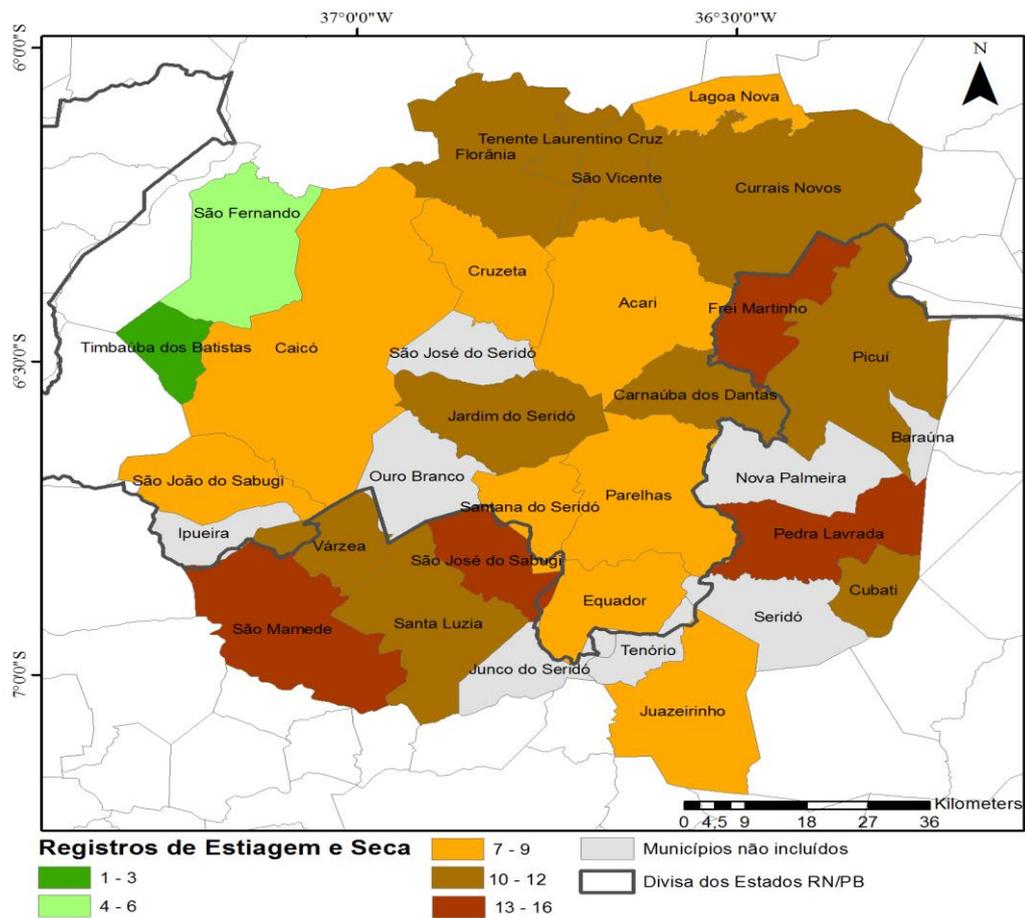


Figura 5. Mapa dos resultados de Registros de Estiagem e Seca.

Há uma relação direta entre o subíndice *Recurso* e os Registros de Estiagem e Seca, já que os desastres relativos aos fenômenos de estiagens e secas compõem o grupo de desastres naturais relacionados à intensa redução das precipitações hídricas (CEPED UFSC, 2011). Porém, comparando os valores do subíndice *Recurso* com os registros de Estiagem e Seca, verifica-se que existe pouca correlação (Figuras 4 e 5). Alguns municípios como São Mamede, Santa Luzia e São José do Sabugi, apresentaram muitos registros de estiagem e seca, e no entanto, valores elevados do subíndice *Recurso*. Isto se deve, possivelmente, pela presença de reservatórios nestas cidades, além de abastecimento com águas provenientes de outras bacias, o que faz com que baixos registros de precipitação não se traduzam necessariamente em baixa disponibilidade de água. Além de que, os valores impostos a desastres naturais muitas vezes estão associados a questões políticas.

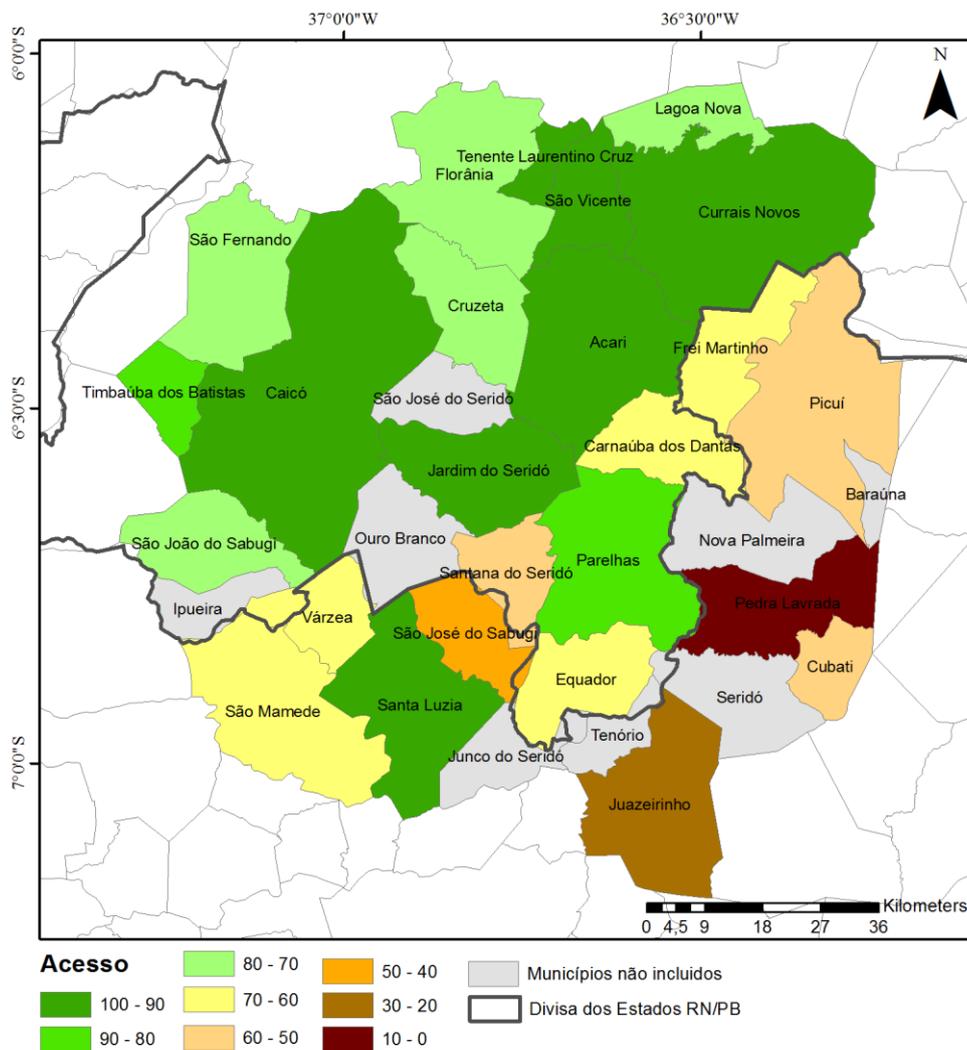


Figura 6. Mapa dos resultados do subíndice Acesso.

Em Acesso, o município Pedra Lavrada divergiu muito dos outros municípios apresentando-se na menor faixa. Porém, como os valores foram padronizados, o menor deles apresenta-se com zero quando na verdade ele pode não estar em uma situação tão inferior dos demais. No caso de Pedra Lavrada, o seu valor de *% de domicílios com acesso à água tratada* foi de 44%, enquanto que os demais oscilam em torno de 70% a 90%. Os municípios estudados no Estado do Rio Grande do Norte encontram-se com melhores faixas de valores para o subíndice Acesso do que aqueles estudados no Estado da Paraíba.

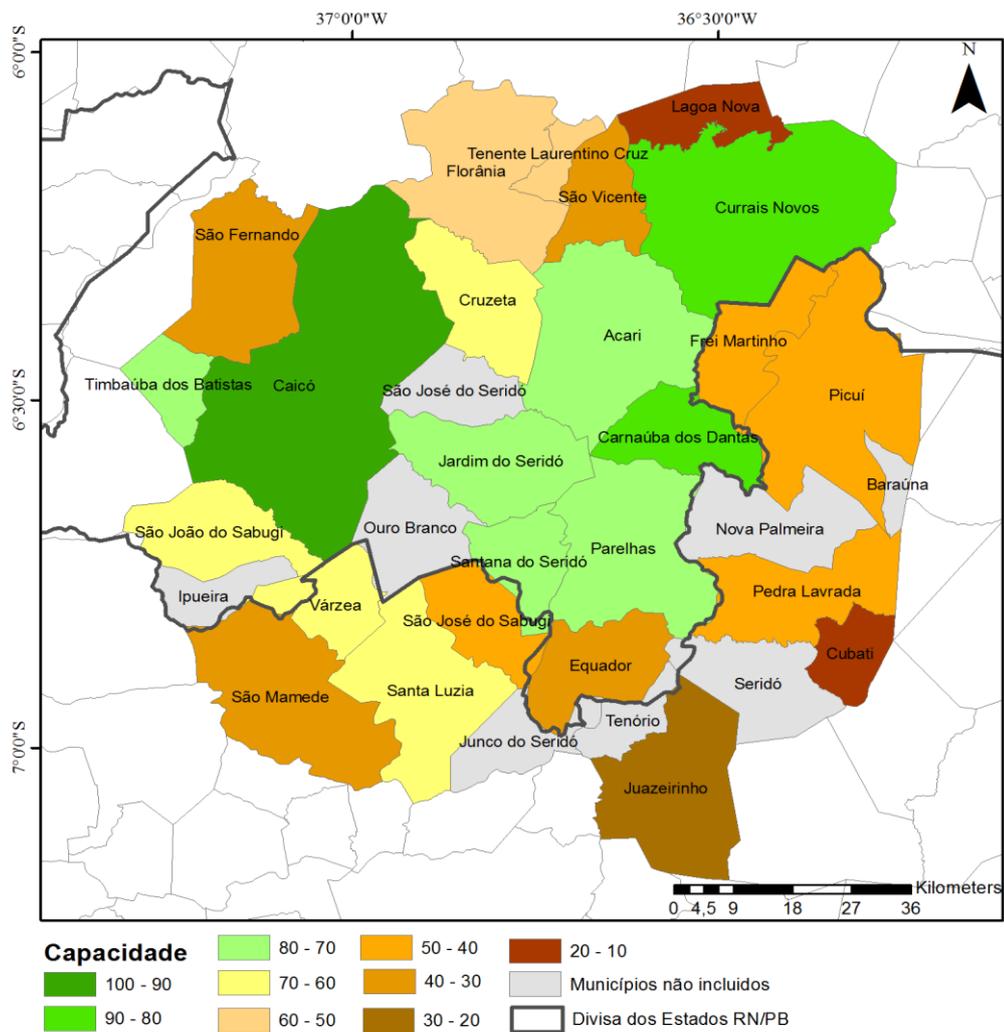


Figura 7. Mapa dos resultados do subíndice *Capacidade*.

O subíndice *Capacidade* está diretamente associado ao desenvolvimento socioeconômico da região, portanto, era esperado que municípios como Caicó e Currais Novos, por serem municípios polos do Estado, apresentassem os maiores valores para o subíndice. Os municípios que apresentaram os menores valores foram Cubati na Paraíba e Lagoa Nova no Rio Grande do Norte.

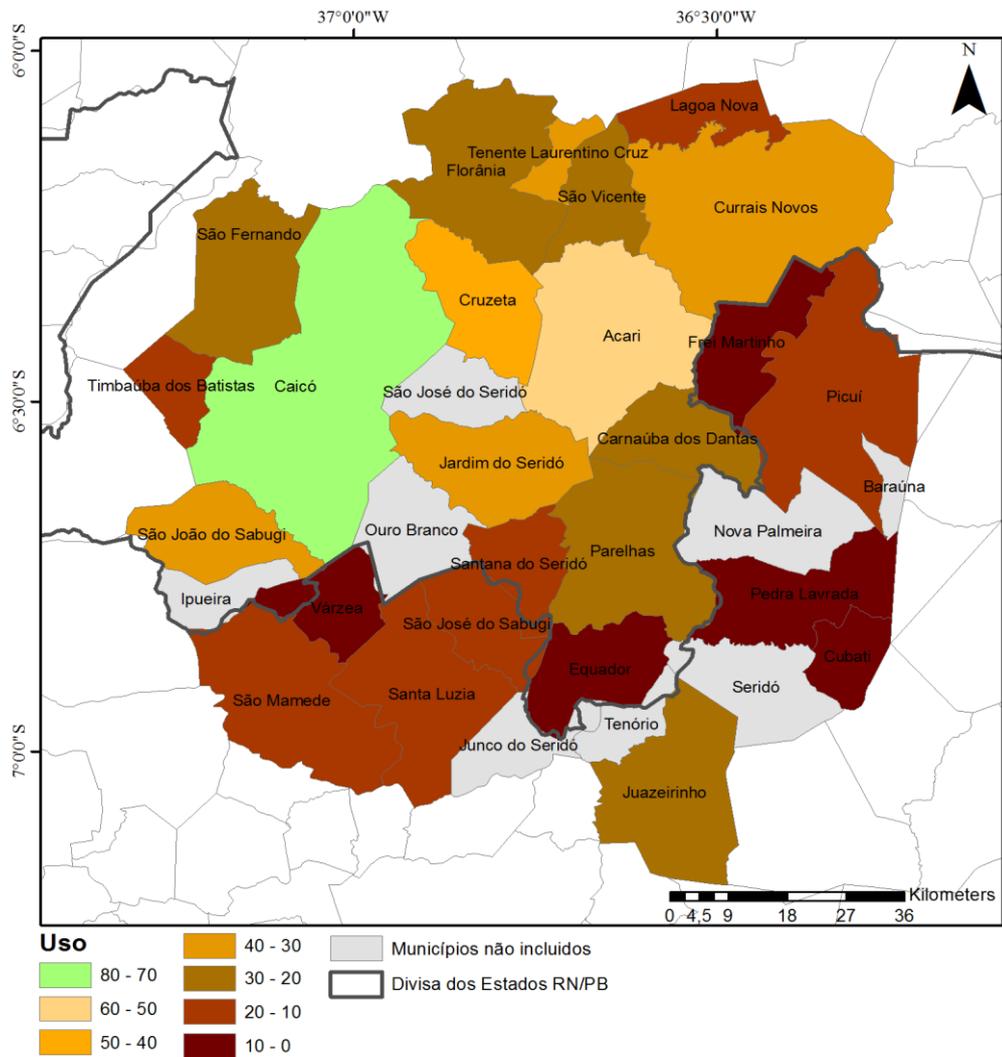


Figura 8. Mapa dos resultados do subíndice *Uso*.

Os valores encontrados em *Uso* no geral foram muito baixos, provavelmente, pelo fato de que, por exemplo, um alto consumo doméstico implica em um baixo consumo de pecuária/irrigação, ou vice-versa. Nesse sentido, os valores dos usos se compensaram entre eles e foram apontados como baixos.

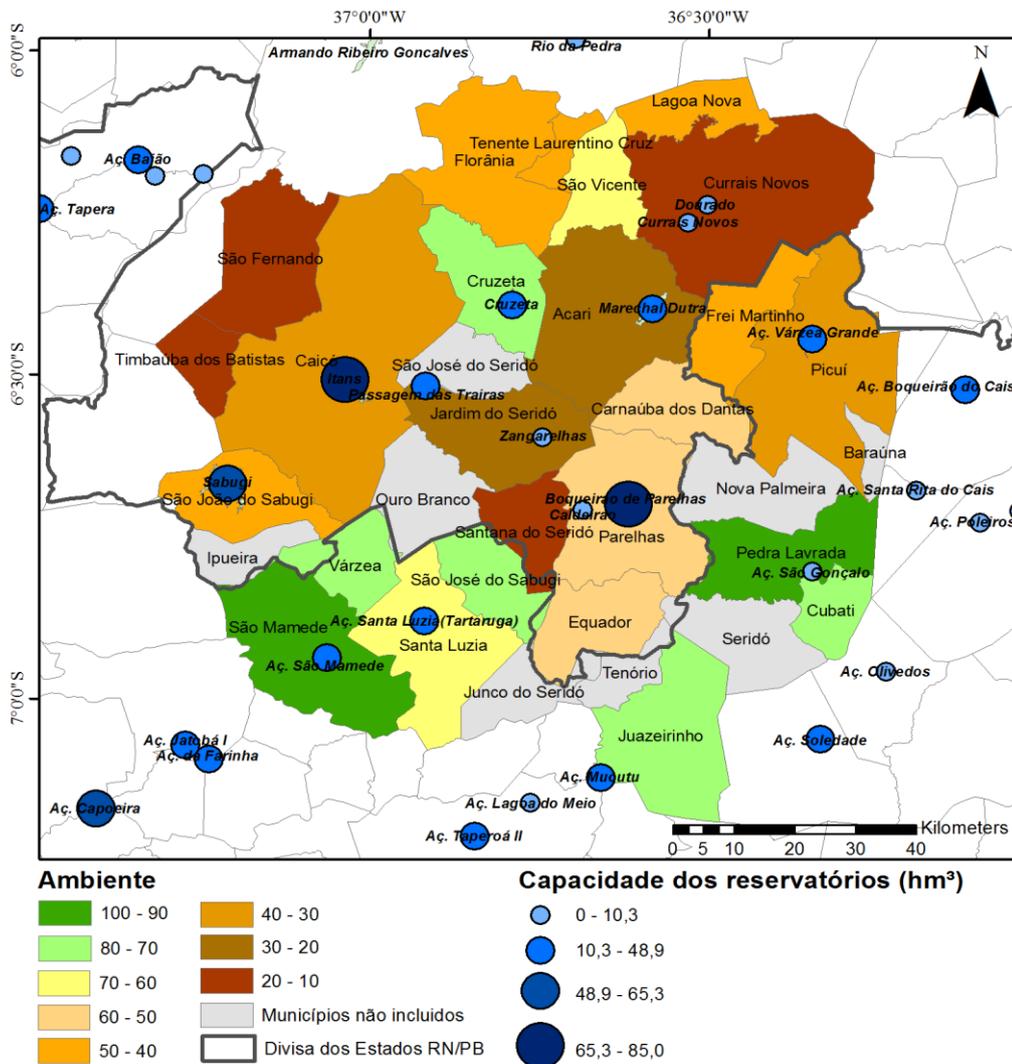


Figura 9. Mapa dos resultados do subíndice *Ambiente*.

Em *Ambiente*, os municípios do Estado da Paraíba apontaram os melhores resultados. Nesse caso, Pedra Lavrada, Cubati e Juazeirinho são abastecidos pelo mesmo reservatório (Boqueirão de Cabaceiras) enquanto que São Mamede, Várzea, Santa Luzia e São José do Sabugi são abastecidos por um conjunto de reservatórios onde quase todos se coincidem (APÊNDICE A). É visto que municípios desenvolvidos como Caicó e Currais Novos registraram pequenos valores em *Ambiente*, consequência de que quanto mais uma população se desenvolve, mais são utilizados os recursos naturais e maior o acesso a eles, com isso, maior a degradação do ambiente que a circunda.

Contextualizando, é perceptível que os municípios como Caicó, Currais Novos, Acari e Jardim do Seridó apontaram um bom desenvolvimento socioeconômico e bons valores em *Acesso*, mas todos com baixos valores em *Recurso* e em *Ambiente*. Isto indica que eles apresentam capacidade de gerir o recurso hídrico e até infraestrutura para isso, mas os aspectos quali-quantitativos impedem que tenham uma boa situação hídrica.

5.2. Análise de Componentes Principais

Ao aplicar a Análise de Componentes Principais (ACP) para atribuição dos pesos aos subíndices, a primeira componente principal gerada (CP1), ou seja, aquela que capta a maior informação e que mais retrata o fenômeno por apresentar a maior variabilidade dos dados originais, apresentou 47,81% da variância total. Enquanto que a segunda componente principal gerada (CP2) captou 23,34% e a terceira (CP3) captou 13,89%, somando em 85,04% da variância total. As duas restantes, CP4 e CP5, apresentaram 10,12% e 4,84%, respectivamente.

Baseando-se no critério de Jolliffe (1973), foi feita a seleção dos autovalores com valor superior à 0,7 para seleção das componentes principais. A sequência de valores encontradas foi: $\lambda_1 = 2,4$; $\lambda_2 = 1,2$; $\lambda_3 = 0,7$; $\lambda_4 = 0,5$; e $\lambda_5 = 0,2$. Permanece, portanto, as três primeiras componentes principais (Tabela 5).

Tabela 5: ponderadores de CP1, CP2 e CP3.

| Subíndices | CP1 | CP2 | CP3 |
|------------|--------|-------|--------|
| Acesso | 0,505 | 0,313 | -0,509 |
| Capacidade | 0,486 | 0,127 | 0,448 |
| Uso | 0,462 | 0,323 | 0,463 |
| Ambiente | -0,491 | 0,374 | 0,492 |
| Recurso | -0,232 | 0,801 | -0,289 |

Dessa maneira, utilizando-se a Equação 4, pôde-se encontrar os valores dos ponderados finais para cada subíndice.

Fazendo a inversão de sinais e reescalando os pesos para que o somatório resulte em 1, o índice WPI' terá a seguinte composição (Equação 5):

$$WPI' = 0,074 * R + 0,185 * A + 0,333 * C + 0,389 * U + 0,019 * E \quad (5)$$

Onde R é o valor do subíndice *Recurso*; A é o valor do subíndice *Acesso*; C é o valor do subíndice *Capacidade*; U é o valor do subíndice *Uso*; e E é o valor do subíndice *Ambiente*.

Sabendo que a construção do WPI original é feita atribuindo pesos iguais para os subíndices, 0,2 para cada, foi feita uma comparação com o WPI' (Tabela 6).

Tabela 6: valores do WPI' (em ordem decrescente) e do WPI por média simples, para os municípios da Bacia do Rio Seridó.

| Estado | Município | WPI' | WPI |
|--------|-------------------------|------|------|
| RN | Caicó | 84,5 | 68,3 |
| RN | Acari | 66,3 | 56,7 |
| RN | Jardim do Seridó | 59,4 | 50,6 |
| RN | Currais Novos | 59,0 | 50,1 |
| RN | Cruzeta | 58,4 | 58,8 |
| RN | Tenente Laurentino Cruz | 55,1 | 60,0 |
| RN | São João do Sabugi | 52,4 | 52,3 |
| RN | Parelhas | 51,0 | 49,2 |
| PB | Santa Luzia | 50,8 | 61,7 |
| RN | Carnaúba dos Dantas | 50,3 | 47,6 |
| RN | Timbaúba dos Batistas | 48,8 | 47,7 |
| RN | São Vicente | 44,1 | 52,0 |
| RN | Florânia | 43,2 | 47,0 |
| PB | São Mamede | 40,1 | 58,1 |
| PB | Várzea | 39,6 | 53,2 |
| RN | Santana do Seridó | 38,8 | 32,7 |
| RN | São Fernando | 36,8 | 33,6 |
| PB | São José do Sabugi | 33,2 | 47,2 |
| PB | Frei Martinho | 32,5 | 35,8 |
| RN | Lagoa Nova | 30,7 | 38,5 |
| PB | Picuí | 30,4 | 31,2 |
| RN | Equador | 27,6 | 32,2 |
| PB | Juazeirinho | 26,2 | 36,6 |

| | | | |
|----|---------------|------|------|
| PB | Pedra Lavrada | 22,9 | 38,7 |
| PB | Cubati | 21,1 | 37,4 |

Os resultados de WPI' e WPI, estão representados nas figuras 10 e 11.

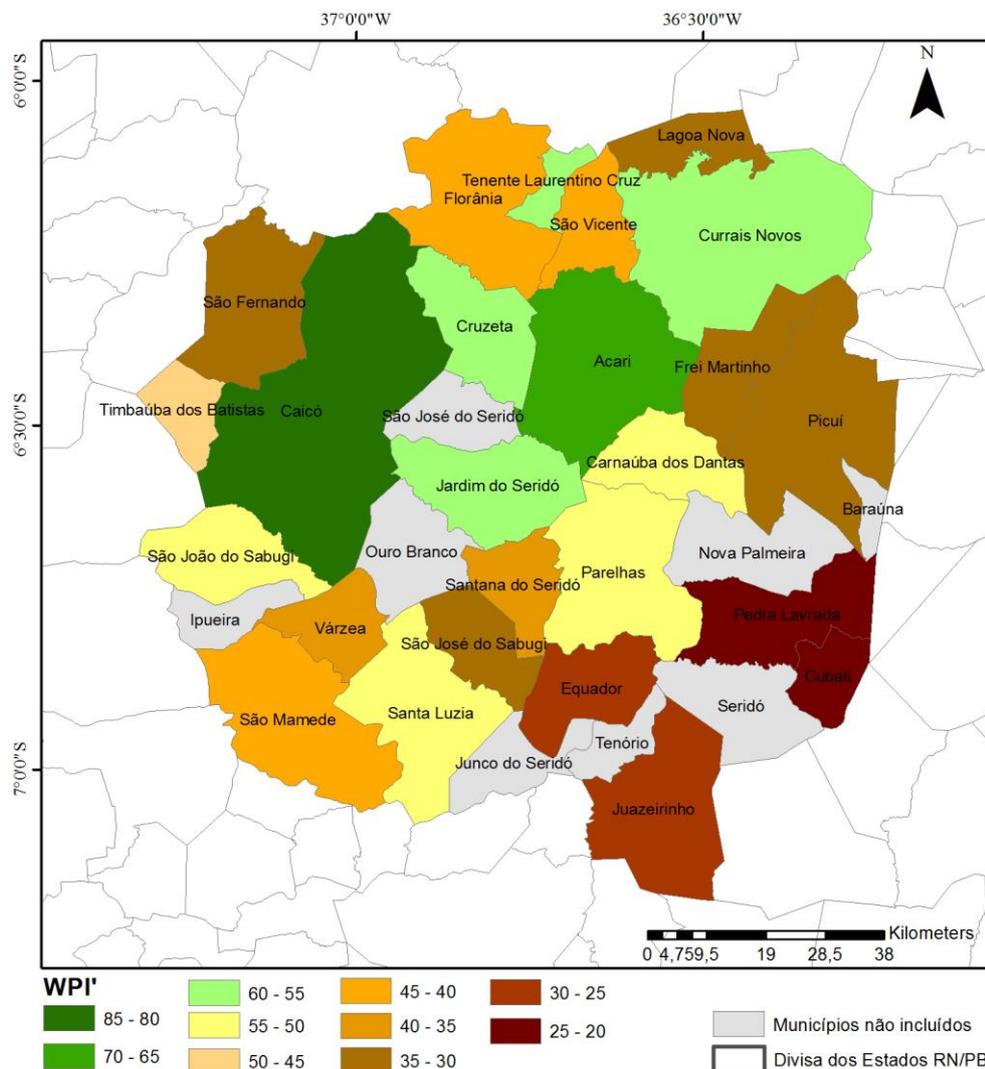


Figura 10. Mapa dos resultados de WPI'.

O WPI' recebe influência principalmente dos subíndices *Uso*, *Capacidade e Acesso*, que representam mais de 90 % do valor do índice. A cidade de Caicó, que apresentou o maior valor em WPI', também indicou boas condições nesses subíndices. Por outro lado, percebe-se a fraca influência dos subíndices *Recurso e Ambiente* já que São Mamede e Santa Luzia apontaram bons valores neles mas não tiveram resultados positivos no WPI'. Pedra Lavrada e Cubati encontram-se na pior faixa de valores pois já vinham apontando baixas condições nos subíndices, com exceção de *Ambiente*.

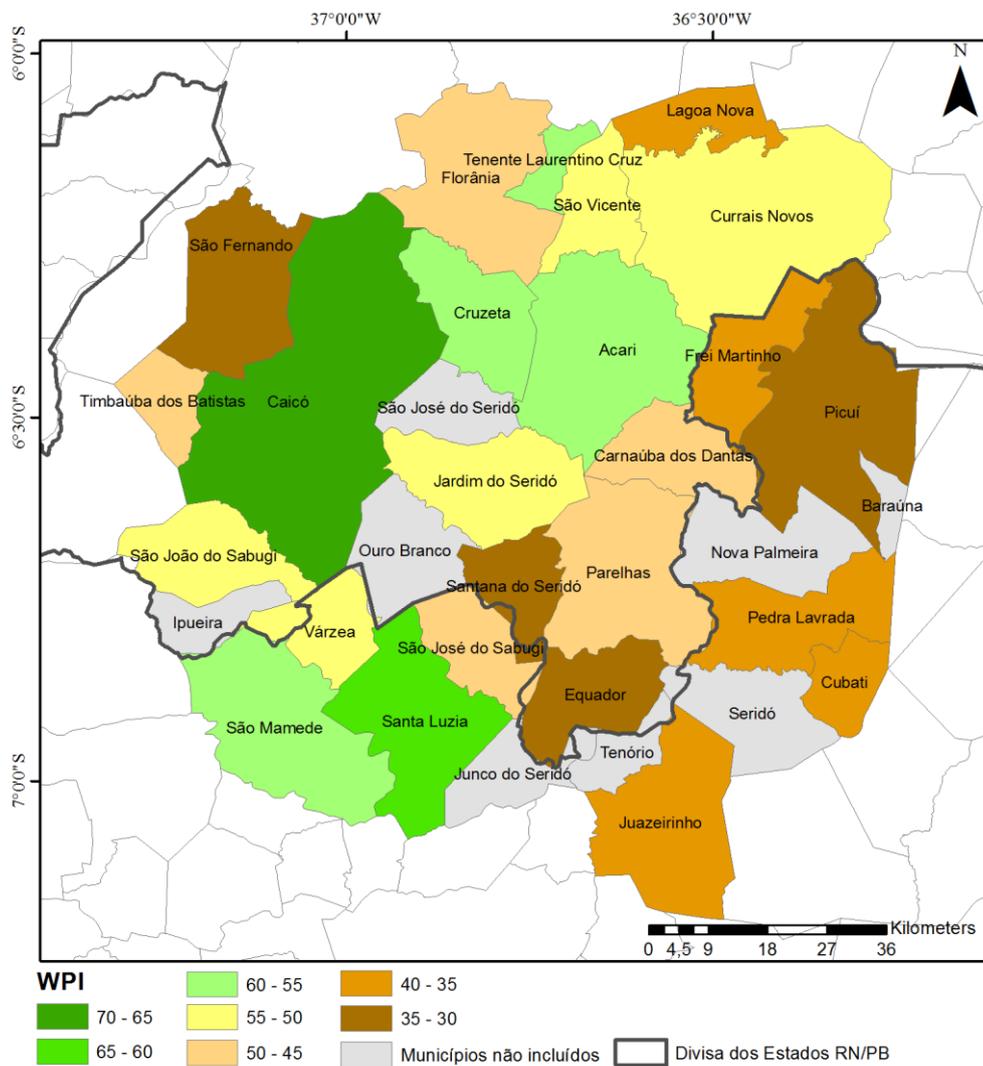


Figura 11. Mapa dos resultados de WPI por média simples.

Comparando os resultados de WPI' e WPI, percebe-se que as faixas de valores encontradas para os municípios foram mais abrangentes para o caso do WPI', indicando que se for atribuído peso para os subíndices por ACP, os valores finais dos índices demonstram uma amplitude maior entre os municípios.

6. CONCLUSÕES

O uso da Análise de Componentes Principais na atribuição dos pesos do Índice de Pobreza Hídrica permitiu identificar que os sub-índices *Uso*, *Capacidade e Acesso* são os mais representativos para a bacia hidrográfica do Rio Seridó.

O WPI, obtido pela metodologia de Análise de Componentes Principais, apresentou as faixas de valores mais abrangentes, permitindo identificar mais facilmente as disparidades entre os municípios.

A avaliação dos subíndices na área de estudo permitiram captar informações que muitas vezes não foram evidenciadas pelo valor global do Índice, apresentando grande potencial de informar ao tomador de decisão na gestão dos recursos hídricos, as localidades mais críticas e que merecem maiores investimentos nos aspectos analisados.

7. REFERÊNCIAS

- ABRANTES, P. C. M. 2011. *Avaliação do desenvolvimento sustentável na bacia hidrográfica do Rio Seridó em face das políticas públicas e da gestão dos recursos hídricos*. 2011. 415 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Departamento de Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.
- ALEXANDER, K.S.; MOGLIA, M.; MILLER, C. 2010. *Water needs assessment: learning to deal with scale, subjectivity and high stakes*. J Hydrol 388:251–257.
- VARELLA, C. A. A. 2008. *Análise Multivariada Aplicada as Ciências Agrárias*. Programa de Pós-graduação em Agronomia. Seropédica, Rio de Janeiro.
- CEPED UFSC, 2011. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Rio Grande do Norte/Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis.
- CEPED UFSC, 2011. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: volume Paraíba/Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Florianópolis.
- Censo Agropecuário, 2006. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. Disponível em: <www.ibge.com.br>. Acesso em: Agosto, 2014.
- Censo Demográfico, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. Disponível em: <www.ibge.com.br>. Acesso em: Agosto, 2014.
- CHO, D. I.; OGWANG, T; OPIO, C. 2009. *Simplifying the Water Poverty Index*. Social Indicators Research, v. 97, p.257-267, 27 jun.
- COSTA, I.A.S.; CUNHA, S.R.S.; PANOSSO, R.; ARAÚJO, M.F.F.; MELO, J.L.S.; ESKINAZI-SANT'ANN. 2009. *Dinâmica de cianobactérias em reservatórios eutróficos do semiárido do Rio Grande do Norte*. Oecologia Brasiliensis, 13 (2): 382-401.
- Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, 2013. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, SNIS. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em Dezembro, 2014.
- FEITELSON, E.; CHENOWETH, J. 2002. *Water poverty: towards a meaningful indicator*. Water Policy 4:263–281.

- GINE, R.; FOGUET, P. 2009. *Enhancing sector data management to target the water poor, water sanitation and hygiene: sustainable development and multisectoral approaches*, 34th WEDC International Conference, Addis Ababa, Ethiopia.
- JIMÉNEZ, A.; MOLINERO, J.; PÉREZ-FOGUET, A. 2009. *Monitoring water poverty: a vision from development practitioners*. In: Llamas MR, Martinez-Cortina L and Mukherji A (eds) *Water ethics*. Marcelino Botin Water Forum 2007, pp 151–170.
- JEMMALI, H.; MATOUSSI, M. S. 2011. *A multidimensional analysis of water poverty at local scale: application of improved Water Poverty Index for Tunisia*. Corruption and Economic Development Erf 18th Annual Conference, Cairo, Egypt.
- JOLLIFFEE, I. T. 1973. *Discarding Variables in a Principal Component Analysis II: Real Data*. *Applied Statistics*, 22, 21-31.
- KOMNENIC, V.; AHLERS, R.; ZAAG, P.V.D. 2008. *Assessing the usefulness of the water poverty index by applying it to a special case: Can one be water poor with high levels of access?* *Physics And Chemistry Of The Earth, Banja Luka, Bosnia And Herzegovina*, v. 34, p.219-224, 29 mar.
- LAWRENCE, P; MEIGH, J.; SULLIVAN, C. 2002. *The Water Poverty Index: an International Comparison*, Keele Economics Research Papers, Keele University, Keele, Staffordshire, UK peagent, Out.
- LISA, G. 2014. *The Water Poverty Index in rural Cambodia and Viet Nam: A holistic snapshot to improve water management planning*. *Natural Resources Forum* 38, 203–219.
- MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. 2007. *Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidade e Perspectivas para o Brasil a Partir da Experiência Francesa*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda, 686 p.
- MANANDHAR, S.; PANDEY, V.P.; KAZAMA, F. 2011. *Application of Water Poverty Index (WPI) in Nepalese Context: A Case Study of Kali Gandaki River Basin (KGRB)*. *Water Resources Management, Japão*, v. 26, p.89-107, 30 set.
- MARTINEZ-ALIER J.; MUNDA G.; O’Neill J. 1998. *Weak comparability of values as a foundation for ecological economics*. *Ecol Econ* 26(3):277–286.
- Meteorologia: chuvas. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA. Disponível em: < www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: Dezembro, 2014.

MLOTE, S.D.M.; SULLIVAN, C.; MEIGH, J. 2002. *Water Poverty Index: a tool for integrated water management*. 3rd WaterNet/Warfsa Symposium “Water Demand Management for Sustainable Development”, Dar es Salaam, p.30-31, Out.

PÉREZ-FOGUET, A.; GARRIGA, R.G. 2011. *Analyzing Water Poverty in Basins*. *Water Resources Management, Espanha*, v. 25, p.3595-3612, 22 jul.

Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. Disponível em: <www.ibge.com.br>. Acesso em: Agosto, 2014.

Portal G1. Inter TV Cabugi, Atualizado em 04/02/2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2015/02/no-rn-sobe-para-nove-lista-de-cidades-em-colapso-no-abastecimento.html>> Acesso em: Maio, 2015.

R: software livre. Versão i386 3.1.1. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>.

Relatórios: Águas Superficiais e Balneabilidade, 2013. Programa Água Azul. Disponível em: <www.programaaguaazul.rn.gov.br>. Acesso em: Janeiro, 2015.

RIJSBERMAN, F. 2003. *Can development of water resources reduce poverty?* *Water Policy*, v. 5, p.399-412.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, H.; ROMEIRO, A. 2007. *Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países*. *Ambiente & Sociedade, Campinas* v. X, n. 2, p. 137-148 jul.-dez.

Sistema de Informações: Fichas técnicas, 2013. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos hídricos, SEMARH. Disponível em: <www.semarh.rn.gov.br>. Acesso em: Junho, 2014.

SULLIVAN, C. 2002. *Calculating a Water Poverty Index*. *World Development*, v. 30, p.1195-1210.

SULLIVAN, C.A.; MEIGH, JR. 2003. *Considering the Water Poverty Index in the context of poverty alleviation*. *Water Policy* 5:513–528.

SULLIVAN, C.; MEIGH, J. 2006. *Application of the Water Poverty Index at different scales: A cautionary tale*. *Water International* 31(3):412–426.

SULLIVAN, C.A.; MEIGH, J. 2007. *Integration of the biophysical and social sciences using an indicator approach: addressing water problems at different scales*. *Water Resource Management* 21:111–128.

TY, T.V.; SUNADA, K.; ICHIKAWA, Y.; OISHI, S. 2010. *Evaluation of the state of water resources using modified water poverty index: a case study in the Srepok river basin, Vietnam—Cambodia*. *Int J River Basin Manag* 8 (3–4):305–317.

ZHANG, Q.; LIU, B.; ZHANG, W.; JIN, G.; LI, Z. 2014. *Assessing the regional spatio-temporal pattern of water stress: A case study in Zhangye City of China*. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1474-7065, Elsevier.

APÊNDICE

APÊNDICE A: Açudes que abastecem os municípios da área de estudo.

| Município | Açude(s) que o abastece | Município | Açude(s) que o abastece |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------|---|
| Acari | Marechal Dutra | São Vicente | *Armando Ribeiro Gonçalves |
| Caicó | Itans e *Rio Piranhas | Tenente Laurentino Cruz | *Armando Ribeiro Gonçalves |
| Carnaúba dos Dantas | Monte Alegre | Timbaúba dos Batistas | *Rio Piranhas |
| Cruzeta | Cruzeta | Cubati | *Boqueirão de Cabaceiras |
| Currais Novos | Marechal Dutra e Dourado | Frei Martinho | Várzea Grande |
| Equador | Mamão | Pedra Lavrada | *Boqueirão de Cabaceiras |
| Florânia | *Armando Ribeiro Gonçalves | Picuí | Várzea Grande |
| Jardim do Seridó | Passagem das Traíras e Zangalheiras | Santa Luzia | São Mamede, *Coremas/Mãe D'água, *Capoeira, *Eng ^a Arcoverde, Santa Luzia |
| Lagoa Nova | *Armando Ribeiro Gonçalves | São José do Sabugi | São Mamede, *Coremas/Mãe D'água, *Farinha, *Capoeira, *Eng ^a Arcoverde, *Jatobá, Santa Luzia |
| Parelhas | Boqueirão de Parelhas | São Mamede | *Coremas/Mãe D'água, São Mamede, *Farinha, *Capoeira, *Eng ^a Arcoverde, Santa Luzia |

| | | | |
|--------------------|------------------------------|-------------|---|
| Santana do Seridó | Caldeirão de Parelhas | Várzea | São Mamede, *Coremas/Mãe D'água, *Capoeira, *Jatobá, *Eng ^a Arcoverde, *Farinha, Santa Luzia |
| São Fernando | São Fernando e *Rio Piranhas | Juazeirinho | *Boqueirão de Cabaceiras |
| São João do Sabugi | Sabugi | | |

***Pertencentes a bacias circunvizinhas**