Risco de desabastecimento Hídrico no Rio Grande do Norte:

Análise e avaliação do risco como mecanismo para a redução de desastres.

FAPERN

Edições UERN

YURI MARQUES MACEDO • ANDERSON GEOVÁ MAIA DE BRITO • ADRIANO LIMA TROLEIS

Risco de desabastecimento Hídrico no Rio Grande do Norte:

Análise e avaliação do risco como mecanismo para a redução de desastres.

YURI MARQUES MACEDO
ANDERSON GEOVÁ MAIA DE BRITO
ADRIANO LIMA TROLEIS

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Reitora
Cicília Raquel Maia Leite

Vice-Reitor
Francisco Dantas de Medeiros Neto

Diretora de Sistema Integrado de Bibliotecas
Jocelânia Marinho Maia de Oliveira

Chefe da Editora Universitária – EDUERN
Francisco Fabiano de Freitas Mendes

Conselho Editorial das Edições UERN
José Elesbão de Almeida
Isabela Pinheiro Cavalcanti Lima
Kalidia Felipe de Lima Costa
Regina Célia Pereira Marques
Maria José Costa Fernandes
José Cezinaldo Rocha Bessa

Diagramação
Isabelly Thayanne de Sousa Silva

Catalogação da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

Risco de desabastecimento hídrico no Rio Grande do Norte [recurso eletrônico]: análise e avaliação do risco como mecanismo para a redução de desastres. / Yuri Marques Macedo, Anderson Geová Maia de Brito e Adriano Lima Troleis – Mossoró, RN: Edições UERN, 2022.

100 p.

ISBN: 978-85-7621-361-1.

1. Geografia – recursos hidrícos. 2. Desabastecimento Hídrico - Rio Grande do Norte. I. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. II. Macedo, Yuri Marques III. Título.

UERN/BC CDD 333.91

Bibliotecário: Jocelania Marinho Maia de Oliveira CRB 15 / 319

Editora Filiada à:

Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

Meus amigos
e minhas amigas

O Programa de Divulgação e Popularização da Produção Científica, Tecnológica e de Inovação para o Desenvolvimento Social e Econômico do Rio Grande do Norte, pelo qual foi possível a edição de todas essas publicações digitais, faz parte de uma plêiade de ações que a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN), em parceria, nesse caso, com a Fundação Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (FUERN), vem realizando a partir do nosso Governo.

Sempre é bom lembrar que o investimento em ciência auxilia e enriquece o desenvolvimento de qualquer Estado e de qualquer país. Sempre é bom lembrar ainda que inovação e pesquisa científica e tecnológica são, na realidade, bens públicos que têm apoio legal, uma vez que estão garantidos nos artigos 218 e 219 da nossa Constituição.

Por essa razão, desde que assumimos o Governo do Rio Grande do Norte, não medimos esforços para garantir o funcionamento da FAPERN. Para tanto, tomamos uma série de medidas que tornaram possível oferecer reais condições de trabalho. Inclusive, atendendo a uma necessidade real da instituição, viabilizamos e solicitamos servidores de diversos outros órgãos para compor a equipe técnica.

Uma vez composto o capital humano, chegara o momento também de pensar no capital de investimentos. Portanto, é a primeira vez que a FAPERN, desde sua criação, em 2003, tem, de fato, autonomia financeira. E isso está ocorrendo agora

por meio da disponibilização de recursos do PROEDI, gerenciados pelo FUNDET, que garantem apoio ao desenvolvimento da ciência, tecnologia e inovação (CTI) em todo o território do Rio Grande do Norte.

Acreditando que o fortalecimento da pesquisa científica é totalmente perpassado pelo bom relacionamento com as Instituições de Ensino Superior (IES), restabelecemos o diálogo com as quatro IES públicas do nosso Estado: UERN, UFRN, UFERSA e IFRN. Além disso, estimulamos que diversos órgãos do Governo fizessem e façam convênios com a FAPERN, de forma a favorecer o desenvolvimento social e econômico a partir da Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI) no Rio Grande do Norte.

Por fim, esta publicação que chega até o leitor faz parte de uma série de medidas que se coadunam com o pensamento – e ações – de que os investimentos em educação, ciência e tecnologia são investimentos que geram frutos e constroem um presente, além, claro, de contribuírem para alicerçar um futuro mais justo e mais inclusivo para todos e todas!

Boa leitura e bons aprendizados!

Fátima Bezerra

Governadora do
Rio Grande do Norte.

Parceria pelo Desenvolvimento Científico do RN

A Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte (FAPERN) e a Fundação Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (FUERN) sentem-se honradas pela parceria firmada em prol do desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação. A publicação deste livro eletrônico (e-book) é fruto do esforço conjunto das duas instituições, que, em setembro de 2020, assinaram o Convênio 05/2020–FAPERN/FUERN, que, dentre seus objetivos, prevê a publicação de quase 200 e-books. Uma ação estratégica como fomento de divulgação científica e de popularização da ciência.

Esse convênio também contempla a tradução de sites de Programas de Pós-Graduação (PPGs) das Instituições de Ensino Superior do Estado para outros idiomas, apoio a periódicos científicos e outras ações para divulgação, popularização e internacionalização do conhecimento científico produzido no Rio Grande do Norte. Ao final, a FAPERN terá investido R$ 100.000,00 (cem mil reais) oriundos do Fundo Estadual de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDET), captados via Programa de Estímulo ao Desenvolvimento Industrial do Rio Grande do Norte (PROEDI), programa aprovado em dezembro de 2019 pela Assembleia Legislativa na forma da Lei 10.640, sancionada pela governadora, professora Fátima Bezerra.

Na publicação dos e-books, estudantes de cursos de graduação da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) são responsáveis pelo planejamento visual e diagramação das obras. A seleção dos bolsistas ficou a cargo da Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE/UERN).

Foram 41 obras submetidas em sete (07) editais, 38 delas serão lançadas. Os editais abrangeram diferentes temáticas assim distribuídas: no Edital 17/2020 - FAPERN, os autores/organizadores puderam inscrever as obras resultantes de suas pesquisas de mestrado e doutorado defendidas junto aos PPGs de todas as Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTIs) do Rio Grande Norte, bem como coletâneas que foram resultados de trabalhos dos grupos de pesquisa nelas sediados.

No Edital nº 18/2021 - FAPERN, realizou-se a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Turismo para o desenvolvimento do Rio Grande do Norte”. No Edital nº 19/2021 - FAPERN, foi inscrita a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Educação para a cidadania e para o desenvolvimento do Rio Grande do Norte: relatos de ações exitosas”. No Edital nº 20/2021 - FAPERN, foi realizada a chamada para a publicação de e-books sobre o tema «Saúde Pública, desenvolvimento social e cidadania no Rio Grande do Norte: relatos de ações exitosas”. O Edital nº 21/2021 - FAPERN trouxe a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Segurança pública, desenvolvimento social e cidadania no Rio Grande do Norte: relatos de ações exitosas”. O Edital nº 22/2021 - FAPERN apresentou a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Pesquisas sobre o Bicentenário da Independência do Brasil (1822-2022): desdobramentos para o desenvolvimento social e/ou econômico do RN”. O Edital nº 23/2021 – FAPERN realizou a chamada para a publicação de e-books sobre o tema “Pesquisas sobre o Centenário da Semana de Arte Moderna (1992-2022) desdobramentos para o desenvolvimento social e/ou econômico do RN”.

Com essa parceria, a FAPERN e a FUERN unem esforços para o desenvolvimento do Estado do Rio Grande do Norte, acreditando na força da pesquisa científica, tecnológica e de inovação que emana das instituições potiguares, reforçando a compreensão de que o conhecimento é transformador da realidade social.

Agradecemos a cada autor(a) que dedicou seu esforço na concretização das publicações e a cada leitor(a) que nelas tem a oportunidade de ampliar seu conhecimento, objetivo final do compartilhamento de estudos e pesquisas.

Maria Lúcia Pessoa Sampaio Maria Leite

Diretora-Presidente da FAPERN

Cecília Raquel

Presidente da FUERN

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimentos especiais ao PPGE/UFRN – Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, na figura do professor Dr. Adriano Lima Troleis, por todo apoio e orientações sempre pertinentes ao longo desta pesquisa. Também à Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação (PROPI) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), pela vinculação desta pesquisa em nível de doutoramento no quadro de projetos de pesquisa da instituição, através do Edital nº 09/2018 (3ª chamada) - PROPI/RE/IFRN. Agradecemos também aos revisores da Editora Edições-UERN (Universidade do Estado do Rio Grade do Norte) pelos comentários muito pertinentes para melhoria do trabalho.

APRESENTAÇÃO

Os estudos de risco e vulnerabilidade aos desastres, popularmente conhecidos como desastres naturais, são uma importante ferramenta para melhoria da qualidade de vida, diminuindo perdas materiais/financeiras e de vidas humanas na sociedade. Consistem na avaliação e análise do risco, o qual é visto como uma probabilidade de ocorrência de um desastre. O desabastecimento hídrico é entendido aqui como um desastre, que consiste no colapso total ou parcial do abastecimento hídrico urbano municipal pela rede geral da concessionária estadual responsável pelo abastecimento hídrico em 153 dos 167 municípios do Estado, portanto pode ser considerado um desastre, principalmente pelo prejuízo material ou físico que promove[1].

Atualmente, especificamente na área de estudo desta pesquisa, o estado brasileiro do Rio Grande do Norte (RN), não há registros perdas humanas (mortes) diretamente ligadas ao desabastecimento hídrico, porém muitos danos financeiros à população e instituições, nos três níveis da administração pública. Neste contexto, o RN foi escolhido, como área de estudo, por apresentar, historicamente, problemas relacionados à escassez e/ou colapso de abastecimento hídrico.

Este livro traz o resultado de uma pesquisa geográfica, em nível de doutoramento, a qual teve como objeto a análise do risco de desabastecimento hídrico urbano do Rio Grande do Norte, utilizando os municípios abastecidos pela concessionária estadual de abastecimento hídrico como unidade elementar de análise. O objetivo principal deste trabalho foi analisar o risco de desabastecimento hídrico urbano municipal do Estado, a partir dos resultados do Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico (IRDH).

Em função da última grande seca hidrológica, entre 2012 e o primeiro trimestre de 2019, o Governo estadual renovou por 12 vezes o decreto de emergência que abrange 152 dos seus 167 municípios (91%). Relacionado a isso, em março de 2017, 23 municípios no Estado foram identificados em situação de colapso hídrico pela concessionária estadual de abastecimento de água. Porém, a problemática dos desastres, mesmo sendo muito influenciada, não tem relação apenas à dinâmica natural, afinal, como afirma Pelling (2014), os "desastres são consequências da soma de falhas no desenvolvimento de uma sociedade", portanto, os estudos visando a avaliação e mitigação do risco de desastre são importantes ferramentas na gestão deste problema pela sociedade.

É nesta perspectiva que a pesquisa apresentada neste livro se estruturou, numa análise de indicadores de risco de desabastecimento hídrico, inerentes à vulnerabilidade do ambiente

1 O Desastre é o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. Os desastres são quantificados em função dos danos e prejuízos em termos de intensidade, enquanto os eventos adversos são quantificados em termos de magnitude (CASTRO; MOURA; CALHEIROS, 2007).

natural e artificial (infraestrutura) que compõe o problema do colapso do abastecimento hídrico no Estado.

Visando atender ao objetivo principal da pesquisa é que foram organizados os capítulos deste livro. Portanto, no primeiro capítulo tem-se uma pesquisa bibliográfica que mostra a história do sistema de abastecimento hídrico do Brasil e do RN, como um processo de uso dos recursos hídricos, desde a captação, tratamento e distribuição.

No segundo capítulo, tem-se a caracterização físico-natural e socioeconômica do Estado, mostrando como os condicionantes naturais e socioeconômicos contribuem para a configuração do risco de desabastecimento hídrico no RN.

No terceiro capítulo, há a definição conceitual e metodológica da pesquisa, com os conceitos e categorias de análise que a embasaram, assim como o detalhamento dos procedimentos metodológicos e elementos que compõem a análise do Índice de Risco de Desabastecimento (IRDH). Deste modo, foi apresentada a proposta do IRDH, em sua base teórica e metodológica, assim como demonstrada a importância das variáveis e sua ponderação dentro do sistema de abastecimento hídrico do RN.

No quarto capítulo, por fim, foram apresentados os resultados do cálculo do IRDH, ou seja, a quantificação e análise do risco de desabastecimento hídrico do Estado, divididas em duas partes: a primeira observada a partir dos recortes regionais do Estado, classificados seguindo a regionalização do abastecimento hídrico da Companhia de Águas e Esgotos do RN (CAERN) - concessionária de abastecimento hídrico estadual; e a segunda em escala estadual, com uma visão macro do Estado, propondo medidas mitigadoras e alternativas para o abastecimento hídrico.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 12

CAPÍTULO 1

PANORAMA HISTÓRICO: DA SECA NO SEMIÁRIDO À CONSTITUIÇÃO DAS RESERVAS HÍDRICAS DO ESTADO 14

CAPÍTULO 2

CONFIGURAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DO RIO GRANDE DO NORTE 24

2.1 Clima e Hidrografia 24
2.2 Geologia e Geomorfologia 29
2.3 Solo e Vegetação 33
2.4 Síntese socioeconômica do Estado 36

CAPÍTULO 3

UM DESASTRE SOCIOAMBIENTAL: A CONSTRUÇÃO TEÓRICA-METODOLÓGICA DO RISCO DE DESABASTECIMENTO HÍDRICO 42

CAPÍTULO 4

RISCO DE DESABASTECIMENTO HÍDRICO NO RIO GRANDE DO NORTE 53

4.1 Região Oeste 53
4.2 Região Agreste 57
4.3 Mato Grande 60
4.4 Sertão Central 64
4.5 Região Seridó 67
4.5 Região Alto Oeste 70
4.6 Região de Natal 76
4.7 Índice de Risco Desabastecimento Hídrico no Rio Grande do Norte 77

POSFÁCIO 96
REFERÊNCIAS 97
SOBRE OS AUTORES 101

INTRODUÇÃO

Os autores

A água, além de essencial à vida, sempre foi fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade pois, além de ser um insumo necessário para a agropecuária e a indústria, possibilita a sedentarização da população, próxima à corpos hídricos. E desde os primórdios a ocupação humana dependia da proximidade de mananciais, a princípio superficiais, com disponibilidade por todo o ano (perenes), como ocorreu com as civilizações Mesopotâmica, entre os Rios Tigre e Eufrates, e Egípcia às margens do Rio Nilo, na Idade Antiga.

Nesse contexto, ao longo da história, a maioria das sociedades se desenvolveu em territórios próximos a cursos d'água, utilizando-se desse recurso em suas atividades, com níveis tecnológicos cada vez mais avançados, na captação, distribuição e irrigação. Estes avanços incidiram diretamente na maior produtividade da relação do homem com o abastecimento hídrico, como as cidades estabelecidas na Idade Média (Séc. V a XV) a exemplo de Paris (Rio Sena), Viena (Rio Danúbio), Londres (Rio Tâmisa), Lisboa (Rio Tejo), assim como São Paulo (Rios Tietê e Pinheiros) e Recife (Rios Capibaribe e Beberibe), na Idade Moderna (Séc. XV até o final do séc. XVIII), cidades brasileiras.

A irrigação influenciou não somente o meio rural, mas também contribuiu para o desenvolvimento de tecnologias para abastecimento dos primeiros aglomerados populacionais, que deram origem ao fenômeno urbano moderno, evoluindo com o tempo, em consonância com o desenvolvimento populacional e tecnológico da humanidade. A construção de reservatórios elevados, abastecendo templos e jardins por meio de canais movidos por gravidade, foi um exemplo do início do abastecimento hídrico urbano ainda nas civilizações antigas, tema abordado no segundo capítulo deste livro.

Nesse cenário, os elementos técnicos do abastecimento hídrico urbano evoluíram junto com o aparato tecnológico de cada sociedade, no Rio Grande do Norte (RN), Região Nordeste do Brasil, não foi diferente. O Estado tem características ambientais de clima semiárido em maior parte do seu território. Nesta região climática, o regime pluviométrico varia de 7 a 8 meses secos por ano (estiagem), podendo chegar até 10 meses, com média pluviométrica em torno de 600 mm/ano (DINIZ; PEREIRA, 2015). Característica esta que fez com que o Estado tivesse a necessidade de uma densa infraestrutura técnica para promover o abastecimento hídrico urbano municipal de suas cidades, sobretudo no interior do Estado.

O RN teve, em seus registros históricos, perdas econômicas e materiais relacionadas a recorrência de períodos de estiagem prolongada, popularmente chamados de seca, um problema sempre considerado como fator limitante ou prejudicial para o desenvolvimento socioeconômico, principalmente na região de clima semiárido do Estado. No passado, até meados do Séc. XX, também houve registros de perdas humanas derivadas da seca, relacionadas à falta de infraestrutura hídrica e de assistência social à população de baixa renda habitante da zona

rural no semiárido potiguar e brasileiro. Portanto, por causa deste contexto ambiental, histórico, social e econômico, o desabastecimento hídrico pode ser considerado um desastre.

Este tipo de fenômeno climático, portanto com gênese natural, pode ter seus efeitos potencializados pelas escolhas da sociedade por formas de produção econômica mais consumptivas de água como, por exemplo, a fruticultura irrigada ou festas no interior semiárido em períodos de seca prolongada, além do desperdício de água doméstica e industrial. Essas formas de uso hídrico aumentam a pressão (demanda) pelos escassos recursos hídricos, gerando conflitos sociais e político-institucionais.

Por esse cenário, o semiárido em toda sua extensão, principalmente localizado na região administrativa nordeste do Brasil, sofreu desde o Século XIX, intervenções federais e estaduais através de políticas públicas com mega obras hidráulicas a fim de se amenizar o drama da seca, suscitando na criação de órgãos como o Departamento Nacional de Obras Contas as Secas (DNOCS) e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), que aqui serão discutidos.

Em um período de seis anos, entre 2012 e 2017, o RN passou pela maior estiagem prolongada que se tem registro na história, segundo a quantidade de anos de chuvas abaixo da média anual normal. É necessário pontuar que o nível de desenvolvimento tecnológico atual, a quantidade de pessoas e investimentos contribuem para os registros de maiores perdas de rebanhos e prejuízos de colheita no Estado, salvo a região litorânea leste, a qual não passou pelo problema da seca de maneira tão significativa.

Nesse contexto, o trabalho apresentado neste livro teve como principal propósito avaliar o risco de desabastecimento hídrico no Rio Grande do Norte (RN) a partir do Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico (IRDH) gerado pelo sistema de indicadores socioambientais. Essa pesquisa foi estruturada pela hipótese de que a relação entre fatores históricos, ambientais, infraestruturais, socioeconômicos e de planejamento estatal, materializados no espaço, produz territórios de risco de desabastecimento hídrico no RN.

O livro foi estruturado em 4 capítulos, consistindo numa análise completa do risco de desabastecimento hídrico do Estado, desde a caracterização histórica e ambiental do RN, passando pela construção conceitual e metodológica da pesquisa, assim como os resultados organizados por regiões separadamente e no território estadual como um todo.

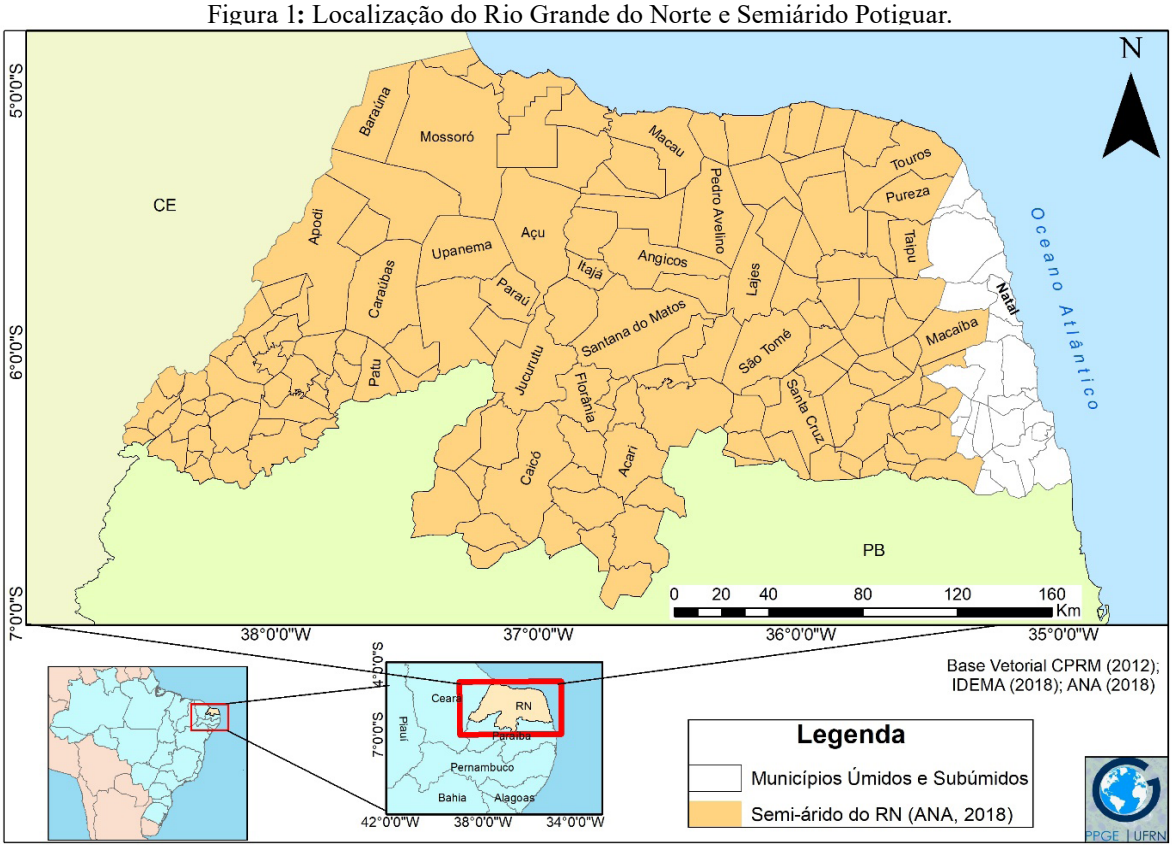
Por fim, esperamos que este livro, fruto de uma pesquisa científica de quatro anos, possa contribuir com a gestão pública dos recursos hídricos do Estado do Rio Grande do Norte e forneça novos caminhos e alternativas para a convivência com o semiárido.

CAPÍTULO 1:

PANORAMA HISTÓRICO: DA SECA NO SEMIÁRIDO À CONSTITUIÇÃO DAS RESERVAS HÍDRICAS DO ESTADO

O Estado do Rio Grande do Norte (figura 1) localiza-se, em sua maior parte, na região climática do semiárido brasileiro (SAB), a qual é caracterizada por ser a região semiárida mais povoada do planeta e pela ocorrência de estiagem prolongada, popularmente conhecida como "Seca", que é um fenômeno climático natural, sazonal, também considerado como um desastre do tipo "gradual ou de evolução crônica" (BRASIL, 1999), afetando a população ao longo da história, que aprendeu e estruturou ações de convivência e resistência com o fenômeno.

Figura 1: Localização do Rio Grande do Norte e Semiárido Potiguar.



Fonte: elaboração dos autores.

No semiárido potiguar, o clima varia de 4 a 6 meses secos, podendo chegar de 9 a 10 meses do ano, no considerado semiárido rigoroso (DINIZ; PEREIRA, 2015), o que é um padrão climático normal para essa região, com a ausência de chuvas ou abaixo da média normal para o período de "inverno" sertanejo (quadra chuvosa) e irregularidade espacial de distribuição da precipitação. Associada a essa baixa pluviosidade ou irregularidade, tem-se as maiores taxas de insolação e temperaturas médias do Brasil, quadro climático este que potencializa os níveis de evapotranspiração, contribuindo para o prejuízo nos mananciais (perdas do potencial de exploração hídrica), sobretudo os superficiais.

A relação da sociedade local com a seca no semiárido sempre foi, de maneira geral, conflituosa, naturalista e despreocupada com o planejamento para os anos de escassez e racionamento hídrico, conforme visto na leitura da obra de Guerra e Guerra (1909). A falta de preparação/prevenção sempre fez parte da problemática da seca na região pois, nos períodos de inverno normal, não são realizadas ações de infraestrutura e políticas públicas eficientes para diminuir o risco de desabastecimento hídrico, fazendo com que os períodos de seca registrados até meados do Séc. XX, fossem marcados por intensas migrações do campo para as cidades, mortalidade de pessoas ao longo das estradas, mortalidade de rebanhos, fome e sede nas vilas e povoados rurais da região semiárida brasileira.

No que se refere à cronologia da seca no semiárido, os primeiros registros datam dos séculos XVI, relacionados ao adensamento populacional da região. No final do séc. XVII, cresciam os conflitos provocados pela penetração de animais em plantações de cana-de-açúcar que, no momento, era o principal produto da colônia portuguesa. Por essa razão, a Coroa portuguesa, pela Carta Régia de 1701, proibiu a criação de animais numa faixa de 10 léguas da costa, protegendo os interesses dos senhores de engenho. Esse decreto adensou a população do interior do Estado a partir das atividades agropecuárias, resultando na formação de vilas e cidades, as quais aumentaram a demanda por abastecimento hídrico ampliando os efeitos dos períodos de seca prolongada, conforme relatos:

> Antes do adensamento da ocupação humana no interior da região, que começou em meados do século XVI, não havia grandes problemas, porque o ecossistema predominante, a Caatinga, era adaptado ao clima e suas variações periódicas. Somente nos casos de secas extremas, as antigas e esparsas populações indígenas eram atingidas e migravam em direção ao litoral, conforme informam cronistas dos primeiros anos da colonização portuguesa. Contudo, depois que os colonizadores penetraram o sertão e começaram a modificar a paisagem, com o estabelecimento de fazendas e com desmatamentos para a criação de gado e para a produção de alimentos, aumentou muito a vulnerabilidade às secas. (BRASIL, 2016, p. 22).

E assim como no período Colonial, notou-se uma repetição sazonal das grandes secas no Império, que dentre os eventos registrados até o início do século XIX, o maior, em termos de prejuízos econômicos, humanos e animais, ocorreu de 1877 a 1879 e foi o mais devastador fenômeno de seca da história do Brasil, sendo chamado de a “Grande Seca”. Após ela, o Império na época, cujo chefe de Estado era D. Pedro II, preparou uma série de medidas voltadas à convivência com e mitigação da seca, principalmente pesquisas de mananciais subterrâneos envolvendo os profissionais equivalentes hoje a engenheiros civis e geólogos.

Os desastres relacionados à seca persistiram da Proclamação da República em diante e, mesmo sem o conhecimento científico sobre o clima na região, os intelectuais do início do Séc. XX, já traziam o conhecimento sobre padrões climáticos com escala temporal de aproximadamente 100 anos nas maiores secas e 10 anos para secas menores, registrando um período de maior tempo sem seca, entre 1845 e 1874 (GUERRA; GUERRA, 1909).

Naquela época, início do Século XX, o cenário artístico e cultural estava influenciado pelo modernismo – movimento cultural brasileiro que retrata o realismo dos problemas sociais com tons de romance e drama em suas obras – a identidade com o Nordeste e o cenário da seca no SAB foi objeto de diversas obras, seja nas artes musicais, plásticas e cênicas, ou na literatura.

Na literatura modernista, destaca-se o livro de Rachel de Queiroz "O Quinze", que possui como tema central a seca de 1915 e os campos de concentração de refugiados, sendo sucedido por outras obras expoentes, como o poema dramático "*Morte e Vida Severina*", do poeta pernambucano João Cabral de Melo Neto, escrito entre 1954 e 1955; o livro "*Vidas Secas",* do escritor brasileiro Graciliano Ramos, publicado em 1938, que vendeu 10 milhões de cópias e foi traduzido para 3 idiomas; o livro "*Grande Sertão: Veredas"* de João Guimarães Rosa, publicado em 1956; e "*Os Sertões",* de Euclides da Cunha, fruto do chamado Pré-modernismo, publicado em 1902, período de transição para o modernismo.

Nas artes visuais, o também modernista Cândido Portinari, pintor brasileiro de maior destaque internacional, retratou uma família de retirantes na obra *Os Retirantes*. O quadro faz parte de uma série composta por mais duas obras: *Criança morta e Enterro na Rede*. A figura 2 mostra essas três obras, de alto valor para as artes do Brasil, ilustrando o drama dos retirantes, migrantes da seca, assim como a morte de pessoas e o drama geral da seca no SAB.

Figura 2: Os Retirantes (1944) (A) e Criança Morta (1944) (B).

(A)

(B)

Fonte: Acervo do Projeto Portinari (sítio na internet). Acesso em 12 fev. 2019.

E como consequência pela recorrência de eventos desastrosos relacionados a seca no semiárido, foram implementadas obras, ações e políticas públicas que visaram melhorar a infraestrutura e a funcionalidade do abastecimento hídrico. No RN, Natal possui a mais antiga estrutura complexa de abastecimento hídrico urbano do Estado (CASCUDO, 1999) e é a cidade onde há mais registros históricos. Centros regionais do interior do Estado, como Pau dos Ferros e Caicó, no período anterior ao início do Séc. XX, possuíam pequenos sistemas de abastecimento com predominância de canais de escoamento e irrigação, assim como também rios, açudes,

lagoas, poços e cacimbas de bombeio manual (SILVA, 2012) que são utilizados até hoje para abastecimento hídrico urbano e rural no interior do Estado.

A açudagem é ainda a principal forma de abastecimento hídrico, sobretudo na região semiárida. O primeiro açude (ou grande açude) que se tem conhecimento no Rio Grande do Norte é o açude Recreio, em Caicó, barramento do Riacho Samanaú, primeira fonte significativa de abastecimento do município concluído em 1842, durante o Império (SILVA, 2012). Nesse período, os açudes eram propriedade particular ou frutos de convênio com o governo central imperial até 1889, construídos com tração animal e meios rudimentares (figura 3).

Figura 3: Imagem ilustrativa do trabalho cotidiano de sertanejos em meio à construção de pequenos Açudes particulares, ainda sem o auxílio do DNOCS, primeira metade do Séc. XX.

Fonte: Percy Lau, cortesia do Conselho Nacional de Geografia (CNG), reproduzida por Faria (1980).

No séc. XX, na Primeira República, a partir da criação da Inspetoria de Obras Contra a Seca (IOCS) e depois do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), houve a importação de técnicas europeias e americanas de açudagem e perfuração de poços com máquinas modernas (SILVA, 2012), ampliando reservatórios já existentes e construindo novos.

Silva (2012) relembra que, nesse período, tem-se a eclosão dos investimentos em construções de grandes açudes, melhorando a convivência com o semiárido no Nordeste do Brasil e, especificamente, no Rio Grande do Norte. Na época, essas obras eram grandiosas, demandavam grande contingente de mão-de-obra, com máquinas perfuratrizes modernas, explosivos e guindastes importados por empresas estrangeiras que eram responsáveis pelas obras (figura 4).

Figura 4: Obras da Barragem Gargalheiras em 1922. Nas fotos, o canteiro de obras (A) e o guindaste destinado ao transporte de blocos de granito para o represamento do rio Acauã (B).

(A) (B)

Fonte: Fotografias de autoria de Rostand Medeiros, reproduzidas por Lisboa (2015). Disponível em: < https://tokdehistoria.com.br/tag/miguel-arrojado-ribeiro-lisboa/>. Acesso em 13 mai. 2022.

Dos açudes construídos pelo DNOCS que também têm a finalidade de abastecimento hídrico urbano, na região do Seridó potiguar, pode-se destacar os açudes Itans, em Caicó, e Gargalheiras em Acari, o qual abastece este município e Currais Novos. Já na região do Alto Oeste potiguar, destacam-se o açude de Pau dos Ferros, que abastece a maior parte da população do Alto Oeste, o açude Lucrécia, no município homônimo, e o açude Apanha Peixe, em Caraúbas (Tabela 1).

Tabela 1 - Lista de açudes públicos construídos pelo DNOCS no Rio Grande do Norte até a década de 1980 por data de inauguração.

Açude	Município	Inauguração	Capacidade Máxima (m³)
Mundo Novo	Caicó	1915	3.600.000,00
Cruzeta	Cruzeta	1929	29.760.000,00
Totoró	Currais Novos	1933	3.941.000,00
Lucrécia	Lucrécia	1934	24.754.573,60
Itans	Caicó	1936	81.750.000,00
Inharé	Santa Cruz	1937	17.600.000,00
Bonito II	São Miguel	1955	10.865.000,00
Zangalheiras	Jardim do Seridó	1957	7.916.000,00
Gargalheiras	Acari	1959	40.000.000,00
Apanha Peixe	Caraúbas	1963	10.000.000,00
Pau dos Ferros	Pau dos Ferros	1967	54.846.000,00
Caldeirão de Parelhas	Parelhas	1967	9.320.657,03

Fonte: SEMARH (2018); SILVA (2012).

Entretanto, as secas continuaram a assolar o semiárido na primeira metade do século XX mesmo após a "febre" das grandes obras, com críticas feitas pela imprensa e por intelectuais da época a respeito do desvio de recursos, superfaturamento das obras e questionamentos sobre a produtividade dos investimentos (GUERRA; GUERRA, 1909), ao que viria ser denominado

de “Indústria da Seca”, e em contrapartida a isto, em 1959, Juscelino Kubitschek (JK) cria a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

Com a criação da SUDENE, JK procurou através do planejamento e ordenamento territorial, promover o desenvolvimento socioeconômico do Nordeste, com a ampliação de investimentos em pesquisas, irrigação, açúdes menores, poços e adutoras, indo além das funções de “combate” a seca do DNOCS, o que revoltou parcelas das elites e oligarquias políticas nordestinas, uma vez que isso significava o fim da indústria da seca.

Desse período em diante, principalmente nos anos de 1980, ocorreram obras pontuais para corrigir problemas regionais de abastecimento, com açudes de grande porte associados a sistemas adutores, destacando-se a barragem Armando Ribeiro Gonçalves em 1983, em Itajá, com capacidade para 2,4 bilhões de m³; a barragem Passagem das Traíras, construída pela Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos (SERHID), em São José do Seridó, com capacidade para 49.702.393,65 m³ e a barragem de Santa Cruz do Apodi, em 2002, com capacidade para 599.712.000,00 m³, viabilizando a irrigação de alta produtividade agrícola, além do abastecimento hídrico urbano de 26 municípios e 65 comunidades rurais, beneficiando uma população de 207.707 habitantes, inclusive Pau dos Ferros, por meio de adutora do Alto Oeste.

Nesse contexto, a instalação de adutoras foi uma política pública fundamental para a convivência com o semiárido, transpondo bacias hidrográficas e integrando sistemas de abastecimento hídrico, fornecendo uma infraestrutura de abastecimento no RN e demais estados do Nordeste. Essas obras foram possíveis com base em investimentos do Governo Federal, a partir de estudos e diagnósticos da SUDENE e do DNOCS, além de recursos estaduais e municipais. A cronologia das grandes adutoras, seus pontos de captação e período de governo estadual podem ser vistos no Quadro 01.

Quadro 01: Cronologia de implantação das principais adutoras do Rio Grande do Norte

Adutora	Início da Operação	Captação	governador
Sistema Adutor de Pedro Velho/Nova Cruz	1976	Rio Piquirí, Pedro Velho	Tarcísio Maia (1975 – 79)
Sistema Adutor Integrado de Pendências	1979	Rio Açú, Pendências	
Sistema Adutor Espírito Santo	1981	Riacho das Pedras, em Goianinha, e Barragem do Salto, Riacho da Una e Riacho do Timbó, em Espírito Santo	Lavoisier Maia (1979 – 83)
Sistema Adutor João Câmara	1982	Manancial Subterrâneo Aflorante, Pureza	

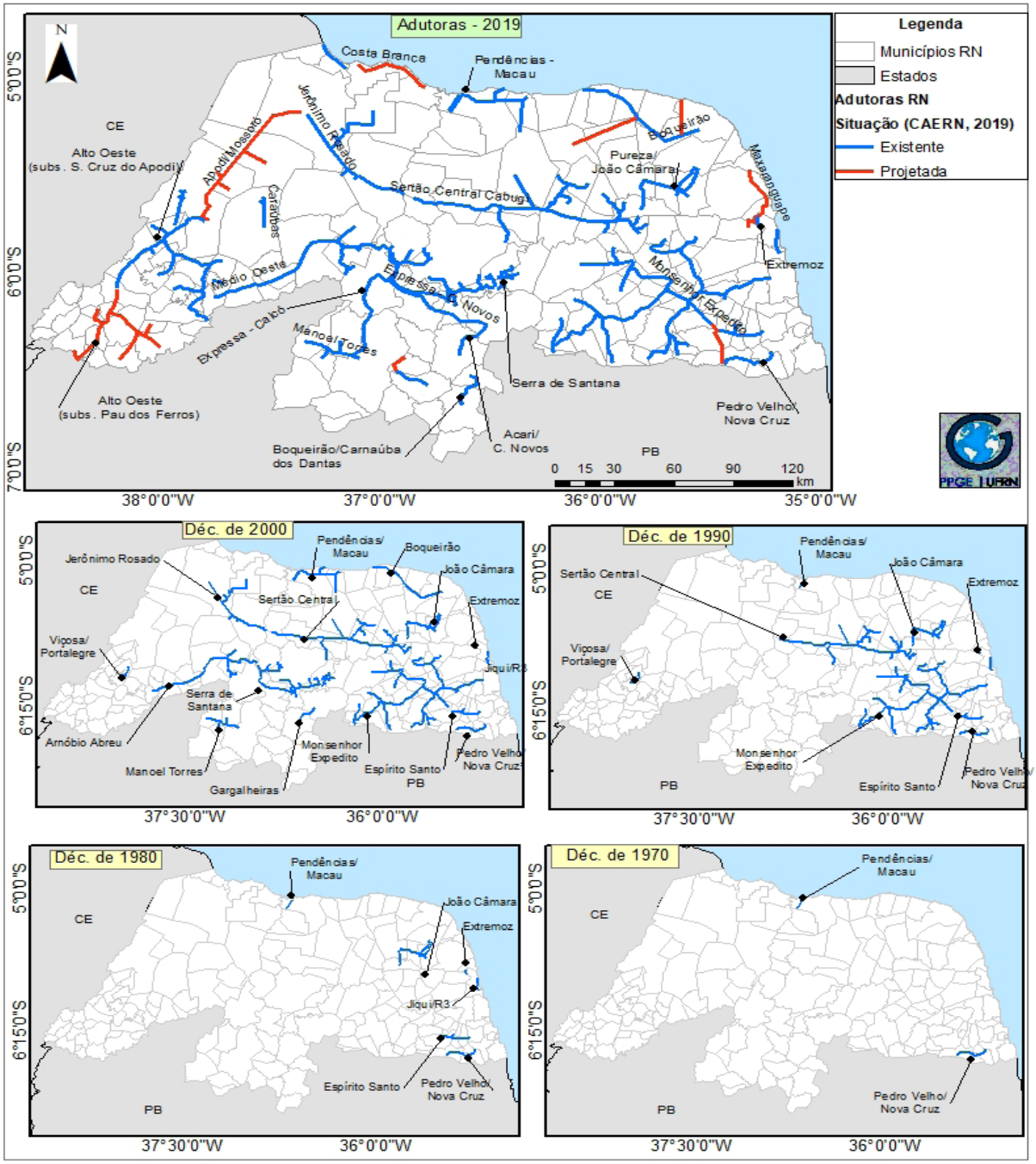
Sistema Adutor Sertão Central Cabugí	1997	Rio Açú, em Itajá	Garibaldi Alves Filho (1995 -2002
Sistema Adutor Monsenhor Expedito	1998	Lagoa do Bonfim, em Nísia Floresta	
Sistema Adutor Integrado De Viçosa/ Portalegre	1999	Açude Riacho da Cruz	
Sistema Adutor Piranhas/Caicó (Manoel Torres)	2000	Rio Piranhas-Açú, em Jardim de Piranhas	
Sistema Adutor Serra De Santana	2000	Rio Açú, Barragem Armando Ribeiro em São Rafael	
Sistema Adutor Jerônimo Rosado	2000	Rio Açú, em Itajá	
Sistema Adutor Arnóbio Abreu (Médio Oeste)	2000	Rio Açú, Barragem Armando Ribeiro em São Rafael	
Sistema Adutor Gargalheiras (Acari/C. Novos)	2005	Açude Gargalheiras, no Município de Acari	Wilma de Faria (2003 – 2010)
Sistema Adutor do Boqueirão	2006	04 (quatro) poços tubulares localizados em Touros.	
Sistema Adutor Boqueirão/C. Dos Dantas	2015	Açude Boqueirão em Parelhas	Robinson Faria (2015 – 2019)
Sistema Adutor Alto Oeste (Subsistema Adutor Santa Cruz)	2016	Açude Santa Cruz do Apodi	

Fonte: CAERN (2018).

Destaca-se, no âmbito das grandes adutoras do Rio Grande do Norte, o governo de Garibaldi Alves Filho como a administração em que a infraestrutura hídrica do Estado mais se desenvolveu, com implantação de, aproximadamente, 1.000 km de adutoras (CAERN, 2018), levando água para municípios que, desde suas fundações, em meados do séc. XX, passavam por dificuldades de abastecimento hídrico em cada período de estiagem prolongada. Inclusive, este governador ficou conhecido como “o governador das águas”, ganhando aprovação popular, principalmente no interior do Estado, o que denota o uso político do abastecimento hídrico, argumentando campanhas políticas de oligarquias locais aliadas a grupos econômicos hegemônicos, não só neste período, mas durante pelo menos um século, no Estado.

Em relação ao histórico de implantação das principais adutoras do Estado, exposto no quadro 1, foi elaborado o mapa da figura 5, em que é possível analisar espacialmente essa evolução das adutoras no território do RN, viabilizando sistemas de abastecimento hídrico urbano em diversos municípios, por todas as sete regiões de abastecimento hídrico estadual.

Figura 5: Expansão da rede de adutoras no Rio Grande do Norte



Fonte: Baseado em CAERN (2018), elaborado pelos autores.

Na figura 5 pode-se perceber como a rede de adutoras foi se expandindo no território estadual, viabilizando sistemas de abastecimento municipais no interior do Estado, principalmente na região de clima semiárido, que tem maior quantidade de municípios com problemas relacionados ao desabastecimento hídrico. Percebe-se, também, a influência do último período de seca, o maior dos últimos 100 anos, entre 2012-2017, o qual promoveu a aceleração de adutoras expressas na região Seridó e da adutora Alto Oeste, pois nestas duas regiões, a maioria dos municípios tiveram problemas de abastecimento hídrico urbano.

Na esfera institucional do abastecimento hídrico urbano municipal do RN, é preciso evidenciar a importância da Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), responsável pelos projetos de pequenos e médios açudes do Estado, além do projeto de cisternas e dessalinizadores, chafarizes e poços com bombeamento a vácuo por energia eólica (cataventos), que ainda são encontrados em algumas áreas rurais do RN e foram importantes estruturas para abastecimento hídrico urbano. Junto com a extinta Companhia de Desenvolvimento Mineral (CDM) e com a CAERN, esses órgãos perfuraram milhares de poços tubulares e cacimbas pelo Estado, que são utilizados até hoje, principalmente em áreas rurais, mas também abastecendo áreas urbanas municipais

Ainda sobre as políticas públicas, é importante mencionar a estatização dos serviços de saneamento básico no Brasil em 1940, o qual permitiu que a SUDENE em 1971 produzisse o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) dando início as concessionárias de águas e esgotos estaduais, como no caso da CAERN, com sua fundação em 2 de setembro de 1969 pelo então governador monsenhor Walfredo Gurgel. Após esses marcos, no Brasil, tem-se a Lei nº 9.433, de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), legislando sobre bacias hidrográficas, usos de água, instrumentos de fiscalização e controle, além da criação do sistema de informações nacional e deu as bases para a criação da Agência Nacional de Águas (ANA) em 17 de julho de 2000. Neste contexto, também em escala federal, há a regulamentação da qualidade da água através das indicações das resoluções do CONAMA 357/2005 e 396/2008, que definem os padrões de potabilidade e outros usos das águas superficiais e subterrâneas, respectivamente.

Outra ação de relevante importância é a operação carros-pipas do governo federal, administrada pelo exército, que tem levado água à população em mais de 100 municípios do RN, principalmente nesse último período de seca, entre 2012-2017, em que muitas cidades tiveram colapso de abastecimento, sendo providos exclusivamente por carros-pipa, como Carnaúba dos Dantas (mais de 3 anos em colapso entre 2012-2015) e Antônio Martins, por exemplo.

Por fim, tem-se o "Programa um milhão de cisternas", proposto em 2003 pela Articulação do Semiárido (ASA), organização que reúne 750 ONGs que fazem parte do Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido em busca de universalizar o acesso à água potável, beneficiando cinco milhões de pessoas em todo o semiárido brasileiro. O Programa já levou água para beber e cozinhar para mais de 1,5 milhões de pessoas através da construção de 430 mil cisternas, inclusive com cisternas em meio urbano, sendo uma alternativa para abastecimento hídrico urbano municipal nos tempos de colapso de abastecimento pela concessionária (BARACHO, 2013).

Assim, as políticas públicas contribuíram e contribuem para a resistência e a resiliência da população ao desastre do desabastecimento hídrico, o qual tem, em sua essência, características inerentes ao meio social e natural. Entretanto, entre 2012 e 2017, período em que houve a maior seca do Estado até o momento, com maior quantidade de tempo de chuvas abaixo da média

normal, tanto no semiárido quanto no litoral oriental úmido do Estado, o RN teve problemas de abastecimento hídrico urbano em 88% de seus municípios, mesmo tendo uma das mais desenvolvidas redes de infraestruturas de abastecimento hídrico do semiárido brasileiro.

Este contexto socioespacial contribui para justificar um estudo que analise, mapeie e detalhe o risco deste tipo de desastre, em uma perspectiva socioambiental, como é o objeto da pesquisa apresentada neste livro.

CAPÍTULO 2:

CONFIGURAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DO RIO GRANDE DO NORTE

A maior parte do Estado do Rio Grande do Norte está sobre a região do semiárido brasileiro (SAB). Essa situação natural condiciona o nível de vulnerabilidade quanto ao desabastecimento hídrico urbano municipal, por razões como a disponibilidade hídrica dos mananciais superficiais, evaporação hídrica superficial dos açudes, lagoas e canais de abastecimento, além da influência direta desse tipo climático nas características da vegetação e solos que interferem no escoamento superficial e infiltração/recarga do aquífero.

Portanto, os condicionantes naturais, associados, principalmente, ao tipo climático e unidade geológica, são fundamentais para o entendimento do risco de desabastecimento hídrico. Relacionando o clima semiárido, em suas escalas de aridez, com as unidades geológicas do cristalino potiguar que dificultam a captação por meio subterrâneo, aumentam o risco de desabastecimento hídrico a partir do indicador ambiental do IRDH.

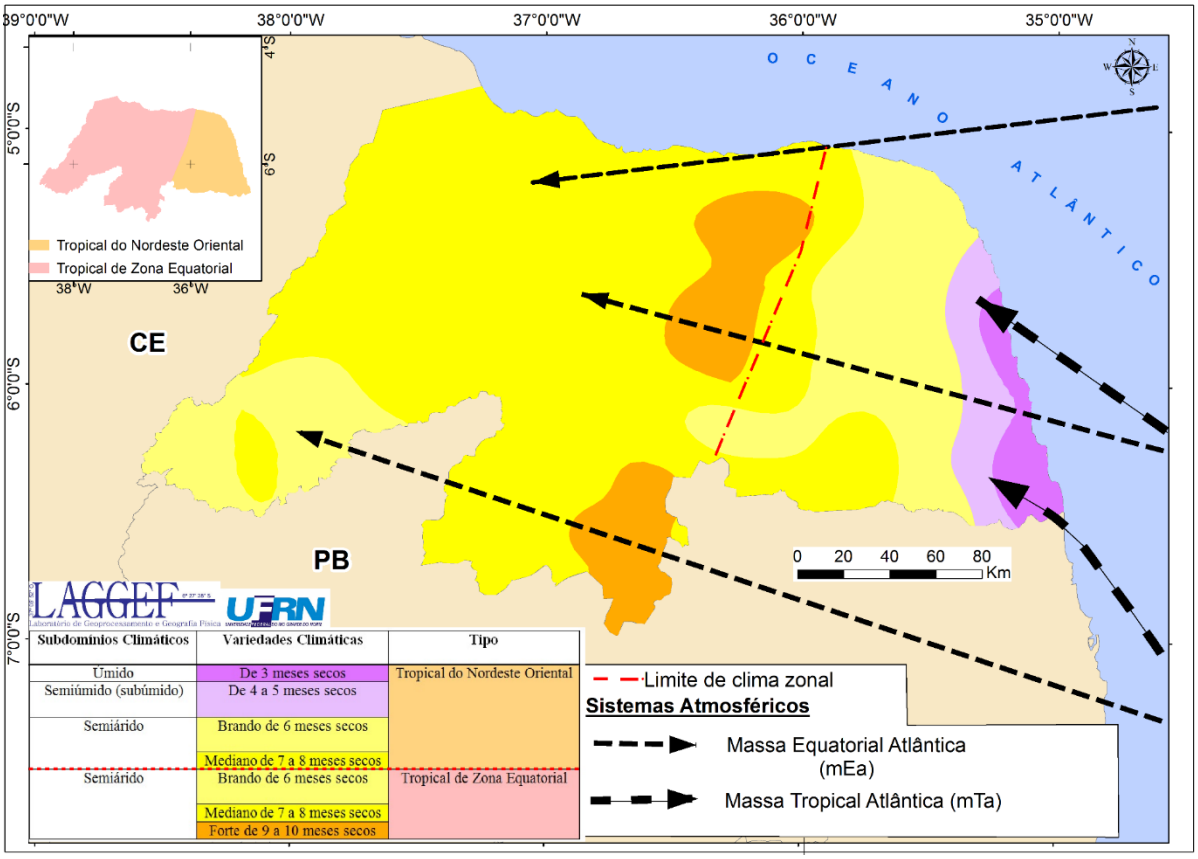
Neste contexto, os elementos da dinâmica natural clima e geologia são os principais para a análise de risco objeto deste livro. Para a caracterização físico-natural, objeto desta sessão da pesquisa, é necessário discutir as relações entre os elementos da dinâmica natural, em que o clima está diretamente relacionado com a hidrografia, a geologia com o relevo e as características dos solos com os padrões de vegetação.

2.1 Clima e Hidrografia

O clima é um elemento fundamental para dinâmica ambiental relacionada ao abastecimento hídrico urbano. A hidrografia, por sua vez, está diretamente relacionada ao clima, principalmente na região semiárida do Estado, à medida que seus rios e riachos têm regime pluvial e, portanto, dependem dos períodos chuvosos para seu desenvolvimento. A disponibilidade hídrica superficial geralmente é condicionada pelo clima da região, a não ser em casos nos quais os rios são bastante extensos e têm nascentes em outra região climática, como é o caso do Rio São Francisco, por exemplo, que tem nascente na Serra da Canastra, em Minas Gerais, com maior pluviosidade do que o semiárido do Nordeste brasileiro, por onde percorre a maior parte do seu curso.

Nessa perspectiva, a configuração climática é o ponto de partida na caracterização do ambiente físico-natural do Estado, principalmente no concernente à relação entre clima e hidrografia. Essa configuração pode ser visualizada na figura 6, em trabalho realizado por Diniz e Pereira (2015) com maior detalhamento e representação da realidade climática do Estado, notabilizando o litoral oriental com regime pluviométrico úmido e semiúmido e o interior semiárido variando de 6 até 10 meses secos no semiárido mais rigoroso.

Figura 6: Mapa de climas do Rio Grande do Norte



Fonte: Sudene (1990); Diniz e Pereira (2015).

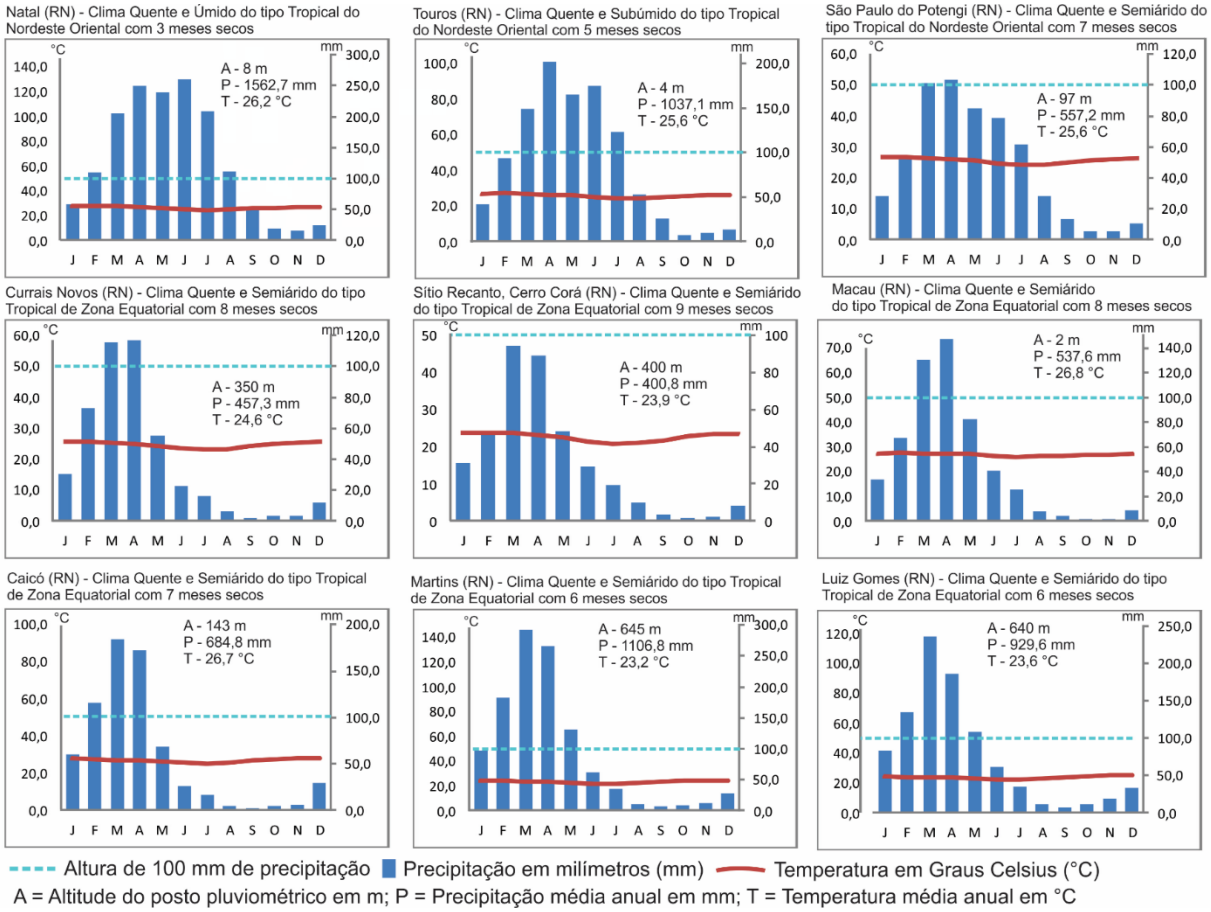
Nessa classificação, o Estado tem sete subdomínios climáticos em duas zonas climáticas que caracterizam dois tipos de clima. Na zona sob influência da brisa marítima, por meio da Massa Tropical Atlântica, há o aumento do total pluviométrico anual com tipo climático classificado por "Tropical do Nordeste Oriental", em que se tem os subdomínios: úmido (com 3 meses secos); semiúmido (de 4 a 5 meses secos); semiárido brando (com 6 meses secos); e semiárido mediano (de 7 a 8 meses secos).

Por outro lado, na zona sem influência da brisa marítima, área de atuação da Massa Equatorial Atlântica, há a diminuição do total pluviométrico anual com tipo climático classificado por "Tropical de Zona Equatorial", temos os subdomínios: semiárido brando (com 6 meses secos); semiárido mediano (de 7 a 8 meses secos); e semiárido forte (de 9 a 10 meses secos).

Dessa forma, o RN se insere na região Nordeste do Brasil, com clima semiárido em sua maior parte, reservando aos municípios do litoral oriental (ou mais próximos a este) clima diferente, úmido e semiúmido, com chuvas regulares ao longo do ano sob influência da umidade oriunda do Oceano Atlântico. Outro aspecto importante a ser analisado refere-se aos índices pluviométricos e de temperatura, que evidenciam a dinâmica climática no Estado e os diferentes tipos de clima. Os climogramas representados na figura 7 evidenciam alguns municípios do Estado e uma comunidade (local mais seco do Estado), espaçados pelo território estadual, como

expoente das suas diversas regiões.

Figura 7: Climogramas Ombrotérmicos de Natal, Touros, São Paulo do Potengi, Currais Novos, Sítio Recanto (Cerro Corá), Macau, Caicó, Martins e Luiz Gomes.



Fonte: Sudene (1990) apud Diniz e Pereira (2015).

Analisando o comportamento climático médio do Rio Grande do Norte, pode-se concluir que em relação aos dois subdomínios climáticos principais, semiárido e subúmido, no primeiro a amplitude térmica diária é maior (em torno de 10°C), variando mínimas de até 22°C e máximas diárias superiores aos 35°C, como em Caicó, por exemplo (LUCENA, 2016) e no subúmido, em Natal, em média, a amplitude térmica é de 8,4ºC, com oscilação média diária de 21,8ºC a 30,2ºC (BARROS, 2013). No subdomínio semiárido, o período chuvoso ocorre no verão, se estendendo ao outono, entre dezembro e maio, chamado de quadra chuvosa, podendo chegar a médias mensais de mais de 150mm e menos que 50mm nos meses secos, com total pluviométrico médio anual de 684,8mm. Já no clima subúmido e úmido, no litoral oriental do Estado, os períodos com maiores índices pluviométricos são no outono e inverno, de março a julho, podendo chegar a médias mensais de mais de 250mm e menos que 50mm nos meses secos, com total pluviométrico médio anual de 1562,7mm, conforme visualizado na figura 5.

Outro elemento climático importante para a disponibilidade hídrica superficial é a evaporação[2], que acontece em maior quantidade nos meses de estiagem, com maiores índices de insolação e menor nebulosidade. Os açudes têm importância fundamental para o sistema de abastecimento hídrico do Estado, os quais, quando relacionados ao clima semiárido, com até 10 meses de estiagem e associados a altos níveis de insolação e temperatura, promovem grandes volumes de água perdidos para a atmosfera pela evaporação, resultando em perdas hídricas que ultrapassam em até 100% o acumulado pluviométrico em alguns desses reservatórios de captação[3] no Estado.

Surge, assim, a discussão de que a açudagem no semiárido não seria uma medida ideal visto que as perdas por evaporação são muito elevadas, portanto, os investimentos com obras para o armazenamento hídrico não teriam o retorno esperado a longo prazo para a sociedade em função das perdas maiores do que o consumo para usos múltiplos. Daí, as proposições de outras formas de armazenamento, como cisternas, que são cobertas, ou pequenos açudes em detrimentos dos grandes, em que a menor superfície de água diminui o volume evaporado.

No semiárido potiguar há dois tipos principais de rios, os intermitentes, que permanecem com água por todo período de inverno (chuvoso) e na maior parte dos meses chuvosos, e os efêmeros, que apenas têm água em seu curso quando está chovendo ou poucos dias após. Na região com clima úmido e subúmido, próximo ao litoral oriental do Estado, os rios são de caráter perene em sua drenagem, com água no leito durante todo o ano, notadamente pela influência das chuvas mais regulares, assim como pela descarga do aquífero poroso da formação barreiras, principalmente. Essa dinâmica é marcada no Rio Potengi, por exemplo, que é um dos principais do Estado, com curso no sentido oeste-leste, desaguando no litoral oriental, sendo sua nascente, na Serra de Santana no semiárido, com caráter intermitente apenas até seu médio curso, no agreste.

Também existem exceções para esse tipo de rio como, por exemplo, os rios Apodi-Mossoró, na região oeste do Estado, e o rio Piranhas-Açu (o maior do Estado), na região central, que é perenizado pelo sistema de açudes Coremas-Mãe d'água na cidade de Coremas, no Estado da Paraíba, o que garante ao rio capacidade hídrica para alimentar a maior barragem do Rio Grande do Norte, a Armando Ribeiro Gonçalves.

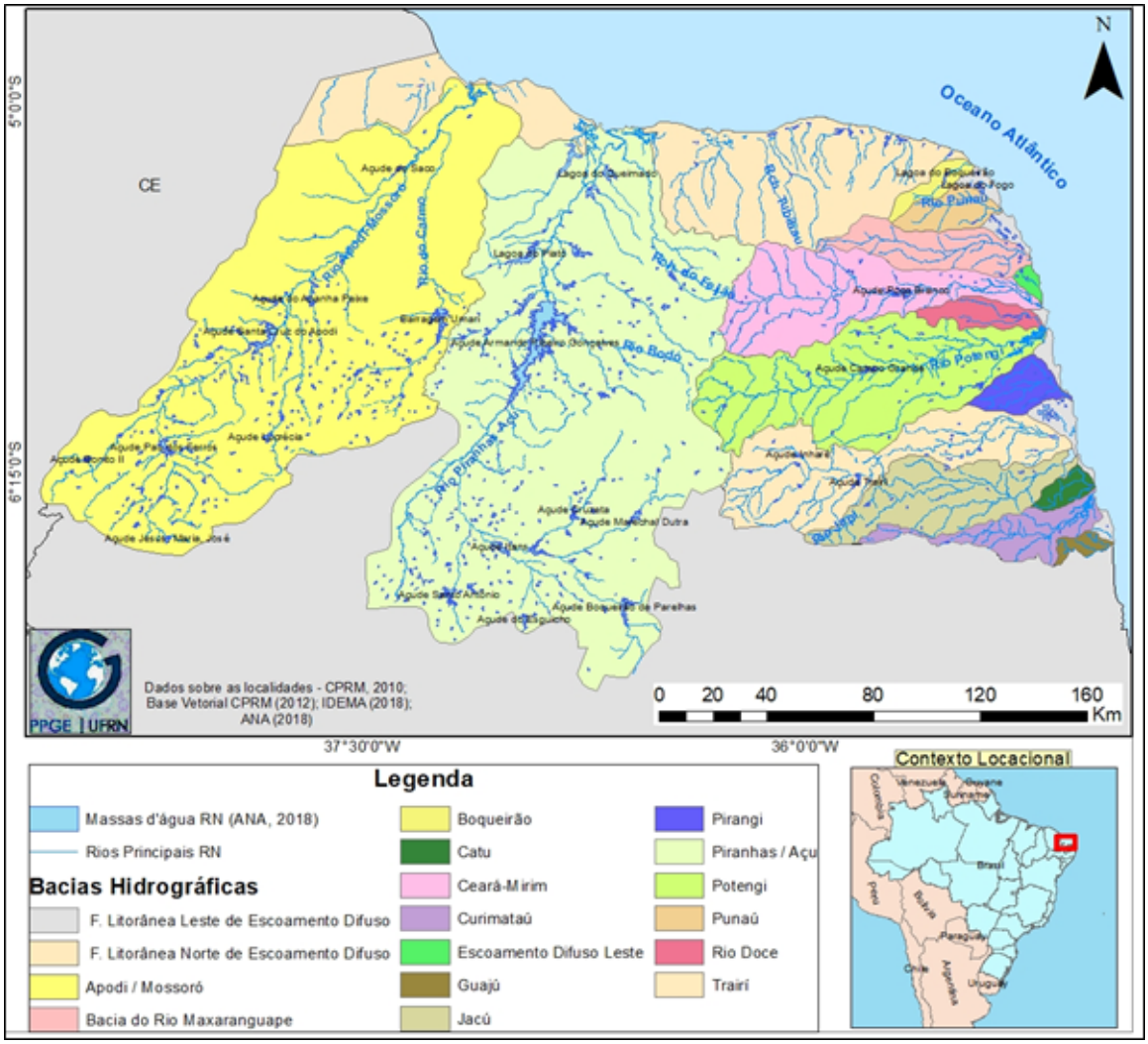
A configuração hidrográfica do Estado pode ser visualizada no mapa da figura 8, com os corpos d'água superficiais e os barramentos dos rios que caracterizam açudes e grandes

2 Evaporação é a transferência de água superficial ou subsuperficial para a atmosfera sob a forma de vapor. Evapotranspiração compreende a evaporação e a transpiração da vegetação e de animais terrestres. Esses parâmetros são fundamentais para o balanço hídrico de uma região para a quantificação de qual volume de água permanece nos mananciais e quanto é perdido por evaporação/evapotranspiração.

3 Nesta pesquisa é necessário diferenciar os reservatórios de captação e de armazenamento. Os primeiros são as grandes barragens, também chamadas de açudes. Já os de armazenamento hídrico são as caixas d'água ou cisternas, que podem ser elevadas ou apoiadas, ou seja, são as construções em meio urbano para armazenamento hídrico e sua posterior distribuição pela rede geral. Portanto, cada um tipo tem uma função diferente nas etapas do sistema de abastecimento hídrico, a ser tratado no capítulo 3.

barragens do Estado, caracterizando, assim, uma densa rede de drenagem superficial com ampla capacidade de armazenamento de água, porém nem sempre com toda sua capacidade de armazenamento disponível, sendo a disponibilidade de água superficial do Estado muito dinâmica por causa das características climáticas citadas.

Figura 8: Hidrografia do Rio Grande do Norte



No mapa percebe-se que há uma densa rede de drenagem no Estado, porém, como já citado, a maioria absoluta dos rios é intermitente, sobretudo no semiárido, que é a maior parte do Estado. Os maiores rios, como o Piranhas-Açú, localizado no centro do Estado, e o rio Apodi-Mossoró, a oeste, formam as duas maiores bacias hidrográficas do Estado, com a maior densidade de canais de drenagem de afluentes e açudes em série que, quando cheios, promovem uma dinâmica hidrológica, transbordando uns para os outros, de montante para jusante, possibilitando fluir os cursos d'água temporariamente com a drenagem final.

Assim, a configuração hídrica destas bacias inspira cuidados, medidas de racionamento e controle intensivo no uso hídrico dos mananciais, principalmente após seis anos de seca (2012-2017), mesmo com a previsão para chuvas regulares no triênio 2020,2021 e 2022.

2.2 Geologia e Geomorfologia

A geologia do Estado do Rio Grande do Norte (RN) possui dois grandes domínios geológicos: Bacias sedimentares (Bacia Potiguar e Bacia Pernambuco-Paraíba) e o Complexo Cristalino. As primeiras são de natureza sedimentar, produto da regressão marinha e de eventos de elevação continental moderna ou neotectônica, consistente em rochas sedimentares, portanto com baixo a médio grau de dureza, como calcário (Formação Jandaíra) e arenito (Formação Açu) de idade mesozóica e cenozóica (Formação Barreiras). O segundo é um complexo de rochas ígneas e metamórficas, com médio e alto grau de dureza, sendo intensamente dobradas com falhamentos e basculamentos (MEDEIROS; NASCIMENTO; SOUSA, 2010).

Ainda sobre o embasamento que configura a geologia do RN, esse contexto geológico corresponde à Província da Borborema, que é constituída por um mosaico de diversos blocos crustais arqueanos a paleoproterozóicos os quais, em conjunto, compõem o embasamento gnáissico-migmatítico a granulítico. Repousando discordantemente sobre esse embasamento encontram-se faixas de rochas supracrustais paleoproterozóicas a neoproterozóicas, metamorfisadas em fácies xisto-verde a granulito.

Em relação ao abastecimento hídrico, os dois domínios geológicos têm características diferentes, o complexo cristalino com rochas fraturadas pode armazenar água no sistema aquífero fissural, porém, com baixa vazão e qualidade. Essa é uma estrutura importante para armazenamento hídrico superficial onde a maior parte dos açudes e grandes barragens do RN estão localizados. Diferente características têm as bacias sedimentares, as quais têm muito potencial para abastecimento hídrico a partir de captações subterrâneas, porém, por se tratar de formações sedimentares porosas e permeáveis em sua maioria, não têm tanta aptidão para açudagem. Entretanto, dispõe de lagoas propícias para captação, inclusive com sistema de adutoras associado, como a Lagoa do Boqueirão de Touros e o complexo de lagoas do Bonfim, em Nísia Floresta, ambas na Bacia Pernambuco-Paraíba, na porção oriental do Estado.

Com base na referência do livro Geodiversidade do RN (MEDEIROS; NASCIMENTO; SOUSA, 2010), a Bacia sedimentar Potiguar é composta por sequências sedimentares no litoral do Estado do Rio Grande do Norte que se desenvolvem em ambientes marinhos e terrestres costeiros, conformando, na Margem Continental, as Bacias sedimentares Potiguar e Pernambuco-Paraíba (Sub-Bacia Natal). Suas dimensões se estendem lateralmente entre as Bacias do Ceará e Sergipe-Alagoas, definindo-se o limite da Bacia sedimentar Potiguar a oeste com a Bacia do Ceará pelo Alto de Fortaleza e o limite da Bacia Pernambuco-Paraíba ao sul.

Ao sul da Bacia sedimentar Potiguar, tem-se as rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino; sua fisiografia prolonga-se em superfícies deposicionais submersas da plataforma continental e planície costeira inclinadas para o oceano, delineando clinoformas com relevo muito suave até a quebra da plataforma, marcada pela passagem de um forte gradiente no relevo marinho sobre o talude e pela elevação continental, atingindo seu limite exterior na isóbata de 2000m. Há, também, um sistema de ativação e reativação de falhas que envolvem a reativação

de zonas de cisalhamento Neoproterozóicas, que são importantes para a configuração dos sistemas petrolíferos que configuram a Bacia sedimentar Potiguar (op. cit.).

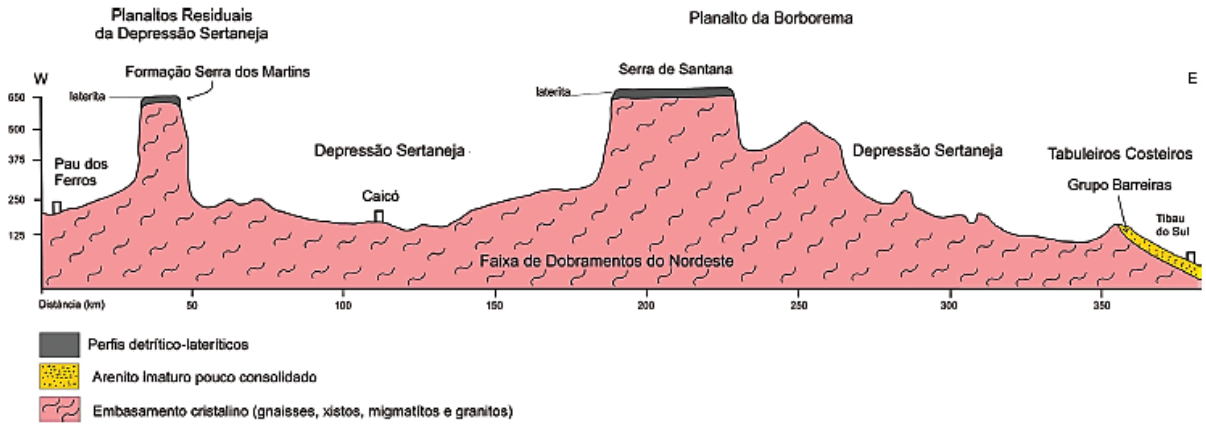
Por fim, na configuração geológica do RN, tem-se os terrenos litorâneos, que é uma região em faixa que conforma a atual exposição da Bacia sedimentar Potiguar imersa e emersa, que constituem um espaço caracterizado por coberturas sedimentares cenozóicas, Como as Formações Barrreiras datada do período Terciário, Jandaíra com calcário datada do período Cretáceo, de planície de maré, lagunas, restingas, dunas, praias, lagunas e deltas (op. cit.).

É consensual que a geologia é condicionante para o relevo e no Estado essa relação não é diferente. Na Bacia sedimentar Potiguar, os terrenos são de planícies, chapadas e os altos da Serra do Mel e Guamaré; já o complexo cristalino, no domínio dos planaltos residuais sertanejos, apresenta as topografias mais altas do Estado, com cotas que variam de 700 a 800m de altitude, destacando-se a Serra de Martins e Portalegre, no alto oeste potiguar, assim como a Serra de Santana, na região Seridó do Estado, seguido pelo planalto da Borborema com serras e inselbergues de cotas altimétricas que variam entre 300 e 700 m.

Relacionando os domínios geológicos e o relevo do RN, com base em Dantas e Ferreira (2010), na Bacia sedimentar Potiguar, os baixos platôs, tabuleiros costeiros e planície costeira. Já no complexo cristalino, tem-se o planalto da Borborema, depressão sertaneja e planaltos residuais sertanejos que caracterizam o relevo da estrutura.

O perfil esquemático sentido leste-oeste no Estado, de Tibau do Sul a Pau dos Ferros, passando por Caicó na região central do Estado, cortando, assim, as três macrorregiões do Estado (leste, central e oeste), que pode ser visualizado na figura 9, mostra a configuração de relevo e topografia do RN de maneira simplificada e ilustrativa, possibilitando o maior entendimento da compartimentação geomorfológica do Estado e coberturas geológicas sedimentares no topo das elevações do Estado, conforme citado anteriormente.

Figura 9: Perfil geológico-geomorfológico esquemático do transect Tibau do Sul-Pau dos Ferros (RN).



Fonte: PFALTZGRAFF; TORRES, (2010).

Além disso, a geologia influencia a disponibilidade hídrica subterrânea do Estado (figura 10), onde as bacias sedimentares e os vales dos rios com seus terraços sedimentares recentes (aquífero aluvionar) são as áreas com maior disponibilidade aquífera do Estado (em quantidade), assim como maior qualidade físico-química da água (potabilidade), destacando-se os aquíferos Açu, Barreiras e Jandaíra (na Bacia sedimentar potiguar) com as maiores potencialidades de explotação hidrogeológica do Estado (COSTA, 2000; STEIN, 2003 e 2013; VASCONCELOS, 2006; MELO, 2006).

O mesmo não ocorre de forma tão abundante nos terrenos cristalinos com seus granitoides, xistos e gnaisses. Nessa região, a água subterrânea é salobra, localizada em sua maioria em poços com níveis elevados de sódio e magnésio, sulfatos e até metais pesados, não se enquadrando como potáveis segundo a resolução CONAMA nº 396 de 2008. O Quadro 02 mostra, em síntese, as características dos recursos hídricos subterrâneos no Estado quanto à profundidade, potabilidade e tipologia do aquífero.

Quadro 02: Quadro-síntese da situação dos recursos hídricos subterrâneos

Formação Geológica	Profundidade Potencial	Potabilidade	Aquífero
Grupo Barreiras	3 a 15 m	Reduzido a moderado	Livre ou confinado
Formação Jandaíra	15 a 300 m	Moderada	Livre ou confinado
Formação Açu	200 e 350 m	Alto potencial	Livre ou confinado

Fonte: adaptado de Chaves (2005).

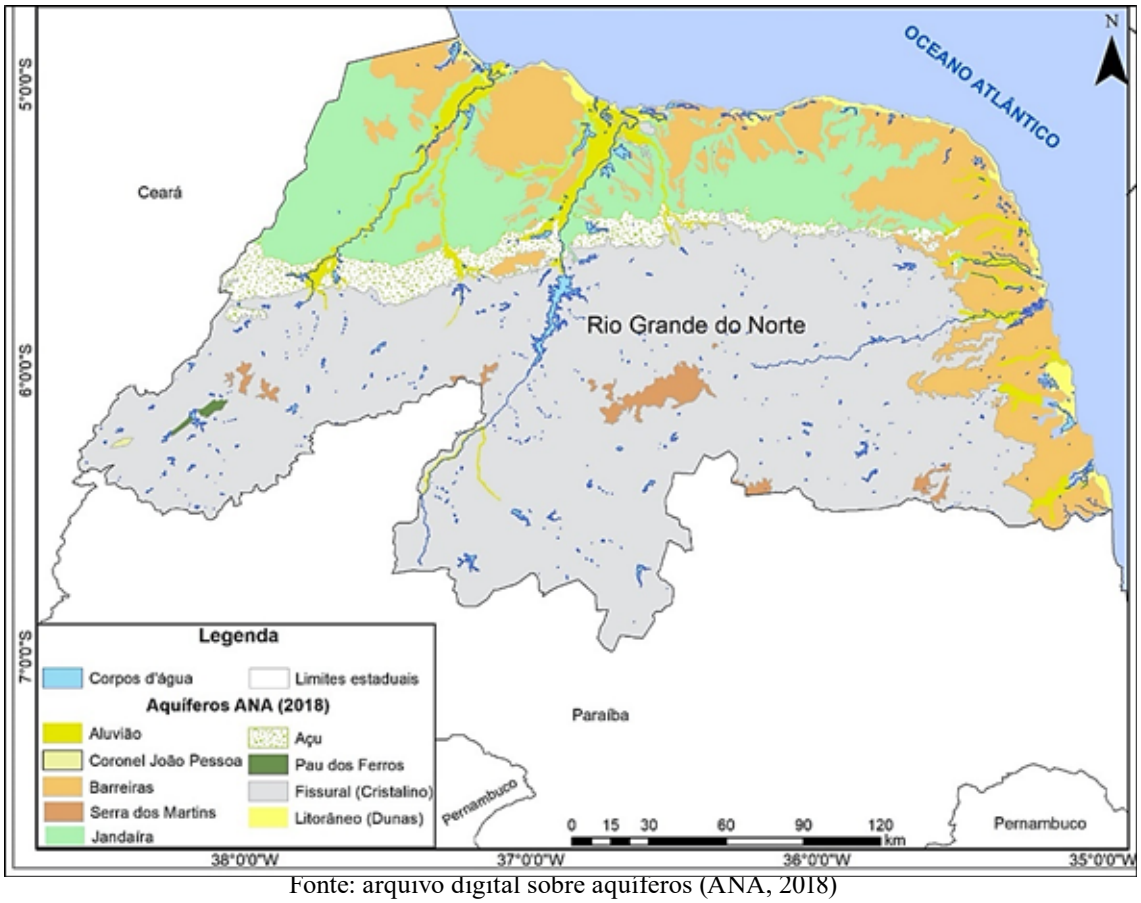
Nesse ambiente, a Formação Jandaíra tem sua natureza hidrogeológica diferente do grupo Barreiras e Formação Açu, que são aquíferos do tipo granular ou poroso. A Formação Jandaíra está inserida no Domínio Hidrogeológico Kárstico-fissural. Esse domínio é constituído pelos calcários da Formação Jandaíra, onde a água infiltra das camadas superiores mais permeáveis e se acumula nas fraturas interconectadas, podendo ser encontrada também em arenitos calcíferos e em estratos de alteração da rocha calcária. Em muitas áreas, essa é a única opção de abastecimento humano de boa qualidade haja vista sua resistência a tempos severos de estiagem, como no caso do município de Jandaíra, região Agreste potiguar.

Neste contexto, o aquífero da Formação Açu (arenito Açu) apresenta potencialidade para exploração em grande quantidade, assim como para a qualidade da água para consumo humano. Trata-se de aquífero livre muito explorado para fruticultura próximo à região de Açu, com grande potencial hidrológico, tal como na região de Apodi, utilizada para explotação de água mineral, tendo vazões superiores a 100 m³/h (CAERN, 2018; SEMARH, 2019), assim como próximo à sede municipal de Assú, onde essa formação se encontra na sua forma aflorante.

A disposição das formações aquíferas principais, assim como a geologia simplificada do Estado, pode ser visualizada no mapa da figura 10, no qual está representado o mapa de aquíferos do Estado, destacando-se que a formação Açu aflora em faixa de sentido leste-oeste

pelo mapa do Estado, mergulhando sob a formação Jandaíra que, por sua vez, mergulha sob a formação Barreiras, todas na região da Bacia sedimentar Potiguar.

Figura 10: Aquíferos do Rio Grande do Norte



Fonte: arquivo digital sobre aquíferos (ANA, 2018)

A partir dessa configuração hidrogeológica do Estado e com base nos relatórios de perfuração de poços da CAERN (2018), tem-se as vazões médias de cada formação aquífera, em que o aquífero Jandaíra tem vazões que variam entre 15 e 30 m³/h, podendo chegar até 50 m³/h, enquanto no aquífero Barreiras as vazões médias dos poços variam entre 30 m³/h a 120 m³/h nas áreas de maior potencial hidráulico, como em Natal, na região do Parque da Cidade. A formação Açu, apresenta vazões médias em torno de 100 m³/h, e o aquífero aluvionar no RN, de maneira geral, tem baixo potencial de exploração hidrogeológica, atingindo vazões máximas de 15 m³/h, porém com capacidade de armazenamento limitada pela escassez pluviométrica da região do semiárido, havendo, portanto, necessidade de racionamento na exploração hídrica subterrânea.

O aquífero litorâneo (dunas ou dunar) é uma formação com baixas vazões de exploração (até 10 m³/h), pouco utilizada pela concessionária de abastecimento hídrico estadual, por se tratar de um aquífero mais vulnerável à contaminação e instável em capacidade de exploração (não suporta bem a períodos de estiagem prolongada). Este aquífero geralmente tem captação

por poços rasos e sua característica de alta permeabilidade o torna vulnerável à contaminação por sistemas de tratamento de efluentes domésticos pouco eficientes, como as fossas. É um aquífero captado da formação geológica de sedimentos inconsolidados de dunas móveis ou fixas, utilizados apenas em municípios em que não há outra fonte de abastecimento hídrico disponível.

Relacionando o clima com a geologia do RN, os mais importantes elementos da dinâmica natural para o índice de Risco de Desabastecimento Hídrico (IRDH), é possível classificar unidades mais expostas a este desastre. Por exemplo, o aquífero cristalino potiguar, associado ao clima semiárido aumenta o risco de desabastecimento hídrico, através do condicionamento natural que dificulta o uso hídrico subterrâneo (em quantidade e qualidade), e superficial pelo pouco volume de chuva com até 10 meses secos, comportamento inerente a este tipo climático. De outra forma, o clima semiúmido no litoral oriental do Estado, associado ao aquífero Barreiras, aumenta as possibilidades de captação hídrica, tanto no manancial subterrâneo, quanto superficial, pois a alta pluviosidade, permeabilidade e armazenamento do aquífero Barreiras diminui a exposição ao desabastecimento hídrico.

2.3 Solo e Vegetação

A relação entre solo e vegetação é primária pois o solo é o substrato necessário à vida das árvores e plantas que compõem a vegetação de um bioma. O bioma, na definição do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004) é o "conjunto de vida (vegetal e animal) definida pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, resultando em uma diversidade biológica própria". Neste contexto, os solos do RN têm grande diversidade e diferentes aptidões agrícolas a partir dos níveis de fertilidade, porém, o que determina a cobertura vegetal natural é, predominantemente, o clima.

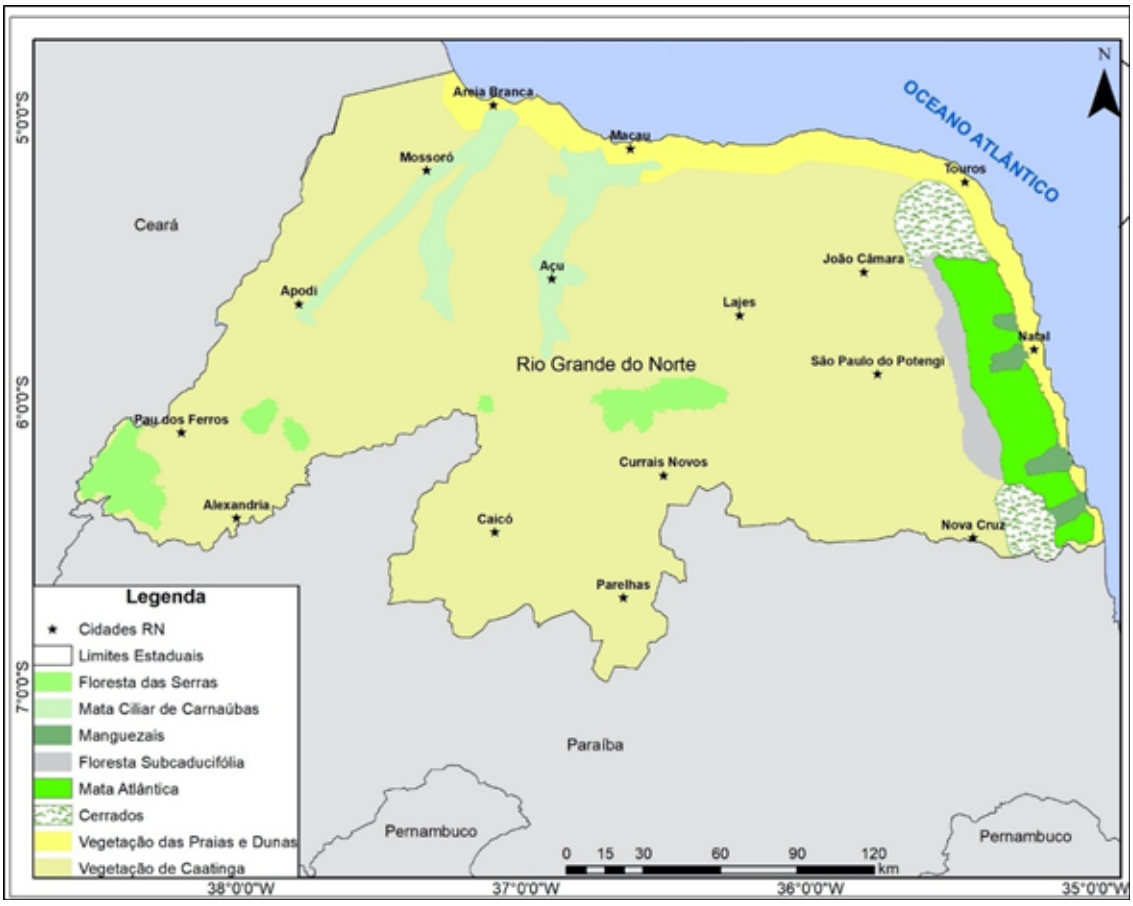
Assim, na região de clima semiárido do Estado, tem-se a vegetação caatinga como formação predominante, que pode ser subdividida em "Savana-Estépica Arborizada" e "Savana-Estépica Florestada" (IBGE, 2012), sendo encontradas em 80% do território estadual; já no clima subúmido e úmido do litoral oriental, a formação vegetal é inerente ao bioma de mata atlântica, com uma faixa de transição marcante denominada Agreste potiguar, com ocorrência de espécies da caatinga e da mata atlântica, podendo ser classificada de Floresta Subcaducifólia. Além destas formações, associada aos vales fluviais dos rio Apodi-Mossoró e Piranhas-Açú, tem-se a Mata Ciliar de Carnaúbas (figura 11), classificada também como "Savana-Estépica com palmeiras" (IBGE, 2012).

Na configuração dos solos no Estado se pode perceber também o controle exercido pelo clima. Com a maior umidade do litoral oriental, os solos são mais profundos e lateríticos, oxidados por influência da umidade, assim como no topo das serras e chapadas, com maior umidade e menor temperatura, pela influência da altitude; já no clima semiárido, os solos são

do tipo Neossolo Litólico ou Luvissolo, que são rasos e pedregosos e sujeitos a erosão eólica e ao intemperismo físico, pela variação de temperatura (EMBRAPA, 2006).

Neste contexto, a figura 11 mostra a representação simplificada do mapa de vegetação do Estado com as formações vegetais predominantes e sua regionalização, este mapa tem como base a classificação da vegetação simplificada da EMPARN (2009, apud FELIPE e CARVALHO, 2011).

Figura 11: Formações Vegetais do Rio Grande do Norte



Fonte: EMPARN (2009) apud Felipe e Carvalho (2011).

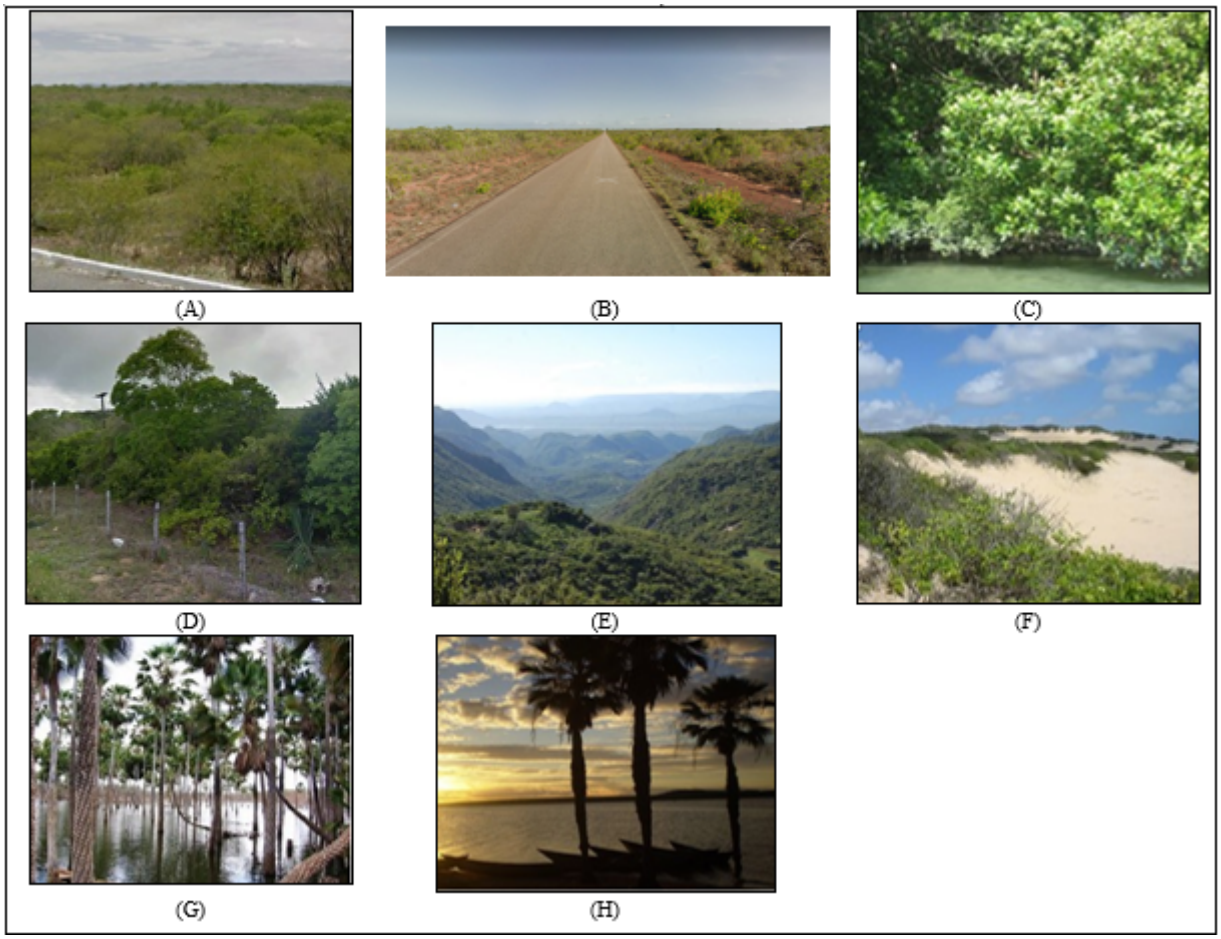
Na figura 11, além das formações vegetais supracitadas tem-se os cerrados – que ocorrem nos tabuleiros costeiros, nos limites da mata atlântica, formada basicamente por gramíneas (capim) e vegetais arbustivos como mangabeira (*Mangifera indica)* e a lixeira (*Aloysia virgata).*

Outras formações vegetais mapeadas na figura 11 foram a caatinga – formada por plantas xerófilas e deciduais, sendo as plantas mais representativas a jurema *(Mimosa tenuiflora*), o pau-branco (*Picconia azorica),* o xiquexique (*Pilosocereus gounellei)*, o mandacaru (*Cereus jamacaru*), a aroeira (*Schinus terebinthifolia*) etc.; floresta subcaducifólia – mata de transição entre a floresta litorânea e a caatinga, com plantas dos dois tipos de vegetação, como a aroeira (*Schinus terebinthifolia)*, a macaíba (*Acrocomia aculeata*), a baraúna (*Schinopsis brasiliensis)*, o umbuzeiro (*Spondias tuberosa L.*) e o angico (*Anadenanthera macrocarpa*); e a floresta litorânea ou mata atlântica, com presença de árvores como o pau-d'arco-roxo e/ou amarelo (*Handroanthus*

serratifolius), o jatobá (*Hymenaea courbaril*), o angelim (*Dinizia excelsa Ducke, Leguminosae),* a sapucaia (*Lecythis pisonis)* e a maçaranduba (*Manilkara bidentata).*

Ainda em relação ao mapa de formações vegetais do Estado (figura 11), tem-se as formações vegetais menores territorialmente, como os manguezais, localizados nas várzeas próximas às desembocaduras dos rios; as florestas das serras, formada por vegetais de grande porte, semelhantes à mata atlântica nas partes mais altas (serra de João do Vale, Santana, São Miguel/Luís Gomes, Martins e Portalegre), intensamente degradada pelo uso de agricultura; a vegetação das praias e dunas, na qual ocorre vegetação rasteira, resistente às condições de salinidade do solo, como o bredo-de-praia e a salsa-de-praia. A fisionomia destas formações vegetais pode ser visualizada na figura 12.

Figura 12: Formações Vegetais do Rio Grande do Norte – A) Caatinga; B) Cerrados; C) Manguezais; D) Mata Atlântica – Parque das Dunas, Natal/RN; E) Floresta das Serras – João do Vale; F) Vegetação de Praia e Dunas em Natal/RN; G e H) Floresta Ciliar de Carnaúbas



Fonte: modificado de Felipe e Carvalho (2011).

Cada unidade de formação vegetação tem uma relação diferenciada com a água. Formações como a mata ciliar de carnaúba e os manguezais são endêmicas de locais alagados ou várzea de rios, com os manguezais relacionados à água salgada na interação entre rio e mar (estuários), e as carnaúbas em leito fluviais (água doce), predominantemente. Já na caatinga, os

cerrados e a floresta subcaducifólia têm resistência maior a períodos de estiagem prolongada pois a estrutura biológica de suas espécies é voltada à retenção hídrica, sendo endêmicas de locais pedregosos ou arenosos com alta permeabilidade, tratando-se de locais com escassez hídrica, onde o solo tem maior escoamento ou percolação hídrica em detrimento do acúmulo de água para esses tipos de vegetação.

De modo particular, tem-se a floresta das serras que, pela influência da altitude, são áreas mais úmidas, com pluviosidade média elevada para os padrões do RN. Por isso, o clima é diferenciado no local, o que promove a paisagem semelhante à mata atlântica nessas serras incrustadas na região semiárida do Estado. A mata atlântica, por sua vez, ocorre no litoral oriental do Estado, com influência da maior pluviosidade do RN e solo poroso que retém água, inclusive com potencial de exploração hidrogeológica.

2.4 Síntese socioeconômica do Estado

Seguindo a caracterização físico-natural do Rio Grande do Norte em sua relação com o abastecimento hídrico do Estado, faz-se necessária uma análise da sua configuração socioeconômica. As atividades econômicas de uma sociedade são influenciadas pelas características do abastecimento hídrico, sendo a disponibilidade hídrica fundamental para qualquer atividade econômica, principalmente em setores como agricultura e indústria. Além disso, existe uma pressão exercida pelos aglomerados populacionais urbanos sobre os recursos hídricos a partir da necessidade de uso doméstico.

A presente análise levou em consideração características da população do Rio Grande do Norte destacando as regiões mais e menos populosas e definição da população urbana e rural. Na sequência, foram abordadas as características sociais, com fatores como expectativa de vida média ao nascer, acesso à educação e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), que é o índice sintético das variáveis de educação e expectativa de vida. Após essa etapa, tem-se a caracterização econômica do Estado, como o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*, incluindo mapa das regiões com maior produção econômica e comparação com o mapa populacional, seguido pela análise da renda média da população, com os municípios com maiores e menores rendas médias, definindo assim regiões a partir dessa categoria.

Nesse contexto, em relação à população, o Rio Grande do Norte tem 3.479.010 habitantes[4], sendo o 16º mais populoso do Brasil, com densidade demográfica de 60 hab/km², o 10º mais povoado do país. Com base no último Censo demográfico brasileiro, realizado pelo IBGE e divulgado em 2010, a população do RN está distribuída em espaço rural, com 703.036 habitantes (22%), e urbano, com 2.464.991 habitantes (78%). Dessa forma, o RN tem uma população de maioria urbana, segundo a metodologia de classificação do IBGE (2010), a qual considera o local de moradia declarado como principal critério. As aglomerações populacionais

4 Projeção para o ano de 2018 do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

no território estadual estão nas sedes urbanas dos municípios, denotando o caráter urbano da população do RN, seguindo a tendência nacional.

Além disso, é possível perceber a centralidade que Natal, a capital, exerce sobre a densidade populacional geral do RN. No entorno da capital, no litoral oriental e suas proximidades, a população tem maior adensamento, com várias áreas de mais de 100 hab/km², além do território de Natal ter a maior densidade populacional do Estado, com mais de 500 hab/km² em todas as zonas adensáveis do município. Inclusive, essa densidade demográfica apenas é vista nas sedes urbanas de poucos municípios do Estado, sobretudo os mais populosos depois da capital, como Mossoró, Parnamirim e Caicó.

Em relação às regiões do Estado, pode-se identificar que as mais populosas são a Agreste e Litoral potiguar, em que fica evidente a influência da localização de Natal, com sua estrutura de serviços urbanos, comércio e indústrias, a qual promove essa atração populacional. A região metropolitana de Natal se configura, no mapa do Estado do RN, como um centro de atração populacional a partir do adensamento do setor de serviços, indústria e comércio, exercendo o papel concomitante de maior mercado consumidor e comércio do Estado.

De maneira geral, todos os municípios com maiores populações do Estado exercem uma centralidade de concentração de pessoas inseridas em atividades econômicas voltadas para esses centros ou que dependem de sua estrutura de serviços para se desenvolverem, como bancos, comércio de implementos, oficinas mecânicas, peças e serviços em geral. Na mesorregião Oeste do Estado, destacam-se, com essa característica, Mossoró, Apodi e Pau dos Ferros, respectivamente, e, na mesorregião Central potiguar, destacam-se Caicó, Assú e Currais Novos. A Tabela 2 mostra a sequência dos municípios mais populosos do Estado.

Tabela 2 - Municípios mais populosos do Rio Grande do Norte

Posição	Município	Pop.	Posição	Município	Pop.
1	Natal	885.180	**11**	Santa Cruz	39.667
2	Mossoró	295.169	**12**	Nova Cruz	37.695
3	Parnamirim	254.709	**13**	Apodi	36.323
4	São Gonçalo do Amarante	101.492	**14**	João Câmara	35.087
5	Macaíba	80.031	**15**	Canguaretama	34.267
6	Ceará-Mirim	73.849	**16**	Touros	34.043
7	Caicó	68.222	**17**	Macau	31.859
8	Assú	58.183	**18**	Pau dos Ferros	30.452
9	Currais Novos	45.228	**19**	Extremoz	28.331
10	São José de Mipibu	43.995	**20**	Baraúna	28.085

Fonte: Estimativa 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.[5]

5 Buscando dados mais atualizados de população estadual foram utilizados dados de projeção populacional, como esta estimativa do IBGE para o ano de 2017, porém, para a análise do IRDH foram utilizados dados do Censo demográfico de 2010, pela disponibilidade de dados para todos os municípios objeto da pesquisa.

Dentre os 20 municípios mais populosos do Estado (Tabela 2), 12 fazem parte da mesorregião Agreste ou Litoral Potiguar. Além disso, 7 fazem parte da região metropolitana de Natal, onde 6 desses são limítrofes à capital, inclusive. Essa configuração é um argumento para a comprovação da centralidade exercida pela capital, a qual causa um direcionamento da população do Estado, o que incide diretamente no contexto do abastecimento hídrico urbano municipal.

A expectativa de vida ao nascer projetada para o Rio Grande do Norte em 2021 é de 77 anos (em número absoluto), a maior entre os Estados do nordeste (IBGE, 2021). A diferença de expectativa entre os gêneros, porém, tem uma disparidade de oito anos, sendo a quinta mais alta no país. Enquanto as mulheres potiguares vivem em média 81 anos, os homens chegam aos 73.

Já a educação do Estado apresenta índices baixos em relação à média nacional, tendo ocupado as últimas posições no ranking da educação básica no Brasil. Segundo dados do censo demográfico do IBGE (2010), no RN, a proporção de crianças de 5 a 6 anos na escola é de 94,58%. No mesmo ano, a proporção de crianças de 11 a 13 anos frequentando os anos finais do ensino fundamental é de 85,04%, a proporção de jovens de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo é de 48,77% e a proporção de jovens de 18 a 20 anos com ensino médio completo é de apenas 36,11%. Considerando-se a população de 25 anos ou mais de idade, 23,16% eram analfabetos, 43,93% tinham o ensino fundamental completo, 31,57% possuíam o ensino médio completo e 8,32%, o superior completo. Todos os percentuais estão abaixo da média nacional que é, respectivamente, de 11,82%, 50,75%, 35,83% e 11,27%.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é construído a partir de 3 dimensões: educação, longevidade e renda (PNUD; IPEA; FJP, 2013). A esfera da educação tem variáveis correspondentes ao acesso à educação, dividido por faixas etárias e níveis escolares da educação básica a que essas faixas etárias correspondem; a longevidade tem uma variável apenas, que é a expectativa de vida ao nascer; e a renda é definida também por uma variável: renda média mensal *per capita*. O IDHM do Rio Grande do Norte é 0,684 (2010), o que o situa na faixa de Desenvolvimento Humano Médio (IDHM entre 0,600 e 0,699), sendo o 16° no ranking nacional. A dimensão que mais contribui para o IDHM do Estado é longevidade, com índice de 0,792, seguida de renda, com índice de 0,678, e de educação, com índice de 0,597.

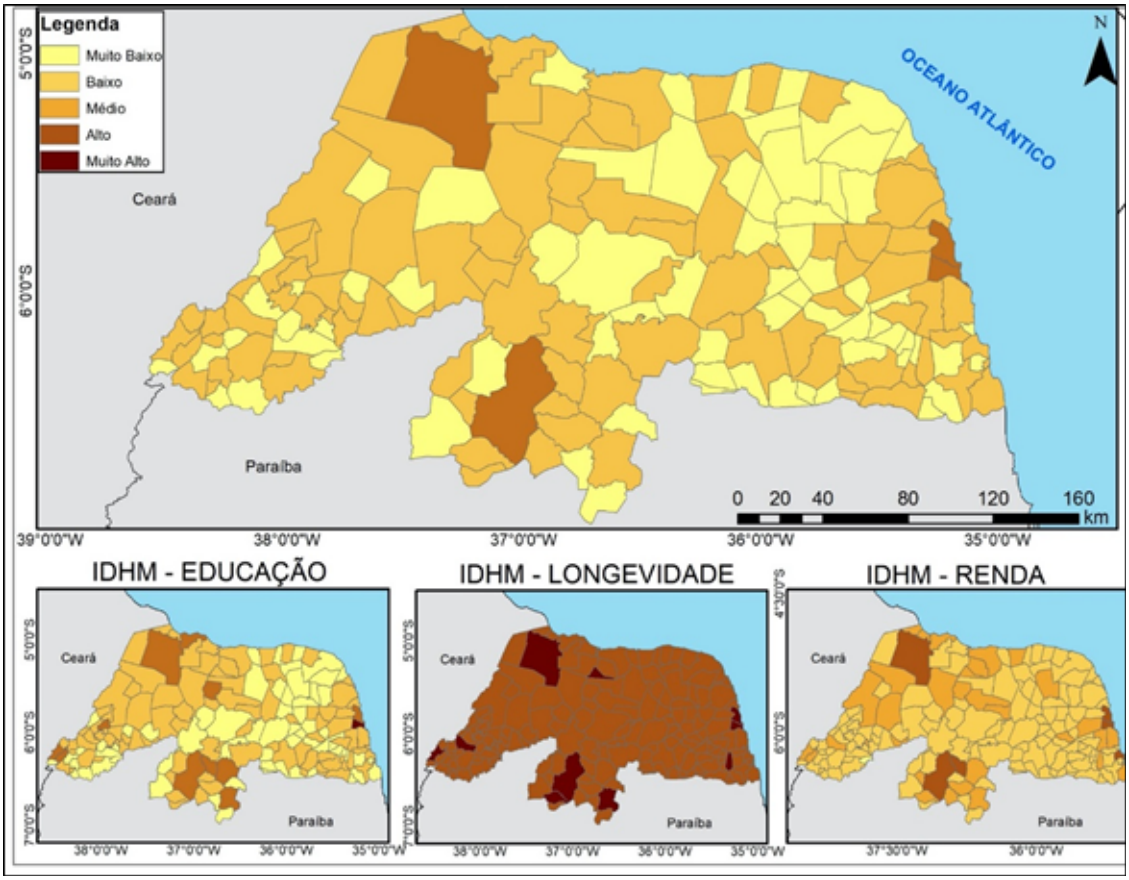
Em relação às características econômicas do RN, duas variáveis precisam ser analisadas: o Produto Interno Bruto (PIB), que é o valor calculado para a produção realizada pelas diversas atividades econômicas e a renda média per capita do Estado. O PIB pode ser analisado a partir dos municípios e regiões do Estado, também por tipo de atividade, caracterizando a riqueza produzida em cada região, o que contribui para a fixação da população, assim como, de acordo com o tipo de atividade desenvolvida, pode promover maior pressão sobre a demanda dos recursos hídricos.

O PIB do Rio Grande do Norte, em 2016, registrou R$ 59,66 bilhões, sendo o Estado que representa 1,0% da economia brasileira, ocupando a 5ª posição na Região Nordeste, em termos de valor do PIB, e a 18ª no Brasil. O setor agropecuário contribuiu com participação de 3,5% da economia potiguar, o setor industrial contribuiu com 19,0% e o setor de serviços representou 77,5% do valor adicionado (IBGE, 2018). Considerando apenas as retiradas de águas superficiais e águas subterrâneas pelas atividades econômicas para uso consuntivo, os setores agropecuário e industrial são os que mais utilizam os recursos hídricos no Brasil, numa proporção de 77,6% e 11,3%, respectivamente (IBGE; ANA, 2016).

Natal, Parnamirim e São Gonçalo tem produção industrial, comercial e de construção civil associados à proximidade de Natal, com maior concentração populacional conforme citado anteriormente. Já Guamaré tem alta produtividade de petróleo, sal e energia eólica, o que o caracteriza como o maior PIB *per capita* do Estado, com R$125.315,16, seguido de Parazinho e Pedra Grande, ambos influenciados pela energia eólica. O PIB *per capita* do Estado, porém, não representa, necessariamente, desenvolvimento para a população dos municípios já que Guamaré, por exemplo, tem um dos piores índices de renda da população, entre outros indicadores sociais ruins nas esferas de educação e saúde da população, comprovando que o que é produzido no município não retorna à população em forma de renda e boa qualidade dos serviços públicos, corroborando a má distribuição de renda e desigualdade socioespacial que marca o território do RN.

A renda municipal é outra variável importante para a caracterização socioeconômica do Rio Grande do Norte, inclusive pode ser comparada com o PIB, conforme exemplificado. A renda per capita média municipal do Estado foi analisada em conjunto com o IDHM do Estado pois é uma variável que compõe o índice na temática ‘renda’. Essa configuração pode ser visualizada no mapa da figura 13, o qual mostra a espacialização do IDHM no Estado, separados pelos temas que o compõem: educação, longevidade e renda. A classificação do IDHM reside entre 0 e 1, com valores considerados ‘muito baixo’ até 0,499; ‘baixo’ entre 0,500 e 0,599; ‘médio’ entre 0,600 e 0,699; ‘alto’ entre 0,700 e 0,799; e ‘muito alto’ de 0,800 a 1.

Figura 13: IDHM Rio Grande do Norte.



Fonte**:** PNUD; IPEA; FJP, (2013).

A partir do mapa é possível identificar que não há municípios do Estado com IDHM considerado muito baixo, porém, há 70 municípios com índice baixo, o que representa 42% do Estado; também há 93 municípios com IDHM médio, 56% do Estado, ou seja, a maioria dos municípios; e 4 municípios com nível alto de IDHM, apenas 2% do Estado, correspondente aos municípios mais populosos como Natal, Mossoró, Parnamirim (Região metropolitana de Natal) e Caicó (centro comercial da região Seridó Potiguar). Não há municípios com IDHM muito alto no Estado, portanto, os níveis de IDHM do Estado tem valores predominantemente intermediários (médio e baixo), corroborando o valor médio do Estado, que é 0,684.

Regionalmente, três polos agregam os maiores níveis de IDHM do Estado: Natal, no Litoral Oriental do Estado; Mossoró, na Região Oeste potiguar; e Caicó, na Mesorregião Central do Estado, precisamente na Microrregião Seridó potiguar. Destaca-se a centralidade exercida por essas cidades, que são as mais populosas de suas regiões, com maior amplitude de seus mercados em rede, onde o setor de comércio e serviços se destacam, com vários estabelecimentos educacionais e de saúde, assim como oportunidades de emprego, o que eleva os valores de IDHM regionalmente no entorno desses polos. Assim, esses polos têm maior importância também para o abastecimento hídrico, dada sua representatividade no desenvolvimento do Estado.

No mapa individualizado pelo tema IDHM – Educação, destaca-se o resultado positivo de Parnamirim, único do Estado com índice muito alto para as variáveis que compõem a temática educação. De maneira geral, o restante dos municípios segue a lógica dos três polos do Estado, inserindo-se o município de Pau dos Ferros, na Microrregião Alto Oeste, no extremo oeste potiguar, exercendo centralidade de estabelecimentos de ensino, registrando valor alto de IDHM – Educação e aumentando os índices dos municípios em seu entorno.

Já no mapa do Estado relativo ao IDHM – Longevidade, tem-se a maior parte do Estado com valores considerados 'alto' na classificação, assim como 10 municípios com valores 'muito alto' do fator. Essa realidade se dá pelo aumento dos serviços de saúde, sobretudo saúde preventiva e medicina familiar, pois nesses municípios a qualidade de vida também marca a elevação desses valores. Regionalmente, os três polos se destacam também para essa temática do IDHM, assim como municípios isolados como São Miguel (Alto Oeste), Parelhas (Seridó), Alto do Rodrigues (Central) e Espírito Santo (Agreste Potiguar), notadamente pelo acesso à medicina familiar, hábitos alimentares e qualidade de vida, que proporcionam maiores índices de longevidade nesses municípios.

Por último, tem-se o mapa individualizado para a temática 'renda' do IDHM estadual, no qual os três polos se destacam com valores considerados altos para IDHM – Renda, seguindo a mesma lógica citada anteriormente. No Estado, predominam valores baixos para renda média mensal *per capita*, variável que compõe essa dimensão do IDHM (128 municípios, 77% do Estado); seguido por valores médios (35 municípios, 21% do total); e apenas 4 municípios com IDHM – Renda alto, 2% do total de municípios do Estado. Evidencia-se, no mapa, a polarização exercida por Natal e Parnamirim (município limítrofe), Mossoró e Caicó, com valores altos do IDHM – Renda, associados a vários municípios próximos com valores médios. Nenhum município do Estado tem valores classificados como 'muito alto' para essa temática, porém, há um município classificado como 'muito baixo', João Dias.

CAPÍTULO 3:

UM DESASTRE SOCIOAMBIENTAL: A CONSTRUÇÃO TEÓRICA-METODOLÓGICA DO RISCO DE DESABASTECIMENTO HÍDRICO

Além da contextualização e caracterização socioambiental, que foram essenciais para compreender o adensamento da rede de abastecimento do Estado, houve um percurso científico que envolveu a aplicação do conhecimento geográfico em uma análise sistêmica dos elementos que compõem a estrutura e funcionalidade do(s) sistema(s) de abastecimento hídrico do RN, utilizando-se das proposições conceituais e teórico-metodológicas dos estudos de risco socioambiental e da problemática do desabastecimento hídrico no semiárido.

Nesta pesquisa o desabastecimento hídrico é visto como um desastre pelas suas características em relação aos prejuízos financeiros e perdas materiais promovidos ao Estado (enquanto instituição social) e à população. Um desastre, como supracitado, "é o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais" (CASTRO; MOURA; CALHEIROS, 2007).

Como um dos conceitos chaves deste livro, o risco teve seus primeiros estudos na Geografia por volta da década de 1920, com Gilbert F. White, que juntamente com Ian Burton e Robert W. Kates, geógrafos e colegas de graduação na tradicional Escola de Chicago – Estados Unidos da América foram os precursores das discussões sobre os riscos de desastres na Geografia a partir da produção de estudos, concepções e conceitos em torno dos "*Natural Hazards",* traduzido e utilizado no Brasil como "Perigos Naturais" (MARANDOLA JR; HOGAN, 2004).

Nesse contexto, os conhecimentos geográficos relacionando questões sociais e ambientais têm sido fundamentais na resolução das problemáticas inerentes ao risco de desastre em áreas urbanas e rurais, tanto no contexto mundial quanto no brasileiro. Assim, a análise crítica do uso que o homem faz da natureza deve estruturar as intervenções de políticas públicas e planejamento socioambiental, perspectiva esta que direcionou este livro, pois no concernente ao desabastecimento hídrico no RN, tal percepção está presente na análise desse risco, pois as políticas públicas promovem infraestruturas, usos hídricos e funcionalidade do(s) sistema(s) de abastecimento hídrico de maneira diferente no Território.

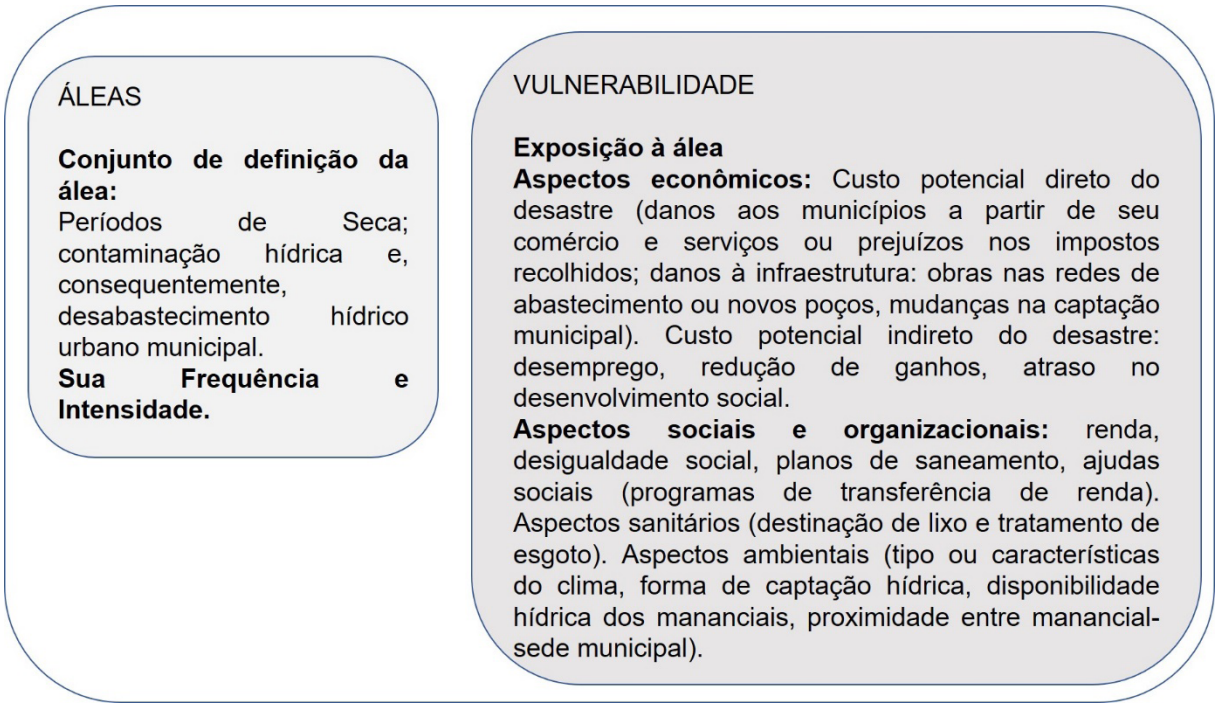
Nesta pesquisa entende-se por risco "uma construção social e está diretamente ligado à concepção da população em relação a algum perigo potencial de causar danos físicos e/ou perdas materiais de grande monta" (VEYRET, 2007, p. 24). Nesse contexto, o conceito de Risco (R) adotado é a função entre perigos (álea[6]) naturais (P) e a vulnerabilidade social (V) de uma localidade ou município, portanto R = f (P, V). Então, deve-se ter em mente a necessidade de se

6 Segundo Veyret (2007, p. 24), álea seria o "acontecimento possível; pode ser um processo natural, tecnológico, social, econômico e sua probabilidade de realização". Se vários acontecimentos são possíveis, fala-se de um conjunto de áleas. O termo equivalente em inglês é *hazard* e em português o termo é "perigo".

compreender tanto a dinâmica dos elementos ambientais – naturais e artificiais (aí se insere a infraestrutura hídrica também) – que compõem um território, como também os condicionantes sociais (ou socioeconômicos) que expõem um indivíduo (ou grupo) a uma situação de risco.

Já o perigo, é uma "ameaça potencial para as pessoas e seus bens, enquanto risco é a probabilidade da ocorrência de um perigo e de gerar perdas". (SMITH, 2001, p. 392). Já a vulnerabilidade resulta da capacidade de cada indivíduo quanto "a resistência ou capacidade de lidar e se recuperar do impacto de um perigo natural" (BLAIKIE et al., 1994, p. 9). Nessa perspectiva, a vulnerabilidade é entendida como condição de suscetibilidade a algum evento potencialmente causador de danos materiais e físicos à população residente.

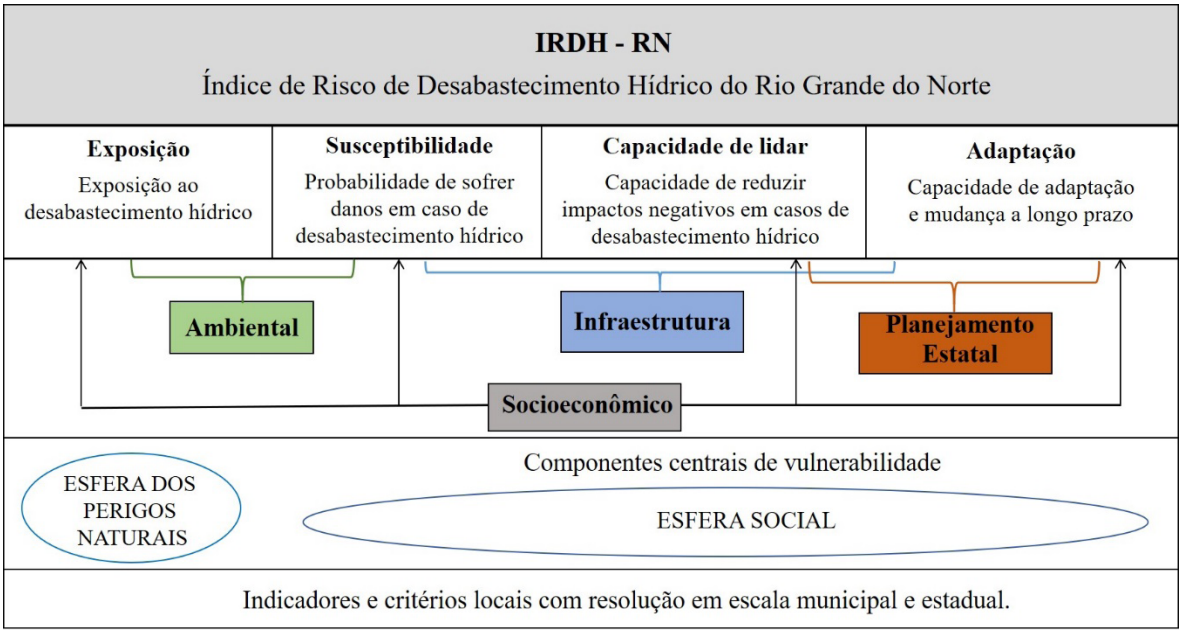
Figura 14: O risco, uma construção Social.



Fonte: Adaptado de Veyret (2007, p. 41)

Nesse contexto, colocados os conceitos inerentes à temática do risco de desastres, com ênfase no desabastecimento hídrico urbano municipal, é preciso definir o quadro conceitual que estrutura o índice e o sistema de indicadores do IRDH. A figura 15 mostra o quadro conceitual do IRDH a partir da adaptação do Índice de Risco de Desastre do Brasil (DRIB) de Almeida (2016), que, por sua vez, se baseou no *World Risk Index* (WELLE; BIRKMANN, 2015).

Figura 15: Quadro conceitual da estrutura do IRDH a partir do sistema de indicadores sociais e naturais.

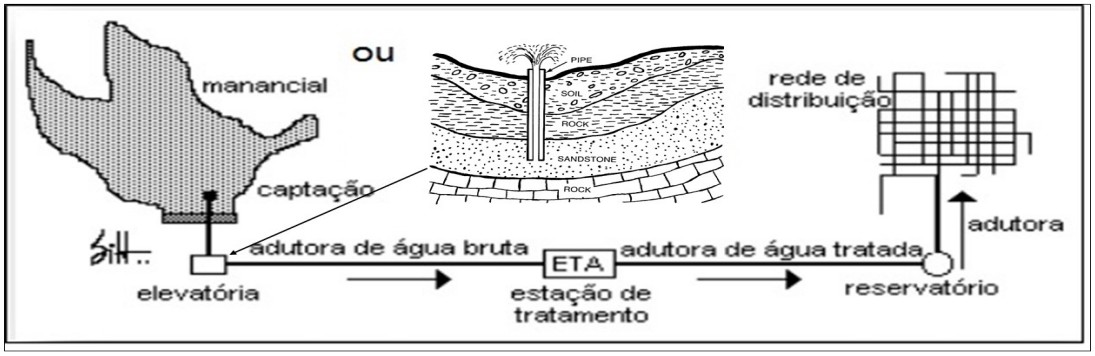


Fonte: adaptado de Almeida (2016).

A figura 15 mostra como se estruturou o IRDH na pesquisa e como são entendidos os conceitos de perigo e vulnerabilidade neste trabalho. Neste contexto, a esfera dos perigos naturais passíveis de produzir desastres (nesse caso o desabastecimento hídrico) é inerente à exposição dos munícipes ao desabastecimento e, no IRDH, representado principalmente pelo indicador ambiental. Já a vulnerabilidade é representada pela tríade suscetibilidade, capacidade de lidar e se adaptar da população urbana municipal do RN, no IRDH representada, principalmente, pelos indicadores de infraestrutura, de planejamento estatal e socioeconômico. Nesse contexto, as variáveis que compõem os indicadores do IRDH respondem por essas esferas.

Partindo dessa perspectiva de abordagem metodológica, o sistema de abastecimento hídrico do RN, seus subsistemas e particularidades foram analisados considerando seus elementos constituintes em uma relação interescalar e consonante com a abordagem sistêmica. Esses elementos são, em sequência: captação; adução; tratamento; armazenamento; e distribuição, conforme fluxograma geral exposto na figura 16.

Figura 16: Esquema de um sistema convencional de abastecimento de água urbano



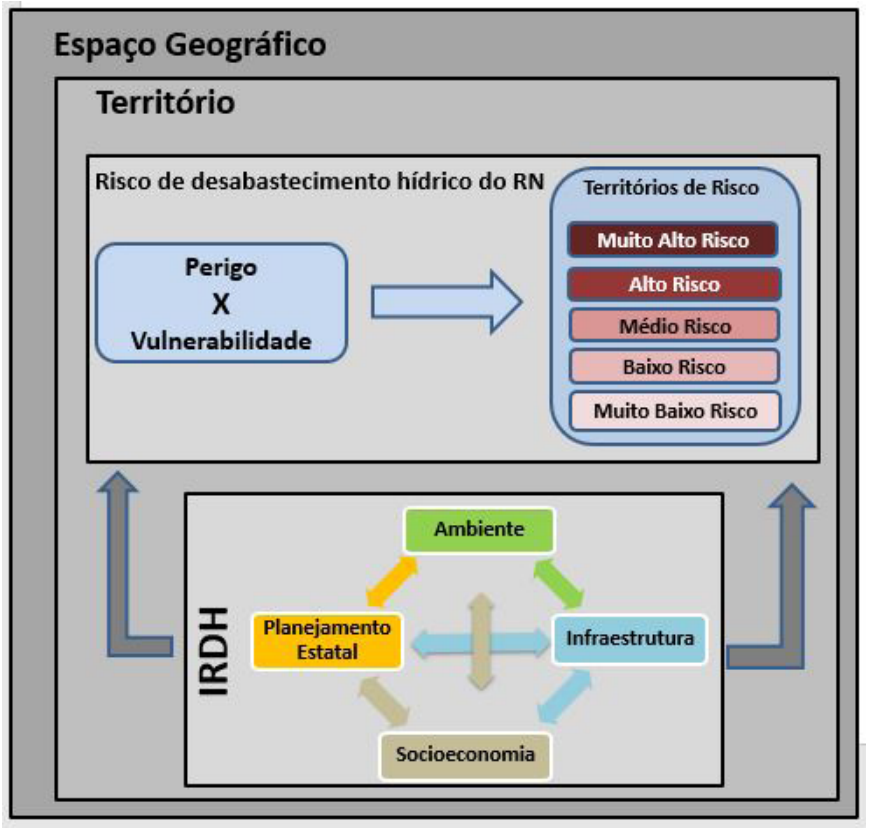
Fonte: adaptado de Medeiros (2009).

Por captação entende-se a estrutura para retirada de água do manancial abastecedor (fonte de onde se retira a água), podendo ser uma captação superficial, como em açudes, lagos e lagoas, ou subterrânea, como em poços artesianos ou tubulares com bombeamento. Já a adução é a canalização de transporte da água entre as diversas unidades do sistema. Trata-se do processo de transporte da água para os pontos de consumo finais, como as residências, indústrias ou comércios (se tratando de áreas urbanas).

Posteriormente à adução, no padrão do sistema de abastecimento hídrico, há o tratamento, que é a retirada das impurezas indesejáveis ao emprego final da água e consiste nos processos físicos e químicos que compõem as Estações de Tratamento de Água (ETA) ou mesmo as formas de tratamento mais simples, como a dos poços em que só há a cloração antes da injeção na rede. Seguido pelo armazenamento dos excessos de água para compensações de equilíbrio, de emergência, acidental ou anti-incêndio. E a distribuição, que se trata da condução através de canalizações (rede de tubulações) até os pontos de consumo (ramais prediais) residenciais, comerciais e industriais.

A partir da definição e discussão teórico-metodológica dos conceitos centrais apresentados neste livro, a figura 17 mostra um organograma de encadeamento desses conceitos e a relação entre eles para a análise que foi realizada.

Figura 17: Quadro teórico-metodológico simplificado da pesquisa.



Fonte: elaboração própria (2019).

A partir desse quadro teórico-metodológico, percebe-se que o risco de desabastecimento hídrico pode ser relacionado com o espaço geográfico e território. O risco tem os conceitos necessários à sua análise, que é a função entre vulnerabilidade e perigo, tendo como resultados as classes de risco de cada município (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto), que estruturam os territórios de risco de desabastecimento hídrico no RN. Essa configuração é operacionalizada pelo IRDH (Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico), que relaciona de maneira sistêmica, ou seja, integrada, os fatores inerentes à hipótese apresentada no início do livro, que são colocados como responsáveis pela materialização do risco, sendo eles: meio ambiente, infraestrutura, socioeconomia e planejamento estatal.

Para a realização dessa proposta e verificação da hipótese ora apresentada, tal como sua operacionalização técnico-científica, é preciso expor o detalhamento dos procedimentos metodológicos adotados.

Num primeiro momento, com objetivo específico de caracterizar o(s) sistema(s) de abastecimento hídrico municipal urbano do RN, analisou-se, temporal e espacialmente, as políticas públicas e ações que estruturaram o sistema de abastecimento hídrico do Estado, a partir das primeiras obras de integração de sistemas de abastecimento, como os grandes açudes (açudagem) e primeiras adutoras. Portanto, marcando a evolução da técnica aplicada no território, materializando estruturas hídricas e desenvolvendo o SAA do Estado. Diante disso, foram pesquisados documentos oficiais e relatórios dos órgãos responsáveis pelo abastecimento hídrico do Estado, assim como livros históricos, para entender como a sociedade do RN lidou com o desabastecimento hídrico ao longo do tempo, como meta de obter o embasamento processual do sistema de abastecimento hídrico.

Posteriormente, visando propor o índice de risco de desabastecimento hídrico (IRDH) a partir de sistema de indicadores socioambientais, houve um levantamento bibliográfico, que teve como ponto de partida os trabalhos de Almeida, Welle e Birkmann (2016); Welle e Birkmann (2015), os quais tiveram a escala nacional e global, respectivamente. Estes trabalhos foram as referências de análise das variáveis que formaram um índice com características naturais e sociais relacionadas, como é comum nos estudos de risco geográfico de desastres. Neste contexto metodológico, a pesquisa deste livro se referenciou para a concepção do IRDH, utilizando SIG (Sistema de Informações Geográficas) e mapas do Estado, assim como variáveis inerentes às características de vulnerabilidade social e exposição ao perigo natural, adaptados ao risco de desabastecimento hídrico, como um desastre que afeta o Rio Grande do Norte, promovendo perdas materiais e limitações ao desenvolvimento social e qualidade de vida da população urbana municipal do estado.

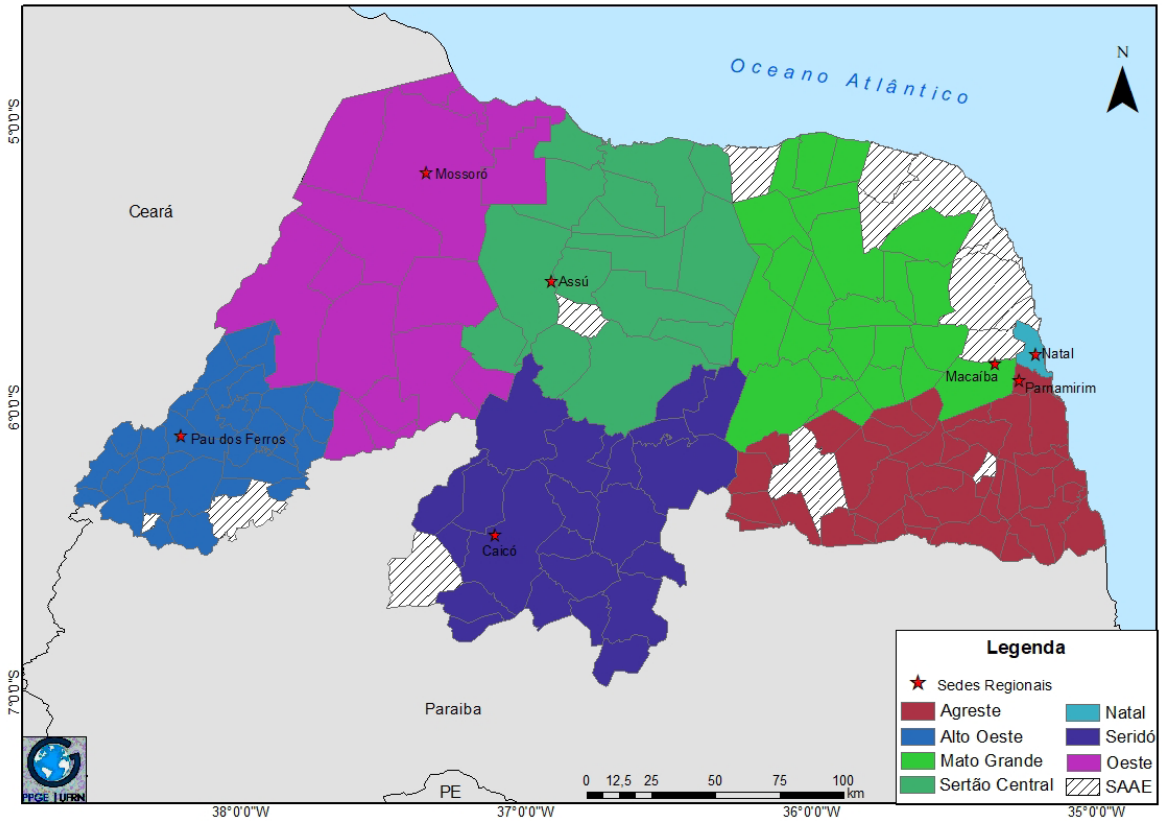
Em um terceiro momento, para demonstrar a importância das variáveis e sua ponderação no IRDH, houve o detalhamento dos indicadores que compõem o sistema de análise do risco de desabastecimento hídrico, expondo os critérios para escolha das variáveis e sua ponderação

específica. Cada variável foi ponderada tendo um peso específico dentro do indicador, o qual também recebe peso diferente dentro do sistema de indicadores. Nesse contexto, também houve a exposição dos critérios de escolha dos indicadores e seus pesos, assim como da escolha das variáveis e seus pesos.

A partir da proposição e justificativa do IRDH, buscou-se analisar os padrões regionais da espacialização do índice a partir da classificação do risco municipal. Esta análise se deu em função da regionalização dos subsistemas de abastecimento hídrico do Estado, a partir das regiões de abastecimento com o mapa de risco de desabastecimento da região, definindo padrões espaciais, causas e consequências. Também foram levadas em consideração as características naturais e socioeconômicas do Estado, em consonância com a caracterização físico-ambiental.

Esta regionalização é a utilizada pela concessionária de abastecimento hídrico estadual, a CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do RN), tem critério funcional e administrativo de classificação, colocando nas principais cidades das regiões a sede da administração regional. Natal é subdividida em duas regionais – Sul e Norte, Mossoró da Região Oeste, Pau dos Ferros da Região Alto Oeste, Caicó da Região Seridó, Assú da Região Central, Parnamirim da Região Agreste e Macaíba da Região Mato Grande, o que pode ser visualizado no mapa da figura 18.

Figura 18 - Regionalização adotada para análise do IRDH do Rio Grande do Norte



Fonte: autoria própria com base em CAERN (2018).

Por fim, houve a proposição de medidas mitigadoras e alternativas para o abastecimento hídrico para a diminuição do risco de desabastecimento hídrico do RN. As quais foram propostas em função dos indicadores que compõem o sistema de análise da pesquisa, sendo observada também a relação entre os indicadores e a resolução dos problemas identificados no IRDH no Rio Grande do Norte. O conhecimento dos indicadores que compõem a hipótese desta pesquisa pode, individualmente ou de forma combinada, contribuir na resolução de problemas identificados no(s) sistema(s) de abastecimento hídrico das regiões do Estado, melhorando o seu funcionamento.

Para resumir a discussão sobre a metodologia da pesquisa, o quadro da figura 19 mostra, de maneira geral, os procedimentos metodológicos inerentes a esta pesquisa, divididos por etapas: trabalhos iniciais; de campo; de laboratório; de gabinete.

Figura 19: Quadro–resumo dos procedimentos metodológicos e técnicos.

TRABALHOS INICIAIS			
Levantamento Bibliográfico; Jornais; órgãos de administração pública; Levantamento de dados preliminares	Confecção de Mapas preliminares – utilização de ferramentas de geoprocessamento.	Tabulação dos dados ambientais (naturais e socioeconômicos).	Caracterização ambiental da área de estudo.
TRABALHOS DE CAMPO			
Aplicação de questionário na concessionária de abastecimento hídrico estadual.	Registros fotográficos.	Entrevistas com técnicos da concessionária sobre dúvidas e casos particulares.	
TRABALHOS DE LABORATÓRIO			
- Laboratório de Geoprocessamento (DGE – UFRN); - Elaboração de mapas temáticos; - Criação do Banco de dados (S.I.G.); - Elaboração dos mapas e gráficos resultantes do IRDH.			
TRABALHOS DE GABINETE			
Construção do acervo fotográficos	Tabulação dos dados do questionário	Tabulação dos dados do IRDH	
Produção do Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico do RN (IRDH)	Análise dos resultados do IRDH, ajustes e testes de variáveis;		

Fonte: elaborado pelo autor.

De maneira simplificada, a partir do quadro exposto, é possível identificar as etapas da pesquisa, em quatro momentos. No primeiro, há os trabalhos de pesquisa, solicitações de dados nas instituições, entrevistas preliminares, início da tabulação de dados socioeconômicos disponíveis nos bancos de dados da internet (IBGE, SNIS, IPEA), dados em *shapefile* e relatórios sobre características ambientais, para confecção dos mapas e texto sobre a caracterização ambiental. Depois, houve a etapa dos trabalhos de campo, para coleta de dados nos órgãos responsáveis pelo abastecimento hídrico, aplicação de questionários e registros fotográficos de casos particulares e equipamentos de infraestrutura hídrica mais importantes do Estado. No terceiro momento, foram realizados os trabalhos de laboratório, com ênfase na criação do banco

de dados do IRDH em ambiente SIG – Sistema de informação geográfica, em que foram feitos os ajustes e testes no índice, com isso, produzindo-se os mapas temáticos. Por último a etapa de gabinete, a qual foi realizada, produção do IRDH final, tabulação dos dados e análise dos resultados.

O sistema de indicadores de risco ao desabastecimento hídrico urbano do RN está no primeiro momento da pesquisa e contribui com a base metodológica para o mapeamento desse tipo de risco no Estado. Essa pesquisa se propôs a analisá-lo, definindo suas causas e consequências, assim como a propor medidas mitigadoras para diminuição do risco e, com isso, dos problemas relacionados ao desabastecimento hídrico no Estado. A partir desse entendimento, foram elaboradas duas equações contemplando variáveis que compõem indicadores e estes, por sua vez, estruturam um índice (IRDH).

Dentro do conjunto de dados coletados, cada variável e indicador têm seu peso no resultado, os pesos são determinados de acordo com o grau de relevância de cada variável e indicador. Há variáveis mais relevantes do que outras para a caracterização do risco de desabastecimento hídrico municipal e isso é respaldado na literatura, planos de recursos hídricos estaduais (RN, CE e PB), planos de saneamento municipais (Natal, Fortaleza e João Pessoa), experiências de trabalho e relatórios técnicos sobre a temática.

A distribuição dos pesos nas variáveis se deu de acordo com o número de variáveis agrupadas em cada indicador presente no quadro 3, em que a soma dos pesos será igual ao número de variáveis do indicador. O mesmo se aplica à soma dos pesos dos indicadores, que são quatro: Ambiental, Infraestrutural, Planejamento estatal e Socioeconômico. As variáveis foram categorizadas em uma escala com variação de 1 (de menor risco) a 5 (alto risco), ou seja, 1 corresponde a "muito baixo", 2 - "baixo", 3 – "médio", 4 – "alto" e 5 – "muito alto" risco.

A necessidade de criação de um índice se dá pela redução e simplificação dos dados e variáveis envolvidas na análise, como lembra Babbie (2005), "índices e escalas (especialmente escalas) são dispositivos de redução de dados, as várias respostas de um respondente podem ser resumidas num único escore, e mesmo assim os detalhes específicos daquelas respostas serem mantidos quase que na totalidade" (BABBIE, 2005, p. 214).

Após estabelecer o peso de cada variável e indicador na amostra, foram modeladas as equações 1 e 2. Como cada variável analisada tem um grau de importância relativa (peso), a ideia de média aritmética ponderada se adequa à situação, portanto é conveniente representar o conjunto de dados em questão através de um índice que considera a média ponderada dos valores obtidos em cada variável, de acordo com os respectivos pesos definidos pelo quadro 3. Para melhor detalhar a análise, houve a divisão em dois índices, um representa a Média por Indicador (MI) e outro o Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico (IRDH):

Equação 1: Média por Indicador (MI):

$$MI = \frac{\sum_i^n (V_i \cdot PV_i)}{\sum_i^n PV_i}$$

Onde, é a primeira variável do indicador e é a última, é o resultado obtido para i-ésima variável de um indicador específico e o peso referente à respectiva variável obtida no levantamento de dados da pesquisa. O quadro 3 traz a categorização das variáveis associadas ao peso de cada uma dentro do indicador, sendo 19 variáveis agrupadas em indicadores, de modo que a soma dos pesos de cada variável é igual à quantidade de variáveis do indicador. A Média por Indicador (MI) tem por finalidade estabelecer um índice, dando um diagnóstico da situação do município referente a cada indicador. Além disso, este valor será usado para determinar o índice geral, que é o IRDH.

Equação 2: Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico (IRDH):

$$IRDH = \frac{\sum_{j}^{n}(MI_j \cdot PI_j)}{4}$$

A Equação 2 trata do IRDH, em que, j é o primeiro indicador e é o último, é o resultado da Equação 1 para o j-ésimo indicador, ponderado pelo peso específico do respectivos indicador . Como já foi mencionado, cada indicador tem uma importância (peso) diferenciada dentro do índice geral. O IRDH consolida em um único parâmetro o risco de desabastecimento hídrico de cada município, já que considera todos as variáveis e indicadores levantados no estudo.

Como supracitado, as variáveis colhidas obedecem a uma escala de pontuação de 1 a 5, de “muito baixo” a “muito alto” risco, o que garante que as duas equações conduzam a índices que também terão o mesmo grau de amplitude, que serão representados a partir da classificação pela técnica “intervalos idênticos”, do maior para o menor nível de risco: Muito Alto, Alto, Médio, Baixo e Muito Baixo risco. Esses níveis foram espacializados nos mapas a partir de um padrão de cores, em que a mais escura corresponde ao nível maior de risco e a mais clara, ao menor risco.

Quadro 3: Variáveis que compõem o sistema de indicadores do IRDH.

INDICADOR	VARIÁVEIS	CATEGORIAS	PESO VARIÁVEL	PESO INDICADOR
Ambiental	(V1) Vazão média dos poços;	Superior a 50,1 (N1); 25,1 a 50,0 m3/h (N2); 10,1 a 25,0 m3/h (N3); 5,1 a 10,0 m3/h (N4); 0,1 a 5,0 m3/h (N5)	1,25	1
	(V2) Corpos d’água superficiais naturais no município	Rio Perene (N1); Riacho Perene (N2); Rio intermitente (N3); Riacho intermitente (N4); Ausência de corpos d’água no município (N5)	1,25	
	(V3) Tipo Climático predominante do Município	Tropical úmido (N1); Tropical Semiúmido (N2); Tropical semiárido brando (N3); Tropical Semiárido Mediano (N4); Tropical Semiárido Forte (N5)	0,75	
	(V4) Vulnerabilidade geral do manancial subterrâneo de abastecimento hídrico municipal (índice GOD)	Desprezível (N1); Baixa (N2); Média (N3); Alta (N4); Extrema (N5)	0,75	

Infraestrutural	(V5) Tipo de Captação	Abastecidos por poços da bacia sedimentar potiguar (granular) (N1); Abastecidos de forma mista - poços e adutoras (N1); Abastecidos por adutoras com captação na bacia sedimentar potiguar (N2); Abastecidos por adutoras com captação em barragens (ou outros mananciais) no cristalino potiguar (N3); Abastecidos por poços no aquífero Jandaíra (N3); Abastecidos por poços do cristalino (N4); Abastecidos por grandes barragens municipais (locais) no cristalino potiguar (N4); Abastecidos por pequenas barragens, com capacidade de até 25 milhões de m³ (ou outras captações) municipais (locais) no cristalino potiguar (N5);	1,5	1,75
	(V6) Existência de tratamento de esgoto e resíduos sólidos (coleta e destinação adequada) no município	Coleta de resíduos urbanos regular/semanal (aterro sanitário) e tratamento de esgoto (N1); Tratamento de esgoto com Ausência de coleta de resíduos urbanos e/ou destino para lixões (N3); Coleta de lixo regular/ semanal e destinação para aterro sanitário sem tratamento de esgoto (N4); Ausência de tratamento de esgoto e sem destinação ideal para resíduos urbanos (N5)	0,75	
	(V7) Capacidade dos Reservatórios do município (para armazenamento)	Reservatório(s) com mais de 600m³ de capacidade (N1); Reservatório(s) entre 451 e 600m³ de capacidade (N2); Reservatório(s) com entre 251 e 450m³ de capacidade (N3); Reservatório(s) com capacidade entre 50 e 250m³ (N4); Reservatório com menos que 50m³ de capacidade ou ausência de reservatórios/distribuição direto na rede (N5)	1	
	(V8) Tempo de Instalação da rede de abastecimento hídrico urbano (vida útil)	Rede instalada até 10 anos (N1); Rede instalada de 10 a 15 anos (N2); Rede instalada de 15 a 20 anos (N3); Rede instalada de 20 a 30 anos (N4); Rede instalada a mais de 30 anos (N5)	1	
	(V9) Material construtivo da rede de abastecimento hídrico urbano	Tubo PVC (N1); Tubo PVC e Ferro fundido (N2); Ferro fundido (N3); Tubo PVC ou ferro fundido e cimento amianto (N4); Cimento amianto (N5)	1	
	(V10) Porcentagem de Domicílios abastecidos por água encanada em meio urbano	90 a 100% (N1); 75 a 90% (N2); 50 a 75% (N3); 25 a 50% (N4); até 25% (N5)	0,75	

Planejamento Estatal	(V11) Ocorrências registradas de Colapso de abastecimento urbano do município, nos últimos 6 anos de seca.	Não Houve Colapso de abastecimento hídrico urbano municipal no período entre 2012-2017 (N2); Houve Colapso parcial do abastecimento hídrico urbano municipal ou sistema de rodízio no período entre 2012-2017 (N3); Houve Colapso de abastecimento hídrico urbano municipal no período entre 2012-2017 (N5)	1,5	0,75
	(V12) Medidas estruturais para reduzir risco de desabastecimento	Existência de obras estruturantes de reservatórios ou rede de distribuição (N2); Existência de projeto com recursos alocados para obras estruturantes do SAA municipal (N3); Existência de outra opção para o abastecimento hídrico em caso de colapso (N4); Ausência de opções para abastecimento (N5)	0,75	
	(V13) Gestão de risco de desabastecimento no município (Defesa Civil; secretaria responsável etc.)	Existência de secretaria de seguridade social, recursos hídricos, meio ambiente e segurança pública com defesa civil estruturada (N1); Existência de instrumentos de controle e monitoramento para RRD de desabastecimento hídrico (N2); Existência de defesa civil com estrutura e articulação interinstitucional (N3); Existência de plano municipal de RRD ou plano de contingência (N4); Existência apenas de defesa civil (ou não) sem a estrutura mínima (N5);	0,75	
	(V14) Existência de plano municipal referente ao abastecimento hídrico (plano de saneamento etc.)	Existe (N2); em planejamento (N3); não existe (N4)	1	
Socioeconômico	(V15) Nível de cobertura de programa de transferência de renda (Bolsa Família)	Acima de 75% da população (N1); 50 a 75% da população (N2); 25 a 50% da população (N3); 10 a 25% da população (N4); até 10% da população (N5)	0,75	0,50
	(V16) IDHM – Renda (*renda per capita* da população, ou seja, a renda média mensal dos indivíduos residentes no município)	IDHM-R Muito Alto (N1); IDHM-R Alto (N2); IDHM-R Médio (N3); IDHM-R Baixo (N4); IDHM-R Muito Baixo (N5);	1	
	(V17) IDHM – Educação	IDHM-E Muito Alto (N1); IDHM-E Alto (N2); IDHM-E Médio (N3); IDHM-E Baixo (N4); IDHM-E Muito Baixo (N5);	1	
	(V18) Quantidade de habitantes urbanos do município	de 100 a 1.000 habitantes (N1); entre 1.000 e 2.500 habitantes (N2); entre 2.500 a 60.000 Habitantes (N3); entre 60.000 e 250.000 habitantes (N4); mais de 250.000 habitantes (N5)	1,50	
	(V19) Índice de Gini	Índice de Gini Muito baixo - 0,0 a 0,19 (N1); índice de Gini Baixo - 0,20 a 0,39 (N2); índice de Gini Médio - 0,40 a 0,59 (N3); índice de Gini Alto - 0,60 a 0,79 (N4); índice de Gini muito alto - 0,80 a 1 (N5)	0,75	

Fonte: elaboração própria.

CAPÍTULO 4:

RISCO DE DESABASTECIMENTO HÍDRICO NO RIO GRANDE DO NORTE

O Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico do Rio Grande do Norte (IRDH) foi produzido a partir de 19 variáveis, agrupadas em quatro indicadores, quais sejam: ambiental; infraestrutural; planejamento estatal; e socioeconômico. Esses indicadores respondem pela exposição, suscetibilidade, capacidade de lidar e adaptação ao risco de desabastecimento hídrico urbano municipal do Rio Grande do Norte.

A análise regional se deu a partir desses indicadores em cada região de abastecimento hídrico da concessionária de abastecimento hídrico estadual, que é responsável por 153 municípios dos 167 do RN. No Estado, 14 sedes municipais são abastecidas por sistemas autônomos administrados por cada prefeitura. A partir dessa análise, foram definidos os territórios de risco de desabastecimento hídrico que foram definidos pelo IRDH, os quais são os municípios com 'alto' e 'muito alto' risco.

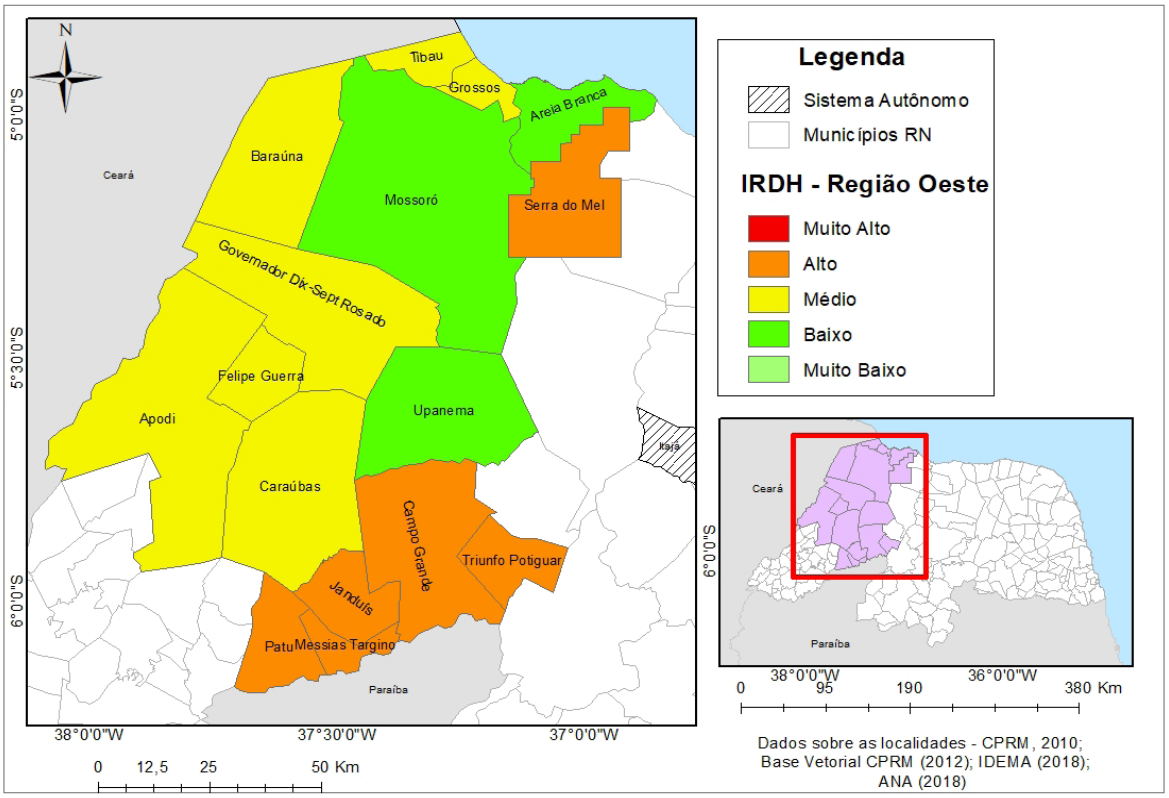
Nesses municípios onde o abastecimento hídrico é realizado pelos SAAE's (Sistemas Autônomos de Água e Esgoto), as informações sobre o sistema não foram disponibilizadas como na concessionária estadual. As prefeituras não costumam divulgar os dados sobre abastecimento de água, como infraestrutura e qualidade da água, origem das captações e demais informações necessárias para o IRDH. Além disso, não há uma organização das informações centralizadas em um órgão e/ou obtidas através de critérios técnicos, ao contrário do que acontece na concessionária e secretaria de recursos hídricos do Estado. Inclusive, ao se tentar consegui-las, há certo receio em disponibilizar as informações por parte da administração municipal, o que dificultou a pesquisa, fazendo com que o foco de análise se restringisse aos 153 municípios de responsabilidade da concessionária, totalizando 92% do total estadual. Ainda assim, esses dados atribuíram à pesquisa grande confiabilidade e representatividade no território do Rio Grande do Norte (RN) quanto aos resultados.

4.1 Região Oeste

Conforme exposto na seção sobre os procedimentos metodológicos da pesquisa, cada indicador foi agrupado na composição do índice geral, o IRDH - Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico do Rio Grande do Norte. Esse índice é consonante com a hipótese da pesquisa pois agrupa as esferas ambiental, infraestrutural, planejamento estatal e socioeconômica na caracterização do risco de desabastecimento hídrico do Estado.

Após tabulação de cada indicador – e suas variáveis – que compõe o IRDH, resta o resultado do índice geral para a Região Oeste, que foi cartografado. O mapa da figura 20 mostra a configuração do resultado do IRDH para a Região.

Figura 20: IRDH da Região Oeste de abastecimento hídrico do RN.



Fonte: elaboração dos autores.

A partir do mapa, conclui-se que a Região Oeste não apresentou nenhum município com 'muito baixo' risco de desabastecimento e três (3) como de 'baixo' risco (Upanema, Mossoró e Areia Branca). São municípios com boa infraestrutura hídrica, de maneira geral, sendo abastecidos por poços tubulares e/ou de forma mista e por adutora (Mossoró). Além, ainda, de esses poços serem de boa vazão e qualidade, captados no Arenito Açu, o melhor aquífero do Estado quanto a resistência de utilização em períodos de seca, somadas às condições de potabilidade e potencial de exploração. Sobre esses municípios também é preciso pontuar que há corpos d'água superficiais que poderiam (mediante estudo de qualidade) ser utilizados como alternativa de abastecimento no caso de Mossoró e Upanema.

O resultado da análise espacial classificou sete (7) municípios com 'médio' risco: Tibau, Grossos, Baraúna, Apodi, Felipe Guerra, Caraúbas e Gov. Dix-sept Rosado, os quais têm, de maneira geral, resultados ruins no indicador de planejamento, assim como o indicador socioeconômico. Esses resultados, quando associados, os caracteriza como intermediários na classificação do IRDH, colocando-os na categoria 'médio' risco de desabastecimento hídrico.

Seis (6) municípios foram classificados como 'alto' risco (Patu, Messias Targino, Janduís, Campo Grande, Triunfo Potiguar e Serra do Mel) e nenhum como 'muito alto' risco. Isso se dá, principalmente, pela infraestrutura hídrica deficiente e características ambientais desses municípios, corroborando os pesos dos indicadores. No concernente às características ambientais, são municípios - com exceção de Serra do Mel - localizados no cristalino potiguar,

áreas com baixa disponibilidade/vazão de captação hídrica subterrânea e que dependem das adutoras captando água a quilômetros de distância na barragem Armando Ribeiro Gonçalves e/ou Rio Piranhas-Açu. Além disso, a vulnerabilidade de contaminação do manancial subterrâneo desses municípios (menos Serra do Mel) aumenta bastante devido ao tipo de aquífero ser fissural (cristalino potiguar). Essas características, associadas, aumentam o nível de risco geral a partir do indicador ambiental. A Tabela 3 apresenta os resultados do IRDH para e seu quantitativo populacional.

Tabela 3: Quantitativo populacional urbano municipal do IRDH - Região Oeste de abastecimento hídrico, Rio Grande do Norte

Nível de Risco	Municípios	População Urbana (Hab.)	População Urbana Total (Hab.)
Muito Alto	---	---	---
Alto	Patu	10.159	27.686
	Serra Do Mel	2.698	
	Messias Targino	3.638	
	Janduís	3.992	
	Campo Grande	5.002	
	Triunfo Potiguar	2.197	
Médio	Apodi	17.531	66.810
	Baraúna	15.210	
	Caraúbas	13.514	
	Tibau	2.835	
	Felipe Guerra	3.875	
	Governador Dix-Sept Rosado	6.806	
	Grossos	7.039	
Baixo	Upanema	6.298	263.856
	Mossoró	237.241	
	Areia Branca	20.317	
Muito Baixo	---	---	---

Fonte: Censo IBGE (2010) e dados da pesquisa.

Analisando a Tabela 3 e a Figura 20, pode-se perceber que, em relação ao quantitativo dos municípios, 44% estão na classe de risco ‘médio’, 37% ‘alto’ risco e 19% ‘baixo’ risco. Porém, em relação à população da região, a classe de ‘baixo’ risco tem maior proporção, 74% dos habitantes urbanos, por causa do peso que o município de Mossoró tem no quantitativo populacional regional.

Nota-se que o indicador de planejamento estatal, para os municípios identificados com alto risco de desabastecimento hídrico, teve influência significativa, pois eles tiveram ocorrências de colapso hídrico no último período de seca (menos Serra do Mel) entre 2012-2017 (V11), além de não ter estrutura de órgãos municipais para a gestão do risco no município, como defesa civil estruturada, e não terem obras ou medidas estruturais a serem realizadas, ou em andamento,

para redução do risco de desabastecimento hídrico.

Quanto ao indicador infraestrutura, os municípios com 'alto' risco de desabastecimento têm uma rede de distribuição urbana geral antiga que foram construídas ou ainda têm, em partes da rede, material construtivo mais vulnerável a danos (cimento amianto, por exemplo). Outra variável que aumentou o índice para infraestrutura desses municípios foi a quantidade e a capacidade dos reservatórios. Armazenar água em tempos de escassez é fundamental para resistência ao desabastecimento hídrico em municípios como Messias Targino, por exemplo, onde há apenas um (1) reservatório elevado com capacidade para 40 m³.

No caso de Serra do Mel, trata-se de um município composta por várias vilas, com condições urbanas nesses locais, porém com abastecimento hídrico urbano caracterizado como tal apenas na sua vila central (Brasília). Desse modo, o nível de atendimento considerado como abastecimento hídrico urbano cai bastante no município. Lá também não há tratamento de esgoto, fazendo com que sua vulnerabilidade para o indicador infraestrutura seja aumentada.

Ao se analisar os quatro indicadores do IRDH dessa região, pode-se concluir que a produção dos seus territórios de risco (principalmente os municípios classificados como alto risco) é resultado da reduzida capacidade de lidar e adaptação (principalmente através do indicador planejamento estatal e socioeconômico), assim como suscetibilidade (principalmente pelos problemas encontrados no indicador infraestrutura) – variáveis inerentes à vulnerabilidade –, seguido pelo aumento da exposição desses municípios (sobretudo pelo resultado do indicador ambiental do IRDH).

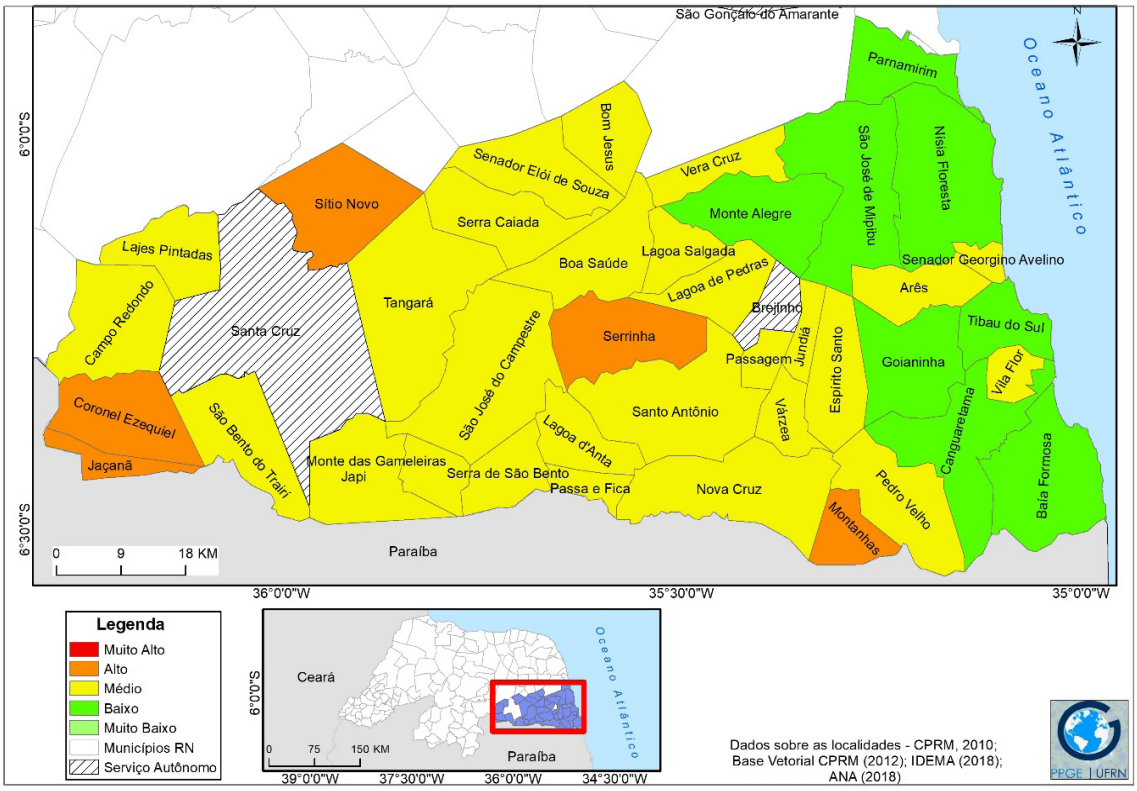
Uma ação proposta para minimizar a vulnerabilidade seria o investimento em pesquisa hidrogeológica (água subterrânea), visto que a região tem grande parte de seus limites sobre a bacia sedimentar Potiguar, que é uma formação sedimentar com o aquífero Açu e Jandaíra, que têm alto potencial de explotação, tanto em qualidade (principalmente o arenito Açu) quanto em quantidade de água disponível. Além disso, nos municípios localizados na região do cristalino potiguar, pode-se investir em captações auxiliares em pequenos açudes municipais e/ou integração de sistemas de abastecimento a partir das adutoras existentes.

Outra ação refere-se à adutora Arnóbio Abreu (municípios de Campo Grande, Paraú, Janduís, Messias Targino, Triunfo Potiguar e Patu), que pode ser integrada com a adutora de Caraúbas, que tem captação através de poços com alta vazão e potabilidade. Essa integração aumentaria o potencial de vazão hídrica da adutora que abastece esses municípios da região localizados sobre rochas do cristalino potiguar. Essas ações demandam investimentos, tanto em pesquisa quanto em materiais e mão-de-obra, pois a expansão de qualquer rede de adutoras é um serviço de alto valor contratado pelo Estado, porém, é um investimento de alto retorno agregado pois a segurança hídrica é uma condição fundamental para o desenvolvimento local e regional, geração de emprego, captação de impostos, fortalecimento da agricultura e comércio local.

4.2 Região Agreste

O resultado do índice geral para a Região Agreste, também espacializado no mapa da figura 21, mostrando a configuração do resultado do IRDH para esta região de abastecimento hídrico do RN.

Figura 21: IRDH da Região Agreste de abastecimento hídrico do RN.



Fonte: elaboração dos autores.

A partir do mapa, conclui-se que a região agreste não apresentou nenhum município com 'muito baixo' risco de desabastecimento e apresentou oito (8) classificados como de 'baixo' risco (20%). São municípios com boa infraestrutura hídrica, de maneira geral, sendo abastecidos por poços tubulares, que são de boa vazão e qualidade, captados no Arenito da formação Barreiras, além de estarem ao redor de um dos melhores aquíferos do Estado quanto à resistência de utilização em períodos de seca por possuírem boas condições de potabilidade e potencial de exploração. Sobre esses municípios também é preciso pontuar que estes possuem corpos d'água superficiais que poderiam (mediante estudo de qualidade) ser utilizados como alternativa de abastecimento, como no caso de Nísia Floresta, Goianinha e Canguaretama, por exemplo.

O resultado do IRDH para a região agreste classificou vinte e sete (27) municípios com 'médio' risco (68%), os quais não dispõem da mesma infraestrutura hídrica e condições naturais (ambientais) em relação aos municípios da região analisados anteriormente. Nesse contexto, quando associadas às variáveis e ponderados os indicadores, foram caracterizados como intermediários na classificação do IRDH, colocando-os na categoria 'médio' risco de

desabastecimento hídrico.

Cinco (5) municípios da região agreste (12%) foram classificados como ‘alto’ risco (Montanhas, Serrinha, Sítio Novo, Coronel Ezequiel e Jaçanã) e nenhum como ‘muito alto’ risco. Isso se dá, principalmente, pela infraestrutura hídrica deficiente e devido às suas características ambientais, como clima semiárido e localização sobre terreno do cristalino potiguar, por exemplo, corroborando os pesos dos indicadores. A Tabela 4 apresenta os resultados do IRDH para esta região de abastecimento hídrico do Estado assim como a população atingida por cada categoria de risco.

Tabela 4: Quantitativo populacional urbano municipal do IRDH por nível de risco - Região Agreste de abastecimento hídrico, Rio Grande do Norte

Nível de Risco	Municípios	População Urbana (Hab.)	População Urbana Total (Hab.)
Muito Alto	---	---	---
Alto	Jaçanã	5.333	20.381
	Montanhas	8.870	
	Sítio Novo	1.784	
	Coronel Ezequiel	2.273	
	Serrinha	2.121	
Médio	Bom Jesus	6.768	149.232
	Várzea	4.321	
	Lagoa Salgada	5.005	
	Vera Cruz	4.695	
	Vila Flor	2.784	
	Pedro Velho	7.248	
	Campo Redondo	5.197	
	Nova Cruz	24.380	
	Passa e Fica	6.755	
	Serra de São Bento	3.262	
	Lagoa D’anta	3.982	
	Serra Caiada	5.313	
	Santo Antônio	14.280	
	Senador Georgino Avelino	3.881	
	Arês	8.069	
	Japi	4.107	
	Monte das Gameleiras	1.283	
	Lagoa de Pedras	2.237	
	Espírito Santo	5.000	
	São Bento do Trairí	1.884	
	São José do Campestre	10.200	
	Tangará	9.540	
	Boa Saúde	2.077	
	Lajes Pintadas	2.390	
	Senador Elói de Souza	2.423	
	Jundiá	960	
	Passagem	1.191	

Baixo	Baía Formosa	7.128	285.148
	Nísia Floresta	5.757	
	Parnamirim	202.456	
	Canguaretama	20.235	
	Goianinha	15.477	
	Tibau do Sul	6.861	
	São José de Mipibu	18.232	
	Monte Alegre	9.002	
Muito Baixo	---	---	---

Fonte: Censo IBGE (2010) e dados da pesquisa.

A partir da análise do resultado exposto na Tabela 4, em relação ao quantitativo populacional da região Agreste, a maioria dos habitantes estão na classe de 'baixo' risco (63%), seguido pela categoria 'médio' risco (33%) e 'alto' risco com 4% da população da região agreste.

No concernente às características ambientais, trata-se de municípios localizados no cristalino potiguar, sem possibilidades significativas de captação hídrica subterrânea, e que dependem das adutoras captando água a quilômetros de distância na lagoa do Bonfim e/ou de manancial superficial local (Rio Piquiri, no caso de Montanhas). Além disso, o tipo de aquífero fissural (cristalino potiguar) dessas cidades aumenta bastante a vulnerabilidade de contaminação do manancial subterrâneo. Essas características, quando associadas, aumentam o nível de risco geral a partir do indicador ambiental.

Assim, o indicador de planejamento estatal desses municípios aparece com índice médio, com quatro municípios que já tiveram ocorrências de rodízio hídrico no último período de seca entre 2012-2017 (Santo Antônio, Nova Cruz, Várzea e Espírito Santo), o que contribuiu para o aumento do IRDH, além de não terem estrutura de órgãos municipais para gestão do risco no município, como defesa civil, e não terem obras ou medidas estruturais a serem realizadas, ou em andamento, para redução do risco de desabastecimento hídrico.

Quanto ao indicador infraestrutura, os municípios classificados com 'alto' risco de desabastecimento na região agreste, têm uma rede de distribuição urbana geral antiga, que foram construídas ou têm, em partes da rede, material construtivo mais vulnerável a danos (ferro fundido, por exemplo). Outra variável que aumentou o risco para o indicador infraestrutura desses municípios foi a quantidade e capacidade dos reservatórios, uma vez que armazenar água em tempos de escassez é fundamental para a resistência ao desabastecimento hídrico. Em Jundiá, por exemplo, há apenas um (1) reservatório elevado com capacidade para 50 m³.

Assim como na região oeste, a integração de sistemas de abastecimento hídrico pode ser uma solução para a diminuição dos problemas de abastecimento encontrados na região agreste do Estado. Por exemplo, a adutora Monsenhor Expedito pode ser integrada às adutoras de Espírito Santo e Pedro Velho/Nova Cruz, aumentando sua capacidade e diminuindo a vulnerabilidade dessas duas captações a períodos de seca prolongada. Além dessas ações, pode-se diminuir a vulnerabilidade dos municípios com investimentos na gestão de risco municipal, com estrutura de defesa civil ou secretaria de recursos hídricos, associado ao plano municipal de saneamento,

que é fundamental.

Também é possível perceber a ausência de esgotamento sanitário adequado nos municípios de Sítio Novo, Coronel Ezequiel, Jaçanã, Serrinhas e Montanhas, os quais apresentaram 'alto risco' geral para o IRDH na região agreste. Essa variável é muito importante para diminuir a vulnerabilidade à contaminação dos mananciais municipais, como rios, açudes ou manancial subterrâneo. Com a mitigação desse problema, haveria a possibilidade de alternativas para captação hídrica nesses municípios, o que, então, diminuiria consideravelmente sua vulnerabilidade dentro da lógica do IRDH.

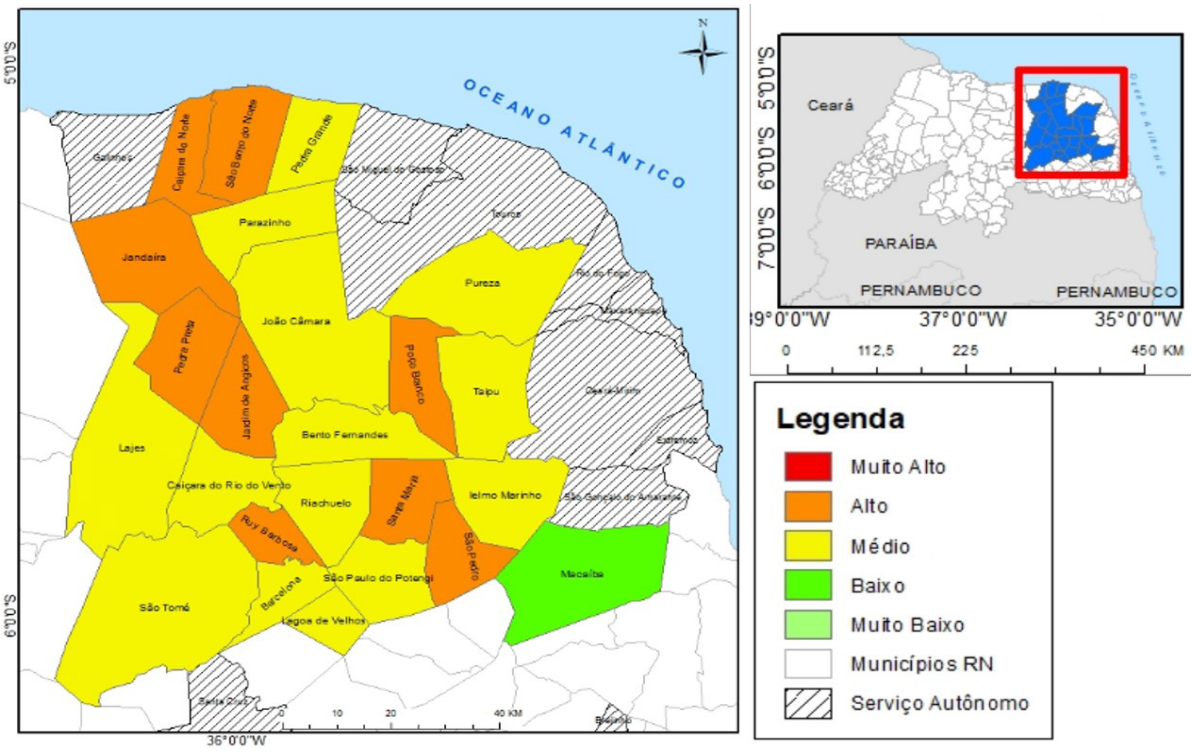
Nesse sentido, o resultado da análise regional, apontou problemas de infraestrutura hídrica que contribuem para o aumento da suscetibilidade da população ao desabastecimento hídrico e, portanto, aumenta sua vulnerabilidade. Da mesma forma, o indicador socioeconômico, o qual também incide sobre a esfera da vulnerabilidade, a partir da capacidade de lidar e se adaptar da população, o que também decorre dos problemas encontrados nas variáveis do indicador planejamento estatal. Já a esfera da exposição, representada, principalmente, pelo indicador ambiental do IRDH, na região agreste, foi significativa para o aumento em seu nível do IRDH nos municípios mais distantes do litoral, os quais tem clima semiárido e embasamento cristalino, o que é diferente nos municípios mais próximos ao litoral, nos quais a exposição é diminuída, reduzindo, assim, o IRDH desses municípios.

Nesse contexto, os territórios de risco da região agreste, sobretudo os municípios com alto risco de desabastecimento hídrico, são um produto da combinação entres os indicadores do IDRH: ambiental, infraestrutural, planejamento estatal e socioeconômico.

4.3 Mato Grande

Após a tabulação do resultado de cada indicador – e suas variáveis – que compõe o IRDH, tem-se o resultado do índice geral para a Região Mato Grande de abastecimento hídrico, também espacializado no mapa da figura 22. Sendo assim, a figura mostra a configuração do resultado do IRDH para essa região de abastecimento hídrico do Rio Grande do Norte.

Figura 22: IRDH da Região Mato Grande de abastecimento hídrico do RN



Fonte: elaboração dos autores.

A partir da figura 22, conclui-se que a região não apresentou nenhum município com ‘muito baixo’ risco de desabastecimento e apresentou um (1) classificado como de ‘baixo’ risco (4%). Este município é Macaíba, o mais populoso da região, que tem boa infraestrutura hídrica, de maneira geral, sendo abastecido por poços tubulares, que são de boa vazão e qualidade, captados no Arenito da formação Barreiras, além de estar sobre um dos melhores aquíferos do Estado quanto à resistência de utilização em períodos de seca e por possuírem boas condições de potabilidade e potencial de exploração. O resultado do IRDH para a região Mato Grande classificou quatorze (14) municípios com ‘médio’ risco (58%), os quais não dispõem da mesma infraestrutura hídrica e condições naturais (ambientais) em relação ao município de Macaíba, analisados anteriormente.

Nove (9) municípios (38%) da região foram classificados como ‘alto’ risco (Jandaíra, São Bento do Norte, Caiçara do Norte, Pedra Preta, Jardim de Angicos, Poço Branco e Santa Maria, Ruy Barbosa e São Pedro) e nenhum como ‘muito alto’ risco. Isso se dá, principalmente, pela infraestrutura hídrica deficiente, também devido às suas características ambientais, como clima semiárido e localização sobre terreno do cristalino potiguar ou aquífero dunar com pouco potencial de exploração hidrogeológica, por exemplo, corroborando o resultado do IRDH a partir dos pesos desses indicadores. A Tabela 5 apresenta os resultados do IRDH na região Mato Grande do RN, assim como a população atingida por cada categoria de risco.

Tabela 5: Quantitativo populacional urbano municipal do IRDH por nível de risco - Região Mato Grande de abastecimento hídrico, Rio Grande do Norte

Nível De Risco	Municípios	População Urbana (Hab.)	População Urbana Total (Hab.)
Muito Alto	---	---	---
Alto	Caiçara do Norte	5.894	28.007
	Poço Branco	7.417	
	Pedra Preta	990	
	São Bento do Norte	1.038	
	Jandaíra	3.954	
	Santa Maria	3.051	
	Jardim de Angicos	433	
	Ruy Barbosa	1.736	
	São Pedro	3.494	
Médio	Parazinho	3.137	73.304
	São Paulo do Potengi	11.468	
	Taipu	4.017	
	João Câmara	22.657	
	Pureza	2.996	
	Lajes	7.917	
	Bento Fernandes	2.047	
	São Tomé	5.941	
	Barcelona	1.756	
	Riachuelo	4.342	
	Caiçara do Rio do Vento	2.526	
	Lagoa de Velhos	1.793	
	Ielmo Marinho	1.546	
	Pedra Grande	1.161	
Baixo	Macaíba	42.631	42.631
Muito Baixo	------	------	-----

Fonte: Censo IBGE (2010) e dados da pesquisa.

Observando o resultado exposto na Tabela 5, nota-se que, a classe de 'médio' risco tem a maioria dos municípios e população da região (51%), contudo, a classe de 'baixo' risco, com apenas um município, tem 30% da população, por se tratar do mais populoso da região Mato Grande. Já a classe 'alto' risco, tem 9 municípios e 19% da população nesta classe de risco de desabastecimento hídrico.

No concernente às características ambientais, os municípios com 'alto' risco, são localizados sobre clima semiárido, no cristalino potiguar, na Bacia sedimentar Potiguar no calcário Jandaíra ou sobre dunas do litoral setentrional, o que incide no aumento de sua exposição ao desabastecimento hídrico. Essas formações geológicas têm possibilidades reduzidas de captação hídrica subterrânea, seja pela disponibilidade ou qualidade da água subterrânea. Além disso, o tipo de aquífero fissural (cristalino potiguar), ou dunar com nível freático raso dessas cidades, aumenta bastante a vulnerabilidade de contaminação do manancial subterrâneo.

Essas características, quando associadas, aumentam o nível de risco geral a partir do indicador ambiental através da exposição da população desses municípios ao desabastecimento hídrico.

Já os municípios com 'médio' risco de desabastecimento da região, predominantemente, dependem das adutoras captando água a quilômetros de distância na lagoa do Bonfim, lagoa do Boqueirão de Touros ou bacia do Rio Piranhas-Açu, o que incide em sua suscetibilidade e capacidade de lidar com o desabastecimento hídrico, diminuindo seu IDRH.

Assim, o indicador de planejamento estatal da maior parte dos municípios da região aparece com índice médio (14 municípios), com 18 (dezoito) municípios registrando ocorrências de colapso hídrico parcial (rodízio) na última grande seca entre 2012-2017, o que contribui para potencializar o IRDH. Além disso, nenhum deles apresenta estrutura de órgãos municipais para gestão do risco no município, como defesa civil, e não apresentaram obras ou medidas estruturais a serem realizadas, ou em andamento, para a redução do risco de desabastecimento hídrico. Esse balanço, entre variáveis e seus pesos, definiram o risco de desabastecimento para este indicador, caracterizando o resultado encontrado.

Quanto ao indicador infraestrutura, apenas um município foi classificado como 'alto' risco de desabastecimento na região, o qual, além de ter uma rede de distribuição urbana geral antiga, foi construída (ou tem em partes da rede) com material mais vulnerável a danos (ferro fundido, por exemplo). Outra variável que aumentou o risco para o indicador infraestrutura dos 17 municípios com nível 'médio' de risco foi a quantidade e capacidade dos reservatórios, já que armazenar água em tempos de escassez é fundamental para resistência ao desabastecimento hídrico. Em São Pedro e Jandaíra, por exemplo, não há reservatórios e a distribuição é feita de modo direto na rede de abastecimento.

Assim como nas regiões anteriormente analisadas, a integração de sistemas de abastecimento hídrico pode ser uma solução para a diminuição dos problemas encontrados na região Mato Grande de abastecimento do Estado. Por exemplo, a adutora do Boqueirão de Touros pode ser expandida para Jandaíra e integrada ao sistema da adutora Sertão Central Cabugi ou adutora do Olheiro de Pureza, aumentando sua capacidade de abastecimento, diminuindo a vulnerabilidade dessas duas captações a períodos de seca prolongada, a partir da diminuição da suscetibilidade e aumento da capacidade de lidar da população. Além dessas ações, pode-se diminuir a vulnerabilidade dos municípios com investimentos na gestão de risco municipal, com estrutura de defesa civil ou secretaria de recursos hídricos, associados ao plano municipal de saneamento, que é fundamental.

Também é possível perceber a ausência de esgotamento sanitário adequado nos sete municípios que apresentaram 'alto' risco geral para o IRDH na região do Mato Grande. Esta variável é muito importante para diminuir a vulnerabilidade à contaminação dos mananciais municipais, como rios, açudes ou manancial subterrâneo, e, com isso, haveria a possibilidade de alternativas para a captação hídrica nesses municípios, o que, então, diminuiria consideravelmente sua vulnerabilidade, através da diminuição da suscetibilidade, aumento da capacidade de lidar e

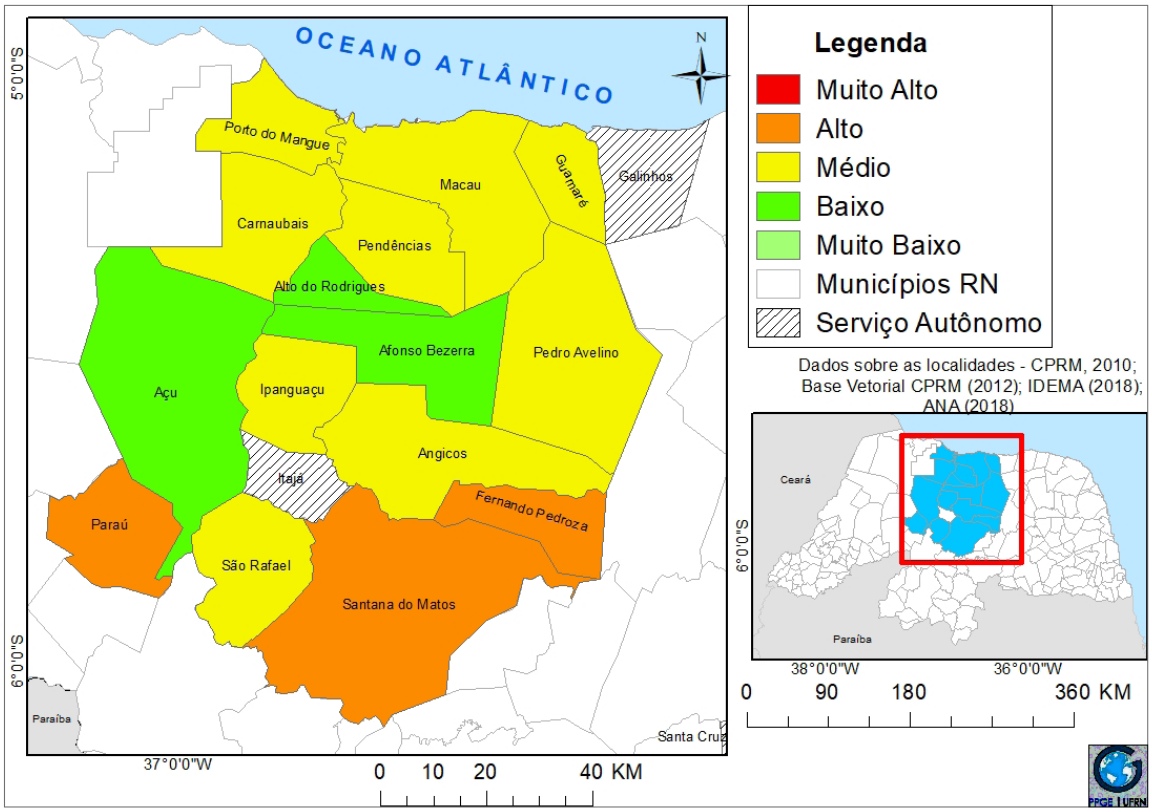
se adaptar, dentro da lógica do IRDH.

Esses problemas encontrados e as propostas para sua mitigação são inerentes à configuração dos territórios de risco dessa região. Os resultados dos indicadores do IRDH, dentro das esferas de perigo (exposição) e vulnerabilidade (capacidade de lidar, adaptação e suscetibilidade) mostram os territórios de risco da região, que são, principalmente, os municípios identificados como alto risco de desabastecimento hídrico. Além disso, as propostas deste livro podem direcionar ações para redução desse risco e, consequentemente, promover a organização desses territórios com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população e o desenvolvimento socioeconômico através da redução do risco de desabastecimento hídrico.

4.4 Sertão Central

Após a tabulação do resultado de cada indicador – e suas variáveis – que compõe o IRDH, tem-se o resultado do índice geral para a região Sertão Central de abastecimento hídrico do Estado, apresentado pelo mapa da figura 23.

Figura 23: IRDH da Região Sertão Central de abastecimento hídrico do RN



Fonte: elaboração dos autores.

A partir do mapa, conclui-se que a região não apresentou nenhum município com 'muito baixo' risco de desabastecimento e apresentou três (3) classificados como de 'baixo' risco (Assú,

Alto do Rodrigues e Afonso Bezerra), 20% entre os 15 municípios que compõem a região. Esses municípios têm boa infraestrutura hídrica, de maneira geral, sendo abastecidos por poços tubulares com boa vazão e qualidade, captados no Arenito da formação Açu ou pelo manancial do Rio Açu. O resultado do IRDH para a região Sertão Central classificou nove (9) municípios com 'médio' risco, 60% dos casos, os quais não dispõem da mesma infraestrutura hídrica e condições naturais (ambientais) em relação aos municípios com 'baixo' risco, analisados anteriormente.

Três (3) municípios da região foram classificados como 'alto' risco (Fernando Pedroza, Santana do Matos e Paraú), portanto, 20% dos casos da região, e nenhum como 'muito alto' risco. Isso se dá, principalmente, pela infraestrutura hídrica deficiente e pelas suas características ambientais, como clima semiárido e localização sobre terreno do cristalino potiguar ou sobre aquífero dunar, com baixo potencial de exploração hidrogeológica. Outras variáveis do indicador de planejamento estatal também tiveram, nos três municípios, problemas quanto à disponibilidade dos planos de saneamento e/ou plano de contingência, tal como não ter defesa civil estruturada, o que corroborou com o resultado do IRDH a partir dos pesos de cada indicador. A Tabela 6 apresenta os resultados do IRDH na região Sertão Central do RN, assim como a população atingida por cada categoria de risco.

Tabela 6: Quantitativo populacional urbano municipal do IRDH por nível de risco - Região Sertão Central de abastecimento hídrico, Rio Grande do Norte

Nível de Risco	Municípios	População Urbana (Hab.)	População Urbana Total (Hab.)
Muito Alto	---	---	---
Alto	Santana do Matos	6.184	11.956
	Fernando Pedroza	2.437	
	Paraú	3.335	
Médio	São Rafael	5.538	69.857
	Porto do Mangue	3.027	
	Carnaubais	4.757	
	Pendências	10.574	
	Angicos	10.085	
	Guamaré	4.407	
	Pedro Avelino	4.120	
	Macau	21.966	
	Ipanguaçu	5.383	
Baixo	Açu	39.359	53.991
	Afonso Bezerra	5.759	
	Alto do Rodrigues	8.873	
Muito Baixo	------	------	-----

Fonte: Censo IBGE (2010) e dados da pesquisa.

A partir da análise do resultado exposto na Tabela 6, nota-se que a classe de ‘médio’ risco tem mais municípios e população (51%), a classe de ‘baixo’ risco tem 40% da população, mesmo com 3 municípios, mesmo número da categoria de ‘alto’ risco de desabastecimento, porém esta tem a menor proporção populacional (9%), entre as três classes de risco resultantes para a região Sertão Central.

No concernente às características ambientais, os municípios com ‘alto’ risco são localizados no clima semiárido forte ou mediano, no cristalino potiguar. Essa formação geológica apresenta reduzida capacidade de captação hídrica subterrânea, seja pela disponibilidade ou qualidade da água. Além disso, o tipo de aquífero fissural (cristalino potiguar), com nível freático raso, aumenta bastante a vulnerabilidade de contaminação do manancial subterrâneo. Essas características, quando associadas, aumentam o nível de risco geral a partir do indicador ambiental.

Assim, o indicador de planejamento estatal da maior parte dos municípios da região, aparece com índice ‘médio’, ‘alto’ e ‘muito alto’. Seis (6) municípios da região tiveram ocorrências de colapso hídrico na última grande seca entre 2012-2017, o que contribui para o aumento do IRDH, além de a maioria não ter estrutura de órgãos municipais para gestão do risco no município, como defesa civil, e não apresentar obras ou medidas estruturais a serem realizadas, ou em andamento, para redução do risco de desabastecimento hídrico. Esse balanço, entre variáveis de risco de desabastecimento para esse indicador, caracterizou o resultado encontrado.

Quanto ao indicador infraestrutura, nenhum município foi classificado como tendo ‘alto’ ou ‘muito alto’ risco de desabastecimento na região, apesar de a maioria dos municípios da região ter uma rede de distribuição urbana geral antiga. Outra variável que aumentou o risco para o indicador infraestrutura dos 8 municípios com nível ‘médio’ de risco foi a quantidade e capacidade dos reservatórios, já que armazenar água em tempos de escassez é fundamental para resistência ao desabastecimento hídrico. Em Porto do Mangue e Fernando Pedroza, por exemplo, há apenas um reservatório com 50 m³ de capacidade.

Assim como nas regiões anteriormente analisadas, a integração de sistemas de abastecimento hídrico pode ser uma solução para a diminuição dos problemas encontrados na região Sertão Central de abastecimento do Estado. Por exemplo, o sistema da adutora Macau-Guamaré pode ser integrado a uma bateria de poços tubulares de Afonso Bezerra (distrito de Santa Maria), que têm alta vazão e qualidade, o que aumentaria sua capacidade de abastecimento, diminuindo a vulnerabilidade dessas duas captações a períodos de seca prolongada. Além dessas ações, pode-se diminuir a vulnerabilidade dos municípios com investimentos na gestão de risco municipal, com estrutura de defesa civil ou secretaria de recursos hídricos, associadas ao plano municipal de saneamento, que é fundamental.

Também é possível perceber a ausência de esgotamento sanitário adequado em sete municípios da região Sertão Central. Essa variável é muito importante para diminuir a

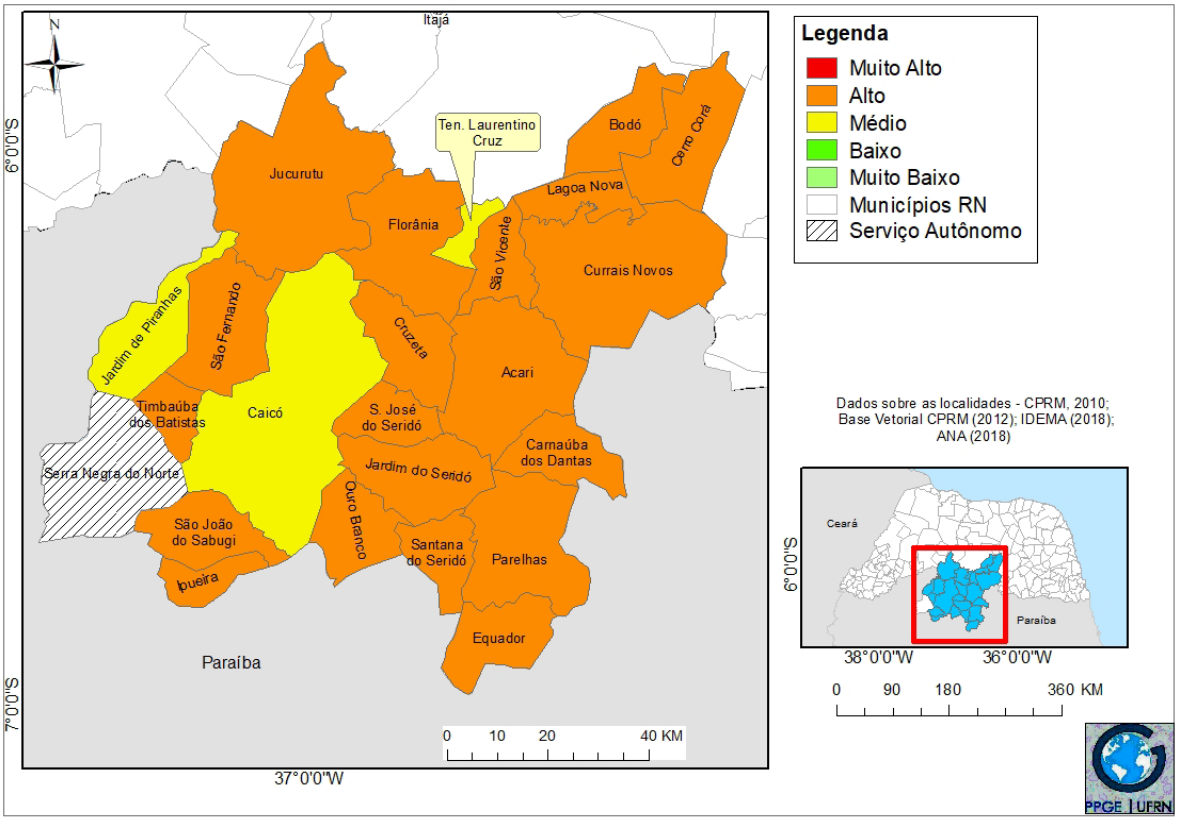
vulnerabilidade à contaminação dos mananciais municipais, como rios, açudes ou manancial subterrâneo, até pelo motivo de maior parte da região ter outras possibilidades de abastecimento hídrico, principalmente pelo manancial subterrâneo.

Assim como as regiões de abastecimento citadas anteriormente, na Sertão Central, os problemas de infraestrutura hídrica, socioeconômicos e de gestão do risco de desabastecimento (planejamento estatal) contribuem para a produção de territórios de risco na região a partir das esferas da vulnerabilidade, como capacidade de lidar, suscetibilidade e adaptação e, assim como as características do indicador ambiental, respondem, principalmente, pela esfera da exposição (perigo) ao desabastecimento hídrico. Nesse contexto, os municípios identificados como alto risco na região têm características ambientais que aumentam sua exposição ao risco, assim como problemas de infraestrutura hídrica, planejamento estatal e socioeconômicos.

4.5 Região Seridó

Após a tabulação do resultado de cada indicador – e suas variáveis – que compõe o IRDH, tem-se o resultado do índice geral para a região Seridó. Sendo assim, o mapa da figura 24 mostra a configuração do resultado do IRDH para essa região de abastecimento hídrico do Rio Grande do Norte.

Figura 24: IRDH da Região Seridó de abastecimento hídrico do RN



Fonte: elaboração dos autores.

A partir do mapa, conclui-se que a região não apresentou nenhum município com 'muito baixo', 'baixo' e 'muito alto' risco de desabastecimento, apenas municípios com 'médio' e 'alto' risco. De maneira geral, os municípios da região têm boa infraestrutura hídrica, sendo abastecidos pelo manancial do Rio Piranhas-Açu e/ou grandes barragens no cristalino potiguar através de sistemas adutores, principalmente. Porém, muitos municípios da região registraram colapso de abastecimento hídrico no último período de seca, denotando a vulnerabilidade do indicador ambiental da região a partir do clima e geologia predominantes. O resultado do IRDH para a Região Seridó classificou vinte (20) municípios com 'alto' risco (87%) e apenas três (3) com 'médio' risco (13%).

Os três (3) municípios da região classificados como 'médio' risco (Jardim do Seridó, Caicó e Tenente Laurentino Cruz) tiveram esse resultado, principalmente, pela boa infraestrutura hídrica, como tempo de utilização da rede de abastecimento, tipo de captação e material construtivo da rede de distribuição, e pelas suas características ambientais como, por exemplo, clima semiárido mediano, disponibilidade hídrica natural no território municipal. A Tabela 7 apresenta os resultados do IRDH na região Seridó do RN.

Tabela 7: Quantitativo populacional urbano municipal do IRDH por nível de risco - Região Seridó de abastecimento hídrico, Rio Grande do Norte

Nível De Risco	Municípios	População Urbana (Hab.)	População Urbana Total (Hab.)
Muito Alto	---	---	---
Alto	Acari	8.902	143.965
	São Vicente	3.765	
	Currais Novos	37.777	
	Cruzeta	6.521	
	Timbaúba Dos Batistas	1.728	
	Florânia	6.857	
	São João Do Sabugi	4.756	
	Parelhas	17.084	
	Ouro Branco	3.258	
	Cerro Corá	4.742	
	São José Do Seridó	3.302	
	Carnaúba Dos Dantas	6.028	
	São Fernando	2.297	
	Jardim Do Seridó	9.835	
	Santana Do Seridó	1.653	
	Ipueira	1.889	
	Equador	4.810	
	Lagoa Nova	6.801	
	Bodó	1.393	
	Jucurutu	10.567	

Médio	Caicó	57.461	69.209
	Jardim De Piranhas	10.596	
	Tenente Laurentino Cruz	1.152	
Baixo	----	----	---
Muito Baixo	----	----	---

Fonte: Censo IBGE (2010) e dados da pesquisa.

A partir da análise do resultado exposto na Tabela 7, nota-se que a maior proporção de número de municípios e população são da classe de 'alto' risco, com 68% dos habitantes urbanos da região, seguida pela classe de 'baixo' risco, com 32% da população da região Seridó.

No concernente às características ambientais, os municípios com 'alto' risco são localizados sobre clima semiárido forte ou mediano no cristalino potiguar. Essa formação geológica tem possibilidade reduzida de captação hídrica subterrânea, seja pela disponibilidade ou qualidade da água. Além disso, o tipo de aquífero fissural (cristalino potiguar), com nível freático raso, aumenta bastante a vulnerabilidade de contaminação do manancial subterrâneo. Essas características, quando associadas, aumentam o nível de risco geral a partir do indicador ambiental.

No concernente ao indicador de planejamento estatal, os problemas encontrados quanto à disponibilidade dos planos de saneamento e/ou plano de contingência, tal como não ter defesa civil estruturada, e as ocorrências de colapso hídrico em vários municípios da região foram determinantes para o resultado do indicador ser, principalmente, 'alto' e 'muito alto' na região, o que corroborou os resultados do IRDH a partir do peso do indicador (peso 0,75). Assim, este indicador, na maior parte dos municípios da região, aparece com índice 'alto' e 'muito alto' pois 10 municípios da região tiveram ocorrências de colapso hídrico e 13 de rodízio no abastecimento no período da última grande seca (entre 2012-2017), o que contribuiu para o aumento do IRDH, além de não apresentarem obras ou medidas estruturais a serem realizadas, ou em andamento, para a redução do risco de desabastecimento hídrico. Esse balanço, entre variáveis de risco de desabastecimento para este indicador, caracterizou o resultado encontrado.

Quanto ao indicador infraestrutura, nenhum município foi classificado como 'muito alto' risco de desabastecimento na região, apesar de a maioria dos municípios da região ter uma rede de distribuição urbana geral antiga. Outra variável que aumentou o risco para o indicador infraestrutura dos municípios com nível 'médio' e 'alto' risco foi a quantidade e capacidade dos reservatórios, já que armazenar água em tempos de escassez é fundamental para a resistência ao desabastecimento hídrico. Em São Fernando e São José do Seridó, por exemplo, há apenas um reservatório com 50 m³ de capacidade. O tipo de captação também aumentou o risco para este indicador na região, visto que muitos municípios captam água em grandes ou pequenas barragens locais no cristalino potiguar que têm baixa disponibilidade hídrica e, portanto, alta vulnerabilidade em tempos prolongados de estiagem.

Assim como nas regiões anteriormente analisadas, a integração de sistemas de abastecimento hídrico pode ser uma solução para a diminuição dos problemas encontrados na Região Seridó de abastecimento hídrico. Por exemplo, a adutora Serra de Santana pode ser expandida e integrada com os sistemas Piranhas/Caicó (adutora Manoel Torres) e Traíras/ Jardim do Seridó. Esta integração foi realizada em parte pela concessionária através da adutora expressa emergencial para Caicó, mas precisa ser substituída por adutora maior e mais resistente. Além disso, pode abastecer Currais Novos, sendo integrada ao sistema Acari/Currais Novos, o que aumentaria sua capacidade de abastecimento. Portanto, poderia diminuir a vulnerabilidade desses três sistemas em períodos de seca prolongada.

Outra possibilidade é integrar, a partir de pequenas adutoras, municípios menores (como Equador, Ipueira, São João do Sabugí e Ouro Branco, por exemplo), viabilizando seu abastecimento com parte dos grandes mananciais em municípios vizinhos menos vulneráveis, barragens ou sistemas adutores como o Boqueirão de Parelhas, Passagem das Traíras (que pode ser expandida até São José do Seridó e Cruzeta) e Adutora Manoel Torres (que pode ser expandida até São João do Sabugi). Esses são alguns exemplos de integração de sistemas que aumentariam a segurança hídrica da região.

Além dessas ações, pode-se diminuir a vulnerabilidade dos municípios com investimentos em mais estações de tratamento de esgoto, um aterro sanitário para receber os resíduos da região, além de melhorar a gestão de risco municipal, com estrutura de defesa civil ou secretaria de recursos hídricos, associado ao plano municipal de saneamento, que é fundamental.

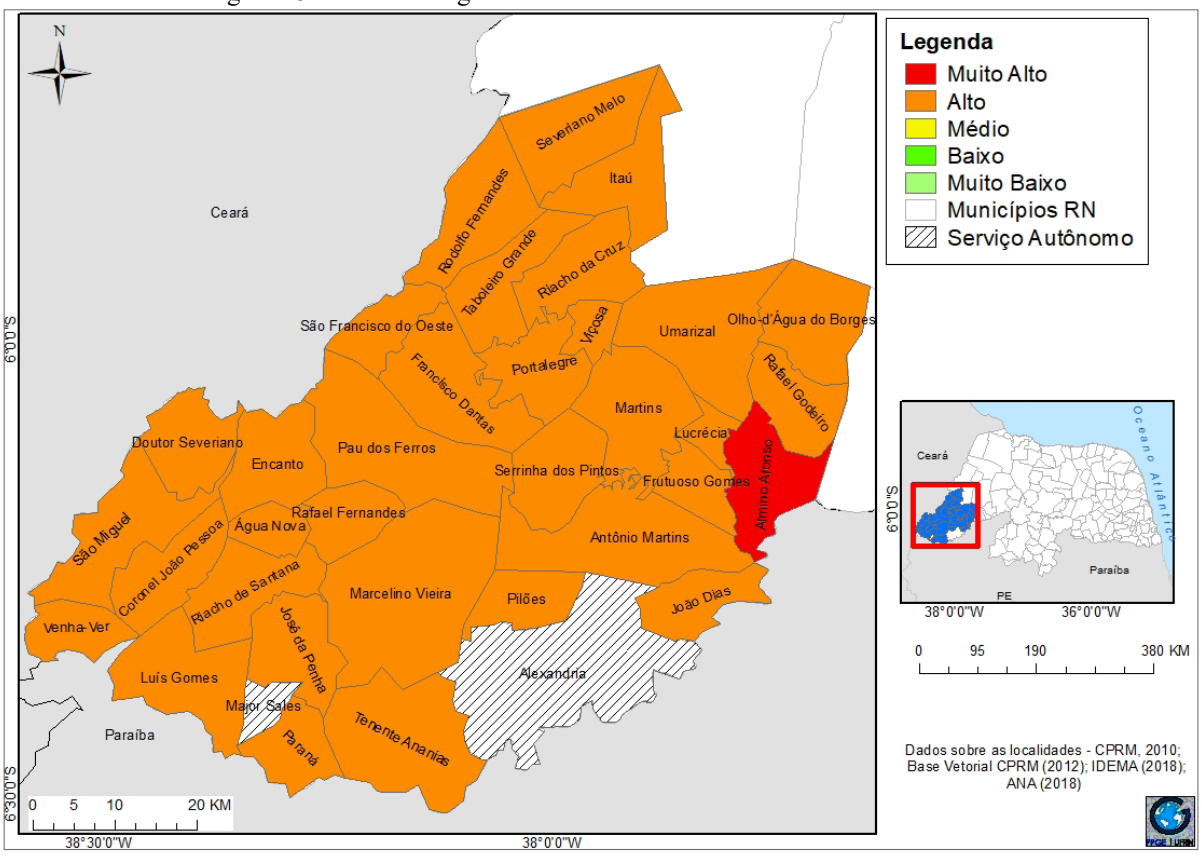
Uma solução para a diminuição do risco de desabastecimento geral da Região Seridó potiguar é a Barragem de Oiticica, no município de Jucurutu. A qual está em fase de obra com recursos federais, sendo o terceiro maior reservatório para captação hídrica do RN, com capacidade para 556.000.000 m^3 e recebendo água oriunda do eixo norte da transposição do rio São Francisco. A barragem será menor apenas da Armando Ribeiro Gonçalves e Santa Cruz do Apodi, aumentando muito a capacidade de suporte da região Seridó, portanto, aumentando a segurança hídrica da região e do RN, por extensão.

A partir da entrega dessa obra, seria possível a viabilização do projeto do sistema adutor Oiticica-Caicó, fundamental para a segurança hídrica dos quase 60.000 habitantes urbanos nesse município (o maior da região). Também a adutora Armando Ribeiro-Currais Novos (segundo maior município da região), que, junto com a Oiticica-Caicó, compõe o Projeto Seridó de segurança hídrica do governo federal, seria fundamental para diminuição do IRDH da região Seridó.

4.5 Região Alto Oeste

O mapa da figura 25 mostra a configuração do resultado do IRDH para essa região de abastecimento hídrico do Rio Grande do Norte.

Figura 25: IRDH da Região Alto Oeste de Abastecimento Hídrico do RN



Fonte: elaboração dos autores.

A partir do mapa, pode-se perceber que a região não apresentou nenhum município com 'muito baixo', 'baixo' e 'médio' risco de desabastecimento, apenas municípios com 'muito alto' e 'alto' risco. De maneira geral, os municípios da região apresentaram uma infraestrutura hídrica deficitária, sendo abastecidos, predominantemente, por mananciais de superfície locais ou poços com alta vulnerabilidade de contaminação e baixa (ou média) vazão pois a região situa-se sobre as formações geológicas do cristalino potiguar (rochas ígneas e metamórficas). Além disso, a maior parte dos municípios da região registrou colapso de abastecimento hídrico no último período de seca, denotando a vulnerabilidade do indicador ambiental da região, quando se associa ao seu clima e geologia. O resultado do IRDH para a região Alto Oeste classificou trinta e três (33) municípios com 'alto' risco (97%) e apenas um (1) com 'muito alto' risco (3%).

Esse resultado se deu, principalmente, devido às suas características ambientais como, por exemplo, clima semiárido, pouca disponibilidade hídrica natural no território municipal, baixa vazão média dos poços e vulnerabilidade geral do aquífero, além da falta de uma boa infraestrutura hídrica, com muitos anos de utilização da rede de abastecimento (mais de 20 anos no geral), além do tipo de captação vulnerável a longos períodos de estiagem. Apesar disso, a variável V9 – material construtivo da rede de abastecimento – apresentou boa qualidade (PVC) na maior parte dos municípios. A Tabela 8 apresenta os resultados do IRDH na região Alto Oeste de abastecimento hídrico RN, assim como a população atingida por cada categoria de risco.

Tabela 8: Quantitativo populacional urbano municipal do IRDH por nível de risco - Região Alto Oeste de abastecimento hídrico, Rio Grande do Norte

Nível De Risco	Municípios	População Urbana (Hab.)	População Urbana Total (Hab.)
Muito Alto	Almino Afonso	3.479	3.479
Alto	Frutuoso Gomes	2.812	132.975
	Olho-D'água do Borges	3.240	
	Antônio Martins	3.784	
	Pau dos Ferros	25.551	
	Martins	4.966	
	Marcelino Vieira	4.894	
	Doutor Severiano	2.783	
	Luís Gomes	6.017	
	José da Penha	2.983	
	Itaú	4.789	
	Serrinha dos Pintos	2.404	
	Francisco Dantas	1.647	
	Venha-Ver	1.199	
	São Miguel	14.500	
	Taboleiro Grande	1.887	
	João Dias	1.027	
	Rodolfo Fernandes	3.734	
	Umarizal	9.069	
	Tenente Ananias	6.062	
	Rafael Fernandes	2.709	
	Pilões	2.533	
	Lucrécia	2.280	
	Rafael Godeiro	1.933	
	Água Nova	1.908	
	Paraná	821	
	Coronel João Pessoa	1.777	
	Portalegre	3.843	
	São Francisco do Oeste	2.948	
	Riacho de Santana	1.710	
	Riacho da Cruz	2.674	
	Viçosa	1.541	
	Severiano Melo	2.118	
	Encanto	832	
Médio	---	---	---
Baixo	---	---	---
Muito Baixo	---	---	---

Fonte: Censo IBGE (2010) e dados da pesquisa.

A partir da análise do resultado exposto na Tabela 8, pode-se perceber que, em relação ao Rio Grande do Norte, a região Alto Oeste tem um elevado número de municípios (34), porém a população urbana total representa apenas 6% do Estado. Neste contexto, o resultado do IRDH

para a região Alto Oeste teve, na classe de ‘alto’ risco, 97% dos habitantes urbanos da região, e 3% a categoria de ‘muito alto’ risco.

No concernente às características ambientais, os municípios apresentaram ‘alto’ e ‘muito alto’ risco por estarem localizados em região de clima semiárido e no cristalino potiguar, o que afeta a disponibilidade hídrica superficial, a vazão e a qualidade da água subterrânea captada através de poços (tubulares ou amazonas). Além disso, o tipo de aquífero fissural (cristalino potiguar) ou aluvionar (em leitos de rios) com nível freático raso aumenta bastante sua vulnerabilidade à contaminação do manancial subterrâneo. Essas características, quando associadas, aumentam o nível de risco geral a partir do indicador ambiental.

No concernente ao indicador de planejamento estatal, os problemas encontrados quanto à disponibilidade dos planos de saneamento e/ou plano de contingência, tal como não ter defesa civil estruturada e ocorrências de colapso hídrico em vários municípios da região, foram determinantes para o resultado do indicador ser, principalmente, ‘alto’ e ‘muito alto’ risco, o que corroborou com o resultado do IRDH a partir do peso do indicador (peso 0,75). Assim, esse indicador, que é o da maior parte dos municípios da região, aparece com índice ‘alto’ e ‘muito alto’ em 24 municípios da região que tiveram ocorrências de colapso hídrico na última grande seca entre 2012-2017. Além disso, esses munícipios não apresentaram, na maioria dos casos, obras ou medidas estruturais a serem realizadas, ou em andamento, para redução do risco de desabastecimento hídrico.

Quanto ao indicador infraestrutura, nenhum município foi classificado como ‘muito alto’ risco de desabastecimento na região, apesar de a maioria dos municípios da região ter uma rede de distribuição urbana geral antiga, sem tratamento de esgoto e com captação mais vulnerável a períodos de estiagem. Outra variável que aumentou o risco para o indicador infraestrutura dos municípios com nível ‘médio’ e ‘alto’ de risco foi a quantidade e capacidade dos reservatórios, já que armazenar água em tempos de escassez é fundamental para resistência ao desabastecimento hídrico. Por exemplo, em Rafael Fernandes não há reservatório e em Viçosa, Venha Ver e Lucrécia há apenas um reservatório de armazenamento com menos de 50 m^3 de capacidade. O tipo de captação também aumentou o risco para este indicador na região, à medida em que muitos municípios captam água em pequenas barragens locais no cristalino potiguar, que tem alta vulnerabilidade em tempos prolongados de estiagem ou poços em leitos de vazante de rios (aluvião) com baixa capacidade de suporte, vazão e alta vulnerabilidade de contaminação.

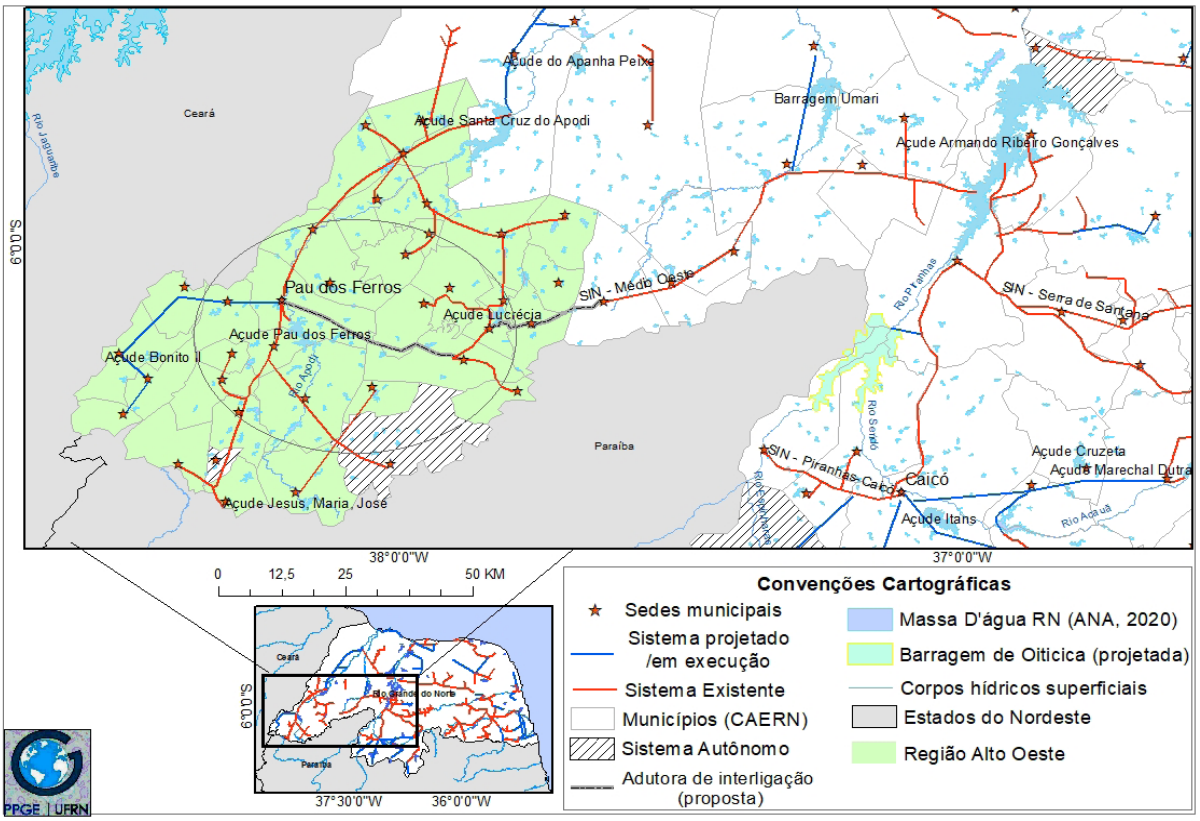
Assim como nas regiões anteriormente analisadas, a integração de sistemas de abastecimento hídrico pode ser uma solução para a diminuição dos problemas encontrados na região, reduzindo a vulnerabilidade ao desabastecimento hídrico a partir do aumento da capacidade de lidar e redução da suscetibilidade da população a esse desastre. Nesse contexto, existe um projeto desse tipo em execução pela concessionária para o Alto Oeste do Estado, a adutora Alto Oeste, com dois subsistemas, o Santa Cruz do Apodi – ofertando água captada na

barragem Santa Cruz do Apodi (599.712.000m³ de capacidade, a maior da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró e segunda maior do Estado), menos vulnerável a longos períodos de estiagem –; e o subsistema Pau dos Ferros, com captação no Açude homônimo (54.846.000m³ de capacidade, terceira maior barragem da bacia). O primeiro subsistema está em operação, segundo dados da concessionária estadual, enquanto o segundo está em fase de execução do projeto, porém, não consta como forma de abastecimento da maioria dos municípios atendidos pelo subsistema no período da última seca entre 2012-2017.

Esses sistemas serão interligados e expandidos em um projeto que já está sendo executado pela concessionária de abastecimento hídrico do Estado, aumentando consideravelmente a segurança hídrica da região e abastecendo dez municípios no subsistema Pau dos Ferros e quinze municípios no subsistema Santa Cruz do Apodi, totalizando vinte e cinco municípios dos trinta e quatro da região Alto Oeste.

Outra possibilidade é, também, integrar, a partir de pequenas extensões da adutora Alto Oeste, municípios menores, Francisco Dantas, Portalegre e Antônio Martins, por exemplo. Viabilizando seu abastecimento com parte desses grandes mananciais captados pela adutora em seus dois subsistemas. Além disso, há a possibilidade de integrar a adutora Alto Oeste (subsistema Santa Cruz do Apodi) com a Adutora Arnóbio Abreu (também chamada de Médio Oeste) em Almino Afonso. Essa adutora tem captação na barragem Armando Ribeiro Gonçalves, a maior do Estado, com 2.373.066.510m³ de capacidade total, o que aumentaria a segurança hídrica geral da região Alto Oeste do Estado através de manobras para manter a pressão de abastecimento em função da situação de cada captação. Ou seja, quando uma barragem estivesse abaixo do nível de segurança para captação, haveria a diminuição e aumento da captação em outro manancial, o que é possível a partir da integração dos sistemas de abastecimento. Complementando a vazão dessas adutoras, açudes menores poderiam entrar no sistema, sendo facultada sua captação para dar suporte às grandes adutoras, como o açude de Lucrécia, Francisco Dantas e Encanto, por exemplo. A figura 26 mostra essa possibilidade de integração entre o sistema médio oeste e alto oeste.

Figura 26: Localização da proposta de integração do sistema de abastecimento hídrico da adutora Médio Oeste ao Sistema Alto Oeste, em destaque adutora proposta.



Fonte: elaborado pelo autor com base em ANA (2020), SEMARH (2019) e IDEMA (2019).

Em destaque nessa figura está a proposta de adutora para integrar o sistema da adutora Médio Oeste às duas adutoras que compõem o sistema Alto Oeste, primeiro interligando-a ao subsistema Santa Cruz do Apodi, em Frutuoso Gomes, em um trecho de 11km, depois interligando-a ao subsistema Pau dos Ferros, por outro trecho de 38km. Assim, para a integração dos dois sistemas, seria necessário 49km de rede adutora. Ambos os segmentos seguem o percurso paralelo à BR-226 pois os caminhos preferenciais para adutoras seguem as estradas, o que facilita o acesso, fiscalização e manutenção desse equipamento de infraestrutura hídrica. Para uma integração de sistemas adutores deste tipo, seria necessário avaliar a capacidade de suporte da adutora existente, possivelmente necessitaria aumentar o diâmetro da tubulação ou estações elevatórias, o que se deve acrescentar ao custo total do projeto/proposta.

A partir da proposta exposta na figura 26, poderia ser mitigado o problema do município de Pau dos Ferros, sede da regional Alto Oeste, com maior quantidade de empresas, setor de serviços e comércio, recebendo diariamente um fluxo populacional de aproximadamente 10.000 pessoas para utilização desses equipamentos urbanos, além de 25.551 habitantes urbanos. Esse município, desde o início do último período de seca (em 2014 o açude já se encontrava em volume morto), tem problemas com abastecimento hídrico, entre colapso e sistema de rodízio, o que fez com que se acelerasse o projeto da adutora Alto Oeste (adutora de engate rápido em 2015), que abastece o município no sistema de rodízio, com captação na barragem Santa Cruz

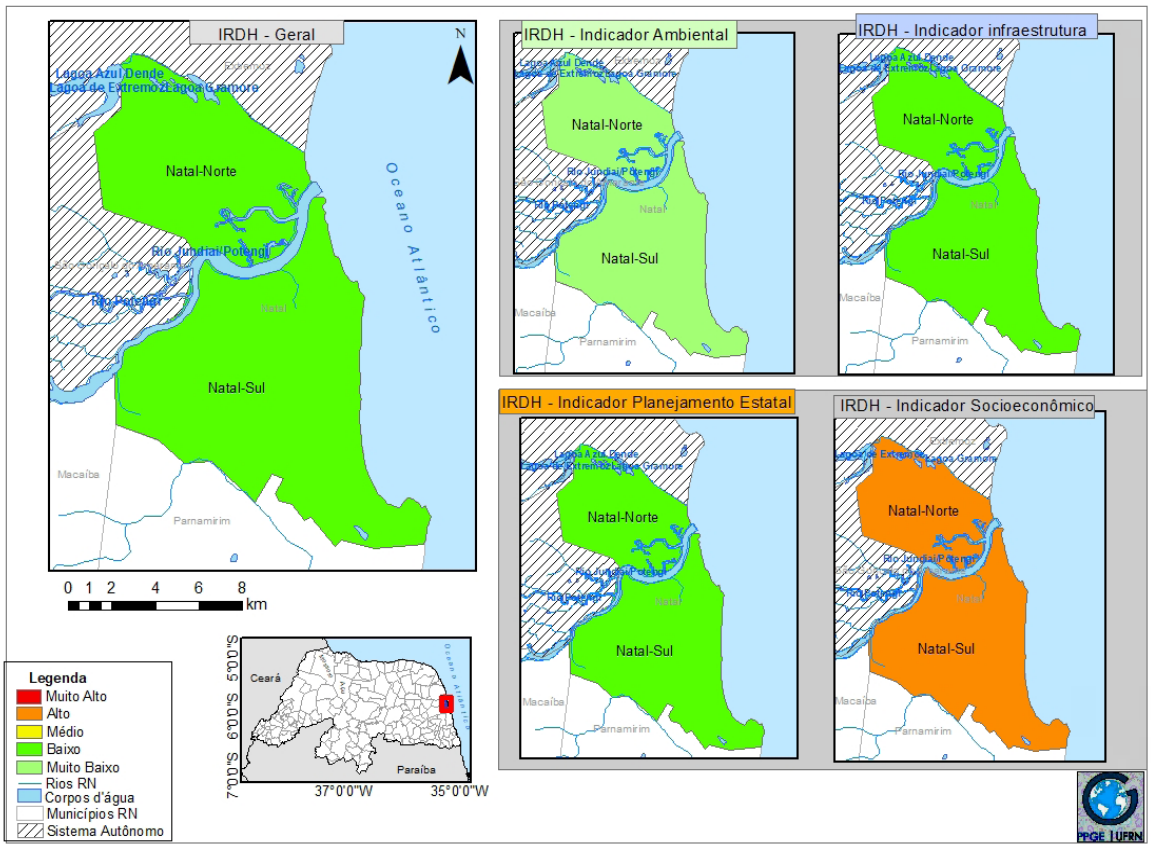
do Apodi através de 40 km de adutora adjacente à BR-405.

Com o abastecimento de água regular, o município poderia dispor de seu potencial turístico através das festas e eventos sazonais, além de melhorar sua economia, pois o município tem uma localização central na regional que abrange 3 Estados (PB, CE e RN), possibilitando empreendimento de comércio e indústrias. Também a estrutura educacional, por ter unidades de três instituições de ensino superior e técnico públicas (UFERSA, IFRN e UERN)[7], além de várias particulares, com mais de 10.000 vagas que poderiam aumentar a moradia de estudantes na região, diminuindo a migração pendular diária no município, além do desenvolvimento regional pois os projetos dessas instituições retornam para o local, gerando emprego e movimentando a economia.

4.6 Região de Natal

Após a tabulação dos dados, foi produzido o mapa da Figura 27, que mostra a configuração do resultado do IRDH para essa região de abastecimento hídrico do Rio Grande do Norte.

Figura 27: IRDH da Região Seridó do RN



Fonte: elaboração dos autores.

7 UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte; UFERSA – Universidade Federal Rural do Rio Grande do Norte; UERN – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

A partir do mapa, percebe-se que a região tem ‘baixo’ nível de risco de desabastecimento (IRDH – Geral), apresentando ‘muito baixo’ risco para o indicador ambiental, ‘baixo’ risco para infraestrutura e planejamento estatal e ‘alto’ risco para o indicador socioeconômico. Como o peso maior na classificação do IRDH é infraestrutura (1,75) e o menor é o socioeconômico (0,5), o resultado ‘baixo’ para o índice geral de Natal pode ser justificado uma vez que os dois sistemas (Natal-Sul e Natal-Norte) tiveram os mesmos resultados.

De maneira geral, o município tem uma boa infraestrutura hídrica, sendo abastecido, predominantemente, por mananciais subterrâneos e grandes lagoas dunares, derivadas do afloramento freático, ou seja, que se relacionam com a disponibilidade hídrica subterrânea. O que, quando associado, ao seu clima (pluviosidade média maior do que 1100 mm/ano) e geologia (cobertura dunar com alta permeabilidade), conclui-se que em Natal há condições propícias para recarga do aquífero e alimentação do nível freático que aflora nas lagoas de Extremoz (Natal-Norte) e do Jiqui (Natal-Sul). Porém, o município teve problemas no último período de seca (2012-2017), no sistema norte, com ocorrência de rodízio no abastecimento hídrico.

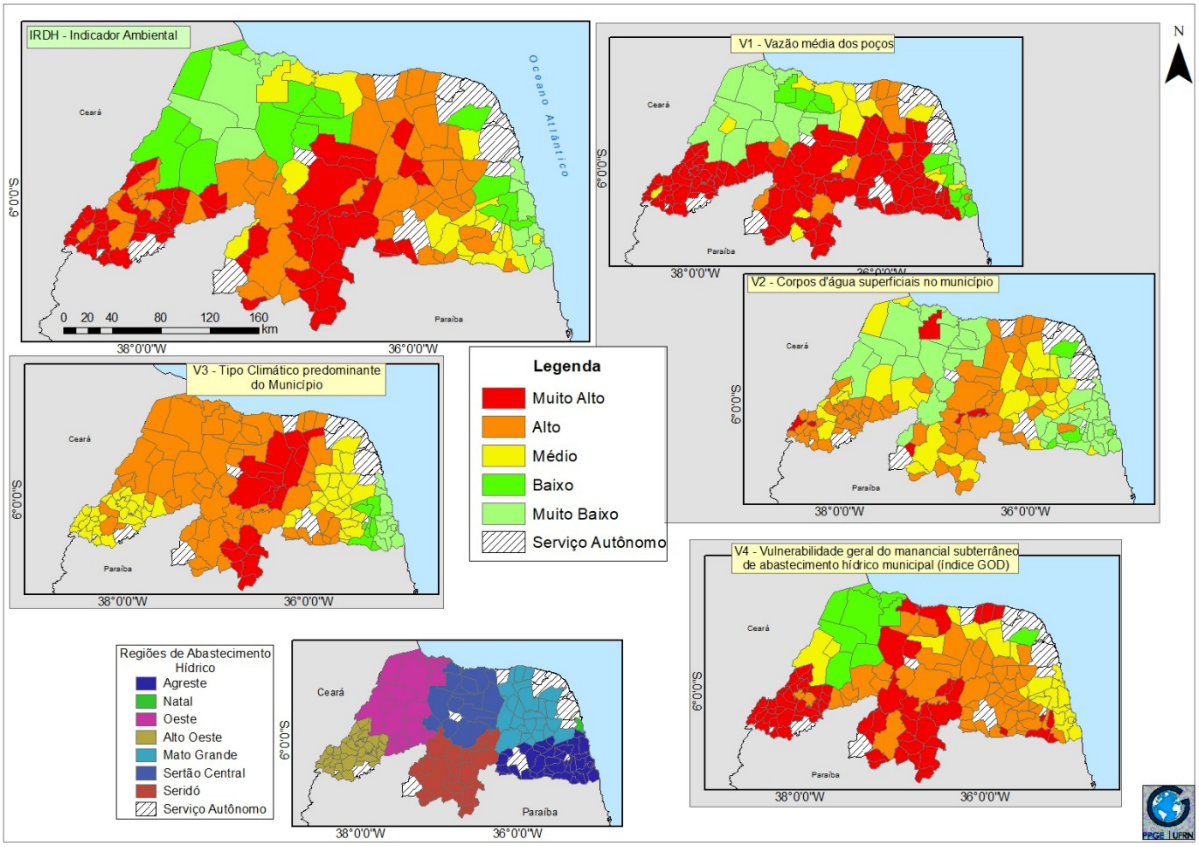
O resultado do IRDH de Natal, se deu, principalmente, devido às suas características ambientais como, por exemplo, clima tropical úmido, com grande disponibilidade hídrica natural no território municipal e alta vazão dos poços, com média vulnerabilidade geral do aquífero (menor ainda nas áreas em que o aquífero se comporta como semiconfinado). Assim como, pela boa infraestrutura hídrica, com tipo de captação pouco vulnerável a longos períodos de estiagem (maior peso no indicador infraestrutura), apesar dos muitos anos de utilização da rede de abastecimento (V8, com mais de 30 anos no geral) e da variável V9 – material construtivo da rede de abastecimento – com alta vulnerabilidade (cimento amianto ainda em partes da rede de distribuição). Com isso, fazendo o balanço do indicador infraestrutura através dos pesos, Natal tem ‘baixo’ risco, o que contribuiu para o IRDH geral do município.

4.7 Índice de Risco Desabastecimento Hídrico no Rio Grande do Norte

a) Indicador ambiental

Quanto ao indicador ambiental, conforme demonstrado na caracterização físico-natural do RN, vê-se que o Estado tem características ambientais diferentes no litoral oriental e no interior. No litoral oriental, há condições geológicas propícias à exploração hídrica subterrânea, além de clima tropical úmido, o que contribui para a recarga do aquífero. Assim, essa é uma região com ‘baixa’ e ‘muito baixa’ vulnerabilidade para as variáveis V1 (Vazão média dos poços, peso 1,25), V2 (Corpos d’água superficiais naturais no município, peso 1,25) e V3 (Tipo Climático predominante do Município, peso 0,75). Essas variáveis, através de seus pesos, foram determinantes para a baixa vulnerabilidade dessa porção do Estado, o que pôde ser visto nas regiões de abastecimento hídrico Agreste (parte leste) e Natal. O Mapa da figura 28 mostra a configuração espacial do IRDH referente ao indicador ambiental no RN.

Figura 28: Indicador Ambiental do IRDH para o RN.



Fonte: elaboração dos autores.

Situação semelhante ocorre nas regiões Oeste e Sertão Central de abastecimento hídrico. Esses locais estão sobre a bacia sedimentar potiguar, onde há o aquífero Açu, o que permite a exploração hidrogeológica com grande vazão e qualidade (V1 – Vazão média dos poços). Além disso, os dois maiores rios do Rio Grande do Norte – Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu – passam por essas regiões, que apresentam 'muito baixo' risco para a variável V2 (Corpos d'água superficiais naturais no município). Essas duas variáveis têm maior peso no indicador (1,25), o que contribui diretamente para seu resultado. Porém, essa porção do Estado tem características ambientais de 'alto' risco para a V3 (Tipo Climático) pois trata-se de clima semiárido mediano e forte.

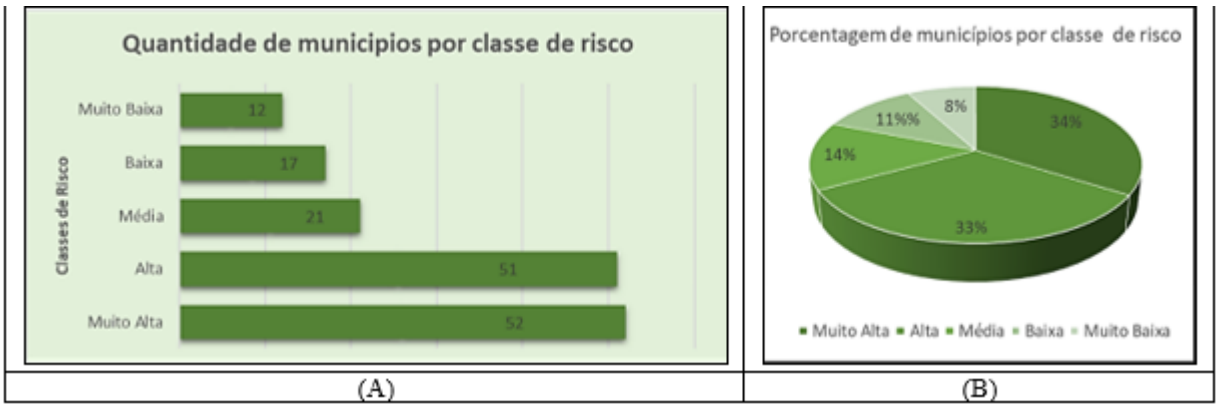
Quanto à variável V4 (Vulnerabilidade geral do manancial subterrâneo, peso 0,75), as porções litorâneas leste, centro-norte e noroeste do Estado têm características hidrogeológicas semelhantes pois trata-se de rochas sedimentares, com porosidade e permeabilidade, que permitem exploração hídrica subterrânea. Porém, a maior profundidade do nível freático é determinante para que a noroeste da região Oeste de abastecimento hídrico tenha nível 'baixo' de risco, enquanto outras tenham risco 'médio' (Agreste), 'alto' (Sertão Central) e 'muito alto' risco (municípios costeiros na Região Sertão Central do Estado).

Nesse contexto, as regiões de abastecimento hídrico Seridó e Alto Oeste têm características ambientais diferentes, apresentando 'alto' e 'muito alto' risco para o indicador ambiental na maioria de seus municípios. Esse resultado pode ser explicado pela baixa disponibilidade de

exploração hídrica subterrânea (V1) e superficial (V2), além de clima semiárido mediano e forte (V3), principalmente, associado à alta vulnerabilidade de contaminação do aquífero (V4) por se tratar de aquífero fissural.

Já as regiões Agreste e Mato Grande do Estado apresentaram resultado 'médio' e 'alto' risco para o indicador, na maioria dos seus municípios, pelas mesmas características gerais citadas nas regiões Seridó e Alto Oeste. Porém, há uma peculiaridade na região Agreste, qual seja: quanto mais próximo do litoral estão os municípios, maior disponibilidade hídrica superficial (V2) e subterrânea (V1) e mais úmido é o clima (V3), diminuindo, consequentemente, o nível de risco para o indicador nessa região. A figura 29 mostra o resultado do IRDH para o indicador ambiental no RN.

Figura 29: Distribuição dos resultados do indicador ambiental. (A) Quantidade de Municípios por classe de risco; (B) Porcentagem de Municípios por classe de risco.



Fonte: elaborado pelo autor.

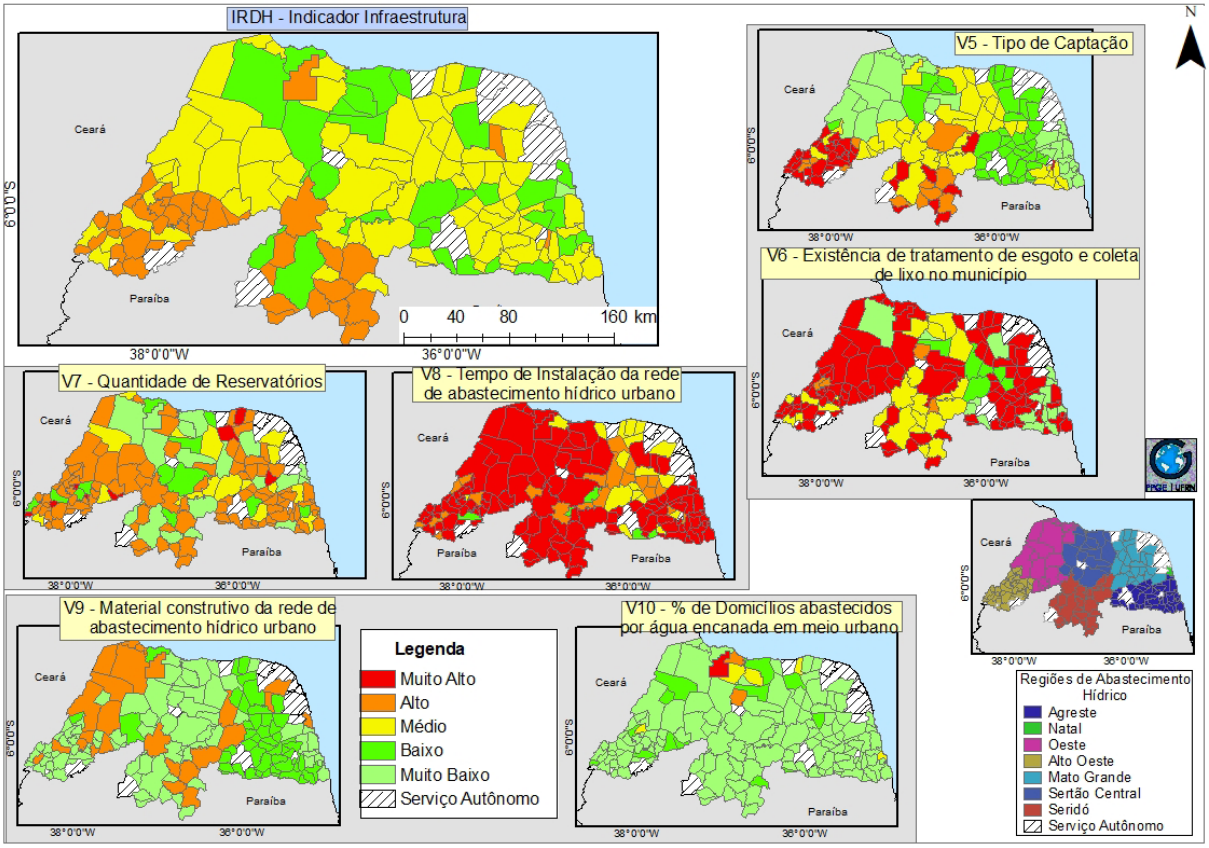
Detalhando-se o resultado do indicador ambiental exposto na Figura 28, dentre os 153 municípios analisados no Estado e sua população, tem-se: com risco 'muito alto' foram encontrados 52 municípios (34%), totalizando 307.995 habitantes urbanos (14%); com risco 'alto', classificaram-se 51 municípios (33%) e 279.102 habitantes (12%); com risco 'médio', 21 municípios (14%) e 136.408 habitantes (6%); com risco 'baixo', 17 municípios (11%) e 190.088 habitantes (9%); e com risco 'muito baixo', 12 municípios (8%) e 1.332.633 habitantes (59%).

Nota-se, portanto, que a classificação de 'muito baixo' risco tem a menor quantidade de municípios, porém, maior quantidade de habitantes. Isso acontece porque os municípios mais populosos do Estado estão nessa categoria, quais sejam Natal, Mossoró e Parnamirim, os quais têm características ambientais menos vulneráveis ao desabastecimento hídrico. Há, nestes municípios, boas condições (qualidade e quantidade) de potabilidade do manancial subterrâneo, além de corpos hídricos superficiais, características inerentes à duas variáveis, das quatro, que compõem o indicador ambiental. Já as categorias 'muito alto' e 'alto' têm maior quantidade de municípios, totalizando 103 (67%), atingindo 587.097 habitantes urbanos nessas duas categorias (26%), denotando os problemas do território estadual quanto às características ambientais que aumentam seu risco de desabastecimento hídrico.

b) Indicador infraestrutural

O resultado deste indicador no Estado pode ser analisado a partir da influência dos mais de mil quilômetros de adutoras que permeiam o Rio Grande do Norte, levando água às sedes municipais por até 315 km de extensão, como é o caso da adutora Monsenhor Expedito, por exemplo, abastecendo 30 municípios e atendendo 265.040 habitantes urbanos aproximadamente, com captação principal na Lagoa do Bonfim em Nísia Floresta. Além dessa adutora, se destacam o sistema adutor Alto Oeste, com seus dois subsistemas (com captação na barragem Santa Cruz do Apodi e Açude Pau dos Ferros), que abastecerá 27 municípios quando iniciada sua operação total. Além disso, tem-se o sistema adutor Sertão Central Cabugi, que atende 8 municípios da região central do Estado, captando água da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves e atendendo a 47.527 habitantes, aproximadamente. De forma geral, 81 municípios são abastecidos por adutoras, exclusivamente ou de forma mista (associado a poços), portanto 53% do universo analisado e 70% da população. A figura 30 mostra a configuração deste indicador no Rio Grande do Norte.

Figura 30: Indicador Infraestrutural do IRDH para o RN.



Fonte: elaboração dos autores.

Nesse contexto, foi possível concluir que, de maneira geral, a variável V5 – tipo de captação dos municípios, que tem maior peso (peso 1,5), foi determinante no resultado do indicador, orientando o seu resultado. Nesse aspecto, as regiões Seridó e Alto Oeste apresentaram

maior número de municípios classificados como ‘muito alto’ e ‘alto’ risco para a variável V5 e maior quantidade de municípios com ‘alto’ risco para o indicador infraestrutura, comprovando, portanto, a influência desta variável no resultado. Nessas duas regiões, o tipo de captação é variado, porém, depende, em muitos municípios, de barragens locais. No cristalino potiguar, há maior vulnerabilidade a períodos de seca, além dos poços tubulares em aluviões ou até mesmo, no cristalino, muito vulneráveis à contaminação e, também, à seca.

Além disso, a maior parte dos municípios do Estado apresentou ‘muito alto’ e ‘médio’ risco para o indicador tratamento de esgoto no município (V6 – peso 0,75), não dispondo de estação de tratamento de esgoto e/ou com problemas de destinação final dos resíduos sólidos urbanos (lixões), este é um problema que marca o risco de desabastecimento do Estado, a partir do aumento da vulnerabilidade à contaminação de seus mananciais, em todas as regiões de abastecimento hídrico. Em 107 municípios (dos 153 analisados no Estado), a rede de abastecimento hídrico urbano tem mais de 30 anos (V8 – peso 1), colocando-os como nível 5 de risco, isto é, na categoria ‘muito alto’ risco.

No concernente à variável V7 – Quantidade de reservatórios –, com peso 1, a maioria dos municípios do Estado foram classificados como ‘alto risco’, quando há reservatórios com baixa capacidade nos municípios, entre 50 e 250m³, o que diminui a capacidade de armazenamento hídrico para abastecimento da população urbana dos municípios em caso de estiagem prolongada ou outros perigos que afetem o abastecimento hídrico. Assim, essas três variáveis, junto com a variável V5, aumentaram o risco geral dos municípios para o indicador infraestrutura o que, no balanço entre as variáveis, fez com que seu resultado fosse ‘médio’ e ‘alto’ risco para a maioria dos municípios do Estado.

Por outro lado, na variável (V9) material construtivo da rede de distribuição, peso 1, a maioria dos municípios do Estado apresentaram ‘muito baixo’ e ‘baixo’ risco, denotando que a rede de distribuição hídrica do Estado apresenta material de boa qualidade e resistência, como tubos de PVC, por exemplo. Na variável V10 – porcentagem de domicílios abastecidos por água encanada em meio urbano, peso 0,75, a grande maioria do território estadual foi classificado como ‘muito baixo’ risco, o que, a partir do balanço entre as variáveis do indicador, diminuiu o resultado para o indicador infraestrutura, não havendo municípios classificados como ‘muito alto’ risco, por exemplo. A figura 31 mostra a distribuição dos resultados do indicador infraestrutura.

Figura 31: Distribuição dos resultados do indicador infraestrutura. (A) Quantidade de Municípios por classe de risco; (B) Porcentagem de Municípios por classe de risco.

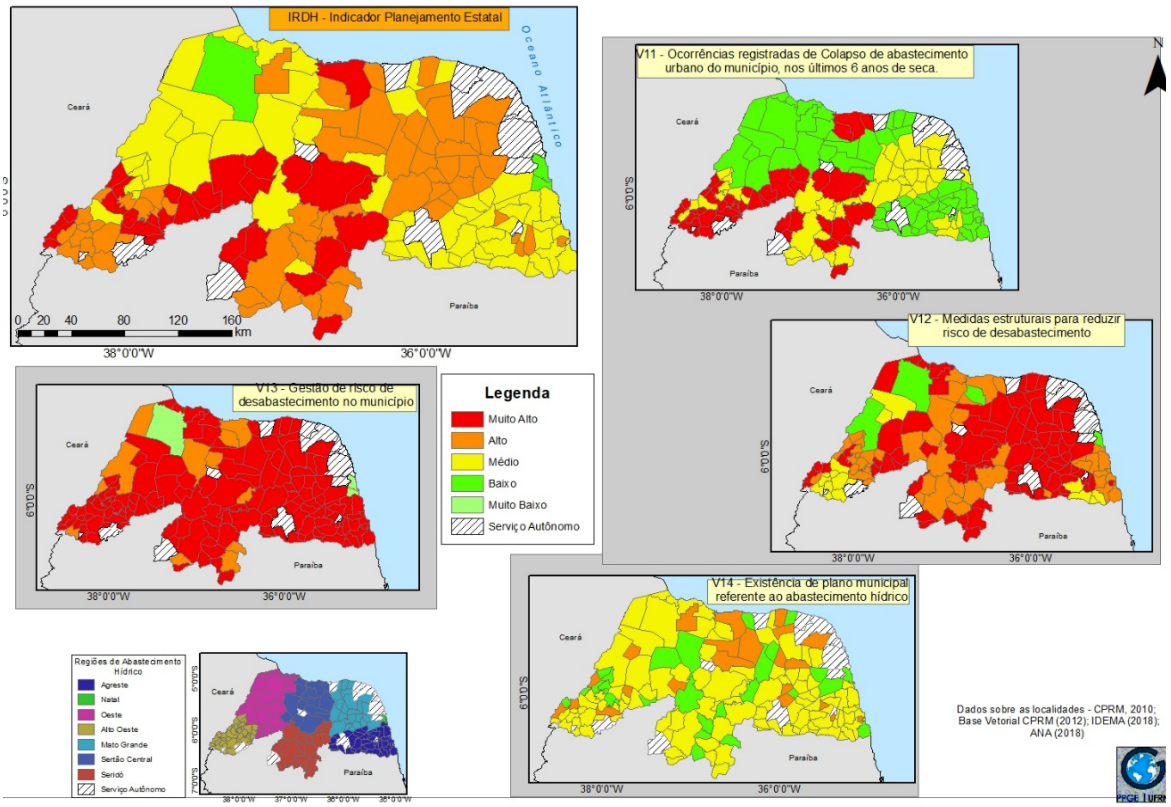
Fonte: elaborado pelo autor.

Detalhando-se o resultado do indicador infraestrutura exposto na Figura 30, casos com risco 'muito alto' não foram encontrados. Foram classificados 43 municípios com risco 'alto' (28%), totalizando 226.050 habitantes urbanos (10%); com risco 'médio', 79 municípios (51%) e 444.661 habitantes (20%); com risco 'baixo', 30 municípios (20%) e 1.373.059 habitantes (61%); e com risco 'muito baixo', apenas 1 município (1%) com 202.456 habitantes (9%). Nota-se, portanto, que a classificação de 'baixo' risco tem 30 municípios apenas, porém, maior número de habitantes. Isso porque os dois municípios mais populosos do Estado estão nessa categoria, como Natal (803.739 hab.) e Mossoró (237.241 hab.). Já as categorias 'alto' e 'médio' têm maior quantidade de municípios, totalizando 122, com 670.711 habitantes urbanos nessas duas categorias, ou seja, 61% dos municípios e 30% da população, denotando os problemas do território estadual quanto à infraestrutura hídrica que aumentam seu risco de desabastecimento.

c) Indicador Planejamento Estatal

Para este indicador, o resultado foi de risco 'médio' na maior parte do território estadual, seguido de risco 'alto' e 'muito alto'. O mapa da figura 32 mostra a configuração espacial do indicador planejamento estatal para o Rio Grande do Norte de maneira geral e com a individualização das variáveis.

Figura 32: Indicador de Planejamento Estatal do IRDH para o RN.



Fonte: elaboração dos autores.

A partir da figura, pode-se perceber que as regiões Seridó, Alto Oeste, Sertão Central e Mato Grande são as que mais incidem os resultados de 'alto' e 'muito alto' risco de desabastecimento para o indicador planejamento estatal. Nessas regiões, os municípios registraram ocorrências de colapso hídrico total ou parcial (rodízio) no último período de seca e, portanto, a variável V11 – Ocorrências de colapso de abastecimento hídrico – de peso maior (1,5), tem resultado 'muito alto' e 'médio', o que contribui diretamente para o resultado do indicador.

Além disso, as variáveis V12 – Medidas estruturais para reduzir risco de desabastecimento – e V13 – Gestão de risco de desabastecimento no município (Defesa Civil e secretaria responsável) –, ambas com peso 0,75, resultaram risco 'alto' e 'muito alto' para a maioria absoluta dos municípios dessas regiões e do Estado como um todo. Esse resultado denota que não há opções de mananciais reserva, obras em andamento ou projetos de melhoria do sistema de abastecimento (V12) nesses municípios. Também não há defesa civil estruturada, com funcionários, veículos, equipamentos e sistema de alerta, com plano de contingência e/ou monitoramento para redução do risco de desastres (RRD), o que incide no aumento do nível de risco da variável V12. Essas duas variáveis, junto com a variável V11, levando em consideração os seus pesos no indicador, foram decisivas para o resultado geral para o planejamento estatal do Estado.

Por outro lado, a variável V14 – Existência de plano municipal referente ao abastecimento hídrico (plano de saneamento) –, peso 1, tem a maior parte dos municípios com classificação

'média' e 'baixa' no Estado. Esse resultado se dá pelos municípios estarem planejando seu plano de saneamento (risco médio) ou já contarem com plano de saneamento (risco baixo), com as medidas de abastecimento hídrico a serem implementadas a curto, médio e longo prazo. Por causa do peso desta variável, inserida no cálculo do balanço do indicador, o nível de risco geral do Estado teve diminuição, apresentando o resultado de 'médio' risco na maior parte do território estadual a partir da quantidade de municípios. A figura 33 mostra a distribuição dos resultados do indicador planejamento estatal.

Figura 33: Distribuição dos resultados do indicador planejamento estatal. A: Quantidade de Municípios por classe de risco; B: Porcentagem de Municípios por classe de risco

Fonte: elaborado pelo autor.

Detalhando-se o resultado do indicador planejamento estatal exposto no figura 33, casos com risco 'muito alto' foram encontrados em 29 municípios (19%), totalizando 164.223 habitantes (7%). Classificados com risco 'alto' foram verificados 61 municípios (40%), totalizando 223.879 habitantes (10%); com risco 'médio', 60 municípios (39%) e 614.688 habitantes (28%); com risco 'baixo', 3 municípios (2%) e 1.243.436 habitantes (55%); e nenhum município com risco 'muito baixo'. Nota-se, portanto, que a classificação de 'baixo' risco tem 3 municípios apenas, porém, maior número de habitantes, pois os municípios mais populosos do Estado estão nesta categoria, quais sejam Natal, Mossoró e Parnamirim. Já as categorias 'médio' e 'alto' têm maior quantidade de municípios, totalizando 121, com 838.567 habitantes urbanos nessas duas categorias, denotando os problemas do território estadual quanto ao planejamento estatal, que aumenta o risco de desabastecimento do IRDH geral do RN.

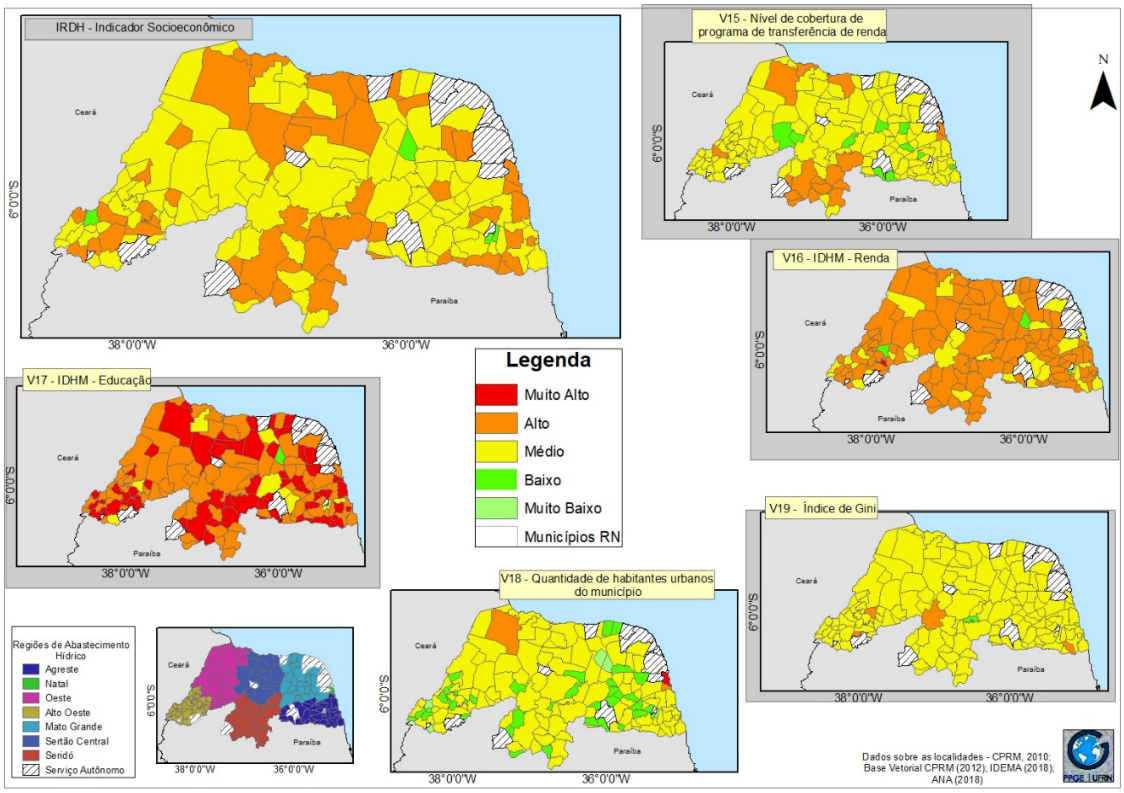
d) Indicador Socioeconômico

O indicador socioeconômico do RN apresentou resultado de risco 'médio' para a maior parte do território estadual, seguido por risco 'alto' e poucos municípios classificados como 'baixo' risco. Nenhum município apresentou risco 'muito alto' e 'muito baixo'.

A partir da figura 34, pode-se concluir que as variáveis V16 (IDHM Renda) e V17 (IDHM Educação), ambas com peso 1, tiveram resultados de risco 'alto' e 'muito alto' na maioria dos municípios do Estado, o que contribuiu para o resultado geral do indicador. O nível

de risco dessas variáveis denota os problemas que o Estado tem quanto ao acesso à educação e à disponibilidade de renda dos habitantes, o que é fundamental para resistir, lidar com e se recuperar em caso de desastre, como é o desabastecimento hídrico.

Figura 34: Indicador Socioeconômico do IRDH para o RN.



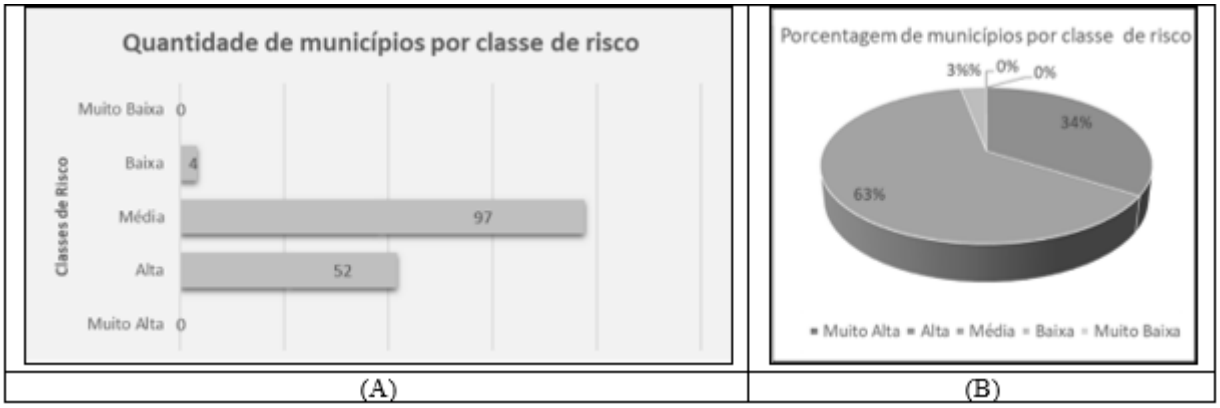
Fonte: elaboração dos autores.

De modo diferente, a variável V18 – Quantidade de habitantes –, que tem maior peso no indicador (1,50), teve resultado de risco classificado como 'médio' na maioria dos municípios, nos quais a população urbana está entre 2.500 e 60.000 habitantes. Apenas Natal se enquadra na classe 'muito alto' risco para esta variável por ser o município com maior quantidade de habitantes do Estado (803.739 habitantes). Por causa de seu peso maior para o indicador socioeconômico, o resultado desta variável foi determinante para a espacialização do indicador no mapa do Estado.

Ainda sobre os resultados obtidos para o Estado, a grande maioria dos municípios apresentaram desigualdade social 'média', o que foi confirmado a partir da espacialização do índice de Gini (V19, peso 0,75). Por último, tem-se a variável V15 – sobre o nível de cobertura do programa bolsa família –, peso 0,75, que, no RN, tem a maior parte dos municípios com 'médio' risco, quando 25 a 50% da população são assistidos pelo programa, porém, 17 municípios, a maioria localizada na região Seridó, apresentaram nível 'alto' para esta variável, o que aumentou o nível de risco do indicador socioeconômico.

Nesse contexto, os resultados individuais dessas variáveis, ponderados no cálculo do indicador, direcionaram a espacialização do indicador socioeconômico com a maior parte do território estadual apresentando nível 'médio' de risco. A figura 35 mostra a distribuição do resultado do indicador socioeconômico.

Figura 35: Distribuição dos resultados do indicador socioeconômico. A: Quantidade de Municípios por classe de risco; B: Porcentagem de Municípios por classe de risco



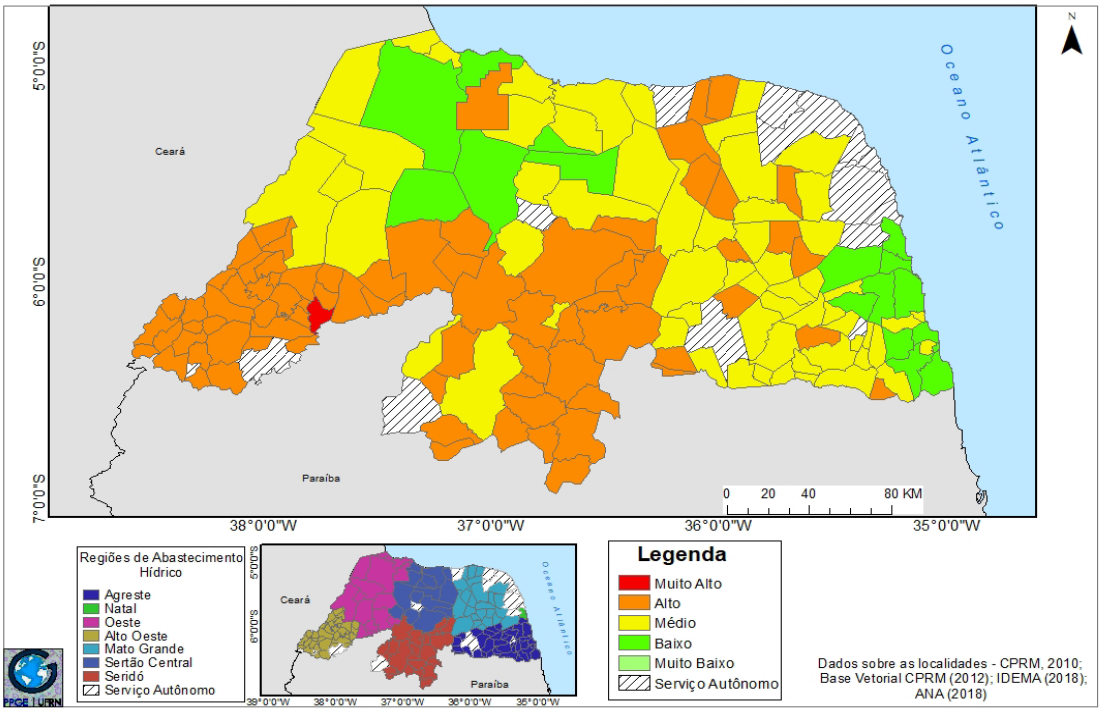
Fonte: elaborado pelo autor.

Analisando o resultado exposto na figura 35, pode-se concluir que 52 municípios (34%) têm nível de risco 'alto' para o indicador socioeconômico, totalizando 1.624.894 habitantes (72%), 97 têm nível de risco 'médio' (63%), com 613.938 habitantes (27%), e 4 municípios (3%) têm nível classificado como 'baixo', com 7.394 habitantes urbanos, 1%, aproximadamente. Nenhum município foi classificado com 'muito alto' ou 'muito baixo' risco. Com isso, a maior quantidade de habitantes está na classe 'alto' risco, denotando a influência da variável V18 – quantidade de habitantes –, na qual se encontram os municípios mais populosos do Estado (Natal, Mossoró e Parnamirim).

e) Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico

Após a descrição do resultado de cada indicador – e suas variáveis – que compõem o IRDH, sendo observado os mapas-resultados da análise, tem-se o resultado do índice geral para o Rio Grande do Norte. Sendo assim, o mapa da Figura 35 mostra a configuração do resultado do IRDH para o Estado. Nele, pode-se perceber a sobreposição dos indicadores a partir da fórmula geral inerente ao IRDH, sendo o indicador infraestrutura o de maior peso (1,75), seguido pelo indicador ambiental (1,0), conforme citado anteriormente. Os indicadores de planejamento estatal (0,75) e socioeconômico (0,5) são os de menor peso no cálculo do índice.

Figura 36: Índice de Risco de Desabastecimento Hídrico (IRDH) no RN.



Fonte: elaboração dos autores.

A partir da figura, conclui-se que o território estadual analisado nesta pesquisa não apresentou nenhum município com 'muito baixo' risco de desabastecimento. Porém, 1 município foi classificado como 'muito alto' risco (Almino Afonso), totalizando 3.479 habitantes; 74 municípios tiveram nível de risco 'alto' no IRDH estadual, com total de 373.702 habitantes nessa categoria; 62 casos de 'médio' risco foram encontrados, com 426.401 habitantes nessa classe; e 16 municípios foram classificados como 'baixo' risco de desabastecimento hídrico, totalizando 1.442.644 habitantes. Assim, a categoria com maior quantidade de municípios e, consequentemente, área do território estadual, é o 'alto' risco. Porém, essa classe não é a que tem mais habitantes urbanos, sendo essa a de 'baixo' risco, em que estão os municípios mais populosos do Estado: Natal, Mossoró e Parnamirim.

A figura 37 mostra os resultados do IRDH em relação à quantidade de municípios do Estado proporcionalmente aos 153 municípios abastecidos pela concessionária de abastecimento estadual, objeto de análise desta pesquisa.

Figura 37: Distribuição dos resultados do IRDH do Rio Grande do Norte. A: Quantidade de Municípios por classe de risco; B: Porcentagem de Municípios por classe de risco

Fonte: elaborado pelo autor.

Analisando o mapa de risco de desabastecimento hídrico estadual e os gráficos da figura 37, gerado a partir do IRDH, proporcionalmente, tem-se a classe 'muito alto' risco com 1% dos municípios analisados e 3.479 habitantes (0,15%); 48% dos municípios com 'alto' risco e 373.702 habitantes (16,75%) nesta categoria; 41% dos municípios com risco 'médio' e 426.401 habitantes urbanos (19%); e 10% na categoria de 'baixo' risco, com 1.442.644 habitantes (64%).

Nota-se, ainda, que a concentração de municípios com 'alto' risco está nas regiões Alto Oeste e Seridó, o que pode ser relacionado aos problemas de infraestrutura hídrica dessas regiões, assim como a características ambientais muito vulneráveis a períodos de seca, como os seis anos ocorridos entre 2012 e 2017. Esses indicadores, de infraestrutura e ambiental, são os que tem maior peso no índice (1,75 e 1,0, respectivamente), justificando o seu direcionamento para o resultado geral do Rio Grande do Norte. Contudo, a concentração de municípios com "baixo" risco está nas regiões Agreste e em alguns municípios das regiões Oeste e Sertão Central, os quais estão localizados em bacia sedimentar (Bacia sedimentar Potiguar norte e leste – também chamada de bacia Pernambuco-Paraíba), com alta vazão de poços, assim como boa disponibilidade hídrica superficial natural. A Tabela 9 apresenta os resultados do IRDH estadual, agrupado por nível de risco, identificando os indicadores, quantidade de municípios e a população atingida por cada categoria de risco.

Tabela 9: Quantitativo populacional urbano municipal do IRDH por nível de risco no Rio Grande do Norte.

Nível de Risco	Indicador	Quantidade de Municípios	População Urbana Total (Hab.)
Muito Alto	Ambiental	52	307.995
	Infraestrutural	---	---
	Planejamento Estatal	29	164.223
	Socioeconômico	---	---
	IRDH-RN	1	3.479
Alto	Ambiental	51	279.102
	Infraestrutural	43	226.050
	Planejamento Estatal	61	223.879
	Socioeconômico	52	1.624.894
	IRDH-RN	74	373.702
Médio	Ambiental	21	136.408
	Infraestrutural	79	444.661
	Planejamento Estatal	60	614.688
	Socioeconômico	97	613.938
	IRDH-RN	62	426.401
Baixo	Ambiental	17	190.088
	Infraestrutural	30	1.373.059
	Planejamento Estatal	3	1.243.436
	Socioeconômico	4	7.394
	IRDH-RN	16	1.442.644
Muito Baixo	Ambiental	12	1.332.633
	Infraestrutural	1	202.456
	Planejamento Estatal	---	---
	Socioeconômico	---	---
	IRDH-RN	---	---

Fonte: Censo IBGE (2010) e dados da pesquisa.

A partir da análise do resultado exposto na Tabela 9, pode-se concluir que, no concernente às características ambientais, os municípios com 'muito alto' (52 casos) e 'alto' risco (51 casos) foram maioria neste indicador, denotando a influência da maior parte do território localizado sobre clima semiárido (brando, forte ou mediano) e formações geológicas típicas do cristalino potiguar (rochas metamórficas e ígneas). Essa formação geológica tem baixa capacidade de captação hídrica subterrânea, seja pela disponibilidade ou qualidade da água. Além disso, o tipo de aquífero fissural (cristalino potiguar), com nível freático raso, aumenta bastante a vulnerabilidade de contaminação do manancial subterrâneo.

Quanto ao indicador de planejamento estatal, a maior parte dos municípios do Estado aparece com índice 'alto' (61 casos), seguido pelo nível 'médio' de risco (60 casos). As ocorrências de colapso hídrico na última grande seca entre 2012 e 2017 contribuem para o aumento do IRDH para este indicador, além de a maioria não ter estrutura de órgãos municipais para gestão do risco no município, como defesa civil, e não apresentarem obras ou medidas estruturais a serem realizadas ou em andamento, para a redução do risco de desabastecimento hídrico.

Já em relação ao indicador infraestrutura, a classe com maior número de municípios foi a de 'médio' risco (79 casos), seguido pela categoria 'alto' risco (43 casos), denotando que o Estado dispõe de uma boa infraestrutura hídrica, porém, com problemas quanto ao tratamento de esgoto, destinação dos resíduos urbanos e tipo de captação municipal, principalmente. Além disso, a maioria dos municípios da região tem uma rede de distribuição urbana geral antiga, com idade superior a 30 anos. Por último, o indicador socioeconômico teve a maior parte dos municípios na classe 'médio' risco (97 casos), seguido pelo nível 'alto' (52 casos), o que pode ser relacionado ao quantitativo populacional do Estado, variável que tem maior peso na classificação deste indicador.

Nesse contexto, no concernente à variável V6, sobre tratamento de esgotos e destinação final dos resíduos urbanos, em municípios que não existem essas medidas de saneamento ambiental, haveria maior circulação de vetores de doenças de veiculação hídrica, além de insetos e animais peçonhentos, que afetam a qualidade de vida e a saúde de seus munícipes. Esta variável foi classificada como infraestrutura, porém, também incide no planejamento, uma vez que investimentos em saneamento são fundamentais para diminuir riscos à saúde e, portanto, prevenir doenças. Em casos de desabastecimento hídrico, a população busca soluções alternativas, pequenos mananciais, às vezes eutrofizados, e poços tubulares. Quando não existem tais medidas de saneamento básico, esses recursos hídricos usados em casos de colapso hídrico têm maior probabilidade de estarem contaminados, o que incidirá diretamente nos casos de doenças de veiculação hídrica, como cólera, gastroenterite, febre tifoide e hepatite infecciosa, por exemplo.

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n° 12.305/2010), todos os municípios são obrigados a ter plano de resíduos sólidos, objetivando medidas para redução da poluição ambiental, a partir da destinação ideal dos resíduos em aterros controlados e monitorados por órgão municipal responsável. Para municípios com menos de 20.000 (vinte mil) habitantes, esse plano tem informações simplificadas; além disso, nessa política, incentiva-se a gestão consorciada entre os municípios, o que é visto na região metropolitana de Natal: um consórcio de 12 municípios que destinam seus resíduos para o aterro sanitário controlado localizado em Ceará-mirim. Esses consórcios de resíduos sólidos são a solução para o problema dos lixões e contaminação do solo e mananciais pelos resíduos destinados inadequadamente. Inclusive, existe projeto para consórcio de aterros controlados na região Oeste (em Mossoró), Alto Oeste (em Pau dos Ferros) e Seridó (em Caicó), porém, não foi executado por problemas políticos/econômicos entre União e Estado.

Percebe-se, no contexto do RN, que existem conflitos de interesse entre os municípios, o Estado e a federação no que diz respeito à gestão dos resíduos sólidos. Tais conflitos repercutem na degradação dos solos e dos recursos hídricos de áreas que antes não apresentavam tal passivo ambiental. O tratamento de esgoto e a destinação inadequada dos resíduos sólidos, sem atenção ou foram subestimados pelo governo municipal, estadual e federal pode contaminar os mananciais

subterrâneos e superficiais, aumentando o risco de desabastecimento hídrico dos municípios pela falta de alternativas de mananciais por causa dessa possível contaminação. Cada caso tem que ser analisado de forma mais detalhada para se investigar as causas e consequências, porém, é conclusivo que a temática do saneamento básico no Rio Grande do Norte, tanto na capital, quanto no interior, não teve a atenção necessária e a celeridade que se exige para a preservação dos mananciais.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) calcula que, a cada 1 dólar investido em saneamento básico, 4,3 dólares serão economizados em saúde global (WHO; ONU, 2014). Isso representa dinheiro público gasto com saúde, pela união, governos e municípios, de forma desnecessária por causa da falta de investimento em saneamento básico. Caso houvesse esse investimento, a saúde do país, em geral, seria muito menos dispendiosa em virtude da redução de casos de doenças, sobretudo as de veiculação hídrica, além da melhoria da qualidade de vida da população. Nesse sentido, havendo tratamento de esgoto efetivo em todos os municípios do Estado, poderia se pensar em reuso da água, uma ótima ação em uma região com escassez hídrica, como o semiárido do RN. Essa água poderia ser reutilizada para usos menos nobres, como limpeza urbana, paisagismo, irrigação de campos públicos, praças e parques, hortas urbanas públicas ou nas escolas etc.

Além dessa problemática do saneamento básico estadual, no Rio Grande do Norte, tem-se problemas de ordem socioeconômica. A população do Estado, de maneira geral, tem poucas condições de lidar com o desabastecimento hídrico, principalmente no interior. No interior do Estado, como concluído a partir dos resultados da variável V16 (IDHM-Renda), a maioria dos municípios foi classificada como alto risco para esta variável, ou seja, com renda considerada baixa.

Como é sabido, a água é um recurso fundamental para o crescimento e o desenvolvimento econômico pois a atividade que mais consome água é a agricultura, seguida da indústria. Assim, sua maior disponibilidade, a partir do investimento em infraestrutura hídrica, incidiria na geração de renda para a população, seja por mais possibilidades de indústrias (mineral e/ou têxtil), fruticultura irrigada, comércio e serviços, turismo, entre outras atividades que demandam água em seu processo produtivo. O Estado como um todo, através do desenvolvimento econômico, seria beneficiado por essas ações, com maior arrecadação de impostos, que poderiam ser aplicados aos transportes, saúde e educação, além da redução da vulnerabilidade da população, aumentando sua capacidade de lidar, diminuindo a suscetibilidade e aumentando as condições de adaptação para o desastre, ou seja, desabastecimento hídrico no Estado.

Noutra perspectiva, num contexto climático no qual a maior parte do Estado tem clima semiárido, forte e mediano, a açudagem é questionada como solução para o abastecimento hídrico devido às altas taxas de evaporação da região, o que caracteriza, em média, nessa região do Estado, 7 meses com déficit hídrico (com base no climograma de Caicó-RN, exemplo do semiárido potiguar, figura 7), isto é, quando é maior o volume de água perdida por evaporação

do que o armazenado pelas barragens. Portanto, o Estado tem alta fragilidade para esse tipo de reservação hídrica de modo que grandes reservatórios municipais fechados, apoiados, elevados ou enterrados (cisternas), investimentos em pesquisa hidrogeológica e integração de bacias hidrográficas, podem ser alternativas para reservação hídrica, inclusive de forma consorciada com a açudagem. Na análise desta pesquisa, viu-se que a maioria dos municípios do Estado tem pequena população (75% dos municípios do RN têm entre até 8,0 mil habitantes), o que viabilizaria esse tipo de infraestrutura hídrica, qual seja os reservatórios fechados, construídos nas sedes municipais, associados ou não aos açudes, como alternativa para redução da suscetibilidade e, portanto, da vulnerabilidade ao desabastecimento hídrico dos municípios.

Outro aspecto importante é, além de dispor dos reservatórios municípios (açudes ou caixas d'água), utilizá-los de forma restritiva/controlada. Trata-se de regular o uso dos reservatórios, principalmente em tempos de chuvas regulares ou acima da média, quando há o desperdício. Os municípios e o Estado precisam ser proativos na gestão de seus recursos hídricos, armazenando em tempos de quadra chuvosa acima da média ou superavit hídrico e utilizando racionalmente em tempos de escassez.

Não adianta aumentar a capacidade de armazenamento hídrico municipal (variável V7 do IRDH) se não há o uso racional e controlado desse recurso. No RN, no último período de seca, entre 2012 e 2017, demorou-se muito para restringir o uso nos reservatórios que são fonte para irrigação de grandes empreendimentos agrícolas, como a barragem Armando Ribeiro Gonçalves e o Rio Piranhas-Açu, a jusante, e a barragem Santa Cruz do Apodi. Apenas em meados de 2015 que a Agência Nacional das Águas[8] – ANA – proibiu o uso de água para irrigação, que é o tipo de atividade que mais consome esse recurso em uma bacia hidrográfica (70% aproximadamente), seguida da indústria.

O Rio Grande do Norte tem grandes empreendimentos de fruticultura irrigada, inclusive com empresas multinacionais. O setor responde por, aproximadamente, 30% das exportações do Estado, com faturamento anual em torno de R$ 1 bilhão, participando de 4% do PIB do Estado. Esses empreendimentos se localizam em torno dos maiores mananciais do Estado, como o vale do Rio Piranhas-Açu, da barragem Armando Ribeiro Gonçalves para jusante; e a chapada do Apodi, da barragem Santa Cruz para jusante. Nesse período de seca, os empreendimentos migraram para regiões com alta vazão dos poços, principalmente com captação no aquífero Açu. Esse tipo de uso exerce uma grande pressão sobre os mananciais, reduzindo o nível freático dos poços e/ou cota dos mananciais superficiais, o que prejudica pequenos produtores que têm poucos recursos para captar água em níveis mais profundos, o que necessita equipamentos mais

8 A barragem Armando Ribeiro Gonçalves faz parte de uma bacia hidrográfica interestadual – Paraíba e Rio Grande do Norte – e, portanto, é de jurisdição federal o controle dos usos hídricos dessa bacia. A informação sobre a data de proibição do uso hídrico para irrigação na barragem data de 30 de junho de 2015 e está disponível em:
<<http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2015/06/ana-proibe-uso-de-agua-para-irrigacao-em-trecho-que-vai-da-pb-ao-rn.html>>.

potentes, portanto, com mais gastos com energia e material de suporte.

Além disso, abastecimento humano é prioridade em épocas de seca, o que também é prejudicado pelo rebaixamento do nível dos açudes e poços. A escolha pela fruticultura irrigada por aspersão, em um Estado com 90% de seu território semiárido se mostra ultrapassada e pouco eficiente no concernente à economia hídrica. Países como Israel e Austrália, que têm grande parte de seus territórios no clima semiárido e árido, utilizam largamente técnicas como gotejamento, investem em reuso hídrico e tecnologias agrícolas para aumentar a produtividade otimizando o consumo hídrico.

Esse prejuízo para a socioeconomia do RN pode ser comprovado no período entre 2012 e 2017, quando o governo do Estado, através da concessionária de abastecimento, em seu planejamento de ações para mitigar os efeitos da seca e reduzir os problemas de colapso hídrico (total ou parcial) dos municípios, previu gastos da ordem de: R$ 6.720.000 para perfuração de poços na chapada do Apodi e arenito açu aflorante em Afonso Bezerra; R$ 67.000.000 para construção da adutora interligando os poços de Afonso Bezerra a captação de Pendências e adutora Sertão Central Cabugi; R$ 2.500.000 foram gastos com reposicionamento da captação flutuante na Barragem Armando Ribeiro Gonçalves (à medida que a barragem baixava seu nível, este flutuante era reposicionado necessitando de maior extensão adutora); e R$ 477.906.519,52 orçados para obras de integração e ampliação das grandes adutoras do RN (CAERN, 2017).

Esses valores, por mais que sejam elevados, são investimentos, ou seja, têm retorno garantido. Uma adutora de R$ 50 milhões para abastecer três pequenos municípios, por exemplo, pode parecer não ter a relação entre custo e benefício positiva, porém, o retorno que a água trará para esses municípios, a longo prazo, será muito maior do que o valor investido. Investir em adutoras, barragens e obras de infraestrutura hídrica (reservatórios, estações de tratamento etc.), aumentando a segurança hídrica do Estado, principalmente na região do clima semiárido, é um meio para o crescimento econômico e o desenvolvimento social por meio de atividades agropecuárias ou industriais, tal como comércio e serviços, turismo, educação etc., uma vez que um dos limitantes da viabilização de destinos turísticos no interior do Estado é a escassez de água. Essas atividades geram empregos e arrecadação de impostos, os quais retornam (ou deveriam retornar) à sociedade em forma de benfeitorias nas áreas de saúde, educação, transportes e segurança, além da própria infraestrutura hídrica. Portanto, investir em infraestrutura hídrica é uma forma de os impostos pagos pela sociedade retornarem, melhorando a qualidade de vida e as condições sociais da população.

Nesse contexto, a ampliação e/ou integração de sistemas adutores no Estado é uma medida fundamental para a redução do risco de desabastecimento dos municípios do Estado, principalmente na região do clima semiárido, como visto na análise das regiões de abastecimento hídrico do Estado, enfatizando o Alto Oeste e o Seridó potiguar. Trata-se de interligar sistemas que poderiam operar conectados em rede, aumentando a disponibilidade hídrica e as alternativas para abastecimento, pois os mananciais de onde as adutoras têm captação estariam interligados,

transpondo e interligando as maiores bacias hidrográficas do RN: Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu. A rede de adutoras do Estado é um objeto técnico, portanto, construído pela sociedade para viabilizar o uso dos recursos hídricos e desenvolver socioeconomicamente o território estadual. Nesse sentido, quanto maior a densidade desse equipamento técnico, maior sua complexidade e funcionalidade, reduzindo a vulnerabilidade da população ao desabastecimento hídrico a partir do aumento da capacidade de abastecimento através dos sistemas adutores.

Sobre a integração e/ou ampliação dos sistemas adutores do RN, além das medidas executadas pela concessionária no último período de seca, foram propostas, neste livro, ações pontuais para a mitigação dos problemas de desabastecimento hídrico e, consequentemente, aumentando a disponibilidade hídrica, principalmente nas regiões Alto Oeste e Seridó do Estado. Entre 2012 e 2017, a concessionária investiu na ampliação da adutora Serra de Santana (captação na Barragem Armando Ribeiro Gonçalves) a partir de adutoras expressas para Caicó e Currais Novos, na região Seridó, e da adutora Alto Oeste e seus dois subsistemas, Santa Cruz do Apodi (captação na barragem homônima) e Pau dos Ferros (captação no açude homônimo) na região Alto Oeste.

No concernente às propostas deste livro para a interligação de sistemas adutores, destaca-se o trecho que interligaria a adutora Alto Oeste, subsistema Santa Cruz do Apodi, à adutora Médio Oeste, com captação na barragem Armando Ribeiro Gonçalves na região de abastecimento hídrico Alto Oeste (figura 26). Na região Seridó, as adutoras Boqueirão/Carnaúba dos Dantas, Acari/Currais Novos, Traíras/Jardim do Seridó e Piranhas/Caicó podem ser conectadas através de adutoras com pequena extensão, integrando os sistemas e viabilizando mais segurança hídrica na região, o que integraria o sistema do rio Piranhas ao Serra de Santana com captação na barragem Armando Ribeiro Gonçalves, a maior do Estado e, portanto, a mais resistente a períodos de estiagem prolongada. Essa integração aumentaria a segurança hídrica da região e de seu maior município, Caicó, com quase 60.000 habitantes, mas ainda seria necessária a expansão para municípios menores como São João do Sabugi, Ipueira, Equador, Santana do Seridó e São José do Seridó, por exemplo. Essas regiões, nos resultados do IRDH, foram classificadas como de ‘alto’ e ‘muito alto’ risco e, através do investimento em segurança hídrica, se diminuiria a suscetibilidade (indicador de vulnerabilidade) da população ao desabastecimento hídrico, reduzindo, assim, os níveis de risco do IRDH.

A interligação da adutora Médio Oeste com a Alto Oeste poderia viabilizar a chegada das águas da barragem Armando Ribeiro Gonçalves à região Alto Oeste do Estado, com ênfase no município de Pau dos Ferros, o maior da região, centro de serviços com grande fluxo diário de pessoas, além dos seus 25.551 habitantes urbanos. Quando houver a chegada das águas do rio São Francisco, pela barragem de Oiticica, localizada à montante da Armando Ribeiro Gonçalves, essas duas barragens podem formar um sistema de reservatórios hídricos com alta segurança, o que aumentará muito seu potencial de atendimento, possibilitando o atendimento de mais municípios e população, que é outra razão para a integração dos sistemas. A transposição do

São Francisco também beneficiará a região Alto Oeste, mas há previsão de quando entrará em operação na região, diferente da barragem de Oiticica, que está com 74% das obras concluídas, sinalizando avanço na efetivação das águas para o Estado, diferente do ramal no Alto Oeste, que ainda está em fase inicial de licitação.

Outra medida, com menores investimentos, que aumenta a capacidade de lidar com o desabastecimento da população e, portanto, diminui sua vulnerabilidade, é a infraestrutura institucional do município para redução do risco de desastres. Trata-se de estruturar a defesa civil municipal, com um Plano de Redução de Risco de Desastre (PRRD), com recursos materiais, humanos e financeiros, assim como articulação entre os municípios, podendo até ser realizada através de consórcios intermunicipais, como é o plano de resíduos sólidos, por exemplo. Essa medida incide na capacidade institucional dos municípios em lidar e se adaptar ao desabastecimento hídrico. Dessa forma, todo município teria um corpo de profissionais treinado para eventos de desastres, capacitando a população, realizando exercícios simulados, monitoramento de áreas de risco, diagnósticos municipais detalhados sobre a população e setores mais vulneráveis, fazendo com que diminuísse o risco de desabastecimento através da redução da vulnerabilidade da população. O poder público deve ser protagonista na temática do desabastecimento hídrico e não ser passivo, culpabilizando o clima ou as divindades pelo problema sazonal e conhecido que acomete a população.

Nesse contexto, ao se analisar o IRDH do Rio Grande do Norte, exposto às causas e consequências do desabastecimento hídrico no RN, as relações entre as variáveis e indicadores que compõem o índice, seus resultados pelo território do Estado, observando-se as particularidades regionais e estaduais, pode-se concluir que os territórios de risco de desabastecimento do Estado são produtos da relação entre fatores ambientais, de infraestrutura, planejamento estatal e socioeconômicos. Portanto, corrobora com a hipótese de pesquisa apresentada neste livro, a qual, a partir da relação funcional entre os indicadores, espacialização cartográfica, análise e checagem dos resultados do IRDH, pôde ser comprovada com a conclusão do trabalho.

POSFÁCIO

Os recursos hídricos são fundamentais à vida humana, principalmente quando se trata do modo de vida urbano, objeto de pesquisa deste trabalho. A hipótese da pesquisa, de que a relação entre fatores ambientais, socioeconômicos, de infraestrutura e de planejamento estatal promove territórios de risco de desabastecimento hídrico, direcionou a análise desse risco no RN a partir dos resultados do IRDH. Os indicadores e as variáveis que compõem o índice correspondem aos fatores da hipótese e, em sua operacionalização, foi possível concluir a materialização dessa relação no espaço, produzindo os territórios de risco do Estado, sobretudo nas regiões Seridó e Alto Oeste, que tiveram resultado de maior risco na maior parte de seus municípios. Portanto, conclui-se que o resultado da pesquisa confirma a hipótese ao demonstrar espacialmente como a relação funcional entre esses fatores produz territórios de risco de desabastecimento hídrico no Estado do Rio Grande do Norte.

Além disso, esses resultados podem contribuir diretamente para a gestão dos recursos hídricos do Estado diagnosticando problemas, tais como a identificação de municípios mais vulneráveis e quais indicadores precisam ser melhorados, sugerindo ações para redução da vulnerabilidade dos municípios a partir da melhoria da capacidade de lidar, suscetibilidade e adaptação da população do Estado, desse modo, em consonância com o quadro conceitual que estrutura o IRDH.

Sem mais ressalvas, esta pesquisa foi inovadora quanto a uma proposta de avaliação e análise do risco de desabastecimento hídrico urbano municipal na perspectiva do sistema de abastecimento hídrico em todas suas etapas, desde a captação e tratamento à distribuição e consumo. Portanto, este livro traz uma concepção geográfica do risco de desabastecimento hídrico tendo os 153 municípios do Rio Grande do Norte abastecidos pela concessionária estadual como unidades elementares de análise. Ela representou um grande desafio em virtude da quantidade de dados levantados, a partir das 19 variáveis propostas, porém, os resultados se mostraram condizentes com a realidade do Estado, se configurando como uma referência para os estudos de risco de desabastecimento hídrico em escala regional.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. Q. de; WELLE, T.; BIRKMANN, J. Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, [s.l.], v. 17, 2016. p. 251-272.

BABBIE, E. **Métodos De Pesquisas De Survey**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

BARACHO, M. **Programa Um Milhão de Cisternas leva água e melhora qualidade de vida da população do semiárido brasileiro**. Recife (PE). Portal DSS Nordeste; 24 de Jan de 2013. Disponível em: <http://dssbr.org/site/experiencias/programa-um-milhao-de-cisternas-leva-agua-e-melhora-qualidade-de-vida-da-populacao-do-semiaridobrasileiro/?preview=true&preview_id=12650&preview_nonce=e082ca02bf>. Acesso em 29 mar 2019.

BARROS, J. D. Sazonalidade do vento na cidade de Natal/RN pela distribuição de Weibull**. Revista Sociedade e Território**, v. 25, n. 2, Ed. Especial, 2013. p. 78-92.

BLAIKIE, Piers *et al.* **At Risk:** Natural Hazards, people's vulnerability, and disasters. 1 ed. Londres: Routledge, 1994.

BRASIL. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Secas no Brasil**: política e gestão proativas. Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Manual de Planejamento em Defesa Civil**. Brasília, DF, 1999.

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do RN. **Sistemas Adutores do Rio Grande do Norte**. Natal: Gerência de Grandes Adutoras, 2018. 1 carta, color., 42 cm x 30 cm. Escala 1:500.000.

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do RN. **Características dos Sistemas Adutores e Integrados**. Natal: CAERN, 2018. Planilha eletrônica.

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do RN. **Sistema de Informações Geográficas.** Disponibilizado em meio digital. 2018.

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do RN. **Relatórios de Qualidade da Água 2018.** Natal, RN, 2018. Disponível em: <http://portal.caern.com.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=172794&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=qualidadedaagua2018>. Acesso em 29 jan. 2019.

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do RN. **Relatórios de Qualidade da Água 2019.** Natal, RN, 2019. Disponível em: <http://portal.caern.com.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=191033&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=>. Acesso em jan. de 2020.

CASCUDO, L. da C. **História da Cidade do Natal**. Natal: Instituto Histórico e Geográfico do RN, 1999.

CASTRO, A. L. C. de; MOURA A. Z. B.; CALHEIROS L. B. **Glossário De Defesa Civil Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. Ministério Da Integração Nacional. Secretaria Nacional De Defesa Civil. Brasília, 2007.

CHAVES, M. dos S. **Dinâmica Costeira dos Campos petrolíferos Macau/Serra, litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte**. Tese (Doutorado) – Departamento de Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte: Rio Grande do Norte, 2005.

COSTA, W. D. O aquífero infra-barreiras na região costeira do Rio Grande do Norte. In: Suplemento dos Anais do XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2000.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **GeoSGB:** Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil. 2019. Disponível em: < http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html >. Acesso em jul. de 2019.

CUNHA, Euclides da. **Os Sertões**. 32 Ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1984.

DANTAS, M. E.; FERREIRA, R. V. Relevo. In PFALTZGRAFF, P. A. dos S.; TORRES, F. S. de M. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte**. 1 ed. Recife: CPRM, 2010

DINIZ, M. T. M; PEREIRA, V. H. C. Climatologia do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil: Sistemas Atmosféricos Atuantes e Mapeamento de Tipos de Clima. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 35, n. 3, 2015, p. 488-506.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

FARIA, O. L. de.; **Sertões do Seridó**. Brasília: Senado Federal. 1980. 231p.

FELIPE, J. L. A.; CARVALHO, E. A. de. **Atlas do Rio Grande do Norte**: espaço geo-histórico e cultural. 3 ed. João Pessoa: Grafset, 2011.

GUERRA, Phelipe; GUERRA, Theófilo. **Seccas Contra as Seccas**. 3 ed. Rio Grande do Norte: Fundação Guimarães Duque, 1909.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010** - Natal. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do censo demográfico 2010**. [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse.pdf>. Acesso em 15 set. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2º Ed. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção da População em 2021.** Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, RJ, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: 2004. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas. html?=&t=acesso-ao-produto. Acesso em: jun. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas econômicas ambientais da água: Brasil 2013-2015 (CEAA)**. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (Rio Grande do Norte). **SigaWEB.** 2018. Disponível em: <http://sistemas.idema.rn.gov.br:8080/i3geo/>. Acesso em jul. de 2019.

LISBOA, M. A. R. **Fotos da Construção do Açude Gargalheiras, Símbolo do Seridó Potiguar.** 2015. Disponível em: https://tokdehistoria.com.br/tag/miguel-arrojado-ribeiro-lisboa/. Acesso em Mai. de 2022.

LUCENA, R. L. **Análise climatológica do município de Caicó/RN**: subsídios à avaliação do conforto humano. Tese (Doutorado) – Departamento de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

MARANDOLA J. E.; HOGAN, D. J. As dimensões da Vulnerabilidade. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 1, 2004. p. 33-43.

MEDEIROS, V. C. de; NASCIMENTO, M. A. L. do; SOUSA, D. C. Geologia. In PFALTZGRAFF, P. A. dos S.; TORRES, F. S. de M. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte**. 1 ed. Recife: CPRM, 2010.

MEDEIROS, C. F. F. **Abastecimento de Água**. Apostila. Campina Grande: UFCG, 2009.

MELO, J. G. de. **Os efeitos do desenvolvimento urbano, industrial e agrícola no processo de recarga e na qualidade das águas subterrâneas do RN**. Secretaria de Recursos Hídricos SERHID/RN: Natal, 2006.

PELLING, M.: Transformation: A Renewed Window on Development Responsibility for Risk Management. **Journal of Extreme Events** Vol. 01, n. 01, https://doi.org/10.1142/S2345737614020035, 2014.

PFALTZGRAFF, P. A. dos S.; TORRES, F. S. de M. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte**. 1 ed. Recife: CPRM, 2010.

PORTINARI, C. **Criança Morta**. 1944. Painel, óleo sobre tela, 180 cm x 190 cm. Acervo do Projeto Portinari. Disponível em: <http://www.portinari.org.br>. Acesso em 12 fev. 2019.

PORTINARI, C. **Enterro na Rede**. 1944. Painel, óleo sobre tela, 180 cm x 220 cm. Acervo do Projeto Portinari. Disponível em: <http://www.portinari.org.br>. Acesso em 12 fev. 2019.

PORTINARI, C. **Retirantes.** 1944. Painel, óleo sobre tela, 190 cm x 180 cm. Acervo do Projeto Portinari. Disponível em: <http://www.portinari.org.br>. Acesso em 12 fev. 2019.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento; IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; FJP - Fundação João Pinheiro. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013**. 2013. Disponível em: http://www.atlasbrasil.org.br/2013/o_atlas/idhm. Acesso em 29 mar. 2019.

RIO GRANDE DO NORTE. Decreto nº 28.725, de 11 de março de 2019. Declara Situação de Emergência nas áreas dos Municípios do Estado do Rio Grande do Norte afetados por desastre natural climatológico por estiagem prolongada que provoca a redução sustentada das reservas hídricas existentes (COBRADE/1.4.1.2.0 – Seca), e dá outras providências. **Diário Oficial Estadual**, Natal, RN, 11 mar. 2019. Disponível em: <http://diariooficial.rn.gov.br/dei/dorn3/documentos/00000001/20190312/638176.htm> Acesso em 22 Out. 2018.

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do RN. **A Gestão De Recursos Hídricos No Rio Grande Do Norte Em Períodos De Grande Escassez**. Joana Darc Medeiros. Apresentação no dia mundial da água. 22 de mar. 2014. 2014. 22 slides.

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do RN**. Banco De Dados Geográficos:** Cadastro De Poços**.** Disponibilizado em meio digital (shapefile). 2019.

SEMARH - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do RN. **Situação Volumétrica de Reservatórios do RN**. 2019. Disponível em: <http://sistemas.searh.rn.gov.br/MonitoramentoVolumetrico/>. Acesso em 14 fev. 2019.

SILVA, A. W. **Engenharia nos Sertões Nordestinos**: o Gargalheiras, a Barragem Marechal Dutra e a Comunidade de Acari, 1909-1958. Dissertação (Mestrado) – Departamento de História, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, 2012.

SMITH, K. **Environmental Hazards:** assessing risk and reducing disaster. 3th ed. London: Routledge. 2001.

STEIN, P. **Potencialidades e aspectos da salinização do aquífero Açu na borda sul da Bacia Potiguar, RN - Trecho Apodi/Upanema.** Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2003.

STEIN, P. **Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas Da Bacia Sedimentar Potiguar/RN e Caracterização da Salinização do Aquífero Cárstico Jandaíra.** Tese (Doutorado) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2013.

VASCONCELOS, M. B. **Hidrogeologia do Aquífero Açu na Borda Sul da Bacia Potiguar; Trecho Upanema- Afonso Bezerra**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2006.

VEYRET, Y. **Os Riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. 1 ed. São Paulo: Contexto, 2007.

WELLE, T. BIRKMANN, J. **The World Risk Index** – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale, Institute of Spatial and Regional Planning University of Stuttgart, Alemanha: 2015.

WHITE, G. F.; KATES, R. W.; BURTON, I. Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management. Global Environmental Change Part B: **Environmental Hazards.** V. 3, n. 3-4, set./dez., 2001. p. 81-92. https://doi.org/10.1016/S1464-2867(01)00021-3.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION; ONU – Nações Unidas. **Water Global Analysis And Assessment Of Sanitation And Drinking-Water (GLAAS). 2014 - report.** 2014**.** Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/glaas_report_2014/en/. Acesso em: 09 Nov. 2020.

SOBRE OS AUTORES

YURI MARQUES MACEDO

Doutor e mestre em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGE) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), onde também é especialista em Geoprocessamento e Cartografia Digital. Atualmente é Professor de Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Tem experiência de trabalho com geoprocessamento, licenciamento e educação ambiental, Geologia Geotécnica e Hidrogeologia. Atua em pesquisas na área de Geografia física, áreas de risco e vulnerabilidade socioambiental, educação ambiental, recursos hídricos, análise ambiental e geoprocessamento.

ADRIANO LIMA TROLEIS

Possui Licenciatura Plena em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1999), Mestrado em Geografia e Doutorado em Geografia com Área de Concentração Análise Ambiental e Territorial também pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2009). No ano de 2016 realizou o Pós-Doutoramento na Universidade do Minho\Portugal. Atualmente é professor Associado I da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), lotado no Departamento de Geografia, atuando como docente dos cursos de Licenciatura, Licenciatura EaD e Bacharelado. É também Professor dos Programas de Pós-Graduação em Geografia (Acadêmico) e Ensino de Geografia (Profissional). Tem experiência e projetos na área de Geografia Física, atuando principalmente nos seguintes temas: aterro sanitário, poluição hídrica superficial e subterrânea, sistema de tratamento e abastecimento de água, saúde ambiental e problemas ambientais e sociais urbanos. Também desenvolve pesquisa na área de Ensino de Geografia com os temas: construção de recursos didáticos aplicados na educação básica e sua contribuição dentro do processo de aprendizagem.

ANDERSON GEOVÁ MAIA DE BRITO

É Bacharel e Mestre em Geografia com ênfase em Geodinâmica Ambiental, Risco e Ordenamento Territorial pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Atualmente é Licenciando em Geografia pela UFRN, Gerente de Geoprocessamento e Geoinformação da Secretaria Municipal de Tributação de Extremoz/RN (SEMUT) e Consultor Socioambiental. Faz parte do grupo de pesquisa em Dinâmicas Ambientais, Riscos e Ordenamento do Território (GEORISCO) e do Laboratório de Geografia Física (LABGEOFIS) do Departamento de Geografia (DGE) da UFRN, desenvolvendo pesquisas nas áreas de Meio Ambiente, Zoneamento Ambiental, Climatologia, Riscos, Ordenamento Territorial e Vulnerabilidade Socioambiental. Possui experiência em Geoprocessamento, Docência, Tabulação de Dados, Licenciamento Ambiental, Planejamento Territorial, Gestão Pública, Mapeamento Tributário e da Saúde.