

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SEMA/CE**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DA DEGRADAÇÃO  
AMBIENTAL-AIEDA**

**Compêndio com Resultados do Projeto**



**Apoio ao Crescimento Econômico com Redução das Desigualdades e  
Sustentabilidade Ambiental no Ceará- Programa para Resultados (Pfor)**

**Instituto Banese**

**Junho – 2017**



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SEMA/CE**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DA DEGRADAÇÃO  
AMBIENTAL-AIEDA**

**Compêndio com Resultados do Projeto**



**Apoio ao Crescimento Econômico com Redução das Desigualdades e  
Sustentabilidade Ambiental no Ceará- Programa para Resultados (Pfor)**

**Instituto Banese**

**Junho – 2017**

G721c Governo do Estado do Ceará

Compêndio com resultados do projeto : apoio ao crescimento econômico com redução das desigualdades e sustentabilidade ambiental no Ceará-Programa para resultados (PfoR) / Coordenador Wirlan Fábio Bernardo. – Ceará, 2017.

107 p.: il. Color. ;

ISBN: 978-85-69372-11-0

1. Crescimento Econômico. 2. Pluviometria. 3. Desperdício de água. 4. Degradação ambiental. 5. Esgoto. 6. Ceará. I. Governo do Estado do Ceará II. Avaliação do impacto econômico da degradação ambiental-AIEDA.

CDU 330.35:517.518.28.044.57(813.1)

**SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SEMA**

GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ

**Camilo Sobreira de Santana**

SECRETÁRIO DO MEIO AMBIENTE

**Artur José Vieira Bruno**

SECRETÁRIA EXECUTIVA

**Maria Dias Cavalcante**

COORDENADORA DA COORDENADORIA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - CODES

**Lúcia Maria Bezerra da Silva**

ORIENTADORA DA CÉLULA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E COMBATE À  
DESERTIFICAÇÃO – CEMUD

**Magda Marinho Braga**

EXECUÇÃO E ELABORAÇÃO:

EQUIPE TÉCNICA - SEMA

**Magda Marinho Braga** - Sema - Coordenadora do Projeto

**Mônica Carvalho Freitas** - Gestora Ambiental / Sema

**Nelci Gadelha Almeida** - Economista / Sema

**Tiago Bessa Aragão** - Fiscal Ambiental / Semace

EQUIPE TÉCNICA - CONSÓRCIO

Equipe Chave:

**Wirlan Fábio Bernardo** - Coordenador

**José Wilton** - Especialista em Gestão Ambiental

**Pedro Molinas** - Especialista em Recursos Hídricos

Equipe de Trabalho:

**Andreu Ulied**

**Berta Carreras**

**Carlos R. N. de Aquino**

**Dubravka Kruljac**

**Luciana Rodrigues**

**Maira Rodrigues**

**Juarez J. J. Paiva**

**Judith Muntal**

**Oriol Biosca**

**Roque Galvão**

Equipe de Elaboração:

**Tânia Ribeiro dos Santos** - Pedagoga

**Cleumildes Santos Silva** - Pedagoga



## SUMÁRIO

### APRESENTAÇÃO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>PARTE I - DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICO .....</b>	<b>11</b>
<b>1 PLUVIOMETRIA E ESTRESSE HÍDRICO .....</b>	<b>13</b>
1.1 Regime de chuvas e evapotranspiração potencial .....	13
1.2 Déficits hídricos .....	14
<b>2 DISPONIBILIDADE, QUALIDADE E DEMANDA HÍDRICA .....</b>	<b>17</b>
2.1 Águas subterrâneas .....	17
2.2 Águas superficiais.....	17
2.3 Qualidade das águas .....	18
• Bacia hidrográfica da RMF.....	18
• Bacia hidrográfica do rio Acaraú .....	18
• Bacia hidrográfica do Rio Salgado .....	19
2.4 Demanda hídrica .....	19
<b>3 FONTES DE POLUIÇÃO E DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL .....</b>	<b>21</b>
3.1 Resíduos Sólidos Urbanos - RSUs .....	21
• Bacia hidrográfica da RMF.....	21
• Bacia hidrográfica do rio Acaraú .....	22
• Bacia hidrográfica do rio Salgado .....	23
3.2 Contaminação do ar.....	24
• Bacia hidrográfica da RMF.....	24
• Bacia hidrográfica do rio Acaraú .....	24
• Bacia hidrográfica do rio Salgado .....	24
3.3 Degradação dos solos .....	25
3.4 Queimadas .....	26
<b>4 DESASTRES NATURAIS .....</b>	<b>27</b>
<b>5 DINÂMICA SOCIOECONÔMICA .....</b>	<b>29</b>

5.1	Caracterização da economia.....	29
5.1.1	Produto Interno Bruto (PIB) .....	29
5.1.2	Renda familiar e nível de pobreza .....	30
<b>5.2</b>	<b>Aspectos sociais .....</b>	<b>31</b>
5.2.1	Demografia .....	31
5.2.2	Índice de Desenvolvimento Humano - IDH .....	33
5.2.3	Saúde .....	33
5.2.4	Educação .....	34
<b>PARTE II - IMPACTO ECONÔMICO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL .....</b>		<b>37</b>
<b>6</b>	<b>RELAÇÃO ENTRE MEIO AMBIENTE E ECONOMIA .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO .....</b>	<b>43</b>
7.1	Análise complementar do sobreconsumo humano e perdas de água no contexto da seca no Nordeste.....	44
7.2	Principais impactos identificados na fase de diagnóstico .....	45
<b>8</b>	<b>CUSTO DA DEGRADAÇÃO DO AR.....</b>	<b>49</b>
8.1	Efeitos da poluição do ar sobre a saúde.....	49
8.2	Efeitos da poluição do ar sobre o clima .....	51
<b>9</b>	<b>CUSTO DA DEGRADAÇÃO DAS ÁGUAS E DA DEFICIÊNCIA DA COLETA DO ESGOTO SANITÁRIO ...</b>	<b>55</b>
9.1	Déficits de cobertura das redes de abastecimento de água potável .....	55
9.2	Falta de atendimento na coleta do esgoto sanitário.....	58
9.3	Falhas nas redes de esgoto .....	60
9.4	Disposição inadequada de resíduos sólidos.....	62
<b>10</b>	<b>CUSTO DA DEGRADAÇÃO DAS TERRAS .....</b>	<b>67</b>
10.1	Impacto sobre a degradação das terras devido a agricultura .....	67
10.2	Impacto do desmatamento da Caatinga .....	72
<b>11</b>	<b>CUSTO ASSOCIADO À DESASTRES NATURAIS .....</b>	<b>77</b>
11.1	Motivação e justificativa da relevância .....	77
11.2	Parâmetros e hipóteses a avaliação .....	78
<b>12</b>	<b>PERDAS DE ÁGUA POR DEFICIÊNCIAS NAS REDES DE ABASTECIMENTO, ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS E SOBRECONSUMO (CONSUMO EM EXCESSO).....</b>	<b>80</b>
12.1	Abrangência das análises .....	80
12.2	Desperdício de água por sobreconsumo humano .....	83
12.3	Perdas nas redes de abastecimento de água.....	84
12.4	Assoreamento de barragens e açudes .....	86
12.5	Quantidade e valor da água perdida por ineficiências.....	89
<b>13</b>	<b>RESULTADOS DO ESTUDO .....</b>	<b>91</b>
13.1	Valoração do custo social e econômico da degradação ambiental.....	91
13.2	Conclusões .....	98
13.3	Recomendações .....	100
<b>REFERÊNCIAS .....</b>		<b>103</b>

## LISTA DAS ILUSTRAÇÕES

- **Quadro**

- Desafios para implantação de políticas para as bacias hidrográficas estudadas

- **Figuras**

- Bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza
- Bacia hidrográfica do rio Acaraú

- 3 - Bacia hidrográfica do rio Salgado
  - 4 - Pluviometria média da bacia hidrográfica da RMF
  - 5 - Pluviometria média da bacia hidrográfica do rio Acaraú
  - 6 - Pluviometria média da bacia hidrográfica do Rio Salgado
  - 7 - Déficit hídrico médio mensal nos municípios de Fortaleza, Guaramiranga e Choró (Bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza)
  - 8 - Déficit hídrico médio mensal nos municípios de Acaraú, Meruoca, Sobral e Tamboril (Bacia hidrográfica do rio Acaraú)
  - 9 - Déficit Hídrico médio mensal nos municípios de Juazeiro do Norte, Icó e Penaforte (Bacia hidrográfica do rio Salgado)
  - 10 - Demanda de água anual por tipo de uso na bacia hidrográfica da RMF
  - 11 - Demanda de Água Anual por Tipo de Uso na bacia hidrográfica do Rio Acaraú
  - 12 - Demanda de Água Anual por Tipo de Uso na bacia hidrográfica do Rio Salgado
  - 13 - Disposição final dos resíduos sólidos da bacia hidrográfica da RMF
  - 14 - Índice de atendimento de esgoto dos municípios da bacia hidrográfica da RMF
  - 15 - Destinação final dos resíduos sólidos dos municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú
  - 16 - Mapa de cobertura da rede de coleta de esgoto dos municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú
  - 17 - Tipo de disposição de resíduos sólidos da bacia hidrográfica do rio Salgado
  - 18 - Cobertura da rede de coleta de esgoto dos municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado
  - 19 - Queima do lixo em pequenos focos
  - 20 - Queima descontrolada dos lixões públicos
  - 21 - Focos de calor para os anos de 2000, 2005 e 2009 segundo unidades fitogeográficas
  - 22 - Desastres mais recorrentes no estado do Ceará
  - 23 - Distribuição espacial do risco de desastres naturais no estado do Ceará
  - 24 - Situação de emergência dos municípios da bacia hidrográfica da RMF (2016)
  - 25 - Situação de emergência dos municípios Da bacia hidrográfica do rio Acaraú (2016)
  - 26 - Situação de emergência dos municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado (2016)
  - 27 - Evolução das emissões brutas e líquidas de GEE no Brasil 1990/2014 (MtCO<sub>2</sub>e), (incluídas também as emissões da mudança do uso do solo)
  - 28 - Emissões de GEE no Brasil exceto mudança de uso do solo-florestas 1970/2014 (MtCO<sub>2</sub>e)
  - 29 - Focos de calor para os anos de 2000, 2005 e 2009 segundo unidades Fitogeográficas
  - 30 - Mudanças de produtividade agrícola por erosão do solo
  - 31 - Áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação
  - 32 - Desmatamento nas áreas susceptíveis de desertificação no Nordeste, até 2008
  - 33 - Distribuição espacial de vegetação nativa suprimida por município entre 2002 e 2008
  - 34 - Principais focos do desmatamento da Caatinga no Nordeste entre 2013 e 2014
  - 35 - Uso e ocupação do solo por estados do Nordeste
  - 36 - Desastres naturais mais frequentes acontecidos no Ceará 1991-2012
  - 37 - Distribuição espacial do risco de desastres naturais no estado do Ceará
  - 38 - Cenário de perdas de água das operadoras de água
  - 39 - Volume de água perdido anualmente por ineficiências (hm<sup>3</sup>/ano)
  - 40 - Custo anual da degradação ambiental (R\$ milhões / ano)
  - 41 - Impacto da degradação ambiental nas bacias hidrográficas no contexto de outros estudos
  - 42 - Impacto da degradação ambiental nas bacias hidrográficas no contexto de outros estudos
- **Tabelas**
- 1 - Carga anual estimada de N, P e metais pesados por deposição atmosférica (t/ano)
  - 2 - Avaliação da degradação ambiental: critérios de qualidade ambiental
  - 3 - Avaliação da degradação ambiental: critérios de disponibilidade de recursos naturais
  - 4 - Impactos econômicos do material particulado (MP)
  - 5 - Valor Adicionado Bruto (VAB) e toneladas de CO<sub>2</sub>e derivadas das atividades econômicas
  - 6 - Custo dos Impactos econômicos dos gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>)



- 7 - Número de pessoas sem ligação às redes de abastecimento de água regularizadas
- 8 - Tarifas de água e esgoto por faixas de demanda estabelecidas pela CAGECE (Válida a partir de 23 de abril de 2016 para Fortaleza e Estado do Ceará, à exceção de Itapiroca)
- 9 - Tamanho médio das famílias nos municípios das bacias hidrográficas estudadas
- 10 - Custo da não-ligação dos domicílios às redes de água potável
- 11 - Custo adicional por compra de água em galões
- 12 - População sem serviço de esgoto sanitário e sem fossa séptica
- 13 - Impactos econômicos derivados da população sem ligação à rede de esgoto
- 14 - Impactos econômicos das perdas das redes de esgoto
- 15 - Valores totalizados de perdas decorrentes da degradação ambiental associada à água e esgoto
- 16 - Valores dos investimentos necessários para universalização dos serviços de água e esgoto anualmente
- 17 - Taxas de atendimento em relação à coleta dos resíduos sólidos
- 18 - Impactos econômicos do lixo não coletado
- 19 - Impacto das perdas de produtividade agrícola por erosão
- 20 - Produção e arrecadação total do setor agrícola (2013)
- 21 - Impactos econômicos dos serviços de abastecimento, de regulação e culturais
- 22 - Desmatamento da Caatinga até 2002 e média anual entre 2002 e 2008/2014
- 23 - Impacto econômico anual dos desabrigados e mortos por desastre natural
- 24 - Balanço hídrico climatológico das bacias da Região Metropolitana de Fortaleza, Acaraú e Salgado
- 25 - Oferta e demanda de água nas bacias estudadas (hm<sup>3</sup>/ano)
- 26 - Perdas de água por sobreconsumo das pessoas
- 27 - Índice de perdas de água nas redes de abastecimento
- 28 - Perdas de água por falhas na rede de abastecimento
- 29 - Reservatórios e capacidades associadas por bacia
- 30 - Perdas de água por assoreamento de reservatórios
- 31 - Estimativa de perdas de água por assoreamento de reservatórios (Análise de sensibilidade da magnitude dos resultados)
- 32 - Volume de água perdido anualmente por ineficiências (hm<sup>3</sup>/ano) e valor associado à esta perda (R\$ milhões)
- 33 - Síntese de custos dos impactos associados à degradação ambiental por bacia hidrográfica
- 34 - População diretamente afetada pelos diferentes impactos ambientais
- 35 - Custos da degradação ambiental de acordo com estudos do Banco Mundial, desde 1999

## NOTAS EXPLICATIVAS

### • Siglas

- ANA - Agência Nacional de Águas  
CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará  
CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento  
FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos),  
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará  
MMA - Ministério do Meio Ambiente  
SFB/IBAMA - Serviço Florestal Brasileiro/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos  
COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará

#### • Abreviaturas

- AAE - Avaliação Ambiental Estratégica  
ASD - Áreas Susceptíveis a Desertificação  
ETE - Estações de tratamento de efluentes  
ETE - Estação de Tratamento de Esgoto  
GEE - Gás de Efeito Estufa  
IPCC - *International Panel on Climate Change*  
MP - Material particulado  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
PAE-CE - Programa de Ação Estadual de Combate a Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca  
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento  
PIB - Produto Interno Bruto  
PLANERH- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará  
PRCPTOT- Precipitação Total Anual dos Dias Úmidos  
PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores  
RMF - Região Metropolitana de Fortaleza  
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo  
RSU - Resíduos Sólidos Urbanos  
SC-CO2 - Estado fluido de dióxido de carbono onde é mantido acima do seu ponto crítico (i.e., pressão e temperatura críticas).  
TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity  
VAB - Valor Acrescentado Bruto  
VEV - Valor Estatístico da Vida

#### • Símbolos

- °C - graus Centígrados  
CH<sub>4</sub> - Fórmula do gás metano  
CO<sub>2</sub> - Gás carbônico (dióxido de carbono)  
CO<sub>2</sub>e - Símbolo que também pode ser escrito com as formas a seguir: CO<sub>2</sub>eq. ou CO<sub>2</sub>-eq. Significa um padrão internacional de medida da quantidade de equivalente de gases de efeito estufa como o dióxido de carbono e o metano  
€ - Euro (moeda dos países da União Europeia)  
GtCO<sub>2</sub>e - medida da quantidade de equivalente de dióxido de carbono em giga tonelada (1 Gt = 10<sup>12</sup> kg = 1 Pg)  
ha - Hectare  
hab - Habitante  
m<sup>3</sup> - metros cúbicos  
MtCO<sub>2</sub>e - medida da quantidade de equivalente de dióxido de carbono em mega tonelada (1 Mt = 10<sup>6</sup> kg = 1 Gg)



## APRESENTAÇÃO

Nos últimos trinta anos, uma importante constatação no seio da sociedade brasileira é que cada vez mais ela tem ampliado sua conscientização referente às questões ambientais. Esta preocupação é também compartilhada pelo setor público, já que na definição de planos e projetos de investimentos são incorporadas ações e medidas voltadas para mitigar os possíveis impactos decorrentes da realização dos mesmos.

Por outro lado, nas décadas recentes o Brasil tem incrementado fenômenos da urbanização, da expansão da fronteira agrícola com crescimento da produtividade e conseqüente aumento da produção de *commodities*, bem como da industrialização. Estes fenômenos, do modo como tradicionalmente são desenvolvidos, tem pressionado o meio ambiente pelo seu uso contínuo e progressivo e pela poluição provocando uma redução da qualidade ambiental, fato este constatado por toda a sociedade.

O modelo de desenvolvimento baseado na sustentabilidade se apresenta como uma proposta avançada de conciliação entre desenvolvimento socioeconômico e preservação e conservação ambiental. O princípio da sustentabilidade se define como sendo um novo paradigma social voltado para o estabelecimento das condições essenciais de durabilidade do desenvolvimento socioeconômico ao longo do tempo com responsabilidade ambiental e eficiência econômica, além de outras dimensões humanas.

De uma maneira geral, a região nordestina brasileira ao dispor do bioma Caatinga, única localização deste bioma no mundo, tem buscado realizar, dentro de suas limitações, algumas intervenções, sobretudo, na área de estudos e pesquisas, no sentido de viabilizar seu desenvolvimento social e econômico com relativa preservação e conservação deste bioma que é definido como bastante singular no que diz respeito à produção econômica e à qualidade da vida humana.

Este trabalho tem um importante objetivo estratégico, que é o de dimensionar o custo anual da degradação ambiental decorrente dos impactos provocados pelas ações antrópicas e desastres naturais em três bacias hidrográficas do estado do Ceará, que no seu conjunto abrangem oitenta e um municípios e cerca de 28,2% da área e 67,0% da população total do estado. Constitui, também, objetivo deste trabalho, o de propor recomendações técnicas e políticas que no caso de serem incorporadas pelo poder público e sociedade possam viabilizar um desenvolvimento sustentável nas áreas foco do trabalho.

Com a ampla divulgação do presente estudo, espera-se que o mesmo contribua efetivamente para uma maior sensibilização da sociedade nos aspectos voltados para a importância que representa a preservação e conservação dos recursos naturais do bioma Caatinga e, conseqüentemente, o avanço da consciência ambiental da sociedade, especialmente, a cearense.

*A equipe de trabalho*



## INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como finalidade apresentar a avaliação do impacto econômico da degradação ambiental promovida pelas atividades antrópicas e pelos efeitos naturais em 3 bacias hidrográficas do estado do Ceará: da Região Metropolitana de Fortaleza, do rio Acaraú e do rio Salgado. Em outras palavras visa indicar os custos sociais e econômicos decorrentes da degradação promovida pelas atividades econômicas e por efeitos naturais nas mencionadas bacias hidrográficas.

A redução da degradação e a proteção dos recursos naturais devem ser encaradas no contexto geral das políticas econômicas e setoriais destinadas a promover o processo de desenvolvimento socioeconômico e, no quadro mais específico, da gestão territorial. Muito pode ser obtido com a prevenção da degradação e avaliação dos impactos ambientais decorrentes das políticas e dos planos de desenvolvimento. A redução da degradação e a proteção do ambiente exigem, igualmente, a aplicação rigorosa da legislação ambiental, o estabelecimento de parcerias público-privadas e trabalhos de sensibilização e de educação com participação da sociedade local.

Este estudo parte dos impactos identificados na fase de diagnóstico em cada uma das três bacias hidrográficas e das suas magnitudes relativas e incorpora os elementos discutidos durante uma série de oficinas com agentes envolvidos na gestão ambiental e hídrica do estado do Ceará.

As três áreas de abrangência do trabalho somam, aproximadamente, 42.000 km<sup>2</sup> representando 28,2% da área total do estado do Ceará. Em termos populacionais reúnem 67,0% de toda população também do estado, distribuindo-se, aproximadamente, da seguinte forma por bacia hidrográfica:

- a) da Região Metropolitana de Fortaleza, com 4,2 milhões de habitantes (47,5% da população total do estado), sendo 92% com domicílio urbano;
- b) do rio Acaraú, com 793 mil habitantes (8,9% da população do estado), sendo 63% com domicílio urbano;
- c) do rio Salgado, com 944 mil habitantes (10,6% do total do estado), sendo 70% com domicílio urbano.

As bacias em análise abrigam um diversificado mosaico de sistemas ambientais que sofreram variadas transformações provocadas pelo processo histórico de uso e ocupação da terra. Os sistemas ambientais que contemplam as três bacias hidrográficas tendem a apresentar um arranjo espacial decorrente da similaridade de relações entre os componentes naturais – geológico, geomorfológico, hidro climático, pedológico e bioecológico –, materializando-se nos diferentes padrões de paisagens.

As três bacias hidrográficas selecionadas para este estudo diferem sensivelmente nas seguintes características gerais:

- **Bacia hidrográfica da RMF**

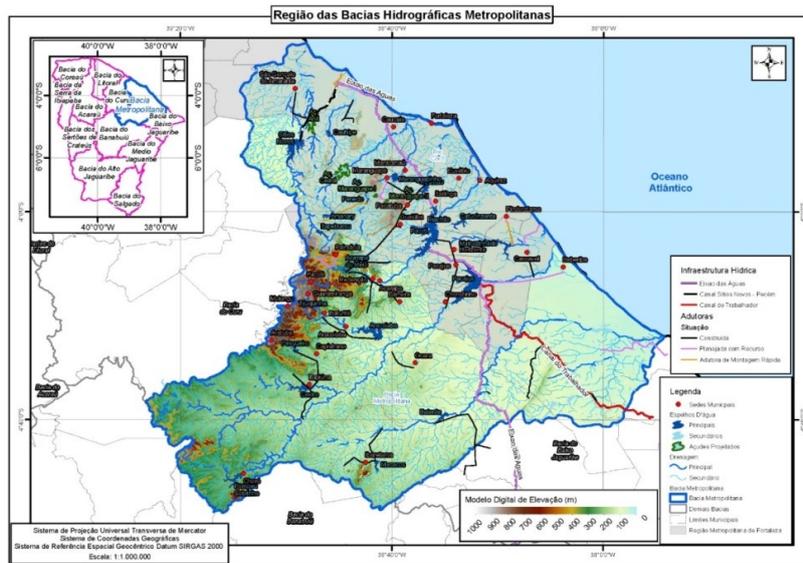
A bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) é constituída de um conjunto de bacias situadas na porção Nordeste do Estado e limita-se ao Sul pela bacia do rio Banabuiú, ao Leste pela bacia do rio Jaguaribe, ao Oeste pela bacia do rio Curu, e ao Norte, pelo Oceano Atlântico. Estende-se em uma área de 15.085 km<sup>2</sup>, englobando 31 municípios, dentre estes, aqueles que compõem a Região Metropolitana de Fortaleza; Está formada por 14 bacias de pequeno e médio portes independentes, com exutórios no litoral e em municípios vizinhos à capital do estado. Na bacia hidrográfica da RMF, destacam-se as sub-bacias dos rios Cocó, Pacoti e Choró por terem suas nascentes em regiões da Serra de Baturité, onde ocorrem os maiores índices pluviométricos de toda a região.

Em sua maioria, as sub-bacias que compõem a Região Metropolitana de Fortaleza são litorâneas, de pequeno porte e de pouca representatividade hidrológica, à exceção das sub-bacias São Gonçalo, Pirangi, Choró e Pacoti.

- **Bacia hidrográfica do rio Acaraú**

A bacia hidrográfica do rio Acaraú detém uma área de 14.423 km<sup>2</sup> e se constitui numa das bacias hidrográficas típicas do semiárido setentrional por estar inserida de forma global no polígono das secas (pluviometria anual inferior a 800 mm/ano). Possui uma vertente ocidental mais chuvosa associada à Serra Grande, acidente geográfico que limita o estado do Ceará com o estado do Piauí.

**Figura 1**  
**Bacia Hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza**



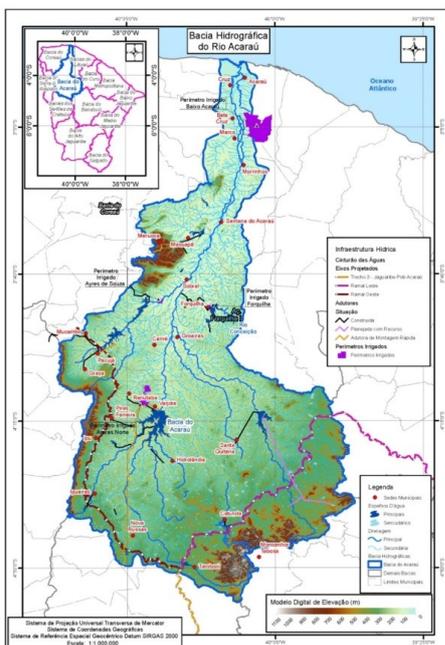
Fonte: Arquivos da Consultoria

O contexto macrorregional desta bacia está em grande parte sujeito às condições de clima semiárido, com grande irregularidade pluviométrica, tanto no que tange aos excessos quanto à falta quase absoluta de precipitações. As referidas características climáticas têm para o território efeitos marcantes sobre os componentes do potencial ecológico e a exploração dos recursos naturais.

- **Bacia hidrográfica do rio Salgado**  
A bacia hidrográfica do rio Salgado está localizada na região Sul do estado do Ceará e

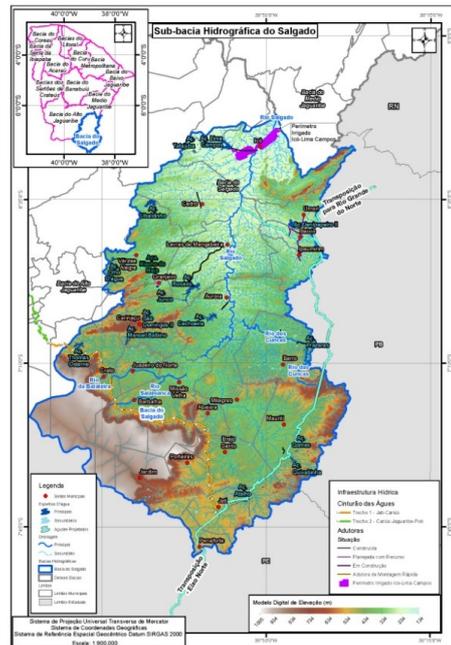
faz parte da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. Limitada ao Oeste com a sub-bacia do Alto Jaguaribe, ao Sul com o estado de Pernambuco, ao Leste com o estado da Paraíba e ao Nordeste com a sub-bacia do Médio Jaguaribe. Possui uma área total de 12.865 km<sup>2</sup>, apresenta alta heterogeneidade hidrológica com cabeceiras inseridas na Chapada do Araripe onde ocorrem vários cursos d'água perenes (600 – 700 m). Sua rede hidrográfica está espalhada por 23 municípios.

**Figura 2**  
**Bacia hidrográfica do rio Acaraú**



Fonte: Arquivos da Consultoria

**Figura 3**  
**Bacia hidrográfica do rio Salgado**



Fonte: Arquivos da Consultoria

---

**PARTE I**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICO**

---



## 1 PLUVIOMETRIA E ESTRESSE HÍDRICO

O regime de chuvas das bacias hidrográficas analisadas (Região Metropolitana de Fortaleza, Acaraú e Salgado) são caracterizadas pela ocorrência de uma marcada estação seca, pelas irregularidades interanuais e pela alta variabilidade espacial das chuvas ao longo das bacias.

O regime de chuvas é concentrado em poucos meses, o que torna a estação chuvosa bem definida com máxima precipitação durante os meses de fevereiro e abril.

### 1.1 Regime de chuvas e evapotranspiração potencial

A bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza se caracteriza por uma alta variabilidade espacial ao longo da bacia já que os municípios mais litorâneos como Fortaleza e Aquiraz e os municípios que fazem parte da serra de Guaramiranga possuem uma pluviosidade média elevada, (acima dos 1.300 mm), enquanto que as áreas localizadas mais ao Sul e ao Leste a pluviosidade média decresce chegando a valores próximos dos 750 mm anuais.

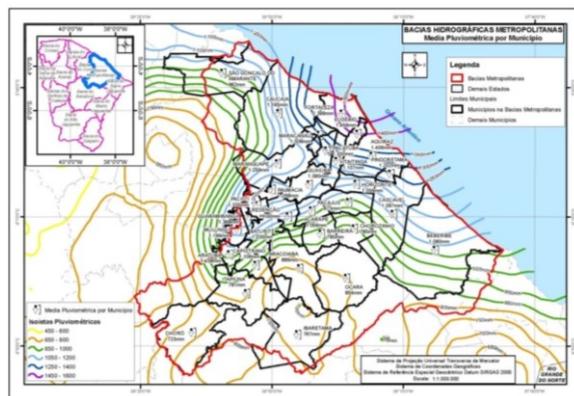
Também, na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza ocorre uma alta variabilidade interanual, apresentando anos com a precipitação média anual abaixo de 370 mm (1958) e anos com precipitação quase de 2.000 mm (1985).

No que se refere à evapotranspiração, a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza apresenta alta variabilidade espacial, com valores mais elevados na porção Sul da bacia, onde ocorre evapotranspiração próxima dos 2.000 mm anuais. Na porção Oeste da bacia, registra-se valores abaixo dos 1.000 mm anuais, como é o caso de Guaramiranga e Mulungu. Nota-se uma evaporação inferior à média da bacia, também, na porção litorânea próxima à cidade de Fortaleza.

Na bacia hidrográfica do rio Acaraú também ocorre uma alta variabilidade espacial ao longo da bacia onde, no litoral, na serra da Meruoca e na serra da Ibiapaba, há uma pluviosidade média elevada, acima dos 1.000 mm, enquanto que nas áreas localizadas mais ao Sul e ao Leste a pluviosidade média decresce chegando a valores próximos dos 600 mm anuais.

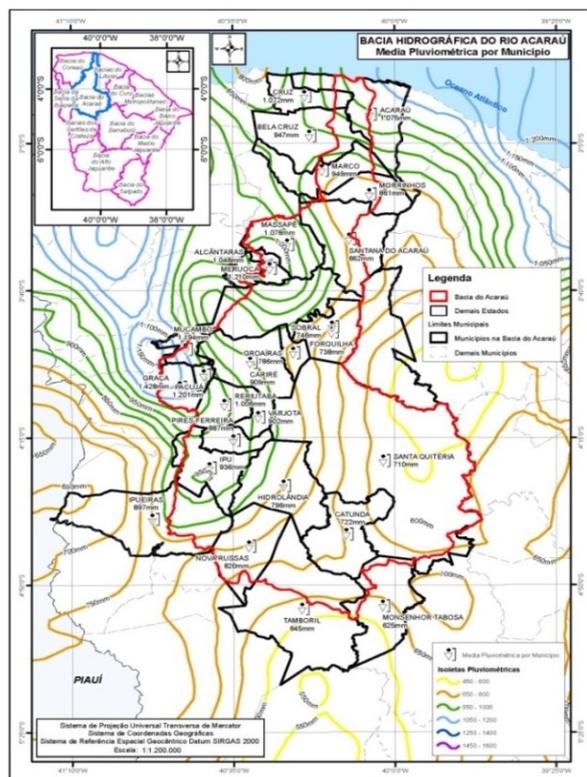
A bacia hidrográfica do rio Acaraú apresenta certa variabilidade espacial de evapotranspiração, com valores mais elevados na porção Sul da bacia, com evapotranspiração superior aos 2.000 mm anuais. Enquanto que na porção Norte, nos municípios próximos ao litoral, há uma diminuição deste indicador com valores próximos aos 1.600 mm anuais, como é o caso de Acaraú, Bela Cruz e Cruz

**Figura 4**  
**Pluviometria média da bacia hidrográfica da RMF**



Fonte: Arquivos da Consultoria

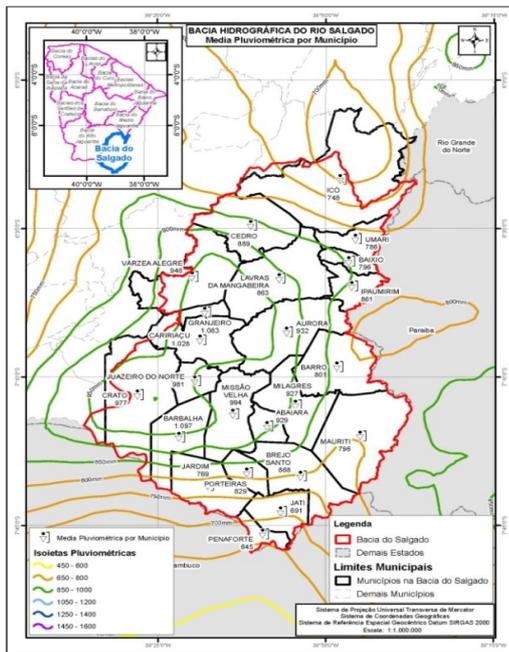
**Figura 5**  
**Pluviometria média**  
**da bacia hidrográfica do rio Acaraú**



Fonte: Arquivos da Consultoria

Na bacia hidrográfica do rio Salgado existe um período com precipitações importantes definidas como a pré-estação chuvosa que ocorre entre os meses de novembro a janeiro. Estas chuvas são provocadas pela instabilidade atmosférica gerada pela presença de frentes frias localizadas no setor Centro-Sul do Nordeste, favorecendo a formação da atividade convectiva.

**Figura 6**  
**Pluviometria média**  
**da bacia hidrográfica do Rio Salgado**



Fonte: Arquivos da Consultoria

Nota-se, também, nesta bacia hidrográfica, certa variabilidade espacial onde, na porção Centro-Oeste, região conhecida como CRAJUBAR registra-se pluviometria média próxima aos 1.000 mm, enquanto que nas áreas localizadas mais ao Sul, nos municípios de Penaforte e Jati, a pluviometria média decresce chegando a valores inferiores dos 700 mm anuais.

A bacia hidrográfica do rio Salgado apresenta valores de evapotranspiração potencial variando de 1.850 mm a 2.020 mm anuais. Uma exceção é vista no município Cariri, que está localizado na plataforma São Pedro do Crato, São Pedro do Cariri, São Pedro (IBGE, 2015), onde a evapotranspiração fica próxima dos 1.450 mm anuais.

## 1.2 Déficits hídricos

O Balanço Hídrico Climatológico definido por Thornthwaite é obtido pela diferença dos dados médios de precipitação e evapotranspiração po-

tencial (ETP) de uma região. Esse fator é um indicador climatológico da disponibilidade hídrica, sendo possível determinar os períodos com deficiências e excedentes hídricos ao longo de um ano. Essas informações são de cunho climático e servem de ferramenta de auxílio, principalmente, no planejamento agrícola.

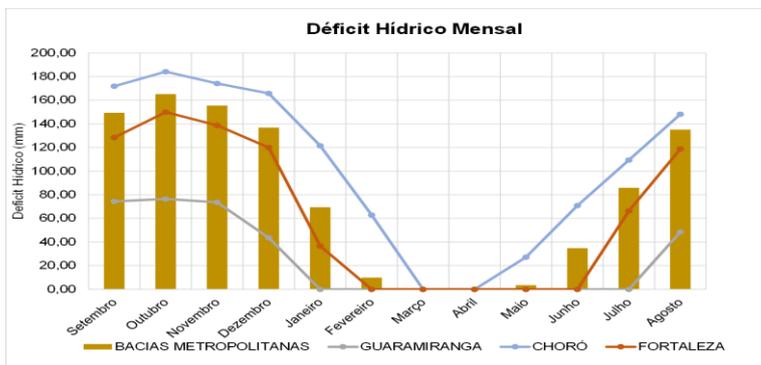
De modo geral, nos meses de março e abril não há ocorrência de *déficit* hídrico em nenhum município das bacias RMF e do rio Acaraú. Na bacia do rio Salgado esse período tem os menores déficits hídricos.

A Figura 7 a seguir apresenta o *déficit* hídrico mensal nos municípios de Fortaleza (região litorânea), Choró (região Sul) e Guaramiranga (região montanhosa) e ainda o *déficit* hídrico médio na bacia da RMF.

A Figura 8 a seguir indica o *déficit* hídrico mensal nos municípios de Acaraú (região litorânea), Sobral (região central), Tamboril (região sul), Meruoca (região montanhosa) e ainda o *déficit* hídrico médio na bacia (médio) e ainda o *déficit* hídrico médio na bacia do rio Acaraú.

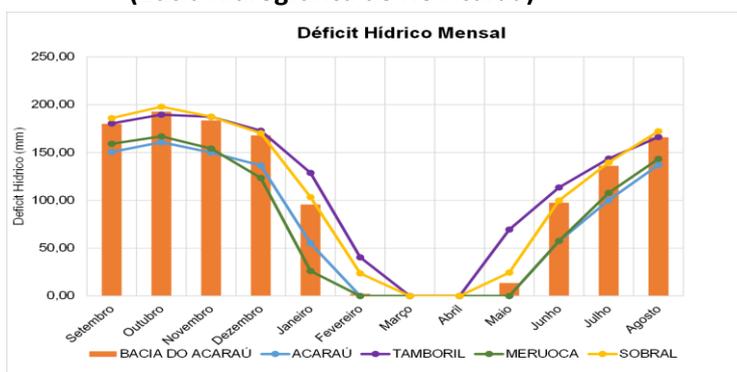
A Figura 9 a seguir mostra o *déficit* hídrico mensal nos municípios de Juazeiro do Norte (Principal Polo Econômico/Porção Centro-Oeste), Penaforte (porção mais ao Sul da bacia), Icó (porção mais ao Norte) e ainda o *déficit* hídrico médio na bacia do rio Salgado.

**Figura 7**  
**Déficit hídrico médio mensal nos municípios de Fortaleza, Guaramiranga e Choró**  
**(Bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza)**



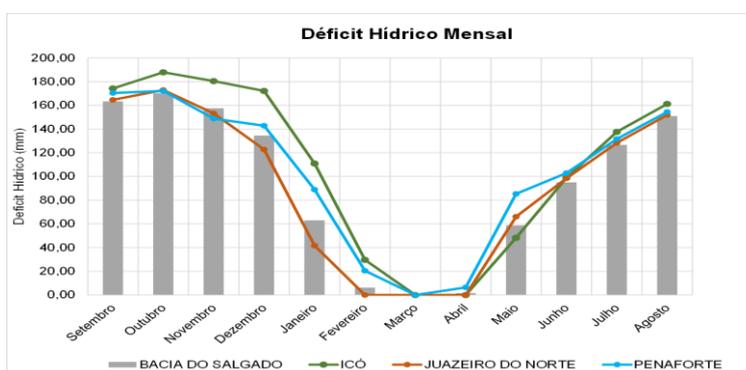
Fonte: ACQUATOOL CONSULTORIA, 2016

**Figura 8**  
**Déficit hídrico médio mensal nos municípios de Acaraú, Meruoca, Sobral e Tamboril**  
**(Bacia hidrográfica do rio Acaraú)**



Fonte: ACQUATOOL CONSULTORIA, 2016

**Figura 9**  
**Déficit Hídrico médio mensal nos municípios de Juazeiro do Norte, Icó e Penaforte**  
**(Bacia hidrográfica do rio Salgado)**



Fonte: ACQUATOOL CONSULTORIA, 2016



## 2 DISPONIBILIDADE, QUALIDADE E DEMANDA HÍDRICA

### 2.1 Águas subterrâneas

Na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza acham-se presentes dois Domínios Hidrogeológicos: o Poroso e o Fissural.

No caso do Domínio Poroso estão inclusos os aluviões, as dunas/paleodunas e a formação Barreiras. Já o Domínio Fissural abrange o Embasamento Cristalino.

Embora, o Embasamento Cristalino representa 63,0% da área total das bacias hidrográficas da RMF, essa região possui baixa vocação aquífera, entretanto, o Domínio Poroso que representa apenas 37,0% do território da região é responsável pela maior quantidade de água subterrânea disponível.

Foram identificados 6.036 poços instalados na região da bacia hidrográfica da RMF, onde 6 são classificados como fontes naturais, 59 como poços amazonas e, a imensa maioria, 6.033, como poços tubulares profundos.

A partir dos dados fornecidos pela CPRM estimou-se uma vazão de exploração média de 113,60 hm<sup>3</sup>/ano, aproximadamente 30% do potencial da região, esses valores de exploração foram estimados a partir dos 3.624 poços inscritos no sistema da CPRM que possuem dados de vazão.

As águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Acaraú estão localizadas em três dos seus principais aquíferos: o Aluvionar, o Sedimentar e Fissural. Os aquíferos aluvionares e sedimentares estão localizados nos domínios porosos e o Fissural no Cristalino.

- Aquíferos aluvionares têm ocorrência nas várzeas dos grandes cursos d'água da região hidrográfica do rio Acaraú e são caracterizados por bons aspectos quali-quantitativos. Suas principais limitações são que estão restritos aos leitos fluviais;
- Aquíferos sedimentares ocorrem nos tabuleiros pré-litorâneos da formação Barreiras e serra Grande e normalmente possuem boa qualidade das águas;
- Aquíferos fissurais cobrem a maior parte do território e a ocorrência de água está condicionada a porosidade secundária da formação (fraturas e fendas).

Foram identificados 2.714 poços instalados na

bacia hidrográfica do rio Acaraú, onde 7 são classificados como fontes naturais, 149 como poços amazonas e, a imensa maioria, 2.558, como poços tubulares profundos. Do total de poços identificados pela CPRM, só 932 deles possuem dados de vazão e consolidando esses dados, se estima uma vazão de exploração média de 21.858.000 m<sup>3</sup>/ano ou 0,70 m<sup>3</sup>/s.

Na bacia hidrográfica do rio Salgado está inserida a maior reserva subterrânea do Estado do Ceará que é o Aquífero da Bacia Sedimentar do Araripe. A Bacia Sedimentar do Araripe possui três sistemas de aquíferos localizados nas suas diferentes formações hidro geológicas:

- O Sistema Superior: localizado nas formações Exu e Abajara, possui aproximadamente 320 metros de espessura. As reservas permanentes são da ordem de 10,2 bilhões de m<sup>3</sup> de água, enquanto que a disponibilidade potencial foi estimada 55 milhões de m<sup>3</sup>/ano (DNPM, 1996).
- O Sistema Médio: encontra-se nas formações Rio Batateira, Abaiara e Missão Velha, possui área aproximada de 2.830 km<sup>2</sup> e espessura de 480 metros. Tem uma reserva permanente de 83,7 bilhões de m<sup>3</sup> e uma reserva disponível de 32 hm<sup>3</sup>/ano (DNPM, 1996).
- O Sistema Inferior: encontra-se na formação Mauriti e na parte basal da formação Brejo Santo, possui área de 3.430 km<sup>2</sup> e espessura de 85 metros. O aquífero tem uma reserva permanente de 4,90 bilhões de m<sup>3</sup> e uma reserva disponível de 5,85 hm<sup>3</sup> por ano.

Foram identificados 2.587 poços instalados na bacia hidrográfica do rio Salgado, onde 251 são classificados como fontes naturais, 23 como poços amazonas e, a imensa maioria, 2.313, como poços tubulares profundos. Do total de poços identificados pela CPRM, só 904 possuem dados de vazão, e consolidando esses dados se estima uma vazão de exploração média de 79.795.085 m<sup>3</sup>/ano ou 2,53 m<sup>3</sup>/s.

### 2.2 Águas superficiais

Na bacia hidrográfica da RMF existem 20 reservatórios monitorados pela COGERH, perfazendo 1.371 hm<sup>3</sup> de capacidade de armazenamento da bacia. Quatro destes reservatórios representam 70,0% da capacidade total de acumulação na bacia, são eles o sistema Pacoti/Riachão com capacidade de 426 hm<sup>3</sup>, o

açude Pacajus, com capacidade de 232 hm<sup>3</sup>, o açude Aracoiaba, com capacidade de 162 hm<sup>3</sup> e o açude Pompeu Sombrio, com capacidade de 143 hm<sup>3</sup>.

Com relação à vazão regularizada (Q90) a bacia tem capacidade de oferecer 17,63 m<sup>3</sup>/s (548,36 hm<sup>3</sup>/ano). A Região Metropolitana de Fortaleza conta com dois sistemas de transposição das águas provenientes da bacia do rio Jaguaribe, que ajudam a fortalecer a oferta de água na capital e na região metropolitana.

A bacia hidrográfica do rio Acaraú possui um total de 1.902 reservatórios (COGERH, 2008), destes, 556 apresentam área inundável superior à cinco hectares (FUNCEME, 2008). Apenas 15 reservatórios podem ser considerados de porte para serem monitorados pela COGERH, sendo os únicos utilizados pelo mencionado órgão para o cálculo da capacidade de acumulação na bacia, atualmente estimada em 1.721 hm<sup>3</sup>. Dos reservatórios monitorados, três representam 83,0% da capacidade total de acumulação na bacia, são eles o açude Araras que barra o próprio rio Acaraú, com capacidade de 859 hm<sup>3</sup>, o açude Taquara, implantado no tributário denominado Jaibaras, com capacidade de 320 hm<sup>3</sup> e o açude Edson Queiroz, implantado no tributário denominado Groairas, com capacidade de 254 hm<sup>3</sup>.

A COGERH monitora, atualmente, 15 reservatórios na bacia hidrográfica do rio Salgado, sendo estes os únicos utilizados pelo órgão para o cálculo da capacidade de acumulação superficial da bacia, atualmente estimada em 488,01 hm<sup>3</sup>. Em ordem de importância tem-se o reservatório Atalho (município de Brejo Santo), com capacidade de acumular 108,25 hm<sup>3</sup> e o reservatório Lima Campos que tem uma capacidade de 66,38 hm<sup>3</sup>. Além destes, outros 7 reservatórios possuem capacidades similares, ou seja, próximo dos 30 hm<sup>3</sup>.

### 2.3 Qualidade das águas

As ações antrópicas mais comuns nas bacias estudadas são: a disposição inadequada de resíduos sólidos; a disposição inadequada de esgotos urbanos e industriais; a poluição das águas por fertilizantes e pesticidas provenientes da agricultura; e, a contaminação por resíduos da aquicultura.

#### • Bacia hidrográfica da RMF

Os principais problemas ambientais encontrados nas bacias hidrográficas da RMF são de origem antrópica. As águas localizadas nos sistemas Dunas/Paleodunas e Barreiras da Região Metropolitana de Fortaleza são normalmente águas com boa qualidade físico-química, a exceção ocorre na costa do município de Fortaleza e na orla do município de Abreulândia (COGERH, 2010).

No caso dos poços localizados no cristalino registra-se altas concentrações de cloretos. Um estudo realizado na década de 90 (CAVALCANTE, 1998), também identificou altas concentrações de íons ferro, principalmente, na orla costeira da grande Fortaleza e na costa de Abreulândia. Esse mesmo estudo também revelou a contaminação bacteriológica das águas, principalmente nos poços com níveis estáticos inferiores a 15 metros, apontando uma fragilidade dos aquíferos da região metropolitana face às atividades antrópicas.

A última campanha de monitoramento das águas (2016) aponta um estado de qualidade da água degradável de todos os reservatórios da bacia devido aos altos níveis de eutrofização.

#### • Bacia hidrográfica do rio Acaraú

Também os principais problemas ambientais encontrados na bacia hidrográfica do rio Acaraú são de origem antrópica.

Com relação às águas subterrâneas localizadas no domínio Cristalino, apenas os municípios de Forquilha, Graça, Hidrolândia, Ipu, Pacujá e Varjota possuem águas subterrâneas com qualidade para consumo humano sem tratamento preliminar.

No caso das águas no Domínio Hidro Geológico poroso, os municípios que não possuem águas subterrâneas adequadas para o consumo humano sem tratamento são Bela Cruz, Cruz, Marco e Santa Quitéria.

Uma das principais causas do declínio da qualidade da água dos reservatórios é a eutrofização, desencadeada, principalmente, pelas contribuições de nutrientes provocadas pelas atividades antrópicas e que ocorrem ao longo de toda a bacia hidrográfica. A última campanha de monitoramento das águas (2016) aponta um estado de qualidade da água preocupante, pois, todos os reservatórios da bacia possuem alto nível de eutrofização.

• **Bacia hidrográfica do Rio Salgado**

Os principais problemas ambientais encontrados na bacia hidrográfica do rio Salgado são de origem antrópica.

Entretanto, em todos os poços analisados a qualidade das águas subterrâneas se mostraram próprias para o uso sem a necessidade de tratamentos.

Por outro lado, a última campanha de monitoramento das águas superficiais aponta um estado de qualidade da água preocupante com alto nível de eutrofização, com exceção do reservatório Thomas Osterne.

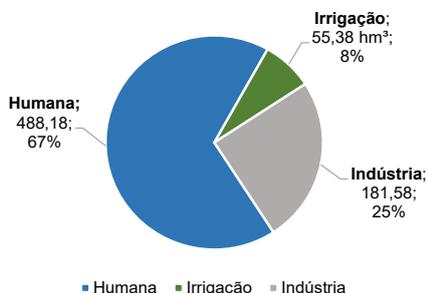
Nota-se que existe uma tendência na qualidade das águas dos três maiores reservatórios da bacia, que é a de indicar uma melhoria da sua qualidade coincidente com a estação chuvosa.

**2.4 Demanda hídrica**

As demandas concentradas são aquelas onde prevalecem os grandes usuários urbanos e rurais, em sua maioria, demandas humanas (classificadas como demandas urbanas e demandas rurais, de acordo com a distribuição territorial do contingente populacional), industriais e de irrigação.

A demanda hídrica humana representa 67,0% da demanda total de água na bacia da RMF e o município de Fortaleza tem uma demanda estimada em 62,1% da demanda humana total dos municípios da bacia hidrográfica da RMF.

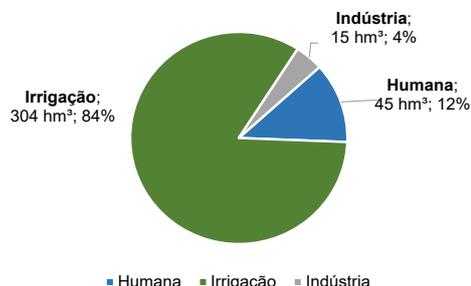
**Figura 10**  
**Demanda de água anual por tipo de uso na bacia hidrográfica da RMF**



Fonte: Acquatool Consultoria, 2016

A demanda de irrigação representa 84,0% da demanda total de água na bacia hidrográfica do rio Acaraú.

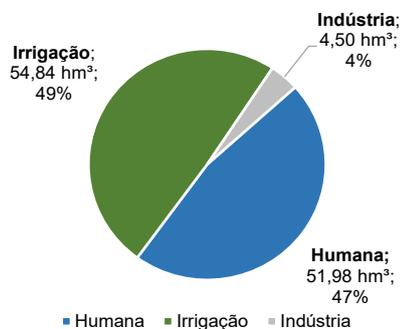
**Figura 11**  
**Demanda de água anual por tipo de uso na bacia hidrográfica do rio Acaraú**



Fonte: Acquatool Consultoria, 2016

Na bacia hidrográfica do rio Salgado a demanda de irrigação representa 49,0% da demanda total e a demanda humana representa 47,0%.

**Figura 12**  
**Demanda de água anual por tipo de uso na bacia hidrográfica do rio Salgado**



Fonte: Acquatool Consultoria, 2016



### 3 FONTES DE POLUIÇÃO E DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

#### 3.1 Resíduos Sólidos Urbanos - RSUs

- **Bacia hidrográfica da RMF**

As fontes de poluição causadas pela disposição de RSUs e lançamento de esgotos na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza são bastante diversas em razão de fatores, quantidades, formas e tipos de cargas poluidoras.

O aumento do fluxo turístico na região da bacia hidrográfica da RMF tem trazido como consequência, o aumento acelerado da geração de resíduos sólidos, resultado das atividades humanas, da concentração de pessoas e do aumento da produção individual de rejeitos.

*“Cerca de 70,0% do lixo gerado no litoral da Região Metropolitana de Fortaleza é composto por cascas de coco verde, material de difícil degradação e que, além de ser foco e proliferação de doenças, vem diminuindo a vida útil de aterros sanitários” (EMBRAPA, 2006).*

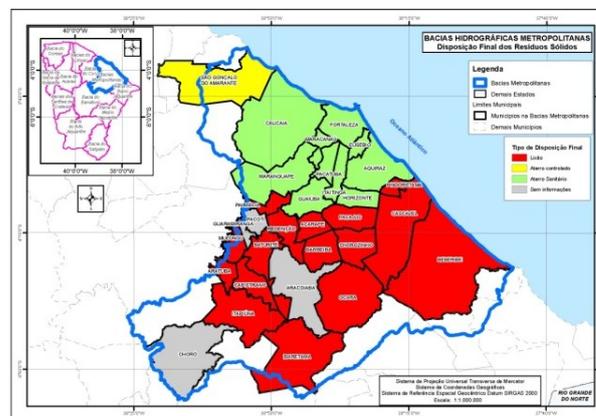
A produção de resíduos sólidos urbanos (RSUs) permanece crescente, concentrando e acentuando o risco potencial poluidor. Admite-se que uma pessoa na Região Metropolitana de Fortaleza produza em média 1,7 kg de RSU/dia, e considerando o índice de coleta de 85,0%, os descontroles existentes desde a coleta e a destinação final e os inumeráveis locais de disposição clandestina do lixo, estima-se que em realidade cada habitante na RMF produza uma média de 2,4 kg de RSU/dia, o que corresponderia a uma produção de 6.261,6 toneladas diárias.

A RMF apresenta seis municípios com cobertura de coleta de RSU abaixo de 50,0% da população e 11 municípios possuem mais de 90% da população com este tipo de coleta.

Em relação à destinação final e adequada do lixo, o quadro é bem mais grave, uma vez que todos os municípios apresentam algum índice, mesmo baixo, de resíduos sólidos sendo jogados em rios, lagos e mar. Por isso, é fundamental tentar quantificar esse volume, mesmo que de modo empírico.

Apenas 10 municípios possuem aterro sanitário, todos eles pertencentes às áreas de conturbação da capital Fortaleza sendo, portanto, as zonas mais industrializadas.

**Figura 13**  
**Disposição final dos resíduos sólidos da bacia hidrográfica da RMF**



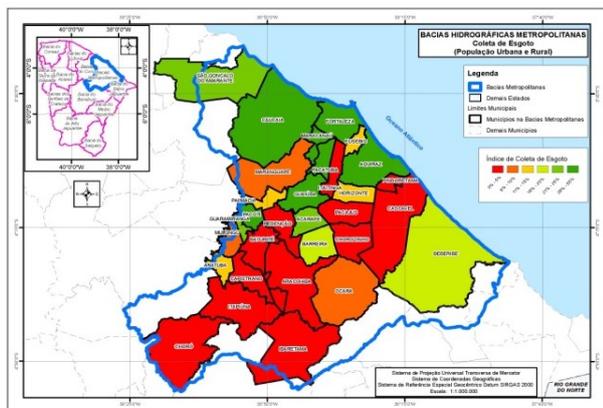
Fonte: Aquatool Consultoria, 2016

Foi identificado na maioria dos sistemas de abastecimento de água da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, problemas de baixa pressão, o que ocasiona a falta d’água em algumas áreas; sistemas que necessitam de ampliação para atender as demandas atuais e futuras, ausência de tratamento de água; laudos físico-químicos e bacteriológicos da água em não conformidades com os padrões de potabilidade, dentre outros problemas.

Os sistemas de esgotamento sanitário têm a finalidade de coletar os efluentes gerados em um determinado local; afasta-los rapidamente e de forma segura; trata-los e dar uma disposição adequada aos mesmos.

Com relação ao índice de atendimento total dos demais municípios que fazem parte da bacia hidrográfica da RMF, com exceção da capital, todos possuem baixíssimos índices de coleta e tratamento de efluentes (menos de 50%). O índice de atendimento total para as bacias da RMF é de aproximadamente 42%.

**Figura 14**  
**Índice de atendimento de esgoto dos Municípios da bacia hidrográfica da RMF**



Fonte: Aquatool Consultoria, 2016

- **Bacia hidrográfica do rio Acaraú**

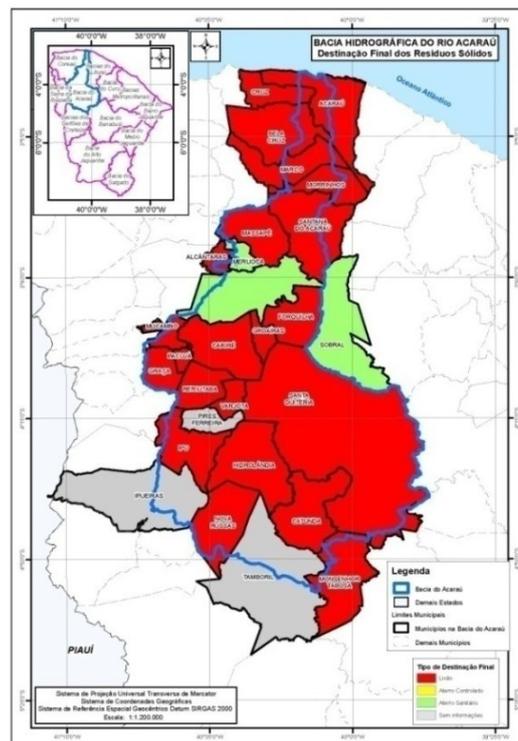
O município de Sobral é o único núcleo urbano que efetua a disposição final do lixo em aterro sanitário e atendendo as exigências preconizadas pela legislação ambiental. Nesta bacia, apenas 11 municípios possuem índices de cobertura de coleta de lixo acima de 75% de abrangência populacional.

Em nenhum município há vala exclusiva para a deposição dos resíduos infectantes dos serviços de saúde. Os sistemas de deposição final do lixo urbano postos em prática na maioria dos municípios da região do Vale do Acaraú não atendem às recomendações técnicas necessárias. Não há coleta diferenciada para o lixo dos estabelecimentos de saúde, os terrenos da maioria dos aterros não são impermeabilizados e não há drenagem de gases e das águas pluviais, nem tratamento do chorume como forma de evitar a contaminação dos solos, a poluição dos recursos hídricos e do ar.

A destinação final do lixo nas sedes municipais de Forquilha, Massapê e Cariré é efetuada em lixões localizados em terrenos baldios às margens de rodovias e muitas vezes próximos a cursos d'água. Entre os distritos da região, 70,0% contam com

sistemas de coleta do lixo, sendo nestes os resíduos depositados em terrenos baldios formando pequenos lixões, 26,7% não contam com serviços de coleta pública, ficando o destino final do lixo a cargo da população e apenas, em Aprazível, no município de Sobral, efetua a triagem/prensagem do lixo.

**Figura 15**  
**Destinação final dos RSUs dos municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú**

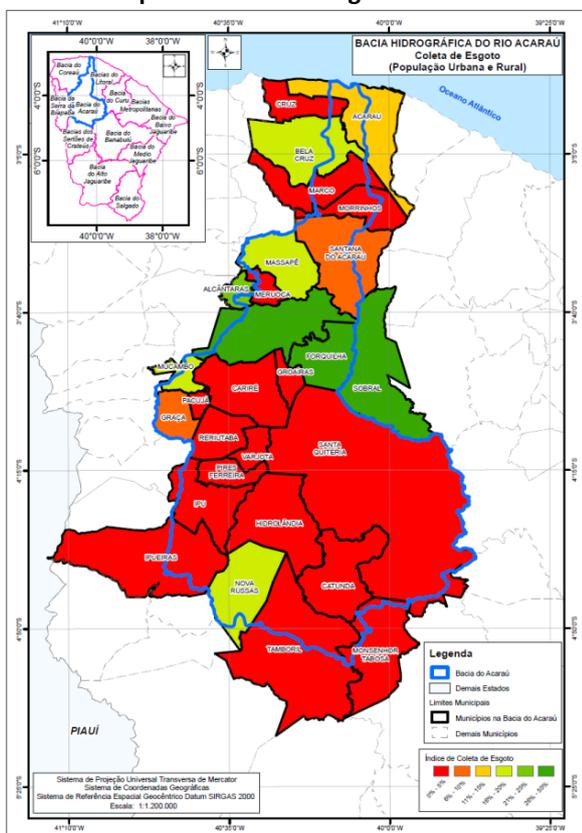


Fonte: Aquatool Consultoria, 2016

Os sistemas de deposição final do lixo urbano postos em prática na maioria dos municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú não atendem às recomendações técnicas necessárias. Não há coleta diferenciada para o lixo dos estabelecimentos de saúde, os terrenos da maioria dos aterros não são impermeabilizados e não há drenagem de gases e das águas pluviais, nem tratamento do *chorume* como forma de evitar a contaminação dos solos, a poluição dos recursos hídricos e do ar.

Figura 16

Mapa de cobertura da rede de coleta de esgoto dos municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú

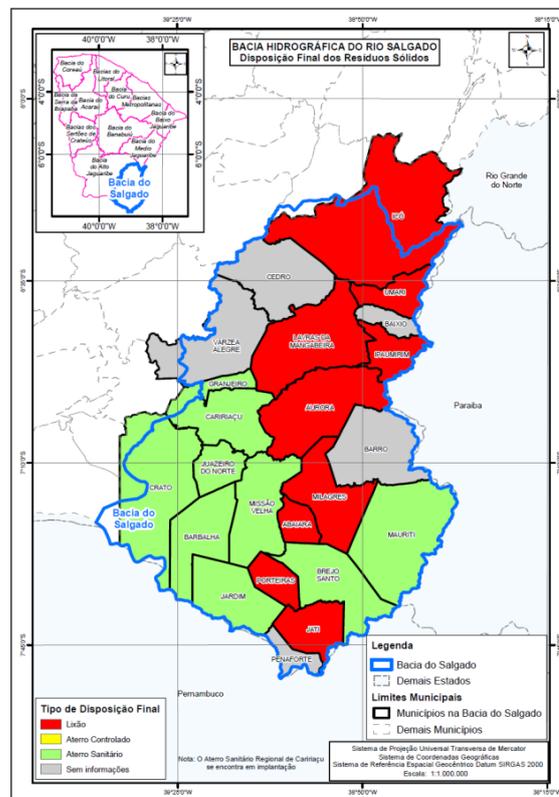


Fonte: Aquatool Consultoria, 20165

a presença de animais e seres humanos convivendo, diariamente, tornando-se não apenas um problema ambiental, mas, também, de caráter social.

Figura 17

Tipo de disposição de resíduos sólidos da bacia hidrográfica do rio Salgado



Fonte: Aquatool Consultoria, 2016

Em relação ao esgotamento sanitário, o número de domicílios servidos por rede de coleta de esgotos expõe um cenário bastante desfavorável. Dos 27 municípios que compõem a bacia, mais da metade (14) não dispõem de nenhum tipo de rede de esgoto. O restante dos municípios possui valores de taxa de cobertura da população total variando entre 1,48% (Marco) e 54,97% (Sobral).

#### • Bacia hidrográfica do rio Salgado

O crescimento populacional, aliado a outros fatores como o aumento do consumo de bens, na maioria das vezes descartáveis e a cultura do desperdício da sociedade atual, podem ser condicionantes para o aumento da produção de resíduos sólidos urbanos.

Considerando que a média de produção de resíduos sólidos nos municípios desta bacia é em média 2,5 kg/hab./dia, estima-se que a produção total diária de resíduos sólidos seja de 2.263 toneladas/dia, sendo que 100% desses resíduos são destinados, atualmente, a lixões a céu aberto, com

Os principais problemas de poluição ou de potencial de contaminação ambiental observados nos lixões da bacia hidrográfica do rio Salgado estão relacionados aos seguintes fatores: co-disposição de resíduos industriais e de serviços de saúde; geração excessiva de solo lixiviado; emissão descontrolada de gases; e, queima do lixo.

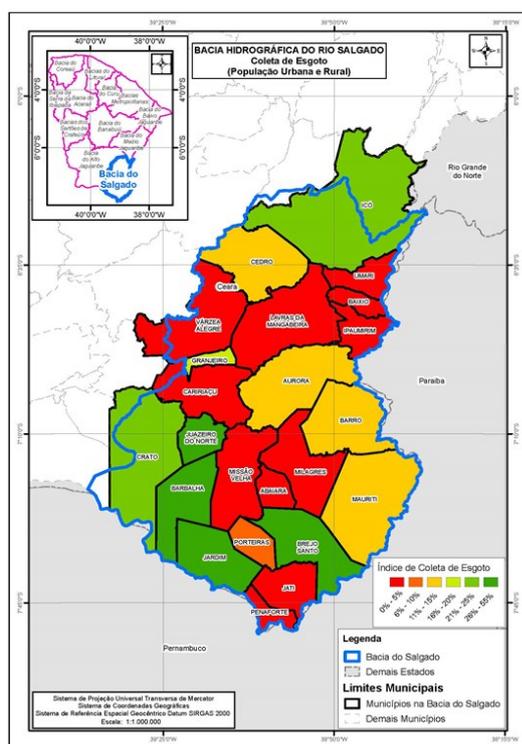
A geração excessiva de solo lixiviado ou percolado está associada principalmente à infiltração excessiva de água de chuva na massa de resíduos e a concentração de drenagem superficial.

A análise da disposição final do lixo nos municípios que compõem a bacia hidrográfica do rio Salgado, através do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR), que visa sistematizar as informações sobre as condições ambientais e sanitárias, revelou uma situação bastante crítica em relação à infraestrutura e às condições operacionais dos lixões e aterros. O IQR obtido para a região, foi de apenas 2,9, indicando, portanto, condições inade-

quadas de disposição dos resíduos. Para atingir a categoria de um aterro controlado o IQR teria de ser no mínimo, 6,1.

Em relação ao esgotamento sanitário, as taxas de cobertura podem ser consideradas precárias, com apenas um município apresentando atendimento ligeiramente superior à metade da população total.

**Figura 18**  
**Cobertura da rede de coleta de esgoto dos municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado**



Dos 23 municípios que compõem a bacia, 10 deles não dispõem de nenhum tipo de rede de esgoto, com o restante dos municípios atingindo valores de taxa de cobertura da população total variando entre 3,26% (Missão Velha) e 54,59% (Brejo Santo). Nas áreas rurais, não há registro de nenhum município que apresente qualquer tipo de cobertura por rede de esgoto.

### 3.2 Contaminação do ar

#### • Bacia hidrográfica da RMF

As principais tipologias das emissões atmosféricas são industriais, pontuais, fornos/caldeiras, *flare*, emissões de processo e emissões fugitivas.

A constatação das condições meteorológicas de vento, temperatura, umidade e pressão na RMF, serem favoráveis à rápida dispersão dos poluentes

e as medidas de concentrações de Partículas Totais em Suspensão – PTS feitas em Fortaleza, pela SEMACE, até o ano de 2001, mostraram que a qualidade do ar foi sistematicamente REGULAR, com tendência de aumento na sua concentração, o que, provavelmente, nos dias atuais já devem apontar para um quadro de qualidade do ar inadequada.

Dada a impossibilidade de se analisar as concentrações de PTS a partir de 2002, é recomendável e importante que se retomem, ampliem e deem continuidade às medidas de concentrações desse poluente, no sentido de se verificar o estado real da qualidade do ar na RMF. Além disso, é importante considerar que, mesmo abaixo dos níveis tolerados, as concentrações dos poluentes atmosféricos têm um grande poder de contribuir para o agravamento de doenças cardiorrespiratórias e de muitos outros problemas relacionados às questões ambientais.

#### • Bacia hidrográfica do rio Acaraú

*Com relação a emissões de N (Nitrogênio), P (Fósforo) e metais pesados oriundos de fontes naturais, mais, especificamente, por deposição atmosférica e da concentração das substâncias de interesse na deposição total na área da bacia (deposição úmida e seca) pode se constituir em fonte significativa de nutrientes e metais pesados (Marins et al. 1996; Silva Filho et al., 1998).*

**Tabela 1**  
**Carga anual estimada de N, P e metais pesados por deposição atmosférica (t/ano)**

N	P	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg
27,5	2,2	0,47	1,37	1,65	0,55	0,008

Fonte: SEMACE, 2005

#### • Bacia hidrográfica do rio Salgado

Os dados de poluição do ar na região da bacia hidrográfica do rio Salgado estão lastreados em informações coletadas e obtidas através de coletas de dados nos lixões e aterros sanitários. Não houve dados disponibilizados sobre as indústrias da região.

As análises de gases nas áreas com maior espessura de lixo revelaram concentrações de metano (CH<sub>4</sub>) na faixa de 40,0%-53,0% e de dióxido de carbono de 33,0%-47,0% que são compatíveis com as observadas em aterros sanitários. As concentrações de metano observadas são preocupantes, pois não existe em nenhum município da bacia,

sistema de tratamento do biogás e o mesmo é emitido livremente para a atmosfera.

A queima do lixo em pequenos focos ou de forma generalizada, envolvendo praticamente todos os aterros e lixões (Figura 19) ocorre espontaneamente (nos meses de setembro a dezembro).

Mas também ocorre queima intencional promovida pelos catadores, como forma de facilitar, posteriormente, a retirada de metais.

**Figura 19**  
**Queima do lixo em pequenos focos**



Fonte: Banco de dados do consultor

A poluição do ar pela fumaça da queima do lixo (Figura 19 e 20) atinge os moradores do entorno e de pequenas propriedades rurais da região, conforme relatos dos mesmos. Na queima descontrolada do lixo ocorre a liberação para o ar de várias substâncias perigosas como dioxinas e furanos.

**Figura 20**  
**Queima descontrolada dos lixões públicos**



Fonte: Banco de dados do consultor

### 3.3 Degradação dos solos

O conjunto das bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Fortaleza representa um dos sistemas hídricos mais importantes do estado do Ceará, em virtude do seu parque industrial e por concentrar uma população aproximada de 3,5 milhões de habitantes, além de conter a maioria dos órgãos administrativos do Estado e da União, das universidades, a maior parte da produção urbana e industrial e as sedes dos principais movimentos sociais.

No litoral urbanizado, os efeitos da maré alta, elevam o nível das águas na região próxima à costa, dificultando o escoamento natural e agravando os efeitos das chuvas intensas. Fenômenos com essas características ocorrem com regularidade.

As lagoas, ao longo dos médios e baixos cursos das bacias da Região Metropolitana de Fortaleza e seus entornos, exibem profundas alterações decorrentes principalmente de intervenções antrópicas, tais como desmatamentos, aterros, lançamentos de resíduos sólidos e líquidos, além de ocupação clandestina. A situação é preocupante, já que apresenta lagoas com redução do espelho d'água e o desaparecimento de outras.

Os solos verificados na bacia hidrográfica do rio Acaraú apresentam baixa umidade e pouca capacidade de armazenamento de águas subterrâneas, contribuindo para formar fácies descontínuas e variegadas, incluindo afloramentos rochosos e chãos pedregosos, porque o nível de decomposição geoquímica dos litotipos é reduzido, à exceção de latossolos, denunciando propriedades típicas do ambiente semiárido da Caatinga. A falta de planejamento e a ocupação desordenada em áreas consideradas vulneráveis sob o ponto de vista agrícola e ambiental tem aumentado o processo de perda do solo por agentes erosivos, o qual ocorre naturalmente devido à associação do clima com os tipos de litologia, relevo, solo e cobertura vegetal (SPÖRL; ROSS, 2004; GOMES, 2005).

A queimada é uma prática agrícola relativamente disseminada no território da bacia hidrográfica do rio Acaraú, que se revela prejudicial à preservação do meio ambiente. Praticada para a limpeza dos terrenos, resulta em alterações nas propriedades físico-químicas e biológicas dos solos, deixando-os expostos à ação dos agentes erosivos, além de afetarem significativamente a flora e fauna da bacia.

Outra prática comum é o desmatamento, ligada ao preparo do solo para o plantio e a extração da lenha para fabricação de carvão, e para ser usada em larga escala como combustível por padarias e cerâmicas da bacia.

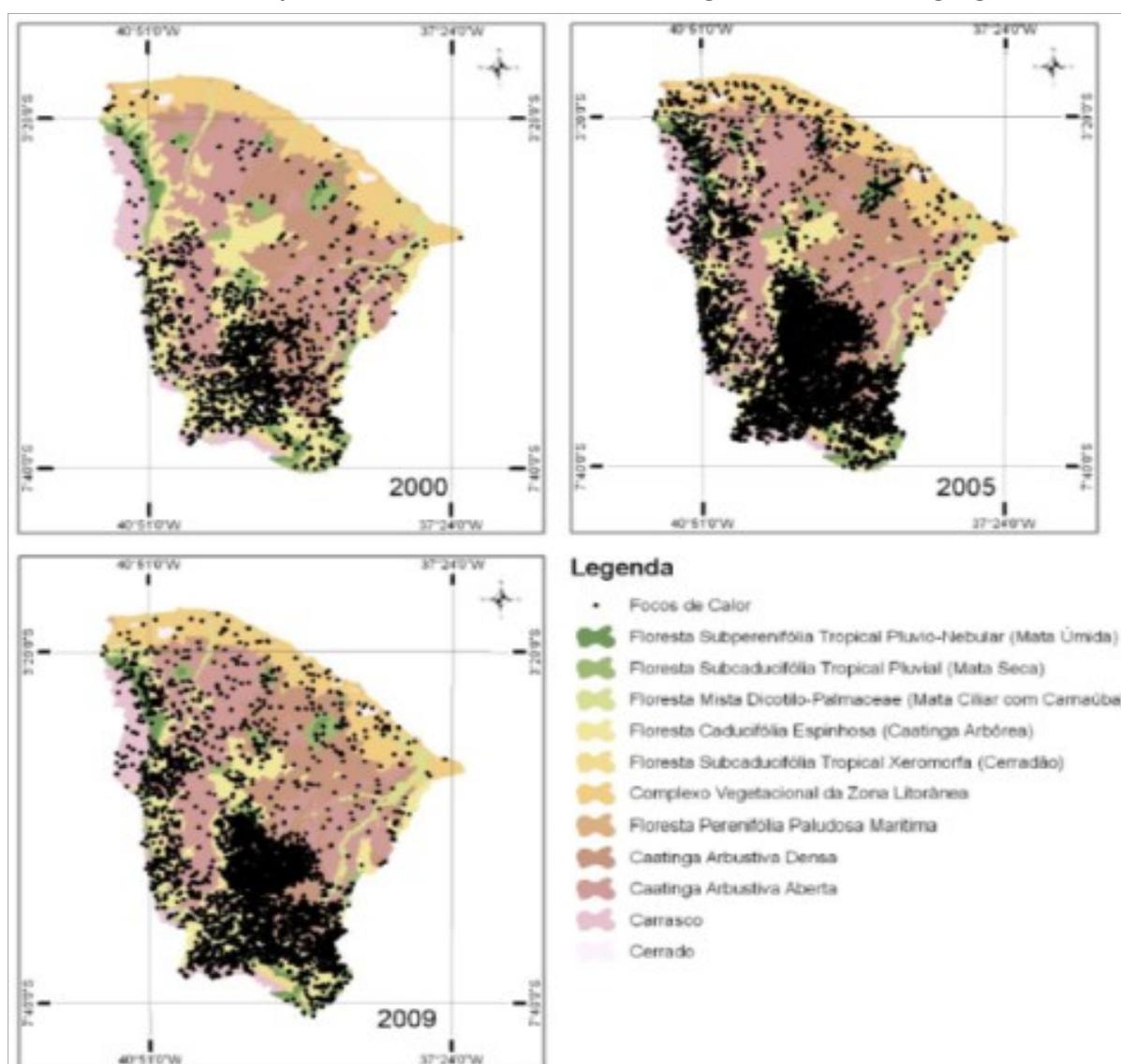
As terras da bacia hidrográfica do rio Salgado apresentam um padrão de uso e ocupação em grande parte ocupadas por atividades agropecuárias, onde se destaca plantios de sequeiro, com técnicas de preparação do solo rudimentares,

destacando-se as coivaras e queimadas, ocasionando depauperamento da fertilidade natural dos solos. Também fazem parte deste mosaico de usos e ocupações do solo, grandes espaços com plantações de cana-de-açúcar em áreas do vale do Cariri, próximo à Chapada do Araripe, ocupados por planícies aluviais. A criação de gado na região é feita de forma extensiva e não leva em consideração a fragilidade da Caatinga, principal ecossistema da região, utilizando-se de métodos ambientalmente degradantes para sua expansão e reprodução.

### 3.4 Queimadas

Os focos de calor identificados na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza perfazem uma área de 5.779 km<sup>2</sup>. Os focos de calor na bacia hidrográfica rio Acaraú estão em 16.656 km<sup>2</sup>, enquanto que na bacia hidrográfica do rio Salgado estão em uma área de 28.952 km<sup>2</sup>.

**Figura 21**  
**Focos de calor para os anos de 2000, 2005 e 2009 segundo unidades fitogeográficas**

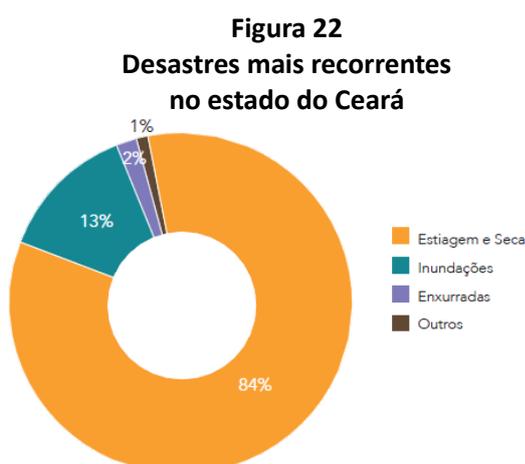


- Fonte: MEDEIROS; ALBUQUERQUE (2012).

## 4 DESASTRES NATURAIS

No estado do Ceará e no Nordeste os desastres naturais mais comuns são aqueles associados as estiagens prolongadas e sua contraparte, as tormentas intensas.

Estado de calamidade pública provocadas por inundações ou secas regionais e deslizamentos de terra provocada por inundações e erosão hídrica acarretam prejuízos e perdas significativas, inclusive de vidas humanas.



Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013.

No estado do Ceará, 10 municípios se encontram em situação de risco “muito alto”, situados, principalmente, nas macrorregiões Sertão Central dos Inhamus e no Litoral Leste-Jaguaribe. As regiões de Sobral-Ibiapaba, RMF e Baturité apresentam a maior quantidade de municípios com situação de risco “muito baixo” (Olímpio, 2013).

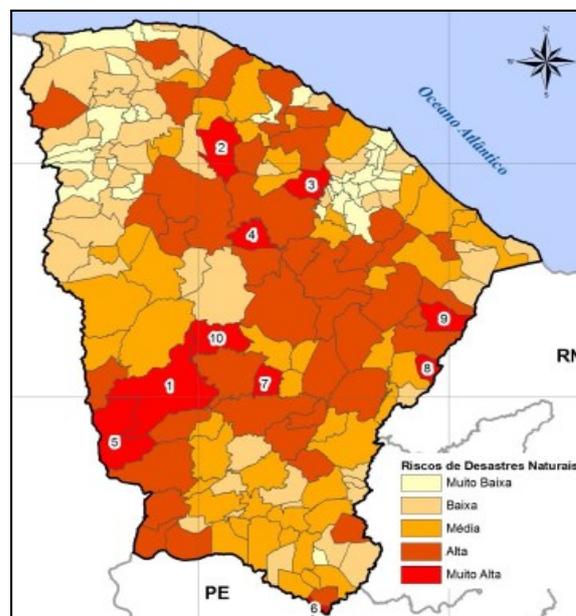
Na Região Metropolitana de Fortaleza, os municípios possuem de “médio” a “muito baixo” risco, com exceção do município de São Gonçalo do Amarante, o qual apresenta uma situação de vulnerabilidade social mediana e está bastante exposto a enchentes e estiagens (Olímpio, 2013).

O município de Sobral, apesar de possuir vulnerabilidade social “muito baixa”, apresenta um risco “médio”, devido a frequente ocorrência de secas e inundações, promovidas pelos rios da bacia hidrográfica do rio Acaraú (Olímpio, 2013).

Do mesmo modo que as secas e estiagens, as inundações são desastres recorrentes em alguns municípios. Os municípios das bacias hidrográficas dos rios Salgado, Aracatiçu, Acaraú (regiões de Sobral-Ibiapaba e Litoral Oeste) e Jaguaribe foram os mais atingidos pelas inundações. O município do Crato foi o que apresentou a maior frequência,

motivados pelas inundações do canal do rio Granjeiro, contribuinte do rio Salgado.

**Figura 23**  
**Distribuição espacial do risco de desastres naturais no estado do Ceará**



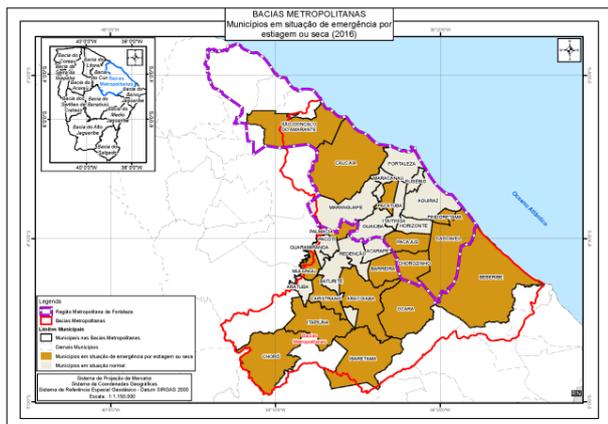
Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013.

Um dos grandes fatores de ocorrência das secas extremas é o fenômeno climático El Niño – Oscilação Sul (ENOS) que provoca grandes enchentes na região Sul-Sudeste, e torna mais severa as secas na região semiárida do Nordeste. Assim, os desastres naturais vinculados a estes fenômenos no estado do Ceará ocorrem com frequência e causam diversos transtornos à população.

Cabe destacar que as secas e estiagens não são necessariamente consequências somente de índices pluviométricos abaixo do normal ou de teores de umidade de solos e ar deficitários, existem fatores antrópicos que podem acarretar ou acelerar este processo, como o manejo inadequado dos corpos hídricos.

Entre os anos de 1974-2015, na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 19 anos foram úmidos e 24 foram secos. Nenhuma sequência de mais de três anos úmidos foi observada neste período analisado nesta bacia. 15 municípios da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza se encontram em “Situação de Emergência” conforme decreto recente.

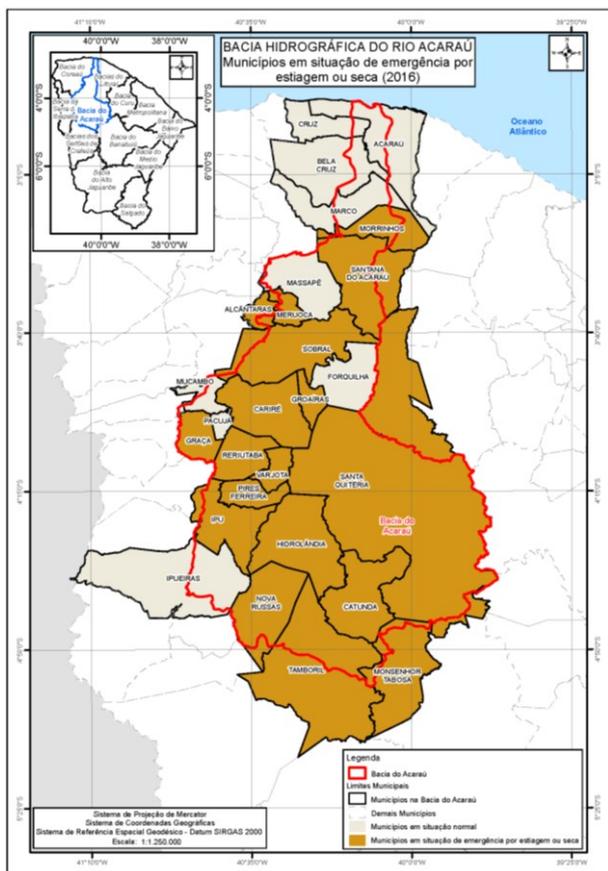
**Figura 24**  
“Situação de emergência” dos municípios da bacia hidrográfica da RMF (2016)



Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013.

Entre os anos de 1976-2015, na bacia hidrográfica do rio Acaraú, 18 anos foram úmidos e 21 foram secos. 16 municípios dos 27 municípios desta bacia se encontram em “Situação de Emergência” conforme decreto recente.

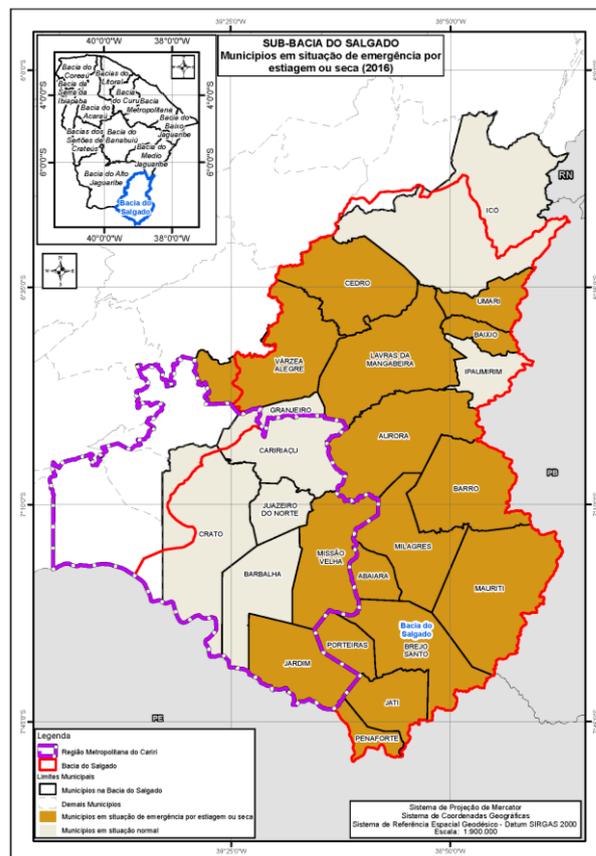
**Figura 25**  
“Situação de emergência” dos municípios Da bacia hidrográfica do rio Acaraú (2016)



Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013.

O período entre os anos de 1976-2015 caracteriza 20 anos úmidos e secos na bacia hidrográfica do rio Salgado. 12 municípios desta bacia se encontram em “Situação de Emergência” conforme decreto recente.

**Figura 26**  
“Situação de emergência” dos municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado (2016)



Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013.

## 5 DINÂMICA SOCIOECONÔMICA

### 5.1 Caracterização da economia

#### 5.1.1 Produto Interno Bruto (PIB)

- **Bacia hidrográfica da RMF**

Em 2013, a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza apresentava um PIB agregado no valor de R\$ 72,14 bilhões de reais, representando cerca de 70% do PIB do estado do Ceará. Neste mesmo ano, somente o município de Fortaleza detinha um PIB no montante de R\$ 49,7 bilhões de reais, o qual representava cerca de 40% do PIB estadual e 64% do PIB da mencionada bacia hidrográfica. Além da capital do estado, os municípios de Maracanaú, Caucaia, Eusébio, Aquiraz, Horizonte e Maranguape foram os únicos que geraram valores de PIB acima de 1,2 bilhão de reais. Juntos, estes seis municípios contribuíram com cerca de R\$ 16,7 bilhões na formação do PIB do estado. O PIB destes 6 municípios juntos superava o somatório do PIB dos demais 24 municípios da bacia hidrográfica da RMF.

Em 2013, o maior PIB *per capita* registrado na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza foi o do município de Eusébio (R\$ 42,00 mil/ano) que representava mais de três vezes o PIB *per capita* do estado do Ceará, que era de R\$ 12,00 mil/ano e mais que o dobro do PIB *per capita* da cidade de Fortaleza (R\$ 19,5 mil/ano).

No tocante à evolução do PIB dos municípios da bacia hidrográfica da RMF entre os anos de 2010 a 2013, os maiores índices de crescimento observados foram nos municípios de Aquiraz (85%), Caucaia (78%) e Itaitinga (67%).

Do ponto de vista da participação de cada setor da economia na formação do PIB da bacia hidrográfica da RMF em 2013, enquanto o setor serviços foi responsável por 48,0%, os setores industrial e agropecuário contribuíram com 20,0% e 1,7%, respectivamente.

Analisando a composição do Produto Interno Bruto dos municípios desta bacia pode-se entender que os municípios detentores dos maiores PIBs têm uma dependência menor das transferências da União e apresentam maiores participações do setor de serviços e do setor industrial. Dos 31 municípios desta bacia, 18 deles apresentaram em sua composição do PIB uma participação não inferior a 40% das transferências

externas da União.

Segundo dados do IPECE, a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza concentra a maior parte das 30 mil indústrias instaladas no Ceará. Haja vista, que nesta bacia estão instaladas mais de 25 mil indústrias, sendo que destas, mais de 17 mil estão localizadas no município de Fortaleza.

- **Bacia hidrográfica do rio Acaraú**

Na bacia hidrográfica do Acaraú, o município de Sobral respondia sozinho, em 2013, por quase 50,0% do PIB da área (R\$ 6,82 bilhões), atingindo R\$ 3,3 bilhões. Por outro lado, no município de Sobral, que detém 25% da população desta bacia hidrográfica, identifica-se uma forte concentração de renda.

Em 2013, o maior PIB *per capita* desta bacia é o do município de Sobral (R\$ 17,13 mil/ano), o qual superava o PIB *per capita* do estado do Ceará, que era de R\$ 12,39 mil/ano/ e representava também quase o dobro do PIB *per capita* da bacia hidrográfica. Outros municípios apresentam o PIB *per capita* próximo ao da bacia hidrográfica, mas abaixo do indicador estadual.

No tocante à evolução do PIB dos municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú, os maiores índices de crescimento observados, entre os anos de 2010 a 2013, ocorreram nos municípios de Acaraú (44%), Bela Cruz (41%), Catunda, Marco, Meruoca e Nova Russas (39%), Groairas (38%), Ipu e Massapê (37%) e Santa Quitéria e Reriutaba (35%). No conjunto do estado do Ceará o índice de crescimento do PIB foi de 37,0%.

Quanto à representatividade das transferências da União na formação da riqueza local, observa-se que dos 27 municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú, apenas oito tem nas transferências da União uma participação menor que 50% na formação desta riqueza. Em termos agregados, o setor Serviços (incluindo Comércio) é responsável por 36,0% da riqueza gerada e as transferências da União são responsáveis por 38% do PIB da bacia. Também de maneira agregada, a agricultura na bacia hidrográfica do rio Acaraú respondia por 6% do PIB em 2013.

Por outro lado, segundo dados do IPECE, das 30 mil indústrias existentes no estado do Ceará,

apenas 5% delas estão localizadas na bacia hidrográfica do rio Acaraú.

- **Bacia hidrográfica do rio Salgado**

Em 2013, a Bacia hidrográfica do rio Salgado gerava uma riqueza avaliada em, aproximadamente, 7,78 bilhões de Reais, o que representava algo em torno de 7,0% do PIB do estado do Ceará naquele ano. Esta produção estava economicamente concentrada no município de Juazeiro do Norte, que tinha um PIB de R\$ 3,2 bilhões anuais respondendo por 41,0% do PIB da bacia hidrográfica. Junto com o município de Crato, estes municípios concentravam 56,0% do PIB desta bacia em 2013.

Ao comparar as informações relativas ao PIB e ao PIB *per capita*, observa-se que os cinco municípios de maior PIB apresentavam, também, os maiores PIB *per capita* da bacia, indicando que existe um potencial ganho de riqueza pela população. Quando se compara, por exemplo, esta informação com a distribuição dos rendimentos das famílias, compreende-se que há um nivelamento de rendimento das famílias na classe baixa de rendimento.

Na bacia hidrográfica do rio Salgado, os municípios de Missão Velha, Jardim e Porteiras têm maior participação do setor primário na formação do PIB municipal. A dependência das transferências da União é maior nos municípios de menor atividade econômica o que os torna mais vulneráveis à macroeconomia e às variáveis exógenas.

Os dados tornam claro que os municípios onde ocorreram incrementos do setor industrial e do terceiro setor, são menores as participações das transferências do governo na economia, embora nos casos específicos ainda sejam elevadas. Entretanto, de maneira agregada, a bacia hidrográfica do rio Salgado apresenta forte dependência da União, já que 38,0% do PIB da bacia tem como origem as transferências da União.

Com relação à contribuição de cada setor econômico na formação do PIB da bacia, o setor agrícola detinha a menor participação (5,0%), o setor industrial com uma participação de 10,0% e o setor de serviços com 47,0%. Esta baixa participação do setor agrícola, provavelmente é decorrente da má utilização agrícola do solo.

Na bacia hidrográfica do rio Salgado estão presentes 2.579 unidades industriais,

representando 8,0% do número de indústrias do estado do Ceará. Em 2014, o município de Juazeiro do Norte reunia cerca de 60,0% das indústrias da bacia (1.466 unidades).

### 5.1.2 Renda familiar e nível de pobreza

- **Bacia hidrográfica da RMF**

No que concerne à renda familiar, o IBGE revela que, em 2010, com exceção do município de Fortaleza, em todos os demais municípios da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, mais de 81% das famílias estavam na categoria de Sem Rendimentos ou com rendimento de até 1 Salário Mínimo. No município de Fortaleza a participação percentual das famílias neste grupo é de 69,8%. Por outro lado, considerando todos os municípios da bacia hidrográfica da RMF, a participação percentual das famílias nas categorias de renda de: Sem Rendimento e até 1 Salário Mínimo (SM); 1 a 5 SM; 5 a 10 SM; e, Mais de 10 SM é de, respectivamente, 77,0%, 19,2%, 2,5% e 1,3%.

Utilizando-se do Índice de Gini<sup>1</sup> para medir o nível de pobreza, observa-se que em 2010, dentre os 31 municípios da bacia hidrográfica da RMF, apenas Horizonte com 0,42, Acarape e Maracanaú com 0,43 e Pacatuba e Maranguape com 0,44 são os municípios que apresentavam os menores, valores do Índice de Gini, significando, portanto, as melhores taxas de distribuição de renda.

Embora tenha ocorrido entre 1991 a 2010 uma redução significativa da população na extrema pobreza, os índices de 2010 ainda revelam uma situação preocupante. O município de Choró (41%), Ibaretama (34%), Caspitrano (32%) e Ocara (32%) são aqueles que registravam índices mais elevados da população nesta situação. Por outro lado, Fortaleza (3%), Maracanaú (4%), Eusébio (5%), Pacatuba e Caucaia (6%) são aqueles que apresentavam as menores preocupações, embora em termos numéricos, o indicador ainda indicava que em Fortaleza cerca de 80 mil pessoas ainda viviam em extrema pobreza.

- **Bacia hidrográfica do rio Acaraú**

Com relação à renda da bacia hidrográfica do rio Acaraú, segundo o IPECE, em 2013, cerca de 43,4%

---

<sup>1</sup> Criado pelo matemático italiano Conrado Gini, é um indicador utilizado para medir o grau de concentração de renda em determinado grupo, indicando as diferenças de rendimento entre grupos mais ricos e mais pobres.

população da bacia afirmou não ter renda. Além disso, outros 46,3% afirmaram que tinha renda de até 1 salário mínimo (deste percentual 19,1% recebia até meio salário mínimo). Estes dados demonstram a necessidade de implantação de políticas públicas de expansão de emprego e inserção de renda nesta região.

Em relação à condição social da população em função da renda percebida, os dados mostram que houve redução da população incluída na extrema pobreza nos municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú. Trata-se da proporção dos indivíduos com renda domiciliar *per capita* igual ou inferior a R\$ 70,00 mensais (em agosto de 2010) em relação ao total da população residente. Os municípios com menor incidência foram Forquilha, Groáiras, Meruoca, Nova Russas, Pacujá e Varjota. Mas, os maiores esforços em reduzir a parcela dos extremamente pobres foram nos municípios de: Alcântaras (reduziu 43 pontos percentuais), Monsenhor Taboca (reduziu 43 pontos percentuais), Catunda e Novas Russas (cada um reduziu 40 pontos percentuais) e Graça (reduziu 38 pontos percentuais).

Alguns municípios conseguiram reduzir a população vulnerável à pobreza, isto é, aquela que recebe até meio salário mínimo mensal. O município de Sobral é aquele que possui a menor taxa dos vulneráveis à pobreza e Santana do Acaraú é aquele com maior participação dos vulneráveis à pobreza, seguido por Acaraú, Bela Cruz e Graça. No âmbito estadual, também é significativa a parcela da população vulnerável à pobreza, embora tenha apresentado entre 1991 e 2010 uma evolução significativa, pois em 1991 tinha 81% de sua população vulnerável à pobreza e passou a ter em 2010, 55%.

Os dados mostram que no município de Santana do Acaraú pelo fato dos 10% mais ricos deterem 52% da renda gerada, ele é o município de maior incidência de concentração, seguido por Reriutaba e Acaraú. Por outro lado, os municípios de Alcântaras e Massapê são aqueles que apresentaram menor detenção de renda por parte dos 10% mais ricos

#### • **Bacia hidrográfica do rio Salgado**

No tocante à distribuição do número de famílias por classe de rendimentos, de acordo com o IBGE, em 2015, a bacia hidrográfica do rio Salgado apresentava uma situação na qual cerca de 80,0%

das famílias tinham rendimento de até 1 salário mínimo, sendo que 43,0% delas declararam receber até 1/2 Salário Mínimo. Entretanto, nos municípios de maior atividade econômica, como Juazeiro do Norte e Crato, a participação desta classe é menor, passando a predominar a classe das famílias que têm rendimentos entre ½ a 1 Salário Mínimo.

As informações revelam que existe uma fragilidade nas políticas de elevação de renda das famílias, o que só poderá ser revertido com a implantação sistemática de programas de desenvolvimento econômico que se apoiem em uma matriz ambientalmente adequada.

Quanto à distribuição de renda, dentre os 23 municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado, Abaiara, Ipaumirim, Lavras do Mangabeira e Missão Velha são aqueles onde as desigualdades na distribuição de renda aumentaram. Nos demais municípios ocorreram reduções nas desigualdades de distribuição de renda, com destaque para Cedro, Brejo Grande e Aurora.

Nos municípios desta bacia hidrográfica ocorreram reduções significativas da parcela da população considerada de extrema pobreza entre os anos de 1991 e 2010. Enquanto em 1991, a maior parte dos municípios apresentava entre 51,0% a 70,0% de suas populações na linha da extrema pobreza, em 2010 esta situação se inverte, já que neste último ano, a maior parte dos municípios apresentava entre 20,0% e 30,0% de suas populações na mesma condição.

## **5.2 Aspectos sociais**

### **5.2.1 Demografia**

#### • **Bacia hidrográfica da RMF**

Segundo o IBGE, a bacia hidrográfica da RMF detinha em 2015 uma população total de 4.171.656 habitantes, representando 48% de toda a população do estado do Ceará. Fortaleza, o principal município desta bacia hidrográfica, possuía em 2015 uma população maior que a soma de toda a população dos demais trinta e municípios desta bacia (2,6 milhões de habitantes).

No que se refere ao crescimento populacional observado nos 31 municípios integrantes da bacia hidrográfica da RMF no período 2001/15, 21 apresentaram crescimento superior ao do estado (18%). O município de Fortaleza apresentou um

percentual de crescimento populacional (19%) ligeiramente superior àquele do estado. Neste mesmo período, as maiores taxas de crescimento observadas foram nos municípios de Horizonte (78%), Eusébio (56%), Pacajus (52%) e Pacatuba (50%) que apresentaram valores quase três vezes maiores que a do estado. Em quatro municípios ocorreram decréscimos de habitantes, sendo os casos mais graves nos municípios de Guaramiramba (-35%) e Aratuba (-10%).

Com relação à distribuição espacial da população observa-se que em 10 dos 31 municípios integrantes da bacia hidrográfica da RMF, o meio urbano concentrava no ano de 2015 no mínimo 80% da população, sendo eles: Aquiraz, Cascavel, Caucaia, Eusébio, Fortaleza, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Pacajus e Pacatuba. Por outro lado, em Fortaleza, Eusébio, Itaitinga e Maracanaú a população residia, praticamente, na sua totalidade no meio urbano.

#### • **Bacia hidrográfica do rio Acaraú**

A Bacia hidrográfica do rio Acaraú possuía em 2015 uma população total de 826.566 habitantes, conforme o IBGE. Dos 27 municípios componentes desta bacia, destacam-se, em termos de população, os municípios de Sobral (201 mil habitantes), Acaraú (61 mil habitantes), Santa Quitéria (43 mil habitantes) e Ipu (41 mil habitantes).

No período de 2001 a 2013, enquanto a população do estado do Ceará cresceu 18%, a população da bacia do rio Acaraú apresentou um crescimento de 15%. Dos 27 municípios desta bacia, 10 deles registraram crescimento populacional acima da taxa estadual. No mesmo período, os municípios que apresentaram maiores crescimento de população foram: Sobral (o mais populoso desta bacia) com 27,0%; Forquilha com 32,0% e Marco com 29,0%.

Com relação à distribuição espacial da população desta bacia entre o meio urbano e rural, a maioria da população em 18 dos 27 municípios residia na zona urbana. Entre os seis municípios mais populosos, onde estar concentrada 50% da população da bacia, a maior parte reside no meio urbano. No município de Sobral, por exemplo, a taxa de urbanização é de 88,0%. Em outros municípios, também ocorre forte concentração da população no meio urbano como é o caso de Nova Russas (75,0%) Forquilha 71,0%) e Groairas

(69,0%).

#### • **Bacia hidrográfica do rio Salgado**

Os 23 municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado somavam em 2013 uma população total de 949.440 habitantes, o que representava cerca de 10% da população do estado do Ceará. Ainda em 2013, os municípios mais populosos desta bacia eram Juazeiro do Norte e Crato que detinham uma população aproximada de 266 mil habitantes e de 128 mil habitantes, respectivamente. Apenas nestes dois municípios estavam concentradas cerca de 40% da população da bacia analisada.

Por outro lado, também em 2013, do conjunto dos municípios desta bacia hidrográfica, 19 deles tinham uma população menor que 50 mil habitantes, que é um dos critérios adotados pelo Governo brasileiro para priorizar as políticas de saúde pública. Salienta-se que a bacia hidrográfica do rio Salgado apresenta um conjunto de municípios com baixa população, sendo Granjeiro aquele de menor população com 4,4 mil habitantes.

No período de 2001 a 2015, a população agregada da bacia hidrográfica do rio Salgado apresentou índice de crescimento de 14%, inclusive, crescendo menos que o índice observado para o estado do Ceará no mesmo período que foi de 18%. Neste período, os municípios que apresentaram maiores taxas de crescimento de sua população foram Abaiara (35%), Penaforte (24%) Juazeiro do Norte e Brejo Santo (23%). Do total dos municípios desta bacia seis deles apresentaram taxas de crescimento superiores à estadual (Abaiara, Barbalha, Brejo Santo, Crato, Juazeiro do Norte e Penaforte). Os municípios de Granjeiro, Penaforte e Aurora apresentaram taxas negativas de crescimento da população.

Com relação ao local de domicílio, a população da bacia hidrográfica do rio do Salgado apresentava-se mais alocada espacialmente em meio urbano, sobretudo, nos municípios de Juazeiro do Norte, onde a ocupação urbana é de 96,0% e de Crato, onde 84,0% da população também residia no meio urbano. Dos 23 municípios desta bacia, em 8 deles a população rural prevalecia à urbana, sendo que o município de Granjeiro é o mais rural, onde vivia cerca de 70,0% de sua população. Vale observar, que este município está em processo de declínio de habitantes.

## 5.2.2 Índice de Desenvolvimento Humano - IDH

### • Bacia hidrográfica da RMF

Todos os municípios da bacia hidrográfica da RMF apresentaram evolução positiva no quadro geral de desenvolvimento, quando se compara os valores do IDH de 1991/2000 com 2010. Os melhores desempenhos foram os registrados nos municípios de Choró, Chorozinho, Beberibe, Aratuba, Ibaretama e Guaramiranga já que mais que dobraram o IDH no período analisado. Os municípios que apresentaram menor desempenho no período foram Fortaleza, Caucaia, Maracanaú e Baturité, que apresentaram resultados próximos do desempenho geral do estado do Ceará, o qual melhorou em 68% seu IDH no período.

### • Bacia hidrográfica do rio Acaraú

Quando compara os valores do IDH de 1991/2000 com os de 2010 dos municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú constata-se que todos os municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú apresentaram melhoria das condições sociais básicas nas áreas de saúde, educação e renda.

Os melhores desempenhos registrados ocorreram nos municípios de Graça, Cruz, Bela Cruz e Reriutaba, os quais apresentaram os maiores saltos nestes indicadores. É bem verdade que as condições sociais observadas em 1991 eram muito desfavoráveis. Naquele ano, nenhum município desta bacia hidrográfica apresentava IDH superior a 0,5 e o IDH do município de Graça era 0,149 um dos mais baixos do país, tornando necessária uma intervenção capaz de reverter este quadro. Em 2010, após a aplicação de várias políticas sociais, nenhum município apresentou IDH inferior a 0,5. Os maiores índices foram encontrados em Sobral (0,714), Forquilha (0,644), Groairás (0,633) e Cruz (0,632).

### • Bacia hidrográfica do rio Salgado

Em 1991 o IDH do Ceará foi 0,405 sendo considerado de baixo desenvolvimento. Comparando os valores do IDH do ano de 2010 com os dos anos de 1991/2000 para os municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado, observa-se que em todos os municípios ocorreram uma melhoria no quadro social. Os melhores resultados foram obtidos pelos municípios Abaiara, Caririçu, Mauriti, Porteiras, Granjeiro, Jati, Missão Velha e Várzea Alegre, que dobraram o indicador no período analisado.

Por outro lado, outros municípios apresentaram

maiores dificuldades em melhorar seu quadro social. É o caso de Penaforte, Juazeiro do Norte, Crato, os quais necessitam de maiores esforços em investimentos sociais.

## 5.2.3 Saúde

### • Bacia hidrográfica da RMF

Houve aumento na Expectativa de Vida ao Nascer em todos os municípios da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza.

Dos 31 municípios da bacia hidrográfica da RMF, 19 deles aumentaram a expectativa de vida de sua população em mais de 10 anos. Chama atenção o município de Choró que aumentou neste período, em 15 anos a expectativa de vida de sua população. Outros municípios como Ibaretama, Eusébio, São Gonçalo do Amarante e Aracoíaba aumentaram a expectativa de vida em mais de 13 anos.

Um dos fatores que certamente contribuiu para este desempenho positivo foi a redução da Taxa de Mortalidade Infantil que ocorreu em todos os municípios.

Nos municípios da bacia hidrográfica analisada, o melhor desempenho observado foi em Choró, já que a expectativa era de que 67 crianças a mais (em cada 1000 nascidas vivas) sobreviveriam ao primeiro ano de vida. Em Ibaretama, o ganho na expectativa foi de 60 crianças; em Aracoíaba, 59 crianças; em São Gonçalo do Amarante esta expectativa foi de 55 crianças, em Ocara e Eusébio 52 crianças e outros municípios tiveram uma melhoria na expectativa de sobrevivência de 40 crianças a mais ao primeiro ano de vida.

Os municípios que apresentam maior desafio neste indicador foram Guaramiranga, Mulungu e Guaiúba, que não conseguiram reduzir ao menos em 30 crianças, a cada 1000 nascidas vivas morreriam em menos de um ano.

O desempenho se consolida quando é investigada a Taxa de Mortalidade para crianças de até 5 anos, período em que muitas ingressam na pré-escola e se consolidam sua fase infantil. Os dados mostram que os municípios que obtiveram os melhores resultados são os mesmos que reduziram a mortalidade infantil.

### • Bacia hidrográfica do Rio Acaraú

Em todos os 27 municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú ocorreram aumentos do indicador Esperança de Vida ao Nascer. Os melhores desem-

penhos foram registrados em Bela Cruz, Alcântaras, Morrinhos e Sobral que aumentaram suas taxas em mais de 14 anos. Os resultados mais tímidos ocorreram em Varjota, Reriutaba, Pacujá, Nova Russas e Ipu que apresentaram elevações menores que 10 anos na expectativa de vida de seus residentes.

Um dos fatores que contribuiu para o desempenho apresentado foi a redução da Taxa de Mortalidade Infantil em todos os municípios.

No ano de 1991, em oito municípios desta bacia hidrográfica, para cada 1000 crianças nascidas vivas, mais de 80 não sobreviveriam até completarem 1 ano de vida, sendo que o caso mais crítico era Alcântara (taxa de mortalidade infantil de 100 por mil). Nestes municípios a taxa cai a patamares de 25 crianças para cada 1000. Na bacia hidrográfica, as menores taxas de Mortalidade Infantil (em 2010) estão nos municípios de Sobral (13), Tamboril (21) e Massapê (21).

Estendendo-se até o número de crianças que provavelmente não atingiriam 5 anos de vida as menores taxas estão (no ano de 2010) em Sobral (14 anos), Tamboril (23 anos), Massapê (23 anos) e Hidrolândia (23 anos). Mas os municípios que mais reduziram esta taxa foram Bela Cruz e Alcântara, que reduziram a taxa de mortalidade em mais de 100 crianças por mil nascidas vivas e Morrinhos, que reduziu a taxa em 92 crianças a cada mil nascidas vivas.

#### • **Bacia hidrográfica do Rio Salgado**

Entre os anos de 1991 e 2010, a Expectativa de Vida ao Nascer melhorou em todos os municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado.

Nos 23 municípios desta bacia hidrográfica, 13 aumentaram a expectativa de vida de sua população em mais de 10 anos. Dentre estes, o município de Imari foi que apresentou melhor desempenho (16 anos a mais), seguido por Baixio (15 anos) e Caririçu (13 anos). Os municípios que apresentaram menor desempenho foi Barro (7 anos) e Penaforte (8,5 anos).

Entre 1991 e 2010, em todos os municípios desta bacia hidrográfica ocorreram melhorias sociais. O melhor desempenho foi em Imari e em Baixio. Nestes municípios, em 1991 a taxa de Mortalidade Infantil apontava que a cada mil crianças nascidas vivas, 95 morreriam antes de completarem 1 ano de vida e 122 morreriam antes de completar 5

anos de vida. Em 2010, Imari reduziu esta taxa para 21,8 e Baixio para 24.

Vale salientar que esses resultados positivos observados nas últimas décadas na área de saúde decorreram da implementação de políticas sociais de proteção à vida que focaram o interior do país e empregando forças municipais de alcance das pessoas. Foram programas como os de vacinação em massa, incentivo ao aleitamento materno, acompanhamento da gestante durante o período pré-natal e do recém-nascido, bem como a relativa expansão do sistema de saneamento básico em vários municípios do país.

#### 5.2.4 Educação

##### • **Bacia hidrográfica da RMF**

Os municípios da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza que mais reduziram o índice de analfabetismo entre 1991 e 2010 foram Choró (56% entre a população de 11 a 14 anos e em torno de 40% para as demais faixas etárias), Beberibe (43% para a faixa entre 11 a 14 anos e pouco mais de 30% para as outras duas faixas etárias) e Aratuba (com indicadores próximos ao de Beberibe). Outros municípios apresentaram maiores dificuldades. O caso de maior desafio é Fortaleza, que reduziu o analfabetismo entre a população de 11 a 14 anos em 9% e em torno de 8% para as demais faixas etárias; Pacatuba (16%) e Maracanaú (13%).

Dentre os 31 municípios da bacia hidrográfica, apenas 6 (Acarape, Aratuba, Choró, Guarimiranga, Itapiúna e Pacoti) apresentaram em 2010 representatividade superior a 90% da população em idade do ensino fundamental cursando ou tendo já o concluído. Outros 23 municípios apresentaram essa representação entre 80% e 89%. Nenhum município apresentou naquele ano, representação abaixo dos 70%. Realidade diferente do cenário do ano de 1991, quando nenhum município apresentava representação superior a 50%.

No caso dos ensinos médio e superior, os dados revelam que ocorreu evolução na taxa de efetividade, mas os números revelam o enorme desafio que o estado ainda tem pela frente. Para o ensino médio, em 2010, apenas 37% da população em faixa etária corrente cursava sem atraso ou já havia concluído. E no ensino superior, apenas 7% da população em idade corrente cursava sem atrasos ou havia concluído o ensino fundamental.

No âmbito municipal, no ensino médio em 1991

apenas a capital do estado apresentava taxa superior a 10%. Esse cenário evoluiu para 45% em 2010. Outros quatro municípios desta bacia (São Gonçalo do Amarante, Pacatuba, Maracanaú e Caspitrano) já apresentaram taxas superiores a 40%. Além disto, apenas o município de Ibaretama apresentou taxa inferior a 20%. Ainda assim, deve-se ressaltar que são indicadores que revelam um grande desafio de eficiência, que é de reduzir a taxa de atraso no ensino médio.

- **Bacia hidrográfica do rio Acaraú**

Os municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú, apresentaram evolução significativa quanto ao indicador Taxa de Analfabetismo, já que, do mesmo modo que ocorreu para o conjunto do estado do Ceará, também ocorreram reduções drásticas tanto do ensino fundamental como no ensino médio. Em 2010, os municípios com menores taxas de analfabetismo foram Sobral, Cruz, Meruoca e Alcântaras. Os municípios com maiores taxas de analfabetismo foram Marco, Monsenhor Taboca e Morrinhos, mas nenhum dos municípios ultrapassou a taxa de 10% da população em situação de analfabetismo nas faixas etárias analisadas.

No período 1991/2010, alguns municípios apresentaram maiores evoluções na redução do analfabetismo nas suas respectivas faixas etárias. Estes municípios foram Graça (redução de 53 pontos percentuais), Pires Ferreira (redução de 52 pontos percentuais) e Santa Quitéria (redução de 47 pontos percentuais).

Com relação à Taxa de Efetividade (razão entre o número de alunos cursando um nível de ensino e o total da população na faixa etária correspondente), os dados mostram que ocorreram avanços significativos. Em 1991, praticamente todos os municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú (exceto Groaíras) não apresentavam taxa superior a 20% da população na faixa etária compatível com o ensino fundamental, cursando ou tendo concluído este nível de ensino. Nas demais faixas etárias o indicador era ainda mais pessimista, sendo que nenhum município atingiu 10% da população considerada efetiva e corrente no ensino.

Os dados também mostram que em 2010 os municípios da bacia hidrográfica do rio Acaraú com exceção de Monsenhor Taboca, todos os demais apresentaram na faixa etária correspondente ao ensino fundamental, taxa de efetividade inferior a 80%. Os municípios que apresentaram maiores

taxas foram Pacujá (94%), Bela Cruz (94%) e Santa Quitéria (92%).

Na faixa etária pós-ensino médio (18 a 20 anos), ocorreu uma significativa evolução. Em 2010, a maioria dos municípios já havia atingido 40% da população em situação de efetividade, sendo que o município de Tamboril foi aquele que apresentou a menor taxa (21%) e Sobral apresentou o melhor resultado, isto é, 44%.

Entre aqueles que já possuíam 25 anos ou mais, a taxa dos que já haviam concluído alguma modalidade de ensino superior era muito baixa em 1991 e, embora tenha apresentado evolução, ainda permanece baixa em relação à população total. Em nenhum município, neste último ano de análise, o valor atingiu 10% da população com conclusão do ensino superior.

- **Bacia hidrográfica do rio Salgado**

Nos municípios da bacia hidrográfica do rio Salgado, as taxas de analfabetismo da população caíram de maneira significativa. Para as faixas etárias correspondentes ao ensino fundamental, 11 a 14 anos e ensino médio, 15 a 17 anos, os municípios que apresentaram os melhores desempenhos entre 1991 e 2010 foram Granjeiro, Caririçu, Abaiara e Mauriti. Aqueles que tiveram maiores dificuldades no combate ao analfabetismo foram Crato, Juazeiro do Norte e Penaforte.

Com relação às taxas de efetividade no ensino por faixa etária, 6 municípios desta bacia (Abaiara, Aurora, Barbalha, Jati, Mauriti e Penaforte) apresentaram em 2010 uma representatividade superior a 90% da população em idade do ensino fundamental cursando ou tendo já concluído. Outros 16 municípios apresentaram essa representação entre 80% e 89% e apenas o município de Lavras de Mangabeira apresentou representação abaixo de 80% (77%). Realidade diferente do cenário do ano de 1991, quando nenhum município apresentava representação superior a 40%.

No caso do ensino médio, em 1991, apenas os municípios de Baixio e Crato apresentavam taxa superior de efetividade a 10% da população na faixa etária de estar cursando sem atraso ou concluído o ensino médio. Em 2010, este percentual sobe para a faixa entre 30% e 40% da população, o que representa uma melhora na efetividade do ensino médio nestes municípios.

Já no ensino superior, os dados revelam que existe apenas uma pequena parcela da população em

idade de estar cursando ou já tê-lo concluído este nível. Dos 23 municípios, 22 apresentavam taxa de até 10% da população da correspondente faixa etária nestas condições.

---

**PARTE II**

**IMPACTO ECONÔMICO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL**

---



## 6 RELAÇÃO ENTRE MEIO AMBIENTE E ECONOMIA

A expansão da economia traduzida pelo aumento da produção de produtos e serviços tem sido analisada, historicamente, como um objetivo oposto à preservação ambiental, devido, sobretudo, à forma, tradicionalmente, empregada na retirada dos recursos naturais necessários à fabricação dos bens econômicos que, por consequência, provoca degradação ambiental pela produção de resíduos.

O processo de desenvolvimento socioeconômico tem incrementado a urbanização, a expansão da fronteira agrícola, a elevação da produtividade agrícola e a industrialização dos países. Estas questões são definidas como processos sociais e econômicos que estão em evidência em todas as sociedades e são caracterizados por pressionar o meio ambiente sob duas óticas: (a) quer pelo seu uso continuado e progressivo o que levará, certamente, à exaustão dos recursos naturais; ou, (b) quer pela poluição provocada pelos processos produtivos utilizados o que provocará a degradação da qualidade ambiental.

Entretanto, a preservação ambiental não deve ser entendida como uma questão antagônica ao desenvolvimento econômico. Já existem exemplos de modelos de sociedades no mundo que apoiam a ideia de ser possível discordar destas posições conflitantes ou, ao menos, atenuar a questão da perda de qualidade ambiental.

O princípio da sustentabilidade se constitui em um novo paradigma de modelo de desenvolvimento e se define como sendo um processo caracterizado em estabelecer condições de durabilidade ao longo do tempo e, que, para tanto, deve ser economicamente eficiente, socialmente justo, ambientalmente responsável, politicamente fundamentado na participação da sociedade, culturalmente difundido e apropriado, além de espacialmente equilibrado. Para o alcance desses grandes objetivos, este novo modelo deve incorporar as dimensões relacionadas com as questões geoambiental, econômico-social, histórico-cultural, científico-tecnológico, político-institucional e sócio-espacial. Portanto, o modelo da sustentabilidade abrange áreas muito além das questões ambientais e econômicas.

Em termos gerais, para que o modelo de

desenvolvimento sustentável possa estabelecer condições de durabilidade ao longo do tempo é importante que tenha como requisitos principais a busca pela:

- a) competitividade e viabilidade econômica;
- b) continuidade e permanência das ações;
- c) preocupação com os ecossistemas voltada para a conservação dos estoques de recursos naturais;
- d) solidariedade entre as gerações atuais e futuras, nos diferentes espaços.
- e) organização da sociedade e democratização das instituições;
- f) redução da pobreza e da desigualdade entre as unidades espaciais.

Pelo lado da preservação do meio ambiente, a necessidade de as sociedades incorporarem o processo de desenvolvimento baseado no princípio da sustentabilidade decorre, principalmente, do fato de que a continuada e progressiva perda dos recursos naturais e dos serviços ambientais, devido às formas de usos predatórios que vêm sendo, tradicionalmente, utilizadas se constitui em uma ameaça de destruição das condições ambientais essenciais à própria existência do ser humano.

Por outro lado, as atividades de produção econômica de uma sociedade são definidas como um subsistema que faz parte de um sistema mais amplo que é o meio ambiente. Assim, de acordo com Oliveira (2010), os economistas que analisam a economia do ponto de vista de um subsistema integrante de um sistema maior (sistema ambiental), fazem uso das leis da física termodinâmica para explicar relações possíveis entre estes dois sistemas. Portanto, segundo o referido autor, *“a economia (enquanto atividade produtiva) deve estar submetida a um sistema maior chamado ambiente, e não o contrário”*. Estes sistemas ao se interagirem nos momentos entre a extração dos recursos necessários para serem transformados e a devolução sob a forma de resíduos e rejeitos, estabelecem relações complexas de transformações de matéria e energia que a ciência física define como sendo de Entropia.

A Entropia é definida pela física termodinâmica como sendo uma medida de grandeza do nível de desordem ou de

transformação de um sistema. É caracterizada como sendo um processo irreversível e que quanto maior for o processo de desordem ocorrida em um sistema, maior será a sua Entropia. Desta forma, dada a possibilidade de se utilizar do conceito de Entropia em outras áreas de conhecimento, a questão que envolve, por exemplo, a degradação ambiental, resultante da interação entre economia x meio ambiente, nada mais é do que um processo de desordem do sistema natural ou de entropia.

Neste processo interativo, quando o sistema econômico extrai os recursos naturais do meio ambiente através de um processo de absorção de matéria e energia e devolve ao meio ambiente sob a forma de resíduos, este processo é conhecido como sendo de “baixa entropia” e quando descarta sob a forma de rejeitos este outro movimento é conhecido como sendo de “alta entropia” ou caracterizado como sendo aquele de maior desordem.

Em outras palavras, se o sistema é caracterizado como sendo de baixa entropia, então ele está em um nível elevado de organização, já se o sistema é de alta entropia, significa então que há muita desordem entre os constituintes deste sistema físico.

Na física termodinâmica existem duas leis que explicam cientificamente as relações que são estabelecidas entre dois sistemas físicos. A primeira lei da física termodinâmica é, essencialmente, a afirmação do princípio de conservação da energia para sistemas. Esta lei é expressa do seguinte modo: *“A variação de energia num sistema durante qualquer transformação é igual à quantidade de energia que o sistema troca com o ambiente”* (OLIVEIRA, 2010). Esta primeira lei não coloca limitações sobre as possibilidades de transformação de energia de uma forma para outra. Portanto, nesta lei *“a matéria e energia não podem ser criadas ou destruídas, somente transformadas”* (OLIVEIRA, 2010). Significa dizer também que tanto a matéria quanto à energia se transforma em outra através de variados processos e incorporando funções diferentes e que não podem desaparecer no universo. A existência desta primeira lei permite que se explique que o fundamento do progresso de toda sociedade decorre da existência da possibilidade ilimitada de transformação.

Entretanto a segunda lei da física

termodinâmica limita este processo de transformação uma vez que: *“é impossível uma transformação cujo resultado final seja transformar em trabalho todo o calor extraído de uma fonte”* (Braga, 2009). Desta forma esta lei indica que a Entropia cresce no universo (aumento da desordem, desorganização) na direção de alcançar um máximo, no sentido de que cresce a quantidade de energia que não é possível gerar trabalho em um determinado sistema.

No que se refere à matéria, um exemplo pode ser apresentado quando as plantas transformam os nutrientes dos solos em frutos, folhas, etc., que, por sua vez, ao se constituir em fontes de alimentos de outras espécies (herbívoros), estes materiais são metabolizados e se transformam em outras substâncias (proteínas animais). Quando um carnívoro se alimenta dos herbívoros, se alimentam dos tecidos animais dos mesmos, provocando um novo metabolismo no corpo do carnívoro. Quando os carnívoros morrem as bactérias transformam as matérias, outra vez, em nutrientes, água, CO<sub>2</sub> e sais minerais. Neste ciclo de transformação da matéria ocorre uma retroalimentação ficando o ecossistema equilibrado. No caso de se fazer um balanço de massa comparando todas as entradas com as saídas, o resultado será zero (Braga, 2009)

Entretanto, no caso da energia é diferente. Porque em cada etapa do processo existem saídas que são dispersas ou que se dissipa no universo e não volta para a vida *(a energia química das ligações de moléculas orgânicas é transformada em energia calorífica, dissipando-se o calor na atmosfera)* (Braga, 2009). De acordo com a segunda lei da física termodinâmica as transformações de energia se dão em direção às formas menos concentradas. Por exemplo, segundo o referido autor:

*“... Isto é observado na cadeia alimentar, em que os fenômenos da respiração bioquímica nas células e da decomposição microbiana levam a reações exoenergéticas, para disponibilizar a energia de movimento, seja para transporte da seiva nas plantas, seja para o andar dos animais. Depois de realizar trabalho, esta energia liberada desorganiza-se ainda mais, sob a forma de calor. Esta é a forma usual em que é dispersa na atmosfera.”*

Deste modo, é possível concluir que a vida é a busca permanente de reusar, reciclar a matéria e

dar valor a energia que ainda é capaz de realizar trabalho, procurando uma maneira que ocorra uma variação menor possível da energia interna no ecossistema.

Assim, o processo de crescimento econômico, ou em outros termos, a intensidade de expansão da economia, está em relação direta com a escala e dimensão dos impactos que são gerados.

Desta forma, a Entropia sendo um processo crescente é, praticamente, impossível que a espécie humana ao realizar processos produtivos baseado na utilização de recursos naturais não cause aumento irreversível da Entropia ou, em outras palavras, a perda crescente do estoque dos recursos naturais.

Por outro lado, de forma resumida pode-se indicar as principais fontes que causam a redução da qualidade dos principais recursos ambientais decorrente da ação antrópica motivada pela necessidade do desenvolvimento econômico. A seguir são apresentadas as fontes de recursos principais do meio ambiente e as principais formas de degradação existentes.

- **Água**

A degradação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos se concentram no (a):

- a) aumento do uso das águas superficiais e subterrâneas que altera o volume disponível do recurso além do retorno ao meio ambiente com qualidade alterada;
- b) realização de atividades produtivas (agricultura, indústria, comércio e serviços) e uso por parte das famílias que retorna sob a forma de águas residuais, esgotos e águas “corridas” sem tratamento;
- c) deposição de sedimentos nos meios hídricos pelo uso inadequado de solo nas áreas marginais dos corpos d’águas afetando sua qualidade e a disponibilidade do recurso.

Como principais agentes poluentes dos recursos hídricos podem ser citados:

- a) matérias orgânicas causando redução do oxigênio dissolvido na água, turbidez, concentração de coliformes e outros agentes patogênicos;
- b) matérias inorgânicas, como metais pesados, fenóis, componentes nitrogenados e fosfatados e outros poluentes químicos apresentando elevação da toxicidade e da

turbidez.

- **Ar Atmosférico**

A degradação do ar se concentra na perda da qualidade do ar pela existência de gases e materiais particulados causando mudanças climáticas e meteorológicas futuras, aparecimento de odores indesejáveis e afetando a saúde dos seres vivos.

Como principais agentes poluentes podem ser citados:

- a) emissões cumulativas de gases poluentes como metano, monóxido e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido e trióxido de enxofre, hidrocarbonetos, clorofluorcarbonos (CFCs), SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCL, NOX, entre outros gases e poluentes secundários;
- b) emissões de material particulado (fumos, poeiras e névoas).

- **Flora**

A degradação dos recursos da fauna se concentra na retirada da vegetação nativa visando sua venda como matéria-prima ou bem final com vistas a utilização do solo para assentamentos humanos, atividades agropecuárias e florestais, exploração mineral, construção de barragens, instalação e usinas hidroelétricas, entre outros fins gerando perda da biodiversidade e do equilíbrio ambiental.

- **Fauna**

A degradação dos recursos da fauna se concentra na redução dos *habitats* naturais, redução da disponibilidade do recurso gerando perda da biodiversidade e do equilíbrio animal.

- **Solo**

A degradação do recurso solo se concentra na sua utilização para instalação de atividades econômicas, sobretudo, agropecuárias e florestais provocando aumento da concentração de componentes químicos (fertilizantes), compactação pelo uso de máquinas, redução da camada de solo e perda da biodiversidade.



## 7 METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO

A metodologia do presente trabalho foi baseada no marco conceitual estabelecido pelo Banco Mundial<sup>2</sup> para os estudos de avaliação da degradação ambiental desenvolvidos entre 1999 e 2014 em vários países e que tem sido considerado como referência para o presente Projeto:

- Argélia (BIRD, 1999), Jordânia (BIRD, 2000), Síria (BIRD, 2001), Egito (BIRD, 2002), Marrocos (BIRD, 2004), Tunísia (BIRD, 2004), Irã (BIRD, 2005), Peru (BIRD, 2006), Gana (BIRD, 2007), China (BIRD, 2007), Colômbia (BIRD, 2007), Panamá (BIRD, 2008), Kosovo (BIRD, 2010), Líbano (BIRD, 2011), Índia (BIRD, 2014).

Os resultados obtidos nos diferentes estudos realizados pelo Banco Mundial estabelecem um marco de referência no âmbito internacional para comparação dos valores obtidos pelas bacias alvo do Projeto, permitindo a contextualização dos resultados apresentado no Capítulo de Conclusões do presente relatório.

Assim, o marco conceitual adotado pelo Banco Mundial e aplicado no presente estudo parte da hipótese que o valor econômico da degradação ambiental é a diferença entre o valor econômico produzido através do Produto Interno Bruto (PIB) atual das bacias hidrográficas (sob condições de degradação) e o valor do PIB das bacias em um Cenário de Desenvolvimento Sustentável (onde os recursos naturais estão sendo conservados, recuperados e geridos dentro dos princípios da sustentabilidade).

Para tanto, cabe salientar a relação dos principais problemas de ordem ambiental comuns às bacias hidrográficas brasileiras, indicados a seguir:

- monitoramento ambiental insuficiente;
- ausência de articulação institucional e intergovernamental;
- conflitos pelo uso da água;
- desmatamento;
- poluição da água e ausência de saneamento;
- sistemas inadequados de coleta, tratamento e destino de resíduos sólidos domiciliares, hospitalares, industriais e da construção civil;
- manejo inadequado do solo;
- redução da biodiversidade;
- erosão e assoreamento dos rios, e;

- escassez de água em termos de quantidade e/ou qualidade.

Para estes itens de análise, a contabilidade de custos é feita analisando a magnitude de cada elemento e estimando/avaliando um custo econômico unitário para cada um deles. O custo unitário é determinado em cada caso de acordo com metodologias específicas dependendo da literatura existente e das peculiaridades identificadas na região/local, e sempre que for possível com foco na literatura científica brasileira. Cumpre ressaltar que o exercício se faz em termos de valores médios e não marginais por conta da deficiência de informações de contabilidade ambiental existente na área de abrangência do estudo e, no Brasil, de forma geral.

Desta maneira, os elementos acima citados foram analisados e divididos em quatro grandes eixos de análise para avaliação da degradação ambiental:

- **contaminação das águas** - causada por sistemas ineficientes ou inexistentes de esgoto sanitário ou deposição inadequada de lixo;
- **degradação do solo** causada por técnicas agrícolas inadequadas, erosão, desertificação, falta de assistência técnica, desmatamento e degradação florestal;
- **degradação do ar** - impacto dos gases do efeito estufa no ambiente e dos contaminantes atmosféricos na saúde das pessoas; e
- **impactos diretos derivados dos desastres naturais** - desabrigados e óbitos e os impactos das secas extremas; os impactos indiretos não são contabilizados.

Existe uma variedade de técnicas de avaliação para cada impacto diferente. Isso é uma consequência do fato de que o ambiente pode ser uma fonte de bem-estar por diversas razões e para indivíduos diferentes.

O escopo para avaliação dos impactos considerados no presente estudo abrange três níveis de influência indicados a seguir:

- a) sobre a saúde das pessoas;
- b) sobre a perda de funções e de serviços ambientais e ecológicos; e;
- c) sobre as perdas nas atividades econômicas agrícolas.

<sup>2</sup> "Training Manual for Estimating Cost of Environmental Degradation" elaborado em 2005 (Bolt, Ruta, Sarraf, 2005).

### 7.1 Análise complementar do sobreconsumo humano e perdas de água no contexto da seca no Nordeste

Complementando esse enfoque, também são considerados em alguns casos, os custos necessários para o restabelecimento ou reposição dos serviços ambientais originais, por exemplo, para o restabelecimento das condições adequadas da qualidade dos recursos hídricos degradados. Esses resultados são apresentados nos capítulos 8 a 11 do presente relatório.

Além dos fatores de degradação ambiental, existem outros elementos que afetam a disponibilidade dos recursos hídricos em decorrência, especialmente, do rigor do clima nas áreas estudadas. De fato, em uma região com problemas de secas intensas e *déficits* hídricos como é o estado do Ceará, considera-se que é importante a quantificação dessas perdas e ineficiências que afetam a disponibilidade de um recurso básico como a água, a saber:

- a) quantidade de água doce perdida por causa do sobreconsumo humano (consumo excessivo) acima dos limites recomendados pelas Nações Unidas;
- b) ineficiência e deterioração das redes de abastecimento (aproximadamente 40% de perdas);
- c) perda de volume dos reservatórios por assoreamento (perda de 0,5% de capacidade anual por deposição de sedimentos).

Essa situação de impactos nos recursos hídricos não deriva da degradação ambiental, que é objeto do estudo, mas de características climatológicas locais. Por esse motivo não é quantificado o custo econômico dessas perdas, mas, a rigor, são quantificados os volumes totais perdidos ( $\text{hm}^3/\text{ano}$ ), considerando os *déficits* hídricos de cada bacia para manifestar a relevância das ineficiências existentes, a fim de propor recomendações para economizar o consumo desse recurso no futuro. Os Capítulos 12 e 13 deste relatório apresentam os volumes totais de água que poderiam ser economizados se a distribuição fosse otimizada e se as pessoas fossem sensibilizadas para realizar um consumo mais responsável.

A metodologia descrita busca contribuir com fatos e dados quantitativos ao fundamental debate sobre a importância de conviver com a seca através da melhoria da gestão, investimentos

para superação de problemas identificados e sensibilização da população.

A rigor, a quantificação dos impactos econômicos da seca tem uma outra abordagem. Não pode assemelhar-se ao valor da água perdida diariamente devido ao sobreconsumo ou perdas nas redes de abastecimento ou ainda ao volume de água perdido nas barragens. Para delimitar o impacto econômico dos sobreconsumos e das ineficiências no abastecimento da água em um contexto da seca (seca que é derivada do rigor climático, o que não abrange elementos da degradação ambiental), seria necessário estimar o volume total de demanda de água que não pode ser fornecido aos consumidores. Para ilustrar o tema, podem ser citados os seguintes exemplos:

- a demanda de água que não pode ser atendida a contento em períodos de restrições de fornecimento. Nesse caso, só devem ser consideradas as demandas não satisfeitas durante as horas do dia, quando não há fornecimento de água pelo sistema. Deve-se salientar que em um contexto de restrições, os consumidores tendem a reduzir o consumo domiciliar de forma responsável.
- impactos na agricultura. Nesse segmento, apenas devem ser contabilizados impactos derivados de mudanças na produtividade agrícola de terras irrigadas, em função da impossibilidade do fornecimento de água para agricultura decorrente de restrições.
- Impactos na indústria. É possível que o setor industrial re programe o consumo de água para atender sua produção, antecipando ou adiando os fornecimentos necessários para horários onde não haja restrições, considerando também, a capacidade de suas instalações para armazenagem de água.

Pelo exposto, o valor global da impossibilidade de fornecer água durante períodos de forte seca, estima-se que é sensivelmente menor que o valor econômico dos volumes totais de água, perdidos no sistema de abastecimento ou devido ao sobreconsumo humano. Significando, portanto, que tais impactos devam ser objeto de estudo, com uma abrangência diferente do presente trabalho ao abrigo do Projeto AIEDA.

Finalmente, além dos elementos de degradação ambiental, existem outros elementos que afetam a disposição dos recursos hídricos. Em uma região com problemas de secas intensas e

déficits hídricos como o estado do Ceará, considerar-se que é importante a quantificação dessas perdas e ineficiências que afetam a disponibilidade de um recurso básico como a água, ainda considerando que esses impactos não derivam da degradação ambiental:

- a) quantidade de água doce perdida por causa do sobreconsumo humano (acima dos limites recomendados pelas Nações Unidas);
- b) ineficiência e deterioração das redes de abastecimento (aproximadamente 40% de perdas);
- c) perda de volume dos reservatórios por assoreamento (perda de 0,5% de capacidade anual por deposição de sedimentos).

Por esse motivo, para a determinação das perdas de água, não é quantificado o custo destas perdas. Mas são quantificados os volumes totais perdidos (hm<sup>3</sup>/ano) e contrastados com os déficits hídricos de cada bacia. Esses resultados são apresentados nos capítulos 6 e 7 do presente relatório, incluindo os resultados e recomendações para economizar no consumo desse recurso.

## **7.2 Principais impactos identificados na fase de diagnóstico**

De acordo com o Banco Mundial<sup>3</sup>, uma alternativa para elaborar uma Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) eficaz é centrar-se nos impactos, isso é, em uma abordagem de AAE focada na determinação dos impactos físicos e humanos de um plano ou de um conjunto de ações. Os impactos físicos incluem projetos de infraestrutura e mudança de uso da terra. Os impactos humanos incluem a promoção do crescimento econômico, da saúde e segurança.

Um componente crítico de uma avaliação ambiental é analisar adequadamente o ambiente para gerenciar de forma otimizada o crescimento a uma taxa sustentável, conservando os recursos naturais, ao mesmo tempo em que gera emprego e renda. Para tanto, são apresentados nas Tabelas 2 e 3 a seguir os impactos identificados para cada bacia com foco nos itens de avaliação indicados para o marco conceitual do projeto:

- contaminação das águas;
- degradação do solo;

- poluição do ar;
- impactos diretos derivados dos desastres naturais.

---

<sup>3</sup> World Bank (2012); *Strategic Environmental Assessment. Guidance Notes on Tools for Pollution Management*, parte da publicação "Getting to Green—A Sourcebook of Pollution Management. Policy Tools for Growth and Competitiveness".

Tabela 2 - Avaliação da degradação ambiental: critérios de qualidade ambiental

Critério	Bacia hidrográfica da RMF			Bacia hidrográfica do rio Acaraú			Bacia hidrográfica do rio Salgado		
	Estimativa da magnitude dos impactos potenciais		Descrição dos impactos	Estimativa da magnitude dos impactos potenciais		Descrição dos impactos	Estimativa da magnitude dos impactos potenciais		Descrição dos impactos
	Sobre a saúde	Sobre o ambiente		Sobre a saúde	Sobre o ambiente		Sobre a saúde	Sobre o ambiente	
Poluição do ar: (MP, NOx...) e emissões dos GEE (CO <sub>2</sub> , ...)	ALTO	ALTO	- Impacto relativo devido às emissões provocadas por dióxido de carbono proveniente de chaminés industriais e veículos movidos a combustíveis fósseis; - Emissões de partículas provenientes da queima de combustíveis fósseis com impactos significativos na saúde humana.	ALTO	ALTO	- Impacto das emissões provocadas por queimadas e frota de veículos.	ALTO	ALTO	- Impacto das emissões provocadas por queimadas - Concentrações preocupantes de metano observadas em lixões, pois não existe nos municípios sistema de tratamento do biogás e o mesmo é emitido livremente para a atmosfera. Em certos períodos, em alguns aterros e lixões são realizados cobertura do lixo com solo, porém, sem instalação de drenos de gás, aumentando o risco de deslizamento da massa de lixo pela formação de bolsões de biogás e possibilidade de pequenas explosões, frequentes focos de incêndio.
Degradação do solo: Contaminação das terras. Acumulação de resíduos.	ALTO	MUITO ALTO	- O principal impacto dos lixões ocorre sobre as águas subterrâneas, de difícil recuperação. - Ocorre nitrificação acelerada de mananciais subterrâneos.	ALTO	MUITO ALTO	- O principal impacto dos lixões ocorre sobre as águas subterrâneas, de difícil recuperação. - Ocorre nitrificação acelerada de mananciais subterrâneos.	ALTO	MUITO ALTO	- O principal impacto dos lixões ocorre sobre as águas subterrâneas, com nitrificação acelerada dos seus mananciais (difícil recuperação). - A criação de gado é feita de forma extensiva e não leva em consideração a fragilidade da Caatinga, principal ecossistema da região, utilizando-se de métodos ambientalmente degradantes para sua expansão e reprodução. - Na chapada do Araripe desenvolve-se a pecuária extensiva. Nas suas encostas semiúmidas, a policultura de feijão, milho e algodão. Nos brejos úmidos a cana-de-açúcar e o arroz. - As agroindústrias instaladas em Juazeiro na década de 70 estão com capacidade ociosa, dada a decadência do setor algodoeiro.
Contaminação das águas: Fontes de água degradadas e não regularizadas.	MUITO ALTO	MUITO ALTO	- O principal problema é o da eutrofização de reservatórios	MUITO ALTO	MUITO ALTO	- O principal problema é o da eutrofização de reservatórios	MUITO ALTO	MUITO ALTO	- O principal problema é o da eutrofização de reservatórios
Degradação da herança cultural e do patrimônio.	BAIXO	MÉDIO		BAIXO	MÉDIO		BAIXO	MÉDIO	
Perda de atratividade da paisagem	BAIXO	MÉDIO		BAIXO	MÉDIO		BAIXO	MÉDIO	

• Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

Tabela 3 - Avaliação da degradação ambiental: critérios de disponibilidade de recursos naturais

Critérios	Bacia hidrográfica da RMF			Bacia hidrográfica do rio Acaraú			Bacia hidrográfica do rio Salgado		
	Estimativa da magnitude dos Impactos potenciais		Descrição dos impactos	Estimativa da magnitude dos Impactos Potenciais		Descrição dos impactos	Estimativa da magnitude dos Impactos Potenciais		Descrição dos impactos
	Sobre a saúde	Sobre o ambiente		Sobre a saúde	Sobre o ambiente		Sobre a saúde	Sobre o ambiente	
Biodiversidade, fauna e floresta.: Condição e extensão de áreas naturais valiosas. Degradação do ecossistema. Fragmentação do habitat. Escassez de alimentos.	MÉDIO	ALTO	- Degradação dos ecossistemas naturais, perda de biodiversidade e redução da qualidade ambiental das áreas urbanizadas.	MÉDIO	ALTO	- Erosão dos solos; - Diminuição da produtividade agrícola; - Maior escoamento superficial; - Destruição da flora e da fauna; - Modificações microclimáticas; - Salinização dos solos; - Assoreamento dos rios; - Poluição dos recursos hídricos; - Eventos climáticos extremos como cheias e secas mais intensos	MÉDIO	ALTO	- Perda da biodiversidade; - Degradação florestal; - Poluição dos recursos hídricos; - Eventos climáticos extremos como cheias e secas mais intensos.
Alteração do uso da terra: Erosão do solo.	MÉDIO	MUITO ALTO	- Os principais processos erosivos ocorrem como consequência das intervenções para urbanização, construção de estradas e outros equipamentos.	MÉDIO	MUITO ALTO	- Os principais processos erosivos ocorrem como consequência dos processos produtivos para agricultura e pecuária.  - Problemas de extrativismo de lenha para produção de carvão	MÉDIO	MUITO ALTO	- Os principais processos erosivos ocorrem como consequência da atividade de mineração, uso do solo inadequado, ocupando áreas ambientalmente frágeis com agricultura temporária. - Intensa prática de manejo agrícola que contempla corte e queima de vegetação secundária. - Um dos principais vetores de degradação das terras na região é o desmatamento para consumo de lenha e plantio de mandioca
Disponibilidade de água.: Escassez de água doce.	MUITO ALTO	MUITO ALTO	- Principal problema ambiental do Ceará. - O balanço hídrico é deficitário e exige importação de águas, via transposição do rio São Francisco.	MUITO ALTO	MUITO ALTO	- Principal problema ambiental do Ceará. - O balanço hídrico é deficitário e exige importação de águas, via transposição do Rio São Francisco.	MUITO ALTO	MUITO ALTO	- Principal problema ambiental do Ceará. - O balanço hídrico é deficitário e exige importação de águas, via transposição do Rio São Francisco.
Eficiência energética:	BAIXO	ALTO		BAIXO	ALTO		BAIXO	ALTO	
Gestão de resíduos: reciclagem de materiais secundários	BAIXO	MÉDIO	- Menor ocorrência nos centros urbanos. - Diagnóstico aponta para média ocorrência nos municípios de menor densidade (ver Tab. 19 do Diagnóstico Ambiental)	BAIXO	MÉDIO	- Baixo atendimento em áreas urbanas. - Médio impacto nas zonas urbanas. há cobertura mediana dos serviços	BAIXO	MÉDIO	

• Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

Continua ...

... Continuação

Tabela 3 - Avaliação da degradação ambiental: critérios de disponibilidade de recursos naturais

Critérios	Bacia hidrográfica da RMF			Bacia hidrográfica do rio Acaraú			Bacia hidrográfica do rio Salgado		
	Estimativa da magnitude dos Impactos potenciais		Descrição dos impactos	Estimativa da magnitude dos Impactos Potenciais		Descrição dos impactos	Estimativa da magnitude dos Impactos Potenciais		Descrição dos impactos
	Sobre a saúde	Sobre o ambiente		Sobre a saúde	Sobre o ambiente		Sobre a saúde	Sobre o ambiente	
Seca	MUITO ALTO	MUITO ALTO	- Consultar a linha relativa à disponibilidade de água. - Escassez de água doce.	MÉDIO	ALTO	- Consultar a linha relativa à disponibilidade de água. - Escassez de água doce.	MÉDIO	ALTO	- Consultar a linha relativa à disponibilidade de água. - Escassez de água doce.
Inundações	ALTO	ALTO	- Inundações urbanas na RMF podem ser consideradas um problema em aberto. - Queda de barreiras e deslizamento de solos também ocorre com certa frequência. _ Recentemente foi construída uma barragem para controlar cheias (Maranguapinho)	MÉDIO	MUITO ALTO	_A cidade de Sobral sofre inundações urbanas na margem direita do rio Acaraú. _Cheias pouco frequentes.	MÉDIO	MUITO ALTO	- As cidades de Juazeiro do Norte e Crato sofrem inundações urbanas frequentes.
Fogo	MÉDIO	ALTO	- Redução nos focos de calor durante os anos 2000 a 2009, porém ainda significativo, na Região Metropolitana de Fortaleza.	MUITO ALTO	MUITO ALTO		MUITO ALTO	MUITO ALTO	-Redução nos focos de calor durante os anos 2000 a 2009, porém ainda significativo, bacia hidrográfica do rio Salgado.

• Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

## 8 CUSTO DA DEGRADAÇÃO DO AR

Este capítulo tem como finalidade analisar os impactos econômicos da poluição atmosférica, gerada por particulados, tendo como principais focos a saúde da população e os efeitos sobre as mudanças climáticas.

### 8.1 Efeitos da poluição do ar sobre a saúde

#### 8.1.1 Motivação e justificativa da relevância

Os efeitos sobre a saúde relacionados com a exposição à poluição atmosférica têm sido foco de estudos epidemiológicos em todo o mundo e, de modo geral, os resultados indicam associação entre essa exposição e a mortalidade e morbidade por diferentes causas, com destaque para as doenças cardiovasculares e respiratórias. As emissões atmosféricas que contaminam o ar impactam diretamente na qualidade do ar local, regional e global, afetando a saúde pública. Em 2012, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou em cerca de sete milhões de mortes no mundo decorrentes da poluição do ar, a partir de fontes urbanas e rurais. Um foco principal de material particulado é o tráfego viário.

O controle da poluição por fontes móveis no Brasil iniciou-se com o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) em 1986. A partir de 1995, foi estabelecido o controle da emissão de gases poluentes pelo escapamento de veículos. A diminuição das emissões de material particulado é integrada nas políticas urbanas das principais cidades do mundo como uma linha de trabalho estratégica para a melhoria do ambiente urbano, com ações tais como a limitação das emissões geradas pelos veículos, por meio da renovação da frota de veículos (o que diminui a idade média da frota), favorecendo veículos menos contaminantes (benefícios fiscais para veículos elétricos, híbridos) ou pelo uso de equipamentos ou combustíveis menos poluentes ou estimulando o uso do transporte público coletivo ou construindo espaços para pedestres e ciclistas (no marco dos planos de mobilidade sustentável). Henschel et al. (2012) analisaram 28 estudos que demonstravam que intervenções governamentais para a redução da poluição atmosférica possuem benefício direto na qualidade do ar e nos efeitos para a saúde, reduzindo a mortalidade e a morbidade cardiorrespiratória.

A literatura sobre o impacto das emissões de material particulado na saúde das pessoas ainda está sendo ampliada, mas sem consenso sobre a magnitude precisa total destes impactos; tal acordo possui um custo muito alto além da dificuldade na sua determinação (HEI, 2013). De acordo com a *U.S Environmental Protection Agency*, o impacto do material particulado sobre a saúde tem custos públicos e privados diretos, como a perda de produtividade (dias de trabalho perdidos), despesas médicas por doenças (tratamentos, exames e medicamentos), ou ainda perda de capital humano por morte prematura (capacidade de trabalho no largo da vida das pessoas). O manual de custos externos de transporte da União Europeia (RICARDO-AEA, 2014) revisa os impactos sobre a saúde associados ao MP na literatura especializada. Os estudos CAFE CBA (2005) e HEATCO (2006) avaliam os danos à saúde ligados à exposição à MP e ao ozônio, incluindo novos casos de bronquite crônica, internações respiratórias e cardíacas, dias de atividade restrito e dias de sintomas respiratórios mais baixos.

Miraglia e Gouveia (2014) avaliaram para o Brasil o impacto econômico global de eventos de saúde associados com a poluição do ar nas principais regiões metropolitanas da Federação. Esses autores estimaram a mortalidade atribuível às concentrações de MP em 29 regiões Metropolitanas em 20.050 óbitos. Os custos associados a essa mortalidade foram calculados por meio da metodologia DALY (*Disability Adjusted Life Years*) onde se contabiliza o custo de oportunidade derivado de um óbito por quanto a pessoa que morreu não vai poder produzir riqueza para a sociedade através do seu trabalho, concretamente, durante os anos referentes ao intervalo entre o momento da sua morte e a idade esperada para aposentar.

O custo das mortes prematuras no Brasil resultou, de acordo com esse estudo, em US\$ 1,7 bilhões anualmente. A tradução de perdas em saúde pública para valores econômicos serviu para comparar com o orçamento de gastos do Ministério da Saúde e evidenciar as prioridades na tomada de decisão de políticas públicas.

O problema do material particulado é

especialmente relevante nas grandes aglomerações urbanas. O impacto global depende tanto da quantidade de emissões liberadas na atmosfera como da quantidade de pessoas expostas a essas emissões (imissão). Nas grandes áreas metropolitanas, as emissões são especialmente importantes por causa do tráfego viário (magnitude da mobilidade quotidiana, distâncias percorridas e congestionamento), mas, também, a emissão por causa das altas densidades do povoamento. Em áreas com baixa densidade, áreas rurais, ou eixos de transporte intermunicipal o material particulado se dispersa e deposita como menor afetação sobre a saúde humana (baixa emissão).

Na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, as medidas de concentrações de partículas totais em suspensão (feitas em Fortaleza pela SEMACE até o ano de 2001) mostraram que a qualidade do ar foi sistematicamente REGULAR, com tendência de aumento na sua concentração, o que, provavelmente, nos dias atuais já devem apontar para um quadro de qualidade do ar INADEQUADA. Dada a impossibilidade de se analisar as concentrações de Partículas Totais em Suspensões (PTS) a partir de 2002, é recomendável e importante que se retomem, ampliem e deem continuidade às medidas de concentrações desse poluente, no sentido de se verificar o estado real da qualidade do ar na RMF. É importante considerar que, mesmo abaixo dos níveis tolerados, as concentrações dos poluentes atmosféricos têm um grande poder de contribuir para o agravamento de doenças cardiorrespiratórias e de muitos outros problemas relacionados às questões ambientais.

Acontece, em menor impacto, a queima do lixo em pequenos focos e de forma generalizada, envolvendo praticamente todos os aterros e lixões das bacias em estudo. Esta prática ocorre espontaneamente (nos meses de setembro a dezembro). Mas, também, ocorre queima intencional promovida pelos catadores, como forma de facilitar, posteriormente, a retirada de metais. A poluição do ar pela fumaça da queima do lixo atinge os moradores do entorno e de pequenas propriedades rurais da região, conforme relato dos mesmos. Na queima descontrolada do lixo ocorre a liberação para o ar de várias substâncias perigosas como dioxinas e furanos.

### 8.1.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

O problema das emissões de material particulado é especialmente relevante para as áreas fortemente povoadas, porque tanto os níveis de emissões quanto os efeitos provocados são mais importantes. Por este motivo, a presente avaliação considera só os núcleos urbanos com povoamento acima de 30.000 habitantes.

Para a estimativa do custo dos impactos do material particulado sobre a saúde das pessoas nas três bacias hidrográficas estudadas, partiu-se de dois estudos anteriores realizados pelo Estado de São Paulo em relação a emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e do estudo de Miraglia e Gouveia (2014) em relação as 29 maiores regiões metropolitanas do Brasil.

Na RMSP, com uma população de 20,4 milhões de pessoas e uma frota de 7,4 milhões de veículos (taxa de motorização de 361 veículos/1.000 habitantes), os trabalhos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo mostraram que em 2015 o volume total de emissões resultante foi de 1.529 toneladas de MP anualmente, isso é, 0,207 quilograma de MP por veículo por ano.

Em realidade seria necessário estabelecer uma relação de toneladas de MP por veículo e quilômetro circulado (total km anuais) para um valor aproximado mais preciso, mas, infelizmente, esse dado não é disponível. Portanto, em razão da falta de dados mais desagregados, o uso de uma relação de MP por veículo/ano implica na hipótese de que, em média:

- a) a composição da frota de veículos da RMSP (antiguidade dos veículos, repartição por tipo de combustível utilizado) é semelhante à outras regiões metropolitanas; e
- b) que um veículo na RMSP percorre anualmente uma distância média semelhante a um veículo de uma outra região metropolitana do Brasil.

Essa hipótese pode ser razoavelmente possível para ser utilizada em uma região metropolitana como a RMF, que é o principal foco de emissões e imissão do Estado de Ceará. Para outros municípios menores em povoamento e em extensão, o uso da relação de MP por veículo e ano poderá estar super estimado. Mas a ordem de magnitude dessa estimativa é, significativamente,

menor que o volume total de MP estimado para Fortaleza, o que limita a abrangência do possível erro cometido.

Para a estimativa do custo dos impactos causados pela emissão de uma tonelada de MP, parte-se da fonte Miraglia e Gouveia (2014), que estimaram o custo do impacto do MP sobre a saúde das pessoas em US\$ 1.708 milhões no total de 29 regiões metropolitanas da Federação. A partir deste valor, estima-se um custo médio de R\$ 470.000,00 por tonelada de MP.

Em síntese, as seguintes hipóteses são estabelecidas:

- O MP emitido no conjunto dos municípios da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza é assemelhado ao total das emissões da Região Metropolitana de Fortaleza, que tem 4,0 milhões de habitantes e uma taxa de motorização de 412 veículos/1.000 habitantes (IB-GE), resultando em 1,6 milhões veículos;
- o padrão de mobilidade na RMF é suficientemente semelhante ao padrão de mobilidade da RMSP: hipótese de emissões unitárias por veículo iguais entre as duas RMs (toneladas de MP emitidas por veículo/ano);
- o fator de emissão é de 0,207 quilograma de MP por veículo e por ano;
- o valor médio dos impactos causados pela emissão de uma tonelada de MP é de R\$ 470.000,00 por tonelada de MP;
- Considera-se impacto do MP significativo em núcleos urbanos com povoamento acima de 30.000 habitantes.

### 8.1.3. Resultados

A Tabela 4 a seguir mostra a valoração econômica anual dos impactos derivados da emissão de material particulado (MP).

**Tabela 4**  
**Impactos econômicos do material particulado (MP)**

Bacias hidrográficas	Custo do impacto (R\$ milhões/ano)	Custo do impacto/PIB da Bacia (%)
RMF	162,00	0,22
Rio Acaraú	8,00	0,11
Rio Salgado	9,00	0,12

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

### 8.1.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

O valor unitário dos custos do MP resultante dos estudos feitos no Brasil é de R\$ 470.000,00

por tonelada de MP. Este custo é, aproximadamente, 14.000 vezes maior que o custo da tonelada de CO<sub>2</sub>. Como referência, a relação entre o custo estabelecido para a tonelada de MP e a tonelada de CO<sub>2</sub> obtida dos valores de referência da metodologia da União Europeia (Manual dos Custos Externos do Transporte, UE 2014) é de, aproximadamente, 11.000. A metodologia da União Europeia estabelece um custo do MP de € 270.000,00 por tonelada em ambientes urbanos (mas só € 28.000,00 em áreas rurais), o que equivale aproximadamente a R\$ 1,0 milhão por tonelada.

O custo do MP, obtido do estudo Miraglia e Gouveia (2014), resulta da aplicação da metodologia da DALY, o qual estima quanto deixaram de produzir economicamente as pessoas que morreram antecipadamente por causa do MP. Esse custo é resultante do período que essas pessoas deixaram de trabalhar entre a idade da morte e a idade de aposentadoria, implicando uma perda no PIB. Esse custo é estimado a partir de dados sobre um número determinado de doenças no sistema sanitário público brasileiro.

Porém, trabalhos recentes do projeto NPACT nos EUA (inferidos com base na Conferência Anual de Materiais da HEI), bem como a publicação seminal de Bell (2012) concluem que é impossível fazer uma quantificação precisa dos MPs e os seus impactos com ferramentas e dados existentes na atualidade.

Milhares de atendimentos médicos são realizados pela rede pública de saúde nos municípios abrangidos pelas três bacias hidrográficas em análise, em virtude de doenças respiratórias, como pneumonia, bronquite e asma. Entre 2008 e 2013, mais de 1.200 óbitos ocorreram devido a infecções respiratórias, com maior índice de mortalidade provocado em localidades próximas a zonas industriais com alta concentração de queima de carvão e lenha. Poucas práticas são adotadas para amenizar a pressão sobre o meio ambiente, particularmente, a contaminação do ar e, por consequência, o risco a saúde humana, dentre elas o tamanho adequado das chaminés e o uso de filtros, bem como a doação ou a comercialização das cinzas resultante da queima para fins agrícolas.

## 8.2 Efeitos da poluição do ar sobre o clima

Neste Subcapítulo serão analisados os efeitos

da emissão de particulados sobre as mudanças climáticas, tomando-se como referências os estudos e dados nacionais e internacionais e seus efeitos sobre os PIBs.

### 8.2.1 Motivação e justificativa da relevância

Há forte evidência de que grande parte do aquecimento global é decorrente do aumento da concentração de Gases do Efeito Estufa (GEEs), principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O ano de 2015 foi histórico para a agenda de clima. Após 20 anos de negociações no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, um acordo global para o enfrentamento das mudanças climáticas foi adotado. O Acordo de Paris é um tratado de longo prazo, legalmente vinculante e que define objetivos globais, como o de limite de aumento de temperatura global e o de financiamento climático para apoiar os países em desenvolvimento. O Brasil anunciou em setembro de 2015 metas de redução absoluta de suas emissões para o novo acordo global.

Até 2015 o governo brasileiro havia produzido dois “Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Não Controlados pelo Protocolo de Montreal”: o Primeiro Inventário, lançado em 2004, apresentou informações sobre emissões brasileiras de gases de efeito estufa para os anos de 1990 e 1994; o Segundo Inventário, lançado em 2010, contém dados sobre emissões brasileiras para os anos de 1990, 1994, 2000 e 2005. Em abril de 2016, o governo entregou às Nações Unidas o Terceiro Inventário, com dados de 2010 e a revisão da série histórica desde 1990.

De acordo com o *International Panel on Climate Change - IPCC*, as emissões globais de GEEs, entre 1970 e 2004, cresceram 70%, sendo 24% desde 1990. As liberações de CO<sub>2</sub> – que configuraram 77% do total das liberações em 2004 - aumentaram 80% naquele período (28% desde 1990). A redução da intensidade do uso de energia pela economia internacional (-33%) não contrabalançou o crescimento do PIB (77%) e da população (69%), o que gerou um incremento de 145% das emissões resultantes do uso de combustíveis fósseis. Estima-se que em 2004 as emissões globais de CO<sub>2</sub> atingiram, aproximadamente, 32 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano.

Entre 1990 e 2014 as emissões brutas de

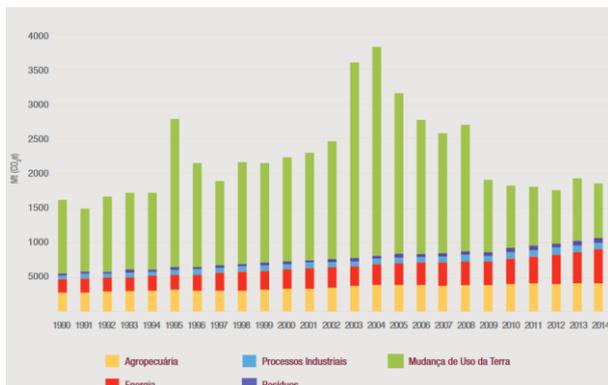
GEEs brasileiras passaram de 1,62 bilhão de toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO<sub>2</sub>e) para 1,85 Gt CO<sub>2</sub>e, um aumento de 14%. A trajetória das emissões, contudo, teve períodos distintos de crescimento e redução de emissões, superando 2,8 GtCO<sub>2</sub>e em 1995 e 3,8 GtCO<sub>2</sub>e em 2004 e caindo a menos da metade deste valor (1,76 GtCO<sub>2</sub>e) em 2012. Entre 2013 e 2014 houve uma queda de 3,8% das emissões.

Quando consideradas as remoções de CO<sub>2</sub> da atmosfera por alterações do uso da terra (p.ex. pastagem que vira floresta secundária) e por manutenção de florestas naturais em terras indígenas e unidades de conservação, por exemplo, observa-se que as emissões líquidas de GEE partiram de 1,39 GtCO<sub>2</sub>e em 1990 e chegaram a 1,32 GtCO<sub>2</sub>e em 2014, uma redução de 5% no período. O pico de emissões líquidas aconteceu em 1995, quando elas alcançaram 3,4 GtCO<sub>2</sub>e. Entre 2013 e 2014, a redução das emissões líquidas foi de 5,4%. O impacto derivado da mudança do uso da terra é avaliado separadamente no capítulo especificamente dedicado ao desmatamento.

Para restringir o aumento de temperatura a uma faixa entre 2°C a 3°C acima da temperatura da época pré-industrial, é fundamental solucionar o problema nas próximas duas décadas. O custo para evitar mudanças climáticas mais graves é estimado pelo IPCC em 0,12% do PIB global até 2030 e em até 2% do PIB mundial em 2050. Os prejuízos que podem ser causados à economia mundial em razão dos impactos das mudanças climáticas com o prosseguimento das tendências atuais foram estimados pelo *Stern Review* de 2007 numa faixa em torno de 10% do PIB mundial.

Figura 27

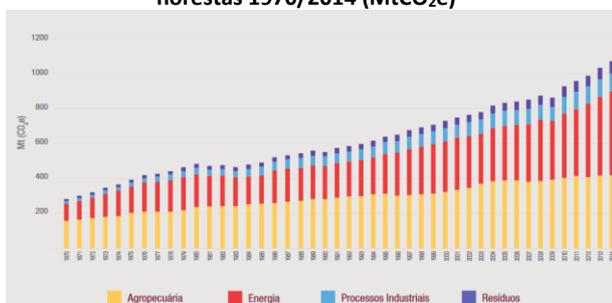
Evolução das emissões brutas e líquidas de GEE no Brasil 1990/2014 (MtCO<sub>2</sub>e), (incluídas também as emissões da mudança do uso do solo)



Fonte: SEEG e Observatório do Clima, 2016

Figura 28

Emissões de GEE no Brasil exceto mudança de uso do solo-florestas 1970/2014 (MtCO<sub>2</sub>e)



Fonte: SEEG e Observatório do Clima, 2016

### 8.2.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

Para o cálculo das emissões de GEE (CO<sub>2</sub>e) derivados das atividades econômicas foram estimados valores a partir dos coeficientes de intensidade de carbono setorizados e da importância relativa desses setores no âmbito municipal (indústria e serviços). Os impactos da agricultura e floresta serão considerados no Capítulo dedicado à degradação do solo. Foram utilizados dados do PIB municipal de 2013 (IBGE). Aplicaram-se valores de intensidade de carbono (quilos de CO<sub>2</sub> e derivados da criação de uma unidade de PIB) para cada setor da economia, calculado a partir das médias nacionais, ou seja, toneladas de CO<sub>2</sub> por setor a partir do relatório do IPCC et al “*Pathways to a Low-Carbon Economy Brasil*”, e SEEG - Observatório do Clima - Análise das emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o acordo de Paris”. O cálculo resultou em 0,07 kg CO<sub>2</sub>e/R\$ de VAB setor Serviços; e em 0,19 kg CO<sub>2</sub>e/R\$ de VAB setor Industrial.

Tabela 5

Valor Adicionado Bruto (VAB) e toneladas de CO<sub>2</sub>e derivadas das atividades econômicas

Especificação	RMF	Rio Acaraú	Rio Salgado
VAB Indústria	20.714.922	1.878.488	1.211.042
VAB serviços	50.093.481	4.090.066	5.803.444
TnCO <sub>2</sub> e	7.383.108	637.462	635.291

Fonte: IPECE

Em relação ao valor total do mercado de carbono, este cresceu em termos mundiais 11% em 2011, alcançando a cifra total das transações de US\$ 176 bilhões (para 10,3 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente), conforme o relatório “*State and Trends of the Carbon Market*”, publicado pelo Banco Mundial. A partir deste dado é possível estimar o preço médio de mercado do CO<sub>2</sub>. De acordo com os dados anteriores, a tonelada de carbono teria um custo de US\$ 17,09 (dólares de 2011). Isso é equivalente a R\$ 32,05 por tonelada para 2011, e atualizado para 2013 (ano de referência para o estudo) daria um total de R\$ 36,04 por tonelada.

Em síntese, os principais parâmetros utilizados foram:

- Preço de mercado do carbono: R\$ 36,04/toneladas de CO<sub>2</sub>;
- Intensidade de Carbono: 0,19 kg CO<sub>2</sub>e/R\$ de VAB setor indústria; 0,07 kg CO<sub>2</sub>e/R\$ de VAB setor Serviços;
- Toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas: 7,4 milhões de toneladas CO<sub>2</sub>e na bacia da RMF; 0,64 milhões de toneladas CO<sub>2</sub>e na bacia do rio Acaraú; 0,63 milhões de toneladas CO<sub>2</sub>e na bacia do rio Salgado.

### 8.2.3 Resultados

A Tabela 6 a seguir indica a valoração econômica anual dos impactos derivados das emissões de GEE.

Tabela 6

Custo dos Impactos econômicos dos gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>)

Bacias hidrográficas	Custo do impacto	
	Em R\$ milhões/ano	Em relação ao PIB da Bacia (%)
RMF	266,00	0,37
Rio Acaraú	23,00	0,34
Rio Salgado	23,00	0,29

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

#### 8.2.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

Adotando um enfoque conservador na valoração da degradação ambiental, tomou-se o valor do preço de mercado da tonelada de CO<sub>2</sub>, estabelecido em R\$ 36,04/tnCO<sub>2</sub>e.

O valor de mercado é obtido a partir do conceito de crédito de carbono, que é um certificado eletrônico emitido quando há diminuição de emissão de gases que provocam o efeito estufa, equivalendo a uma tonelada de CO<sub>2</sub> que deixou de ser emitida para a atmosfera. Empresas e países que conseguem diminuir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) obtêm esses créditos, podendo vendê-los nos mercados financeiros. Os créditos de carbono são considerados mercadorias negociadas com preços estabelecidos pelo mercado internacional.

Entretanto, estudos científicos indicam que o valor social das emissões de CO<sub>2</sub> pode ser muito superior caso seja considerado os impactos diretos e indiretos que a mudança climática pode ter no território e nos cidadãos (p.e., por incremento das ocorrências de secas, inundações, subida do nível dos oceanos, entre outros). A Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos (US EPA) propõe um valor social do CO<sub>2</sub> (SC-CO<sub>2</sub>) para 2015 de US\$ 36.00 (aprox. R\$ 140,00 ajustado a partir do fator de PPP, aprox. R\$ 76,00). Ainda, um estudo de 2012 da CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos) apontava um valor social do CO<sub>2</sub> de 155,71 R\$/t.

Além destas hipóteses alternativas, o impacto ambiental das emissões de CO<sub>2</sub> poderia ser de uma ordem até quatro vezes maior que o estimado na base deste estudo. Concretamente, poderia representar um impacto econômico de 0,72% do PIB das bacias de acordo com valor de referência de US EPA, ou 1,47% do PIB de acordo com valor de referência da CPTM.

Mesmo porque o SC-CO<sub>2</sub> pretende ser uma estimativa abrangente dos danos causados pelas alterações climáticas e inclui alterações na produtividade agrícola líquida, na saúde humana, nos danos materiais causados pelo aumento do risco de inundação e nas alterações dos custos do sistema energético derivados de mudanças nos padrões de climatização de prédios. A consideração dos custos sociais do CO<sub>2</sub> pode introduzir conta-

gens duplas com outras análises feitas neste relatório.

Indicações de que o clima está mudando tem levado cientistas a estudar os extremos de tempo e clima. Neste contexto, uma análise das tendências de seis índices de precipitação anual para o Estado do Ceará, evidencia resultados para os índices de Dias Consecutivos Secos (DCS) e Dias Consecutivos Úmidos (DCU). Os dados disponíveis evidenciam que ocorreram mudanças locais na precipitação. Os índices de Precipitação Total Anual dos Dias Úmidos (PRCPTOT), Número de Dias com Precipitação Superior a 50 mm (R50mm), Dias Muito Úmidos (R95p) e Quantidade Máxima de Precipitação em Cinco Dias (Rx5day) evidenciaram aumento em todas as localidades que apresentam significância estatística.

Com base nesses resultados gerais, tem-se uma ideia de que houve um aumento nas condições de umidade sobre o estado do Ceará. Analisando a distribuição espacial dos índices pode-se observar que o aumento de umidade se deu predominantemente sobre a região Norte do Estado. Entretanto, o índice PRCPTOT identificou também aumento na região Sul do Ceará.

Finalmente, não se pode afirmar categoricamente, que as tendências observadas tenham ocorrido devido às mudanças globais do clima, mas a um somatório de fatores prováveis, tais como: desmatamento, mau uso do solo, entre outros. Também não é possível concluir que as tendências observadas estão mais ligadas às variações climáticas locais do que às globais, mas sim a uma soma destes fatores.

## 9 CUSTO DA DEGRADAÇÃO DAS ÁGUAS E DA DEFICIÊNCIA DA COLETA DO ESGOTO SANITÁRIO

Neste Capítulo serão abordados e analisados os impactos da degradação dos recursos hídricos, identificando aqueles relacionados ao desabastecimento em função dos *déficits* de cobertura das redes de abastecimento de água, dos *déficits* nos sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários e da inadequabilidade dos sistemas de coleta, transporte e tratamento de resíduos sobre a produção de riqueza.

### 9.1 *Déficits* de cobertura das redes de abastecimento de água potável

#### 9.1.1 Motivação e justificativa da relevância

A água é um bem público indispensável para a vida e sua importância para a saúde pública é largamente reconhecida; porém, mais de um bilhão de pessoas em todo o mundo não têm acesso à água tratada, entre as quais 19 milhões residem no Brasil. A água para abastecimento humano se destina às necessidades de alimentação (bebida e cozinha) e às necessidades variadas relacionadas à higiene pessoal e doméstica.

O desenvolvimento urbano envolveu o aumento da demanda de água, ao mesmo tempo em que incrementou em muitos casos o nível de degradação dos mananciais urbanos por contaminação dos resíduos domésticos, agrícolas e industriais. Fatores relacionados às condições de vida da população e condições ambientais precárias estão identificados na literatura como os maiores obstáculos para o controle de doenças e epidemias.

De modo ilustrativo, um estudo do ano 2000 sobre o surto de cólera no Brasil nos anos 1990 (importado da Indonésia através do Peru) identificava as condições ambientais precárias, o abastecimento de água insuficiente e os sistemas de esgoto inadequados como facilitadores da transmissão da epidemia. A evolução geográfica e a instalação da epidemia em determinados locais mostraram que a mesma seguia o curso da pobreza e da ausência de saneamento básico. O estudo apontava que a epidemia não conseguiu se disseminar em locais com boa infraestrutura em termos de saneamento básico, particularmente no que tange ao fornecimento de água potável de

qualidade e em quantidades adequadas (GEROLOMO; PENNA, 2000).

A contaminação das águas tem uma componente significativa resultante de ações antrópicas, como a disposição inadequada de resíduos sólidos e de esgotos urbanos e industriais, o uso de fertilizantes e praguicidas na agricultura e contaminação por resíduos da aquicultura.

Na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza em estudo, os principais problemas ambientais encontrados são precisamente de origem antrópica. No caso dos poços localizados no cristalino, percebem-se altas concentrações de cloretos. Um estudo realizado na década de 90 identificou também altas concentrações de íons ferro principalmente na orla costeira da grande Fortaleza e na costa da Abreulândia (CAVALCANTE, 1998). Este mesmo estudo, também revelou a contaminação bacteriológica das águas, principalmente nos poços com níveis estáticos inferiores a 15 metros, apontando assim uma fragilidade dos aquíferos da Região Metropolitana de Fortaleza face às atividades antrópicas. A última campanha (2016) de monitoramento das águas aponta um estado de qualidade da água degradável de todos os reservatórios da bacia possuindo altos níveis de eutrofização. Porém, as águas localizadas nos sistemas Dunas/Paleodunas e Barreiras da Região Metropolitana de Fortaleza são normalmente águas com boa qualidade físico-química, sendo exceção na costa do município de Fortaleza e na orla da Abreulândia (COGERH, 2010). Os problemas de baixa pressão nas redes de abastecimento ocasionam falta d'água em algumas regiões da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza e os sistemas necessitam de ampliação em determinados locais para atender as demandas atuais e futuras.

Os principais problemas ambientais encontrados na bacia hidrográfica do rio Acaraú são também de origem antrópica. Com relação às águas subterrâneas localizadas no domínio Cristalino, apenas os municípios de Forquilha, Graça, Hidrolândia, Ipu, Pacujá e Varjota possuem águas subterrâneas com qualidade para consumo humano sem tratamento preliminar. No caso das águas no Domínio Hidro Geológico Poroso, os

municípios que não possuíam águas subterrâneas adequadas para o consumo humano sem tratamento são Bela Cruz, Cruz, Marco e Santa Quitéria. Uma das principais causas do declínio da qualidade da água dos reservatórios é a eutrofização, desencadeada, principalmente, pelas contribuições de nutrientes provocadas pelas atividades antrópicas que atuam ao longo de toda a bacia hidrográfica. A última campanha (2016) de monitoramento das águas apontou um estado de qualidade da água preocupante já que todos os reservatórios da bacia possuíam alto nível de eutrofização.

Os principais problemas ambientais encontrados na bacia hidrográfica do rio Salgado são também de origem antrópica. A última campanha de monitoramento das águas apontou um estado de qualidade da água preocupante: com exceção do reservatório Thomas Osterne, todos os outros reservatórios da bacia possuíam alto nível de eutrofização. Nota-se que há uma tendência na qualidade das águas dos três maiores reservatórios da Bacia com a melhora da qualidade coincidente com a estação chuvosa. Porém, os poços analisados na bacia mostraram que há uma boa qualidade das águas subterrâneas.

Em todo caso, o consumo de águas de fontes não regularizadas tem associado um risco de consumo de águas contaminadas (quer seja, eventualmente, momentaneamente ou permanentemente). Atualmente, cerca de 300.000 pessoas na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza (7% do total) moram em imóveis sem ligação com as redes de abastecimento; na bacia hidrográfica do rio Acaraú são 221.000 pessoas (27% da população) e na bacia hidrográfica do rio Salgado são 213.000 pessoas (22% da população). Uma síntese relativa ao número de pessoas sem ligação de água domiciliar por município é visualizada na Tabela 7 a seguir.

Existe certo número de pessoas que consomem água de outras origens que não da rede de abastecimento (por exemplo, poços e chafarizes não normalizados) e, obviamente, nem todas estão consumindo águas contaminadas. Entretanto, ao mesmo tempo em que as condições sanitárias dessas águas não podem ser garantidas, também, não pode ser dito que é um risco potencial para a saúde.

**Tabela 7**

**Número de pessoas sem ligação às redes de abastecimento de água regularizadas**

Especificação	RMF	Rio Acaraú	Rio Salgado
Número de pessoas	299.629	221.976	213.017
% em relação pop. total	7,0	27,0	22,0

Fonte: IPECE, IBGE, Censo 2010

### 9.1.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

A metodologia aplicada neste estudo consiste em avaliar o custo de reposição do ativo degradado, neste caso, a ausência de água potável. Este objetivo incorpora a ideia que o custo da oferta de água (potabilização e transporte) é equivalente no mínimo ao valor social desta água para as pessoas, porque elas estão dispostas a pagar esse valor pelo ativo. Se o valor social da potabilização de água for menor, a água não seria tratada ou seria tratada por meios mais precários.

Para a determinação do número de pessoas sem ligação às redes de abastecimento, foram utilizados os dados do Censo 2010, levantados pelo IBGE. Concretamente, as pessoas sem acesso à água representam 7% da população da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 27% da bacia hidrográfica do rio Acaraú e 22% da bacia hidrográfica do rio Salgado. Isso representava, em 2010, aproximadamente, 300.000 pessoas na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 222.000 pessoas na bacia hidrográfica do rio Acaraú; e 213.000 pessoas na bacia hidrográfica do rio Salgado (vide Tabela 7).

O valor estabelecido para o m<sup>3</sup> de água referente à tarifa de comercialização no estado de Ceará foi de R\$ 3,16 por m<sup>3</sup>. Este valor foi obtido a partir da estrutura tarifária determinada pela CA-GECE (Tabela 8) e considerando um consumo de água médio por pessoa no Ceará de 0,1479 m<sup>3</sup>/dia/hab. (ACQUATOOL CONSULTORIA, 2016). Também foi considerado um tamanho médio das famílias de 3,85 pessoas/família (obtido da média dos dados de famílias e população de acordo com o IPECE).

**Tabela 8**  
Tarifas de água e esgoto por faixas de demanda estabelecidas pela CAGECE  
(Válida a partir de 23 de abril de 2016 para Fortaleza e Estado do Ceará, à exceção de Itapipoca)

Categorias	Faixa de demanda (m <sup>3</sup> )	Tarifa água (R\$/m <sup>3</sup> )	Tarifa esgoto (R\$/m <sup>3</sup> )
Residência social Demandas máximas (10 m <sup>3</sup> )	0 a 10	0,97	0,97
Residência popular Demandas mínimas (10 m <sup>3</sup> de água e 8 m <sup>3</sup> de esgoto)	0 a 10	1,96	1,96
	11 a 15	3,34	3,34
	16 a 20	3,61	3,61
	21 a 50	6,24	6,24
	>50	11,11	11,11
Residência normal Demandas mínimas (10 m <sup>3</sup> de água e 8 m <sup>3</sup> de esgoto)	0 a 10	2,79	3,09
	11 a 15	3,61	3,97
	16 a 20	3,92	4,30
	21 a 50	6,71	7,38
	>50	11,86	13,04

Fonte: CAGECE, 2016

A avaliação, seguindo a metodologia exposta, expressa o valor social desta água em condições de abastecimento padrão. O valor social desta água potável vai ser bem maior no caso de contaminação severa dos recursos ou acontecimento de um surto de epidemia. Para considerar isso, aplica-se uma segunda valoração para a fração da água destinada para o consumo relativo à água bebida (1 litro de água por pessoa/dia).

**Tabela 9**  
Tamanho médio das famílias  
nos municípios das bacias hidrográficas estudadas

Especificação	RMF	Rio Acaraú	Rio Salgado
População	4.171.656	826.566	949.440
Número de domicílio	1.111.186	214.518	248.400
Hab. por domicílio	3,9	3,8	3,8

Fonte: IPECE.

Para a água bebida, considera-se que os indivíduos podem tomar medidas preventivas ou corretivas que reduzam os efeitos da degradação ambiental. Sem dúvida, ignorar a capacidade dos indivíduos de mitigar os efeitos da má qualidade ambiental pode levar a conclusões erradas.

No caso de tomar medidas corretivas a avaliação também considera este comportamento defensivo como um custo ou uma economia adicional. Neste caso, considerou-se que alguns indivíduos vão comprar água em garrafas ou galões para beber, outros irão utilizar filtros de barro (ou em casos extremos de surtos e doenças, os indivíduos poderão ferver a água).

As hipóteses relativas ao comportamento dos indivíduos são estabelecidas de acordo com os

diferentes níveis de renda da população que não está ligada à rede de abastecimento:

- pessoas com rendas menores a ½ salário mínimo: utilizam filtros de barro (ou ferver água), sem custo econômico;
- pessoas com rendas entre ½ salário mínimo e dois salários mínimos: utilizam filtros de barro (ou ferver água) sem custo econômico, meta-de compram água em galões.
- pessoas com rendas maiores a dois salários mínimos: todos os domicílios estão ligados ao abastecimento normalizado;

O valor do litro de água em garrafa foi determinado com base em um pequeno estudo de mercado referente aos preços de venda de galões de 20 litros (sem contabilizar custos do vasilhame). Os preços do galão de água mineral costumam variar em até 50% por causa de muitos fatores envolvidos na venda do galão (a localização da distribuidora, se faz entrega à domicílio ou não, marca da água vendida, entre outros). O preço da água encontrado foi de R\$ 0,50 por litro de água, em média. O preço do litro de água em garrafa de 1,5l pode ser maior em até três vezes.

Em síntese, os principais parâmetros utilizados para avaliação de custo do não acesso à ligação de água foram:

- número de pessoas sem acesso à rede de abastecimento de água: 300.000 na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza (7%); 222.000 na bacia hidrográfica do rio Acaraú (27%); e 213.000 na bacia hidrográfica do rio Salgado (22%).
- consumo de água por pessoa/dia (todos os usos): 0,1479 m<sup>3</sup>/dia/hab.
- Consumo de água para beber: 1 litro/dia/hab.

- Valor da água da rede de abastecimento: R\$ 3,16 por m<sup>3</sup>
- Valor da água em galão: R\$ 0,5 por litro

### 9.1.3 Resultados

A Tabela 10 a seguir apresenta a valoração econômica anual dos impactos derivados da não ligação à rede de abastecimento de água por bacia hidrográfica estudada.

**Tabela 10**  
Custo da não-ligação dos domicílios às redes de água potável

Bacias hidrográficas	Custo do impacto	
	Em R\$ milhões/ano	Em relação ao PIB da Bacia (%)
RMF	51,00	0,07
Rio Acaraú	38,00	0,56
Rio Salgado	36,00	0,47

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

A Tabela 11 a seguir indica o custo adicional derivado do comportamento preventivo da população, neste caso, o custo de uma parte significativa das pessoas que compram água em galões para beber em vez de consumir da torneira.

**Tabela 11**  
Custo adicional por compra de água em galões

Bacias hidrográficas	Custo do impacto	
	Em R\$ milhões/ano	Em relação ao PIB (%)
RMF	24,00	0,03
Rio Acaraú	13,00	0,19
Rio Salgado	13,00	0,17

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

### 9.1.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

A metodologia utilizada pode ser facilmente reproduzida por causa do uso de dados disponíveis publicamente. Isso vai permitir avaliar e rastrear o custo (social) da não ligação às redes básicas de serviços de abastecimento de água no tempo.

O objetivo das administrações teria que ser a universalização (atingir 100%) das ligações dos domicílios às redes de abastecimento, ou quando o consumo se faz desde uma fonte de água sem ser ligada a uma rede de distribuição pública, é requerido um tratamento das águas prévio ao consumo, atendendo a todos os requisitos relacionados na legislação vigente.

Nesta análise atribui-se um custo econômico a todos os domicílios que consomem água de outras origens que não a rede de abastecimen-

to (por exemplo, poços e chafarizes não normalizados). Obviamente, nem todos estes domicílios estão consumindo águas contaminadas, mas as condições sanitárias dessas águas não podem ser garantidas e pode-se supor um risco potencial para a saúde. Caso venha a ocorrer um surto epidêmico por causa da contaminação desses poços ou fontes, o custo poderia ser muito maior que o estimado aqui, mas adota-se um foco conservador na avaliação.

## 9.2 Falta de atendimento na coleta do esgoto sanitário

Um dos aspectos estudados foi o impacto da não universalização dos serviços adequados de esgotamento sanitário na economia. A partir de dados levantados por estes estudos e por indicadores de referência, foram analisados os resultados obtidos para as bacias hidrográficas estudadas.

### 9.2.1 Motivação e justificativa da relevância

Em termos de cobertura de serviços de saneamento no Brasil, aproximadamente, metade da população está conectada a um sistema de coleta de esgoto e cerca de 70% dos esgotos coletados em redes são tratados. Em termos de fluxo, apenas cerca de 40% do esgoto produzido é tratado e no Nordeste o nível de tratamento é próximo a 32%. A média das 100 maiores cidades brasileiras com tratamento de esgotos foi de 50,26%; apenas 10 delas tratam acima de 80% de seus esgotos. Estima-se que, do total de 5.570 municípios no Brasil, cerca de 1.900 (34%) possuem ETE (Estações de Tratamento de Efluentes). O número total de ETE no Brasil é estimado em cerca de 2.800 plantas (SPERLING – BID 2016; SNIS 2015).

Um estudo recente (COSTA; GUILHOTO, 2014) aponta que só o impacto do esgoto não tratado em áreas rurais do Brasil poderia ser responsável por 250 mortes e 5,5 milhões de infecções causadas por doenças diarreicas anualmente e pela poluição de cursos de água (129 mil toneladas de resíduos jogados em rios e lagos). O mesmo estudo apresenta que de cada real (R\$ 1,0) investido na implementação de alternativas tecnológicas como fossas sépticas poderiam causar um retorno para a sociedade de R\$ 1,60 em renda interna bruta.

No Ceará, têm sido identificados ausência de tratamento de água e ocorrência de laudos físico-químicos e bacteriológicos da água em não

conformidades com os padrões de potabilidade, dentre outros problemas. Todos os municípios que fazem parte da bacia hidrográfica da RMF, com exceção de Fortaleza, possuem baixíssimos índices de coleta e tratamento de efluentes (menos de 50%). O índice de atendimento total para a bacia hidrográfica da RMF é de aproximadamente 42%.

Na bacia hidrográfica do rio Acaraú, o número de domicílios servidos por rede de coleta de esgotos expõe um cenário bastante desfavorável. Dos 27 municípios que compõem a bacia, mais da metade (14) não dispõe de nenhum tipo de rede de esgoto. Com o restante dos municípios os valores de taxa de cobertura da população total situam-se entre 1,13% (Cariré) e 54,97% (Sobral).

Na bacia hidrográfica do rio Salgado, as taxas de cobertura da população com rede de esgoto podem ser consideradas precárias, com apenas um município apresentando atendimento ligeiramente superior à metade da sua população. Dos 23 municípios que compõem a bacia, 10 deles não dispõem de nenhum tipo de rede de esgoto, com o restante dos municípios os valores de taxa de cobertura da população total situam-se entre 3,26% (Missão Velha) e 54,59% (Brejo Santo).

Nas áreas rurais, o registro de município que apresente algum tipo de cobertura por rede de esgoto é baixíssimo. Só os municípios de Bela Cruz, Cruz, e Marco, localizados na bacia hidrográfica do rio Acaraú, apresentam valores positivos, mas sempre abaixo de 6% da população rural é atendida.

No Brasil, 49% das obras de ampliação das redes de esgoto empreendidas entre 2009 e 2015 através do programa PAC sofreram adiamentos. No fim de 2015, apenas 32% das obras de implantação de sistemas de esgotos previstos estavam concluídas.

A Tabela 12 a seguir apresenta o quantitativo do número de pessoas sem serviço de esgoto e sem fossa séptica por município das bacias hidrográficas analisadas.

**Tabela 12**  
**População sem serviço de esgoto sanitário e sem fossa séptica**

Especificação	RMF	Rio Acaraú	Rio Salgado
Número de pessoas	1.724.416	543.662	603.332
% em relação pop. total	41,0	66,0	64,0

Fonte: IPECE, IBGE, Censo 2010

### 9.2.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

Considera-se o esgoto não tratado como aquele que não é coletado em redes de esgoto, ou não é tratado em uma fossa séptica, ou o que é jogado no ambiente porque a própria rede de esgoto tem perdas por envelhecimento ou déficits de manutenção.

A produção total de esgoto nos municípios das bacias é determinada através do coeficiente de retorno, que é a relação entre metros cúbicos de água consumidos e os metros cúbicos de esgoto produzidos. Dependendo dos fatores de desequilíbrio, a relação entre o volume de esgotos recolhido e o de água consumida pode oscilar entre 0,60 a 1,30, segundo a literatura conhecida. No Brasil, é usual a adoção de valores na faixa de 0,75 a 0,85, caso não haja informações claras que indiquem outro valor (Fernandes, 2000). Nesta avaliação foi adotado um coeficiente de retorno de 0,8.

A produção unitária de esgoto calculado a partir do coeficiente e do consumo de água por pessoa (0,1479 m<sup>3</sup>/hab./dia) resulta em 0,1183 m<sup>3</sup> esgoto/hab./dia. Este valor ficaria relativamente baixo considerando os dados derivados do estudo de 66 ETE Brasileiras (REAMI; FILHO, 2015) que assinala que a contribuição *per capita* de esgotos variou entre nessas estações entre 0,093 m<sup>3</sup> e 0,292 m<sup>3</sup> esgoto/hab./dia, com valor médio de 0,185 m<sup>3</sup> esgoto/hab./dia.

O custo da degradação ambiental por causa de esgoto jogado no ambiente é avaliado através do seu valor de reposição, que aqui se associa ao custo de tratar o esgoto valorado mediante a tarifa de esgoto. O valor do m<sup>3</sup> de esgoto calcula-se a partir da estrutura tarifária estabelecida pela CAGECE considerando uma produção de esgoto médio por pessoa no Ceará de 0,1183 m<sup>3</sup>/hab./dia e um tamanho médio das famílias de 3,85 pessoas (obtido da média dos dados de famílias e população facilitados pelo IPECE, como já foi relatado no

Capítulo anterior). O valor do m<sup>3</sup> encontrado foi de R\$ 3,33/m<sup>3</sup>.

A relação de moradias não ligadas às redes de esgoto públicas e sem fossa séptica foi avaliada a partir do Censo 2010 publicado pelo IBGE, apresentado na Tabela 12. A percentagem da população sem ligação a rede de esgoto é de 41% na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 66% na bacia hidrográfica do rio Acaraú e 75% na bacia hidrográfica do rio Salgado. Dos domicílios que não estão ligados à rede de esgoto, os que têm fossa séptica só representam 25% na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 9% na bacia hidrográfica do rio Acaraú e 11% na bacia hidrográfica do rio Salgado.

Em síntese, os principais parâmetros utilizados para determinar os custos dos impactos econômicos derivados da população não ligada às redes de esgoto foram:

- população sem coleta de esgoto e sem fossa séptica: 1.724.416 hab. na bacia da Região Metropolitana de Fortaleza; 543.662 hab. na bacia do rio Acaraú e; 603.332 hab. na bacia do rio Salgado.
- volume de esgoto jogado no ambiente: 74,5 milhões m<sup>3</sup>/ano na bacia da Região Metropolitana de Fortaleza; 23,5 milhões m<sup>3</sup>/ano na bacia do rio Acaraú e; 26,1 milhões m<sup>3</sup>/ano na bacia do rio Salgado;
- valor do m<sup>3</sup> de esgoto jogado no ambiente: R\$ 3,33 por m<sup>3</sup> de esgoto

### 9.2.3 Resultados

A Tabela 13 a seguir indica a valoração econômica anual dos impactos econômicos derivados da população não ligada à rede de esgoto.

**Tabela 13**  
Impactos econômicos derivados da população sem ligação à rede de esgoto

Bacias hidrográficas	Custo do impacto	
	Em R\$ milhões/ano	Em relação ao PIB da Bacia (%)
RMF	248,00	0,34
Rio Acaraú	78,0	1,15
Rio Salgado	87,00	1,12

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

### 9.2.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

A hipótese adotada de custo da degradação ambiental por m<sup>3</sup> de esgoto jogado no ambiente, associado à tarifa do esgoto, pode ser consi-

derada conservadora. Uma cota inferior, devido ao interesse social do esgoto tratado, tem que compensar ao mínimo o custo do tratamento (em um mercado perfeito, se não for assim não seria feito).

## 9.3 Falhas nas redes de esgoto

### 9.3.1 Motivação e justificativa da relevância

A percentagem de perdas da rede de esgoto ainda não foi estudada em detalhe no Brasil, mas estima-se ter pelo menos o mesmo percentual de perdas das redes de abastecimento de água (em torno de 40%), se não mais, devido ao fato das redes de esgoto apresentar maior estado de envelhecimento, com menos investimentos em manutenção, sendo que o esgoto é quimicamente mais agressivo com a infraestrutura física do que a água potável. Os esgotos que não são adequadamente controlados, sejam por perdas na rede, sejam por deficiências no tratamento (purificação), ou sejam por impermeabilização pobre de fossas sépticas podem se infiltrar e contaminar os aquíferos subterrâneos.

As perdas nas redes de esgoto contribuem para incrementar o impacto ambiental do esgoto não tratado e jogado no ambiente.

### 9.3.2 Parâmetros e hipóteses básicas da avaliação

O custo da degradação ambiental por causa de esgoto jogado no ambiente é avaliado através do seu valor de reposição, que aqui se associa ao custo de tratar o esgoto, valorado mediante a tarifa de esgoto no Ceará (estimada em R\$ 3,33/m<sup>3</sup>, conforme justificativa apresentada no Capítulo anterior).

A partir do volume total de esgoto coletado na rede, determinado no Capítulo anterior, aplicou-se um percentual de perdas para obter o volume jogado no ambiente por deficiências da rede de coleta (esgotos coletados que não alcançam as estações de tratamento-ETEs). Entretanto, não existem estimativas precisas deste coeficiente, mas são em geral maiores que as perdas na rede de abastecimento. Adotou-se, consequentemente, um coeficiente de perdas da rede de esgoto igual ao índice de perdas na rede distribuição de água já conhecida no âmbito municipal, (SNIS, 2014). Esta hipótese é conservadora, de acordo com a discussão a seguir.

Em síntese, os principais parâmetros utili-

zados foram:

- coeficiente de perdas nas redes de esgoto: 44% na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 29% na bacia hidrográfica do rio Acaraú; 41% na bacia hidrográfica do rio Salgado;
- esgoto jogado no ambiente: 46,2 milhões m<sup>3</sup>/ano na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 3,5 milhões m<sup>3</sup>/ano na bacia hidrográfica do rio Acaraú; 6,1 milhões m<sup>3</sup>/ano na bacia do rio Salgado;
- custo de reposição de um m<sup>3</sup> de esgoto: R\$ 3,33 por m<sup>3</sup> de esgoto.

### 9.3.3 Resultados

A Tabela 14 a seguir apresenta a valoração econômica anual dos impactos derivados das perdas da rede de esgoto.

**Tabela 14**  
Impactos econômicos das perdas das redes de esgoto

Bacias Hidrográficas	Custo do impacto	
	Em R\$ milhões/ano	Em relação ao PIB da Bacia (%)
RMF	154,00	0,21
Rio Acaraú	12,00	0,17
Rio Salgado	20,00	0,26

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

### 9.3.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

Por falta de dados mais concretos, adotou-se um coeficiente de perdas da rede de esgoto igual ao coeficiente de perdas da rede de abastecimento de água. Esta hipótese pode ser considerada conservadora, pois as redes de esgoto apresentam geralmente estado de envelhecimento maior que as redes de abastecimento de água por causa de menores investimentos em manutenção e o caráter quimicamente mais agressivo do esgoto em comparação com a água.

Objetivamente, qual é a importância econômica da degradação ambiental no contexto do saneamento básico? Se somarmos as valorações econômicas anuais relativas a todos os itens pesquisados no setor de água potável e esgotamento sanitário (Tabelas 10, 11, 13 e 14 do presente relatório) podemos totalizar os seguintes resultados para as bacias (Tabela 15)

Conforme é indicado na Tabela 15, trata-se de vultosas somas de recursos, mas a principal pergunta seria: Qual é a importância econômica relativa para cada bacia dessa degradação ambi-

ental? Caso se utilize como referência informações reais da Região Metropolitana de Fortaleza é possível levantar alguns indicadores que podem auxiliar nesta resposta.

Recentemente, a CAGECE, concessionária dos Serviços de Água e Esgoto da maioria dos municípios cearenses, concluiu estudos relativos ao Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza nos seus componentes de água e esgoto. Este estudo concluiu que os investimentos necessários para universalização dos serviços públicos de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário apresentam custos unitários da seguinte ordem:

- Investimento mínimo entre:  
“... R\$ 450 – R\$ 750/habitante para a instalação de novos sistemas de abastecimento de água e, entre 40%-65% desse valor quando se trata de expandir o sistema devido ao crescimento demográfico.”
- Investimento máximo entre:  
“... R\$ 800 – R\$ 1.000/habitante para a instalação de novos sistemas de esgotamento sanitário.”

**Tabela 15**

**Valores totalizados de perdas decorrentes da degradação ambiental associada à água e esgoto**

Especificação	Bacia hidrográfica RMF	Bacia do rio Acaraú	Bacia do rio Salgado
Custo do impacto em R\$ milhões/ano)	477	141	156
Custo do impacto em R\$/hab/ano)	114,39	170,70	164,56
Custo do impacto/PIB (%)	0,65	2,07	2,02
População total (milhões de habitantes)	4,17	0,826	0,948

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017)

Como o horizonte temporal para a universalização é de vinte anos, estes valores correspondem às obras a serem implantadas ao longo desse período, o que equivaleria em anuidades. Caso seja aceita uma taxa de desconto social igual à TJLP praticada pelo BNDES de 7% se teria valores anualizados da mesma ordem de grandeza das perdas calculadas por degradação ambiental no setor (ver Tabela 16).

Respondendo à pergunta sobre “qual é a importância econômica relativa para cada bacia dessa degradação ambiental?” Pode-se dizer que

os custos infringidos ao meio ambiente, pagos por toda a sociedade relativos aos setores de abastecimento de água potável e esgotamento (por exemplo R\$ 114,00 por habitante ano para a Região Metropolitana de Fortaleza ) são da mesma ordem de grandeza dos custos dos investimento necessários para universalizar esses serviços (R\$117 – R\$165 por habitante/ano) e, conseqüentemente, zerar ou reduzir drasticamente estes custos associados com a degradação ambiental seria socialmente e economicamente mais correto.

**Tabela 16**

**Valores dos investimentos necessários para universalização dos serviços de água e esgoto anualizados**

Especificação	Custos saneamento básico (mínimo estimado)	Custos saneamento básico (máximo estimado)
Esgoto (R\$/hab)	450	750
Água potável	800	1.000
Total (R\$/hab)	1.250	1.750
Taxa desconto utilizada (igual TJLP-BNDES) (%)	7,0	7,0
Esgoto (R\$/hab/ano)	42,48	70,79
Água potável (R\$/hab/ano)	75,51	94,39
Total (R\$/hab/ano)	117,99	165,18

Fonte: Aquatoll (2016)

**9.4 Disposição inadequada de resíduos sólidos**

Os impactos econômicos resultantes do tratamento inadequado relacionados com a gestão dos resíduos sólidos foram identificados a partir do levantamento de dados constante no Diagnostico Ambiental e de estudos de custos de referências.

**9.4.1 Motivação e justificativa da relevância**

O crescente consumo de diversos produtos vem acelerando a geração de resíduos sólidos. O resíduo sólido contém substâncias perigosas como metais pesados que quando dispostos de maneira inadequada pode acarretar diversos danos ao meio ambiente. A geração de crescentes volumes de resíduos, em combinação com sua

complexa composição, implica em dificuldades para seu tratamento adequado, o que gera preocupação (Rodrigues, 2012), sendo que o número crescente de matérias e substâncias identificadas como perigosas e a produção desses resíduos em quantidades cada vez maiores têm exigido soluções mais eficazes e investimentos maiores por parte de seus geradores e da sociedade em geral (MUÑOZ, 2002).

Os resíduos lançados em lixões a céu aberto sem impermeabilização adequada acarretam a poluição do solo e das águas superficiais e subterrneas pelo chorume produzido, pela decomposição da matéria orgânica (LANZA et al., 2010), além da geração de gases que causam odores desagradáveis ou contribuem ao efeito estufa (sem sepa-

ração da fração orgânica na disposição do lixo, os gases derivados da fermentação anaeróbia desta fração, como o CH<sub>4</sub>, podem representar até 30% do GEE de uma grande cidade). Esta contaminação das águas pode ser menos intensa daquela produzida em outros componentes do ciclo hidrológico, devido à existência de mecanismos naturais de adiamento, atenuação e depuração. No entanto, tende a ser mais persistente, ser mais caro, difícil de detectar e de recuperar por causa do ritmo lento de autopurificação das águas subterrâneas (CASTAÑO 2010).

O IBGE estimava em 2002 que eram gerados, no Brasil, aproximadamente 157 mil toneladas de resíduos domiciliares por dia. A edição de 2014 do relatório “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2016) apontava que o ritmo de geração de lixo no Brasil aumentou cinco vezes mais do que a população entre 2010 e 2014, alcançando a geração total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) no Brasil em 2014 de, aproximadamente, 78,6 milhões de toneladas, sendo 215 mil toneladas por dia (+37%).

A situação da destinação final dos RSU no Brasil em 2014 manteve-se estável em relação a 2013. O índice de 58,4% de destinação final adequada em 2014 permanece significativo, porém a quantidade de RSU destinada a locais inadequados totalizava 29.659.170 toneladas no ano, ou seja, que seguiram para lixões ou aterros controlados, os quais do ponto de vista ambiental, pouco se diferenciam dos lixões, pois não possuem o conjunto de sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Mais de 50% dos municípios brasileiros ainda recorrem a lixões para descartarem o lixo, apesar de a Lei Nacional de Resíduos Sólidos, que vigora desde 2010, prever que até 2014 todos os lixões do país precisavam ser fechados. Os municípios menores têm mais deficiências nesse tipo de serviço. As análises de gases nas áreas com maior espessura de lixo revelaram concentrações de metano (CH<sub>4</sub>) na faixa de 40%-53% e de dióxido de carbono de 33%-47% que são compatíveis com as observadas em aterros sanitários. As concentrações de metano observadas são preocupantes, pois como não existe em nenhum município das bacias, sistema de tratamento do biogás, o mesmo é emitido livremente para a atmosfera.

De acordo com CEMPRE (2010), 81 municípios brasileiros faziam coleta seletiva no ano de

1994. Em 2008, chegou-se a 405 municípios e, no ano de 2010, eram 443, sendo que 13% dos resíduos sólidos tinham como fonte campos de triagem e reciclagem e 87% dos resíduos sólidos tinham como destino aterros e lixões.

A coleta de lixo por habitante incrementou entre 2003 e 2015 em quatro vezes, o que responde tanto a uma produção de lixo maior, como a uma taxa de atendimento e coleta maior. O índice de atendimento da população pelo serviço de coleta de lixo é publicado pelo IBGE a partir do Censo 2010. Na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza 83% dos domicílios têm atendimento de coleta de lixo; enquanto que nas bacias hidrográficas dos rios Acaraú e Salgado essa coleta correspondia a 74%, e 60%, respectivamente.

No Ceará, a produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSUs) permanece crescente, concentrando e acentuando o risco potencial poluidor. Admite-se que uma pessoa na Região Metropolitana de Fortaleza produza em média 1,7kg de RSU/dia, e considerando o índice de coleta de 85%, os descontroles existentes desde a coleta e a destinação final e os vários locais de disposição clandestina do lixo, estima-se que em realidade cada habitante na RMF produza uma média de 2,4kg de RSU/dia, o que corresponderia a 6.261,6 toneladas diárias para toda a RMF.

A RMF apresenta seis municípios com cobertura de coleta abaixo de 50% da população e 11 municípios possuem mais de 90% da população com coleta de RSU. Em relação à destinação final e adequada do lixo, o quadro é bem mais grave, uma vez que todos os municípios apresentam algum índice, mesmo baixo, de resíduos sólidos sendo jogados em rios, lagos e mar, sendo fundamental tentar quantificar esse volume, mesmo que de modo empírico. Apenas 10 municípios possuem aterro sanitário, todos eles pertencentes às áreas de conurbação da capital Fortaleza sendo, portanto, as zonas mais industrializadas.

Na bacia hidrográfica do rio Acaraú, o município de Sobral é o único núcleo urbano que efetua a disposição final do lixo em aterro sanitário, e atendendo as exigências preconizadas pela legislação ambiental. Apenas 11 municípios desta bacia possuem índices de cobertura de coleta de lixo acima de 75% de abrangência populacional. Em nenhum município há vala exclusiva para a deposição dos resíduos infectantes dos serviços

de saúde. Os sistemas de deposição final do lixo urbano postos em prática na maioria dos municípios da região do Vale do Acaraú não atendem às recomendações técnicas necessárias. Não há coleta diferenciada para o lixo dos estabelecimentos de saúde, os terrenos da maioria dos aterros não são impermeabilizados e não há drenagem de gases e das águas pluviais, nem tratamento do *chorume* como forma de evitar a contaminação dos solos, a poluição dos recursos hídricos e do ar.

As destinações finais do lixo nas sedes municipais de Forquilha, Massapê e Cariré são efetuadas em lixões localizados em terrenos baldios, às margens de rodovias e muitas vezes próximos a cursos d'água. Entre os distritos da região, 70,0% contam com sistemas de coleta do lixo, sendo nestes os resíduos depositados em terrenos baldios formando pequenos lixões, 26,7% não contam com serviços de coleta pública, ficando o destino final do lixo a cargo da população e apenas Aprazível, no município de Sobral, efetua a triagem e prensagem do lixo. Os sistemas de deposição final do lixo urbano postos em prática na maioria dos municípios da região não atendem às recomendações técnicas necessárias. Não há coleta diferenciada para o lixo dos estabelecimentos de saúde, os terrenos da maioria dos aterros não são impermeabilizados e não há drenagem de gases e das águas pluviais, nem tratamento do *chorume* como forma de evitar a contaminação dos solos, a poluição dos recursos hídricos e do ar.

Na bacia hidrográfica do rio Salgado, o crescimento populacional, aliado a outros fatores como o aumento do consumo de bens, na maioria das vezes descartáveis, e a cultura do desperdício da sociedade atual, podem ser condicionantes para o aumento da produção de resíduos sólidos urbanos. Considerando que a média de produção de resíduos sólidos na região é em média 2,5 kg/hab./dia, estima-se que a produção total diária de resíduos sólidos seja de 2.263 toneladas/dia, sendo que 100% desses resíduos são destinados atualmente a lixões, a céu aberto, com a presença de animais e seres humanos convivendo diariamente, tornando-se não apenas um problema ambiental, mas também de caráter social.

Os principais problemas de poluição ou de potencial de contaminação ambiental observados nos lixões da região estão relacionados aos seguintes fatores; co-disposição de resíduos industriais e de serviços de saúde; geração excessiva de

lixiviado; emissão descontrolada de gases; queima do lixo. A geração excessiva de material lixiviado ou percolado está associada, principalmente, à infiltração excessiva de água de chuva na massa de resíduos e à concentração de drenagem superficial. A análise da disposição final do lixo nos municípios que compõem a bacia hidrográfica do rio Salgado, através do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR), que visa sistematizar as informações sobre as condições ambientais e sanitárias, revelou uma situação bastante crítica em relação à infraestrutura e às condições operacionais dos lixões e aterros. O IQR obtido para a região foi de apenas 2,9, indicando, portanto, condições inadequadas de disposição dos resíduos. Para atingir a categoria de um aterro controlado o IQR teria de ser, no mínimo, 6,1

**Tabela 17**  
**Taxas de atendimento em relação à coleta dos resíduos sólidos**

Especificação	RMF	Rio Acaraú	Rio Salgado
Taxa de atendimento à população (%)	83	74	60
Pessoas sem atendimento	716.581	214.116	376.816

Fonte: IPECE, IBGE, Censo 2010, Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Acaraú, 2010, SNIS 2010, 2013, 2014

#### 9.4.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

A produção unitária de lixo por habitante em Ceará é de 2,4 kg/hab./dia, dado estimado considerando a média de produção de resíduos sólidos, os índices de coleta, os descontroles existentes desde a coleta e a destinação final e os vários locais de disposição clandestina do lixo.

O custo da degradação ambiental por causa de lixo não coletado (jogado em lixões, rios, queimado, enterrado no terreno, ou outros) é avaliado através do seu valor de reposição, que aqui se associa ao custo de coletar/tratar o lixo, valorado mediante a tarifa do serviço (estimado em R\$ 111,00/tonelada). Esse custo é reportado pelo Ministério das Cidades (SNIS, 2013).

O índice de atendimento da coleta de lixo na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza é de 83% dos domicílios. Para a bacia hidrográfica do rio Acaraú o índice é de 74%, e para a bacia hidrográfica do rio Salgado este índice é de 60%, como já foi observado, anteriormente.

Com base nessas hipóteses, obteve-se que o volume de resíduos totais não coletados (jogados no ambiente) se aproxima a 630.000 toneladas/ano na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 190.000 toneladas/ano na bacia hidrográfica do rio Acaraú e de 345.000 toneladas/ano na bacia hidrográfica do rio Salgado.

Em síntese, os principais parâmetros utilizados para o cálculo do impacto econômico do lixo não coletado foram:

- taxa de atendimento do lixo: 85% na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 64% na bacia hidrográfica do rio Acaraú; e, 70% na bacia hidrográfica do rio Salgado;
- a produção unitária de lixo por habitante: 2,4 kg/hab./dia nas bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Fortaleza e do rio Acaraú; e 2,5 kg hab./dia na bacia hidrográfica do rio Salgado;
- Lixo não tratado: 630.000 t/ano para a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 190.000 t/ano para a bacia hidrográfica do rio Acaraú; e 345.000 t/ano para a bacia hidrográfica do rio Salgado;
- Custo de reposição de uma tonelada de lixo: R\$ 111,00 por tonelada.

### 9.4.3 Resultados

A Tabela 18 a seguir mostra a valoração econômica anual dos impactos derivados do lixo não coletado:

**Tabela 18**  
Impactos econômicos do lixo não coletado

Bacia hidrográfica	Custo do impacto	
	Em R\$ milhões/ano	Em relação ao PIB da Bacia (%)
RMF	70,00	0,10
Rio Acaraú	21,00	0,31
Rio Salgado	38,00	0,49

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

### 9.4.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

A proposta apresentada pode ser conservadora. Aqui se avalia o lixo que é jogado no ambiente de forma incontrolada por falta de atendimento do serviço de coleta. Mas não foi possível considerar o impacto dos resíduos depositados em lixões inadequadamente (lixões sem impermeabilização adequada do solo que podem resul-

tar em problemas de chorume e contaminação de águas, incrementando o impacto estimado).

Vale observar que o volume de lixo jogado em lixões pode ser muito importante, entretanto, os impactos no ambiente devem ser considerados menores quando comparado com o lixo jogado diretamente no ambiente (processos de degradação e infiltração nas águas subterrâneas mais lentas), limitando de alguma maneira este impacto secundário não considerado.

Tampouco se avalia neste capítulo os GEEs derivados de lixões a céu aberto (sem prévia separação da fração orgânica). Este impacto é contabilizado quando se estimam os GEEs a partir das atividades econômicas e a sua inclusão aqui implicaria uma dupla contagem.



## 10 CUSTO DA DEGRADAÇÃO DAS TERRAS

---

Este capítulo destina-se a apresentar e analisar os custos econômicos relacionados à poluição dos solos em especial sobre as atividades agrícolas e sobre a Caatinga, considerando os dados levantados nas três bacias hidrográficas objeto do estudo e trabalhos referenciais sobre o assunto o que resultou na estimativa de custos da degradação ambiental sobre a economia.

### 10.1 Impacto sobre a degradação das terras devido a agricultura

#### 10.1.1 Motivação e justificativa da relevância

O solo é um recurso natural de alta importância social, econômica e ambiental. As práticas agrícolas inadequadas e a transformação de terras de usos naturais (floresta, pastagens) para solo agrícola ou urbano, são responsáveis em grande parte pelo processo de erosão, contribuindo para a perda de solo e a baixa produtividade agrícola, além de incrementar o risco de inundações decorrentes de fenômenos de escorrência superficial.

Nos solos verificados na bacia hidrográfica do rio Acaraú, a falta de planejamento e a ocupação desordenada em áreas consideradas vulneráveis sob o ponto de vista agrícola e ambiental têm aumentado o processo de perda do solo por agentes erosivos, o qual ocorre naturalmente devido à associação do clima com os tipos de litologia, relevo, solo e cobertura vegetal (SPÖRL; ROSS, 2004; GOMES, 2005). A queimada é uma prática agrícola relativamente disseminada no território da bacia hidrográfica do rio Acaraú, que se revela prejudicial à preservação do meio ambiente. Praticada para a limpeza dos terrenos, resulta em alterações nas propriedades físico-químicas e biológicas dos solos, deixando-os expostos à ação dos agentes erosivos, além de afetarem, significativamente, a flora e fauna da região. Outra prática comum é o desmatamento, ligada ao preparo do solo para o plantio, e a extração da lenha para fabricação de carvão e para ser usada em

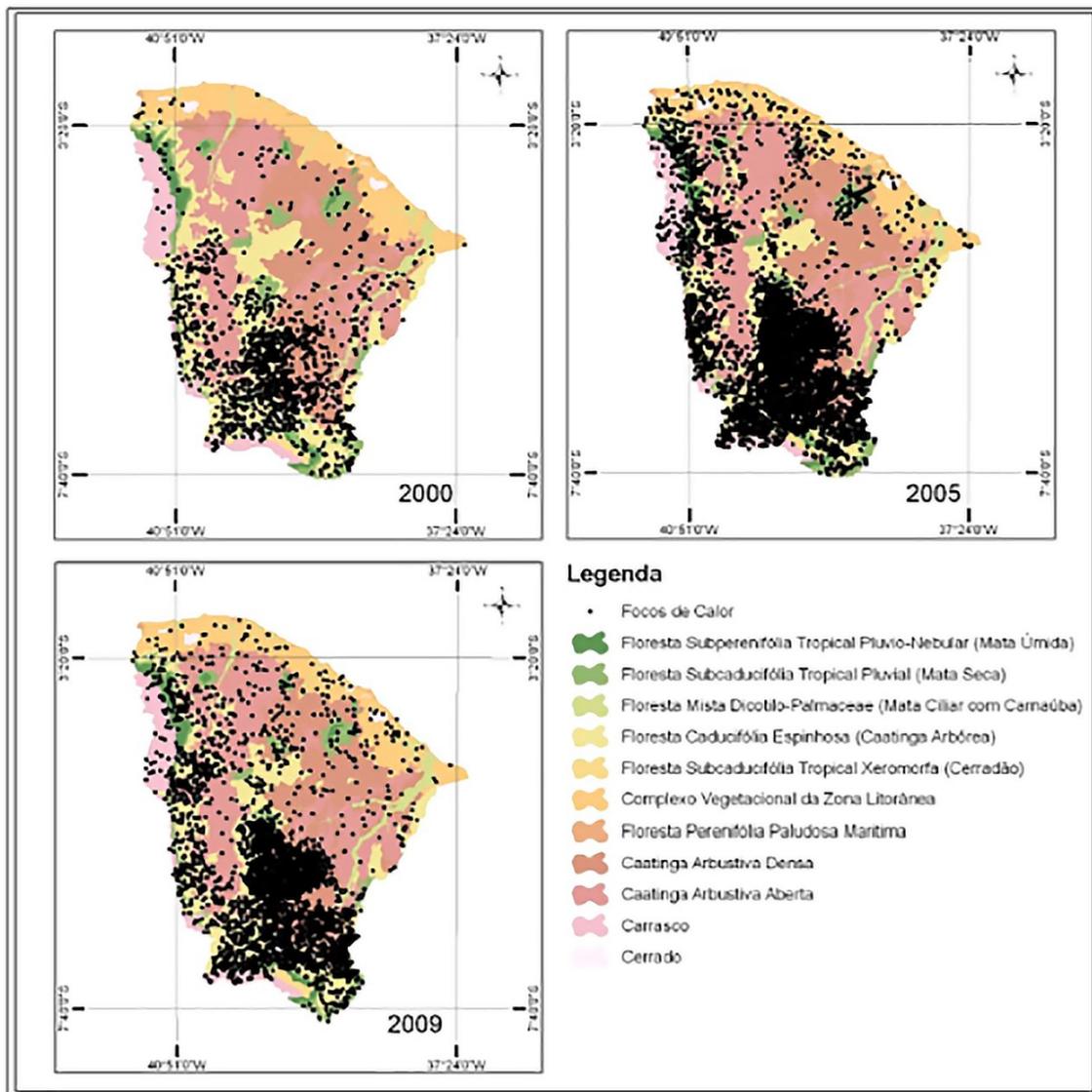
larga escala como combustível por padarias e cerâmicas da região.

As terras da bacia hidrográfica do rio Salgado apresentam um padrão de uso e ocupação, em grande parte, orientado para atividades agropecuárias, onde se destaca plantios de sequeiro, com técnicas de preparação do solo rudimentares, destacando-se as coivaras e queimadas, ocasionando depauperamento da fertilidade natural dos solos. Também fazem parte deste mosaico de usos e ocupações do solo, grandes espaços com plantações de cana-de-açúcar em áreas do vale do Cariri, próximo à Chapada do Araripe, ocupados por planícies aluviais. A criação de gado na região é feita de forma extensiva e não levou em consideração a fragilidade da Caatinga, principal ecossistema da região, utilizando-se de métodos ambientalmente degradantes para sua expansão e reprodução.

Na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) a "artificialização" dos solos é resultado da intensiva urbanização em virtude do parque industrial e por concentrar uma população aproximada de 3,5 milhões de habitantes. No litoral urbanizado, os efeitos da maré alta, elevam o nível das águas na região próxima à costa, dificultando o escoamento natural e agravando os efeitos das chuvas intensas. As lagoas, ao longo dos médios e baixos cursos das bacias metropolitanas, e seus entornos exibem profundas alterações decorrentes principalmente de intervenções antrópicas, tais como desmatamentos, aterros, lançamentos de resíduos sólidos e líquidos, além de ocupação clandestina. A situação é preocupante, já que apresenta lagoas com redução do espelho d'água e o desaparecimento de outras.

Os focos de calor identificados na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza são de 5.779 km<sup>2</sup>; na bacia hidrográfica do rio Acaraú são 16.656 km<sup>2</sup>; e na bacia hidrográfica do rio Salgado são 28.952 km<sup>2</sup>.

**Figura 29**  
**Focos de calor para os anos de 2000, 2005 e 2009 segundo unidades Fitogeográficas**



**Figura 2 – Focos de Calor para os anos de 2000, 2005 e 2009 segundo Unidades Fitogeográficas.**  
 Fonte: Elaboração dos autores.

Fonte: INPE, 2016

Há consenso entre os especialistas de que há uma grande quantidade de terra degradada ou terra em processo de degradação ou desertificação no Brasil. No entanto, há discrepância em relação à sua quantificação. Se, de um lado, o conceito de degradação da terra é relativamente fácil de ser compreendido, por outro lado, há dificuldades para medir o fenômeno (FIGUEIRA GALVÃO et al, 2016). Os itens a seguir mostram algumas dessas discrepâncias, que variam de acordo com as fontes utilizadas e a definição do que é considerado degradação da terra:

- a taxa de erosão hídrica no Brasil foi estimada entre 600 e 800 milhões de t/ano (BAHIA et al., 1992, HERNANI et al., 2002), mas as contribuições de diferentes atividades agrícolas que somam a este enorme montante não são bem compreendidos de acordo com os autores, dificultando a definição de políticas efetivas para o controle da erosão (MARTEN; MINELLA, 2013);
- informações provenientes do Departamento de Silvicultura do Ministério do Meio Ambiente sugerem que há 140 milhões de hectares de terra degradada no Brasil, sendo, aproximadamente, 30 milhões de pastagens (IPEVS, 2012);
- a Fundação Getúlio Vargas, no entanto, informa que existem 52,3 milhões hectares de pastagens degradadas (FGV, 2015);

É possível supor que cerca de 50% das pastagens brasileiras estavam fortemente degradadas (no Norte, Nordeste e Centro-Oeste o problema seria maior), e também que outros 25% das pastagens brasileiras totais seriam moderadamente degradadas. Assim, apenas cerca de 20% a 25% das pastagens no Brasil não seriam degradadas ou apenas ligeiramente degradadas (DIAS-FILHO M.B., 2014). De acordo com um estudo recente da FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos), 57% do território do Ceará está afetado em diversos graus de importância pelo fenômeno da erosão e desertificação. Concretamente, há três

núcleos principais de desertificação que reúnem 13 municípios:

- Núcleo I (Irauçuba/Centro): Miraíma, Itapagé, Irauçuba, Santa Quitéria e Canindé<sup>4</sup>;
- Núcleo II (Inhamuns): Independência, Tauá e Arneiroz<sup>5</sup>;
- Núcleo III (Jaguaribe): Jaguaribe, Jaguaribara, Jaguaretama, Alto Santo e Morada Nova<sup>6</sup>.

Além disso, boa parte dos municípios do Ceará passa por processos de degradação grave (88) ou moderado (18).

A erosão resultante da ação do impacto da gota de chuva e da enxurrada sobre o solo, chamada de erosão hídrica é a principal forma de degradação dos solos no Brasil, além da retirada das partículas de solo, transporta os nutrientes, a matéria orgânica e os defensivos agrícolas, causando prejuízos na atividade agrícola. O uso inadequado do solo na agricultura é uma das principais causas da degradação do solo e o desconhecimento dos fatores, clima, relevo e tipologia do solo onde a propriedade rural está inserida piora essa situação.

Quando há uma mudança em um insumo ambiental, isso pode levar a uma mudança na quantidade produzida. Por exemplo, no caso da erosão do solo pode haver um declínio associado no volume de colheitas realizadas. A Figura 30 a seguir indica uma função de produção, onde a produção é função do solo (S) e de outros insumos (X). À medida que a qualidade do solo diminui de  $S_1$  para  $S_2$  devido à erosão do solo, a função de produção muda para  $Q_2$ . O agricultor enfrenta duas opções. Primeiro, ele não pode fazer nada e produzir em  $Q_2$  em vez de  $Q_1$ , usando o mesmo nível de outras entradas. A segunda opção é manter a produção no primeiro trimestre, aumentando outros insumos, como fertilizantes, de  $X_1$  para  $X_2$ . Na realidade, o agricultor é provável que responda em algum lugar entre as duas opções, deixando a pro-

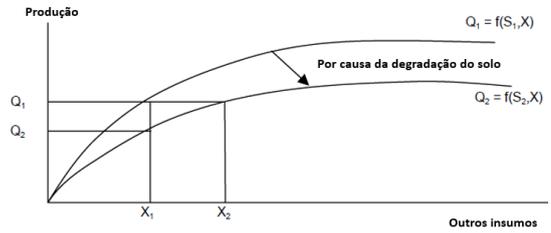
<sup>4</sup> Dentre esses municípios, Santa Quitéria é integrado na Bacia Hidrográfica do Acaraú.

<sup>5</sup> Nenhum destes municípios forma parte das bacias sendo estudadas neste relatório.

<sup>6</sup> Nenhum destes municípios forma parte das bacias sendo estudadas neste relatório.

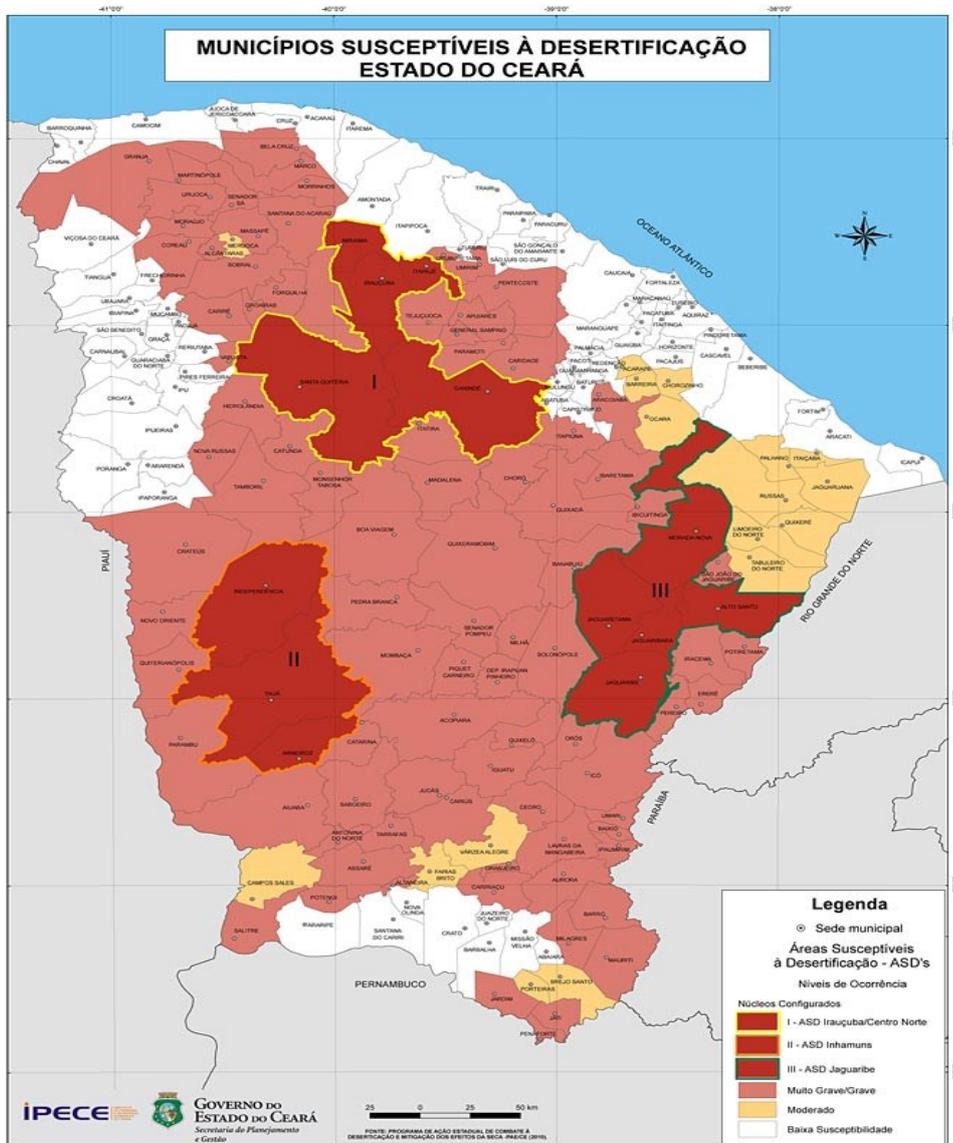
dução cair um pouco e aumentando as entradas entre  $X_1$  e  $X_2$ . De qualquer forma, o agricultor sofre uma perda econômica na forma de diminuição dos lucros. Sob a primeira opção ele deixa de ganhar o valor da produção perdida. Na segunda opção, os custos de produção aumentam como resultado de ter que aumentar outros insumos (WORLD BANK, 2005).

**Figura 30**  
Mudanças de produtividade agrícola por erosão do solo



Fonte: Banco Mundial, 2005

**Figura 31**  
Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação



Fonte: Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca –PAE/CE, 2010

No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA (2009) estima-se que a perda de nutrientes por erosão resultou em uma perda de US \$ 3,6 bilhões/ano no país como um todo. Se, além disso, levarmos em conta "o efeito da erosão sobre a depreciação da terra e outros custos", essa perda seria de US\$ 6 bilhões/ano. Quanto maior o solo exposto, maior o risco de erosão. (BILLIA DE MIRANDA, et al 2015).

Embora não exista um consenso sobre o valor exato dos prejuízos da lavoura, dados oficiais da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) indicavam em 2000/2001 que as perdas de grãos no Brasil atingiram um índice de 10%, cerca de 9,8 milhões de toneladas. Segundo Denise Deckers (Superintendente de Arroz e Movimento de Estoques da Conab) citada por Jardine (2002), esse percentual não tem apresentado grande alteração nos últimos anos (MORAIS; MAYORGA; FILHO, 2005).

Um estudo do Banco Mundial e do Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC estabeleceu que no período entre 1995 e 2014, o Brasil perdeu R\$ 182,8 bilhões por causa dos desastres naturais, e que nesse contexto, os prejuízos sobre a agricultura da região Nordeste foram durante este período de R\$ 30,6 bilhões, diminuindo as receitas da agricultura em 26,4%.

### 10.1.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

A hipótese fundamental é que a perda de produtividade das terras agrícolas do Ceará por causa da erosão é a média dos valores mencionados na literatura. Isto é, a média entre a estimativa do CONAB 2001 (10%) e da UFSC 2015 (26,4%). Com isto, adotou-se o valor de 18,2% aplicado sobre as receitas agrícolas dos municípios integrados nas três bacias.

O valor da arrecadação total agrícola efetiva para cada município conhece-se a partir dos dados do IPECE indicados na Tabela 20 (2013).

Em síntese, os principais parâmetros utilizados para determinar o impacto das perdas no setor agrícola foram:

- utilizou-se o percentual de 18,2% como índice de perda de produtividade agrícola no Ceará;
- considerou-se as seguintes perdas de produção agrícola por bacia: 213.000 toneladas

anuais para a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 102.000 toneladas anuais para a bacia hidrográfica do rio Acaraú; e 69.000 toneladas anuais para a bacia hidrográfica do rio Salgado;

- foram considerados os valores dos produtos agrícolas de acordo com preços de mercado.

### 10.1.3 Resultado

A Tabela 19 a seguir apresenta as perdas derivadas da degradação das terras por causas do desmatamento, da erosão, das queimadas, das práticas agrícolas inadequadas e da "artificialização" dos solos:

**Tabela 19**  
**Impacto das perdas de produtividade agrícola por erosão**

Bacias hidrográficas	Custo do impacto	
	Em R\$ milhões/ano	Em relação ao PIB da Bacia (%)
RMF	45	0,06
Rio Acaraú	50	0,73
Rio Salgado	25	0,33

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

**Tabela 20**  
**Produção e arrecadação total do setor agrícola (2013)**

Especificação	RMF	Rio Acaraú	Rio Salgado
Produção Total (toneladas)	606.994	291.478	197.317
Arrecadação Total/ Agricultura (R\$ 1.000)	203.696	224.654	114.318

Fonte: IPECE 2013.

### 10.1.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

A literatura aponta a incerteza vinculada à determinação do valor das perdas agrícolas derivadas da degradação ambiental dos solos.

Este custo tem um componente vinculado à perda de produtividade agrícola, que se avaliou neste Capítulo, assim como uma componente relacionada com a perda dos valores ambientais das coberturas vegetais (valores de *habitat*, serviços de regulação climática) que vão ser analisados nos dois capítulos a seguir.

A degradação das terras agrícolas é difícil de determinar no plano espacial (primeira componente) relativo ao diferente grau de degradação nos diferentes municípios. A estimativa da afetação das terras agrícolas na dimensão estadual precisa de uma ampla mobilização de re-

curso, sensivelmente superior ao esforço de análise da magnitude do desmatamento.

Os trabalhos do PAE-CE são um bom precedente nesta direção, mas não estabelecem a ligação quantitativa entre a degradação das terras agropecuárias e perda de produtividade agrícola.

Neste relatório foi valorada a perda de produtividade agrícola como uma porcentagem fixa da produção agrícola atual de cada município. Esta simplificação implica supor que a degradação dos solos afeta todas as áreas geográficas do estado de igual modo, o que, dificilmente, é assim. Mas, não é possível maior detalhe a partir das informações disponíveis.

O valor da estimativa baseia-se no fato de que se manifesta o impacto da degradação dos solos nas áreas onde as economias agrícolas têm um peso maior, exigindo esforços para uma migração para práticas agrícolas mais sustentáveis.

A região das três bacias hidrográficas analisadas apresenta nível de degradação ambiental relevante, com mais de 50% de sua área comprometida já que, de acordo com os parâmetros utilizados neste estudo, se encontra em processo acelerado de degradação e desertificação.

As bacias do rio Salgado e do rio Acaraú são as áreas mais afetadas por processos de degradação da terra e desertificação, com mais de 25% da área comprometida do ponto de vista ambiental. A severidade da degradação atingida é constatada a partir da devastação da cobertura vegetal nativa e intensidade dos fenômenos erosivos, conforme se observa a partir da análise das imagens orbitais e verificação no campo.

As fragilidades decorrentes dos componentes geoambientais que constituem as regiões em foco, aliadas ao uso inadequado das terras motivado por uma ação antrópica desordenada e visando resultados imediatistas, desencadearam os desequilíbrios verificados. Neste contexto, pesquisas mais detalhadas objetivando a determinação das causas específicas e consequências dos processos degradantes, torna-se necessário para um diagnóstico mais abrangente dos problemas aqui levantados.

Devido ao predomínio na área de solos com características morfológicas, físicas e químicas

que favorecem os diversos tipos de erosão e ao grau de proporção atingido por este fenômeno, conforme observações em campo, é prioritário o procedimento de levantamentos de solos a níveis mais detalhados, com a finalidade de avaliar sua capacidade de uso, definindo a utilização mais adequada dos mesmos, as técnicas de manejo recomendadas, além das práticas conservacionistas imprescindíveis para mantê-los produtivos.

Testemunhas de espécies nobres da Caatinga foram constatadas no decorrer dos trabalhos de campo. Tendo em vista este fato, é do máximo interesse a realização de pesquisas com o objetivo de recuperar as áreas degradadas susceptíveis à desertificação, a partir das referidas espécies vegetais.

Um programa de educação ambiental, atingindo as diferentes faixas etárias da população é recomendável, pois se trata de condição indispensável para o êxito de qualquer atividade visando a preservação ambiental. Sem a consciência da comunidade é inútil qualquer esforço empreendido.

## **10.2 Impacto do desmatamento da Caatinga**

### **10.2.1 Motivação e justificativa da relevância**

A Caatinga é o bioma principal das Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASD) na região Nordeste. A vegetação natural deste bioma é xerófila, caducifolia e aberta, bem adaptada para suportar longos períodos de estiagem. A paisagem é uma combinação de áreas desprovidas de vegetação, corpos d'água e áreas urbanizadas correspondendo a mais de 60% da extensão do bioma (PROBIO, 2007). Apesar da severidade das condições ecológicas e dos níveis de antropização, a biodiversidade é elevada nas ASD, nas quais o bioma Caatinga contabiliza 318 espécies endêmicas da flora, cerca de 350 espécies de aves e 143 de mamíferos (PAUPITZ, 2013).

As ações nacionais de controle e reversão do desmatamento nos biomas do país resultaram no monitoramento sistemático com imagens de satélite da evolução das perdas de vegetação dos seis biomas brasileiros. Em 2002 o desmatamento representava uma perda de 555.542 km<sup>2</sup> ou 41,4% da área total. Desde 2002, com o monitoramento realizado pelo SFB/IBAMA estima-se que 36.576 km<sup>2</sup> ou 2,7%

da área total da ASD foram desmatados. De acordo com a mesma fonte, calcula-se que em 2008 as áreas remanescentes de cobertura dos biomas da ASD alcançavam 748.755 km<sup>2</sup> ou 55,9% da extensão total (PAUPITZ, 2013).

A imagem a seguir mostra a dinâmica do desmatamento na região Nordeste, estando focalizados os pontos de progresso do desmatamento nas áreas mais ocidentais da região (pontos em vermelho). As áreas em amarelo representam focos de desmatamento anteriores a 2002. A imagem aporta um quadro relativamente estabilizado para o estado de Ceará.

No Ceará, o desmatamento focaliza-se nas regiões do Sul e Oeste do estado, não afetando municípios das bacias da Região Metropolitana de Fortaleza e do rio Acaraú. No plano estadual, 28% da cobertura dos solos correspondem a Caatinga degradada em diferentes níveis, o menor nível entre os estados do Nordeste; 48% é Caatinga preservada. 24% restante correspondem às áreas agrícolas (16%), áreas expostas (6%), corpos de água (3%), e áreas urbanas (<1%).

Um relatório de monitoramento do desmatamento do bioma Caatinga mais recente, divulgado pelo MMA e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) em 2011 aponta para uma aceleração do processo de desmatamento ao longo da primeira década do século XXI: em 2002, 43% da vegetação original havia sido suprimida; em 2008, o desmatamento chegava a 45%. Em números absolutos, a Caatinga teve 16,5 mil km<sup>2</sup> de cobertura nativa suprimida no período analisado – ou uma perda média de 0,33% por ano.

Os ecossistemas fornecem uma gama de serviços, muitos dos quais são fundamentais para o bem-estar humano, para a saúde, meios de subsistência e sobrevivência (COSTANZA et al., 1997; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MA), 2005; TEEB FOUNDATIONS, 2010). A degradação dos ecossistemas e a perda da biodiversidade minam o funcionamento e a resiliência dos ecossistemas e ameaçam assim a capacidade dos mesmos de fornecerem continuamente o fluxo de serviços ecossistêmicos para as gerações presentes e futuras. Espera-se que estas ameaças se tornem maiores no contexto das alterações climáticas e do consumo cada vez maior de recursos

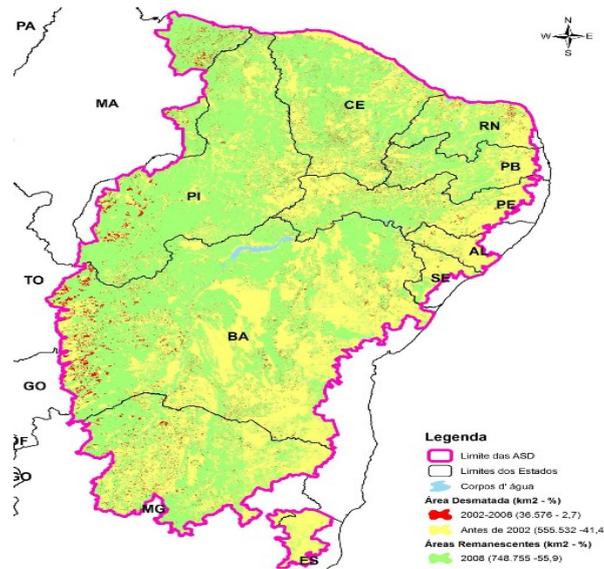
humanos.

Um estudo do Banco Mundial sobre o custo do desmatamento da Amazônia Brasileira (MARGULIS, 2003) indica os seguintes impactos socioeconômicos relevantes:

- Valor de Existência: refere-se às estimativas relativas à existência do ecossistema (ou não-uso) associadas à preservação da mata, ao seu valor ambiental. Apresenta valores bastante distintos na literatura, tipicamente baseados em valorações contingentes (em países ricos) onde se identifica a disposição a pagar pela preservação de espécies e sítios naturais;
- Estocagem de Carbono: refere-se ao estoque de carbono de florestas. É de difícil quantificação, mas é significativo;
- Serviços de *habitat* e bioprospecção: refere-se à possibilidade de que a biodiversidade da floresta permite a descoberta de fármacos e seus princípios ativos para o avanço da medicina;
- Valor de uso direto (atividades econômicas declinantes): refere-se ao extrativismo madeireiro, extrativismo não-madeireiro e ecoturismo.

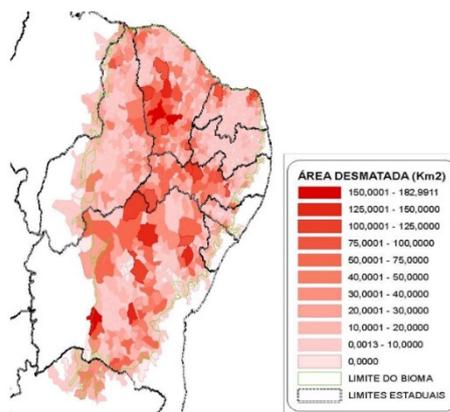
A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro. À medida que as pesquisas sobre o bioma avançam mais se descobre que ele é um ambiente natural com maior riqueza em biodiversidade do que se imaginava. Embora ela tenha uma grande importância para as condições naturais da região do Nordeste brasileiro, a Caatinga vem sendo desmatada intensamente ao longo dos últimos anos. A vegetação desse domínio natural possui um alto poder calorífico, sendo bastante adequada para a utilização como lenha. Estima-se que 30% da energia utilizada pelas indústrias locais provenham da prática de extração da lenha da vegetação do semiárido. Existem indícios ainda não comprovados de que a Caatinga possa ser mais eficiente na absorção de gás carbônico na atmosfera do que as florestas tropicais, haja vista, que essas últimas produzem uma quantidade de CO<sub>2</sub> mais ou menos equivalente ao que absorvem.

**Figura 32**  
**Desmatamento nas -áreas susceptíveis de desertificação no Nordeste, até 2008**



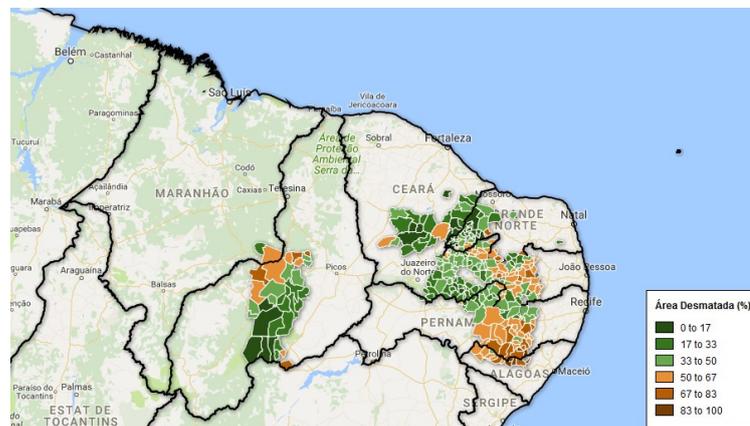
Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013.

**Figura 33**  
**Distribuição espacial de vegetação nativa suprimida por município entre 2002 e 2008**



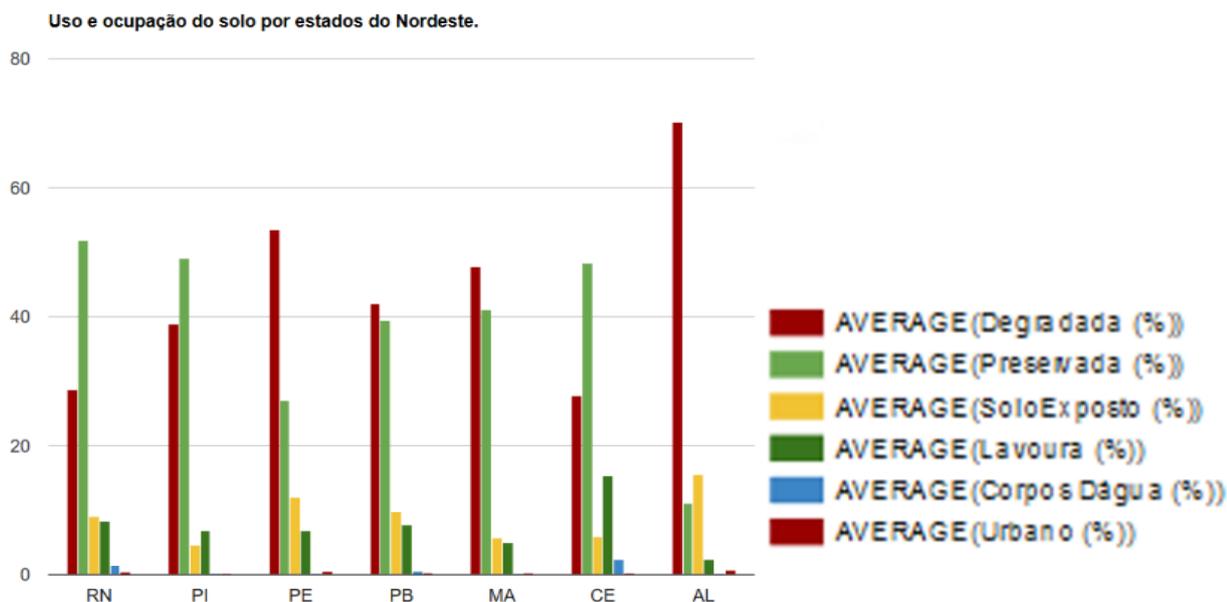
Fonte: MMA e IBAMA 2010

**Figura 34**  
**Principais focos do desmatamento da Caatinga no Nordeste entre 2013 e 2014**



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013

**Figura 35**  
**Uso e ocupação do solo por estados do Nordeste**



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013

Os desmatamentos da Caatinga também têm consequências sobre a desertificação, sendo que nas regiões de clima mais quente e com pouca precipitação a tendência de desertificação é alta, em virtude da desidratação dos solos ocasionada pelo elevado índice de evaporação. Com a remoção da vegetação, o problema é intensificado, além de tornar os solos mais expostos e, por isso, altamente propensos a erosões e outros problemas ambientais, como a salinização.

### 10.2.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

Groot *et al.* (2012) dão uma visão geral dos valores dos serviços ecossistêmicos de 10 principais biomas, expressos em unidades monetárias. Foram utilizados valores monetários das florestas em Int. \$/ha/ano, níveis de preços de 2007 que foram convertidos em Reais de 2013.

Os serviços de provisão incluem alimentos, água, matérias-primas, recursos genéticos, recursos medicinais e recursos ornamentais com valor de R\$ 743,00/ha/ano.

Os serviços de regulação incluem regulação da qualidade do ar, regulação do clima, moderação de perturbações, regulação dos fluxos de água, tratamento de resíduos, prevenção da erosão, ciclagem de nutrientes, polinização e controle biológico com valor de R\$ 150,00/ha/ano.

Os serviços culturais incluem informações estéticas, recreação, inspiração, experiência e

desenvolvimento cognitivo com valor de R\$ 21,00/ha/ano.

Com relação ao desmatamento do bioma Caatinga considerou os dados do MMA e do IBAMA de 2010, e do IPEGE de 2014. Estes estudos determinaram estimativas da área total de Caatinga degradada utilizando técnicas de geoprocessamento de imagens satélite landsat-8 (bandas 4, 5 e 6 com média de concordância superior a 0,8).

Considerou-se para a avaliação do custo ambiental do desmatamento, a superfície total desmatada historicamente (também antes de 2002).

Essa hipótese está bem fundamentada porque o que está sendo valorado são os serviços ambientais que a mata original já não vai poder fornecer no futuro visto que já foi cortada. Assim, o custo da degradação da floresta não é um custo pontual alocado somente para o ano em que a floresta foi cortada, mas é um dano permanente no tempo. Isso ocorre porque os valores dos serviços ambientais que já não poderão ser retornados (a exemplo de regulação climática, como fonte de provisão de recursos, ou através dos seus valores culturais e estéticos que podem ser explorados, por exemplo, pelo turismo) tem uma marca permanente, que só é recuperado se a mata for restaurada.

### 10.2.3 Resultados

A Tabela 21 a seguir valora o impacto do desmatamento da Caatinga por perda de serviços ambientais da mata (aprovisionamento, regulação climática, culturais):

**Tabela 21**  
Impactos econômicos dos serviços de aprovisionamento, de regulação e culturais

Bacias hidrográficas	Custo do impacto	
	Em R\$ milhões/ano	Em relação ao PIB da Bacia (%)
RMF	117	0,77
Rio Acaraú	498	7,30
Rio Salgado	626	8,05

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

**Tabela 22**  
Desmatamento da Caatinga até 2002 e média anual entre 2002 e 2008/2014

Especificação	Bacia RMF	Rio Acaraú	Rio Salgado
Área desmatada (ha) (2002-2008)	5.066	7.298	9.589
Cobertura original degradada (%)	49,0	26,0	51,0

Fonte: IPECE 2013

### 10.2.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

A valoração unitária dos serviços ambientais das matas (R\$ por hectare/ano) apresenta na literatura valores bastante diversos, tipicamente baseados em valorações contingentes onde se identifica a disposição a pagar das pessoas pela preservação de espécies e sítios naturais. De forma generalizada, as valorações contingentes tendem a superestimar o valor que as pessoas pagariam se finalmente tivessem que investir, neste caso para preservar a mata.

Os dados aqui utilizados provem do trabalho de D. de Groot a partir do banco de dados TEEB (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*) gerado pela Universidade de Wageningen (Holanda) e a Fundação para o Desenvolvimento Sustentável de Wageningen. Este banco de dados é referência no plano ambiental e utiliza como fonte 50 estudos de casos em diversos pontos do mundo.

Não são considerados os serviços de *habitat* (vinculados a futuros estudos genéticos e de remediação de doenças), que o TEEB valora numa ordem de magnitude de, aproximadamente, 4 vezes superior à soma dos serviços de aprovisionamento, de regulação e culturais. Se assim for, o custo do desmatamento seria enorme, porém, este valor não se distanciaria muito de outros valores unitários utilizados para valoração de serviços ambientais na Europa.

Outro obstáculo nesta avaliação é a metodologia empregada para medir a área de Caatinga desmatada para a valoração econômica. No sentido estrito, toda a floresta cortada implica em uma perda de serviços ambientais, independentemente, se a floresta foi cortada há uma década ou há um século. Os estudos mais recentes na região consideram a existência de 40% de mata degradada e de 47% de mata preservada. Nas bacias analisadas foram considerados percentuais de 49% de mata degradada na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 26% na bacia hidrográfica do rio Acaraú e 51% na bacia hidrográfica do rio Salgado. Ao considerar extensões de mata degradada tão grandes, isto implica a custos também muito importantes.

O desmatamento elevado no bioma Caatinga vem gerando processos de desertificação em diversas áreas, alterando diretamente a biota, o microclima e os solos, sendo fundamental o desenvolvimento de técnicas de pesquisa capazes de incorporar informações que identifiquem o estado dos recursos naturais, apontando os seus relacionamentos e alguns caminhos a serem tomados para uma intervenção eficiente com o objetivo de gerar a recuperação e o aproveitamento sustentável das terras nesse ambiente.

## 11 CUSTO ASSOCIADO À DESASTRES NATURAIS

Este capítulo analisa os impactos econômicos gerados a partir dos custos ocasionados por desastres naturais em especial os relacionados à fenômenos climáticos a exemplo de estiagens (secas), enxurradas e inundações. A análise foi realizada a partir do levantamento de dados e de estudos de referências.

### 11.1 Motivação e justificativa da relevância

Os riscos derivados de desastres naturais estão aumentando no contexto da mudança do clima. A recorrência destes fenômenos extraordinários é cada vez mais frequente.

Os desastres naturais são fenômenos e desequilíbrios da natureza que fazem parte da geodinâmica terrestre, estes não dependem da ação humana e auxiliam na renovação e manutenção dos ecossistemas, na formação do relevo, no abastecimento das fontes hídricas naturais, dentre outros aspectos. Porém, muitas vezes quando ocorrem, podem acarretar sérios prejuízos para os habitantes de uma região.

Mesmo se tratando de fenômenos naturais, os efeitos adversos destes desastres têm aumentado de maneira significativa, devido principalmente, ao aumento da presença humana e à falta de resiliência em determinados contingentes populacionais, fragilizados pela alta densidade populacional e as condições de moradia subnormais.

No estado do Ceará é expressiva a ocorrência de desastres associados a fenômenos climáticos: as estiagens prolongadas e, sua contraparte, as tormentas intensas são os desastres mais frequentes. Estes fenômenos acarretam prejuízos e perdas significativas, inclusive de vidas humanas.

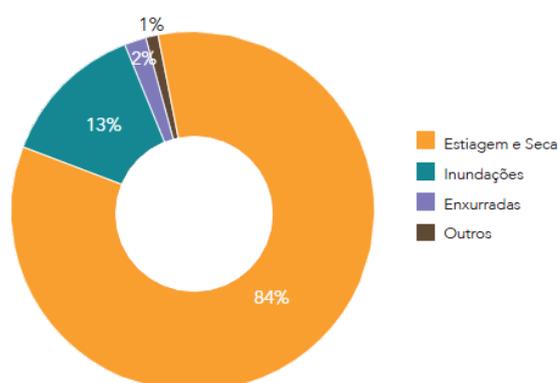
Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013), no período de 1991 a 2012 ocorreram 2.046 registros oficiais de desastres naturais que afetaram o estado do Ceará, com a ocorrência dos seguintes eventos: estiagens e secas; inundações; enxurradas; alagamentos; movimentos de massa; erosões; incêndios florestais e vendavais.

No período de 1991 a 2012 foram registrados 56 óbitos, 1.809 feridos, 59.164 enfermos,

2.048.801 desabrigados, 195.058 desalojados, 23 desaparecidos e 20.708 pessoas atingidas por outros tipos de danos. O município de Fortaleza apresentou 11 registros de mortes, resultado de severas enxurradas ocorridas nos anos de 2002 e 2004 (Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013).

A Figura 36 a seguir apresenta em proporção, os desastres naturais mais recorrentes no Ceará, no período de 1991 a 2012.

**Figura 36**  
**Desastres naturais mais frequentes acontecidos no Ceará 1991-2012**



Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013

De acordo com o Atlas, mais de 50% dos registros de seca no Brasil estão concentrados na região do Nordeste do país. Em segundo lugar, com 26,91% dos registros, está a região Sudeste. Ainda sobre os efeitos da seca, o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais informa, com relação aos danos por estiagem e seca, que, entre 1991 e 2012, apenas na região Nordeste os danos atingiram mais de 41 milhões de pessoas afetadas.

Ainda entre os anos de 1991 e 2012, Ceará enfrentou anos mais chuvosos de sua história, onde diversos de seus rios atingiram níveis não registrados desde 1974. Segundo dados da Defesa Civil, em todo o Estado, quase 600 mil pessoas foram afetadas pelas enchentes, contabilizando 4.933 desabrigados, 16.259 desalojados e 20 mortos. As bacias Metropolitanas contabilizaram 949 desabrigados, 3.682 desalojados e 4 mortos, afetando 170.571 pessoas. A bacia hidrográfica do rio Acaraú contabilizou 998 desabrigados, 3.018 desalojados e 4 mortos, afetando 135.169 pessoas.

10 municípios no Ceará se encontram em situação de risco muito alto, situados, principalmente, nas macrorregiões dos Sertões Central, dos Inhamus e no Litoral Leste-Jaguaribe. As regiões de Sobral-Ibiapaba, RMF e Baturité apresentam a maior quantidade de municípios com situação de risco “muito baixo” (Olimpio, 2013).

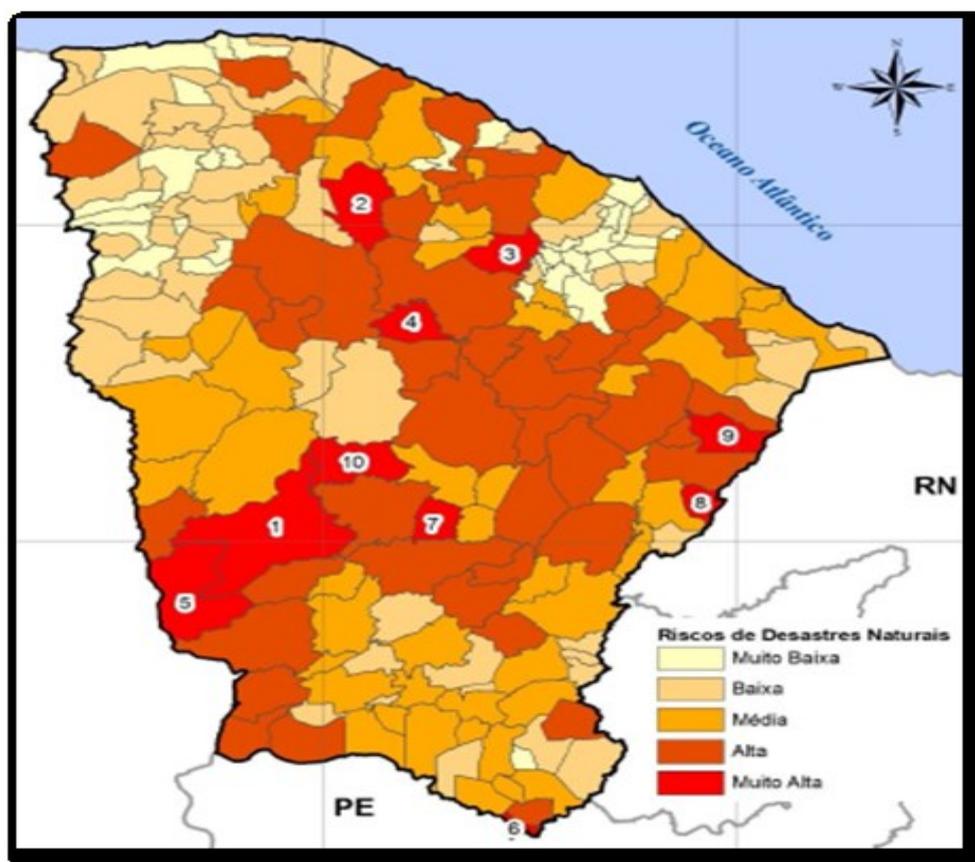
Na Região Metropolitana de Fortaleza, os municípios possuem de médio a muito baixo risco, com exceção do município de São Gonçalo do Amarante, o qual apresenta uma situação de vulnerabilidade social mediana e está bastante exposto a enchentes e estiagens (Olimpio, 2013).

O município de Sobral, apesar de possuir vulnerabilidade social muito baixa, apresenta um

risco “médio”, devido a frequente ocorrência de secas e inundações, promovidas pelos rios da bacia hidrográfica do rio Acaraú (Olimpio, 2013).

Do mesmo modo que as secas e estiagens, as inundações são desastres recorrentes em alguns municípios. Os municípios das bacias hidrográficas dos rios Salgado, Aracatiaçu, Acaraú (regiões de Sobral-Ibiapaba e Litoral Oeste) e Jaguaribe foram os mais atingidos pelas inundações. O município do Crato foi o que apresentou a maior frequência, motivados pelas inundações do canal do rio Granjeiro, contribuinte do rio Salgado.

**Figura 37**  
Distribuição espacial do risco de desastres naturais no estado do Ceará



Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013

### 11.2 Parâmetros e hipóteses a avaliação

O “valor estatístico da vida” (VEV) supõe que a perda de uma vida representa, pelo menos, um custo para a sociedade num montante equivalente ao valor presente da produção futura que se esperaria de tal pessoa. Para se calcular esse custo, assume-se que o “valor estatístico da vida” é igual ao montante do valor presente da produção

futura de uma pessoa, calculado ponderando-se as probabilidades dessa pessoa estar viva numa determinada faixa etária, economicamente ativa e estar empregada.

Baseado em Serôa da Motta (2000), SUS (2005) e Mendes (1994) o “valor estatístico da vida” situa-se entre R\$ 255.000,00 para crianças e jovens até 30 anos e R\$ 11.000,00 para aposenta-

dos. Em média, utiliza-se um “valor estatístico da vida” para um cidadão padrão de R\$ 195.000,00.

De acordo com dados do Observatório Clima e Saúde, no ano 2004 houve um grande número de desabrigados e desalojados. Para a estimativa do custo do desabrigados, casas afetadas são calculadas como soma de desabrigados e desalojados dividido por média de pessoas em domicílios. Concretamente, o número de desabrigados é 4.960 na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 3.661 na bacia hidrográfica do rio Acaraú; e 3.666 na bacia hidrográfica do rio Salgado. Número de desalojados é 11.470 na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 1.579 na bacia hidrográfica do rio Acaraú; e 9.164 na bacia hidrográfica do rio Salgado.

De acordo com dados de Observatório Clima e Saúde o ano 2004 houve um grande número de alagamentos e inundações com 14 mortes em bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, bacia hidrográfica do rio Acaraú e bacia hidrográfica do rio Salgado.

Em síntese, os principais parâmetros utilizados foram:

- número de desabrigados em um ano extremo (2004): 4.214 na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 1.373 na bacia hidrográfica do rio Acaraú; 3.380 na bacia hidrográfica do rio Salgado;
- número de mortes em um ano extremo (2004): 6 na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 4 na bacia hidrográfica do rio Acaraú; 4 na bacia hidrográfica do rio Salgado.

### 11.2.1 Resultados

A Tabela 23 a seguir mostra o impacto econômico em um ano derivado dos desabrigados e dos mortos por desastre natural.

**Tabela 23**  
**Impacto econômico anual dos desabrigados e mortos por desastre natural**

Bacias hidrográficas	Custo do impacto	
	Em R\$ milhões/ano	Em relação ao PIB da Bacia (%)
RMF	23,00	0,03
Rio Acaraú	7,00	0,115
Rio Salgado	18,00	0,24

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

### 11.2.2 Discussão sobre a magnitude do resultado

Adotou-se aqui um valor médio de R\$ 195.000,00 por cada morte. Trata-se de um valor bastante conservador, visto que o VEV por pessoa varia entre 2,9 e 4,6 milhões de libras para os EUA e entre 2,4 e 2,9 milhões de libras no Reino Unido. Uma hipótese de maior custo das vidas no Brasil iria dar uma valoração do impacto direto dos desastres naturais mais elevada.

Os impactos diretos (mortes, relocações etc.) dos desastres naturais contabilizados anualmente são menores que o que poderia atender-se. O impacto de um desastre natural é muito importante (em vidas, desabrigados, danos em infraestrutura), mas só acontece uma vez em muitos anos. O valor anualizado destes desastres resulta muito menor.

Então, ainda se o impacto social de um morto é muito importante, a atualização do valor de alguns óbitos que só vão acontecer esporadicamente no tempo faz que o impacto da mortalidade por acidentes durante um desastre natural não seja pouco relevante estatisticamente. Por exemplo, no plano do transporte viário, o indicador de óbitos em acidentes de tráfego tem muita mais relevância, por causa da probabilidade de óbito ser muito maior: em 2014, 44.471 brasileiros perderam as vidas em acidentes viários, de acordo com “Retrato da Segurança Viária no Brasil”, e no Ceará, só nas rodovias federais aconteceram mais de 3.000 óbitos.

Tampouco se avaliam aqui os efeitos indiretos dos desastres naturais, por exemplo, o efeito distributivo da seca na produção da economia. Essa análise faz-se tipicamente com análises das tabelas *input-output*, observando as variações na produtividade de todos os setores econômicos por causa de uma perturbação, por exemplo, na agricultura ou nas atividades extrativas (setores diretamente ligados à água).

Esta análise está fora do escopo dos trabalhos deste estudo, mas *a priori*, os impactos indiretos se estimam que poderão ser muito importantes. Estudos semelhantes feitos na Europa para avaliar o impacto de secas extremas na região Mediterrânea estabeleceram impactos de mais de 7% das economias locais.

## 12 PERDAS DE ÁGUA POR DEFICIÊNCIAS NAS REDES DE ABASTECIMENTO, ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS E SOBRECONSUMO (CONSUMO EM EXCESSO)

Este capítulo apresenta e analisa os custos econômicos gerados a partir da escassez hídrica ocasionada por fatores de consumo, perdas no sistema de abastecimento de água em fatores que afetam os estoques hídricos como os assoreamentos de reservatórios.

### 12.1 Abrangência das análises

Além dos elementos de degradação ambiental, existem outros elementos que afetam a disposição dos recursos hídricos. Em uma região com problemas de secas intensas e *déficits* hídricos, considera-se que é importante a quantificação dessas perdas e ineficiências que afetam a disponibilidade de um recurso básico como a água,

mesmo sabendo-se que esses impactos não derivam da degradação ambiental.

#### 12.1.1 Climatologia

O Balanço Hídrico Climatológico definido por Thornthwaite é obtido pela diferença dos dados médios de precipitação e evapotranspiração potencial ETP de uma região. Esse fator é um indicador climatológico da disponibilidade hídrica, sendo possível determinar os períodos com deficiências e excedentes hídricos ao longo de um ano médio. Essas informações são de cunho climático e servem de ferramenta de auxílio principalmente no planejamento agrícola.

**Tabela 24**  
**Balanço hídrico climatológico das bacias da Região Metropolitana de Fortaleza, Acaraú e Salgado**

Bacias hidrográficas	Precipitação média anual de longo período (mm)	Precipitação média anual último período de seca 2012-2015 (mm)	Evapotranspiração potencial (mm)	Déficit hídrico (mm)
Bacia Metropolitana	942,6	690,45	1.735	945,69
Bacia do rio Acaraú	845,55	507,66	1.887	1.173,54
Bacia do rio Salgado	881,6	649,51	1.904	1.128,36

Fonte: FUNCEME (2016); HARGREAVES (1973); ACQUATOOL CONSULTORIA (2016).

Nos meses de março e abril não há ocorrência de déficit hídrico em nenhum município da bacia hidrográfica RMF e da bacia hidrográfica do rio Acaraú. Na bacia hidrográfica do rio Salgado esse período tem os menores déficits hídricos.

#### 12.1.2 Perfil da seca nas bacias hidrográficas analisadas

Um dos grandes fatores das secas extremas é o fenômeno climático *El Niño* – Oscilação Sul (ENOS) que provoca grandes enchentes na região Sul-Sudeste, e torna mais severa as secas na região semiárida do Nordeste. Assim, os desastres naturais vinculados a estes fenômenos no estado de Ceará ocorrem com frequência e causam diversos transtornos à população.

Cabe destacar que as secas e estiagens não são necessariamente consequências somente de índices pluviométricos abaixo do normal ou de teores de umidade de solos e ar deficitários, existem fatores antrópicos que podem acarretar ou accele-

rar este processo, como o manejo inadequado dos corpos hídricos.

Entre 1974-2015, a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 19 anos foram úmidos e 24 foram secos. Nenhuma sequência de mais de três anos úmidos foi observada neste período analisado na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza. 15 municípios desta bacia se encontravam em “Situação de Emergência” decretada, sendo este decreto vigente.

Entre 1976-2015, a bacia hidrográfica do rio Acaraú, 18 anos foram úmidos e 21 foram secos. 16 municípios dos 27 municípios desta bacia se encontravam em “Situação de Emergência” decretada, sendo este decreto vigente

Entre 1976-2015, a bacia hidrográfica do rio Salgado, 20 anos foram úmidos e 20 foram secos. 12 municípios desta bacia se encontravam em “Situação de Emergência” decretada, sendo este decreto vigente.

Na Bacia Hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza ocorre uma alta variabilidade espacial ao longo da bacia onde, nos municípios mais litorâneos como Fortaleza e Aquiraz e nos municípios que fazem parte da serra de Guaramiranga há uma pluviometria média elevada, acima dos 1.300 mm, enquanto que nas áreas localizadas mais ao sul e ao Leste a pluviometria média decresce chegando a valores próximos dos 750 mm anuais. A região hidrográfica metropolitana apresenta alta variabilidade espacial, com valores mais elevados na porção Sul da bacia, com evapotranspiração próxima aos 2.000 mm anuais. Enquanto que na porção Oeste, percebe-se valores abaixo aos 1.000 mm anuais, como é o caso de Guaramiranga e Mulungu. Nota-se evaporação inferior à média da bacia também na porção litorânea próxima a cidade de Fortaleza.

Na bacia hidrográfica do rio Acaraú ocorre também uma alta variabilidade espacial ao longo da bacia onde, no litoral, na serra da Meruoca e na serra da Ibiapaba, há uma pluviometria média elevada, acima dos 1.000 mm, enquanto que nas áreas localizadas mais ao Sul e ao Leste a pluviometria média decresce chegando a valores próximos aos 600 mm anuais. A região hidrográfica do Acaraú apresenta certa variabilidade espacial, com valores mais elevados na porção Sul da bacia, com evapotranspiração superior aos 2.000 mm anuais. Enquanto que na porção Norte, nos municípios próximos ao litoral, há uma diminuição deste indicador com valores próximos aos 1.600 mm anuais, como é o caso de Acaraú, Bela Cruz e Cruz.

Na bacia hidrográfica do rio Salgado existe um período com precipitações importantes na região que é a pré-estação chuvosa que ocorre entre os períodos de novembro a janeiro. Estas chuvas são provocadas pela instabilidade atmosférica gerada pela presença de frentes frias localizadas no setor Centro-Sul do Nordeste, favorecendo a formação da atividade convectiva. Nota-se também certa variabilidade espacial ao longo da bacia onde, na porção Centro-Oeste, região conhecida como CRAJUBAR percebe-se pluviometria média próxima aos 1.000 mm, enquanto que nas áreas localizadas mais ao Sul, nos municípios de Penaforte e Jati, a pluviometria média decresce chegando a valores inferiores aos 700 mm anuais. A região hidrográfica do Salgado apresenta valores de evapotranspiração potencial variando de 1.850mm a 2.020mm anuais. A exceção é vista no município Caririçu, que está localizado na plata-

forma São Pedro do Crato, São Pedro do Cariri, São Pedro (IBGE, 2015), onde a evapotranspiração fica próxima dos 1.450 mm anuais.

### 12.1.3 Disponibilidade de águas subterrâneas

Na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza são considerados dois Domínios Hidro Geológicos presentes; no caso do Domínio Poroso estão inclusos os Aluviões, as Dunas/Paleodunas e a formação Barreiras. Já o Domínio Fissural abrange o Embasamento Cristalino. Foram identificados 6.036 poços instalados na região, onde 6 são classificados como fontes naturais, 59 como poços amazonas e, a imensa maioria, 6.033, como poços tubulares profundos. A partir dos dados fornecidos pela CPRM estimou-se uma vazão de exploração média de 113,60 hm<sup>3</sup>/ano, aproximadamente 30% do potencial da região, esses valores de exploração foram estimados a partir dos 3.624 poços inscritos no sistema da CPRM que possuem dados de vazão.

As águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Acaraú estão localizadas em três principais aquíferos o Aluvionar, o Sedimentar e Fissural. Os aquíferos Aluvionares e Sedimentares estão localizados nos domínios porosos e o Fissural no Cristalino. Foram identificados 2.714 poços instalados na bacia, onde 7 são classificados como fontes naturais, 149 como poços amazonas e, a imensa maioria, 2.558, como poços tubulares profundos. Do total de poços identificados pela CPRM, tão somente 932 possuem dados de vazão, e consolidando esses dados se estima uma vazão de exploração média de 21.858.000 m<sup>3</sup>/ano ou 0,70 m<sup>3</sup>/s.

Na bacia hidrográfica do rio Salgado está inserido a maior reserva subterrânea do estado do Ceará, Aquíferos da Bacia Sedimentar do Araripe. Foram identificados 2.587 poços instalados na bacia hidrográfica do rio Salgado, onde 251 são classificados como fontes naturais, 23 como poços amazonas e, a imensa maioria, 2.313, como poços tubulares profundos. Do total de poços identificados pela CPRM, somente 904 possuem dados de vazão, e consolidando esses dados se estima uma vazão de exploração média de 79.795.085 m<sup>3</sup>/ano ou 2,53 m<sup>3</sup>/s.

### 12.1.4 Disponibilidade de águas superficiais

Na região hidrográfica das bacias metropolitanas existem 20 reservatórios monitorados pela COGERH, perfazendo 1.371hm<sup>3</sup> de capacidade

de de armazenamento na bacia. Quatro destes reservatórios representam 70% da capacidade total de acumulação na bacia, são eles o sistema Pacoti/Riachão com capacidade de 426hm<sup>3</sup>, o açude Pacajus, com capacidade de 232hm<sup>3</sup>, o açude Aracoiaba, com capacidade de 162hm<sup>3</sup> e o açude Pompeu Sombrio, com capacidade de 143hm<sup>3</sup>. Com relação à vazão regularizada (Q90) a bacia tem capacidade de oferecer 17,63 m<sup>3</sup>/s (548,36 hm<sup>3</sup>/ano). A região metropolitana conta com dois sistemas de transposição das águas provenientes da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, que ajudam a fortalecer a oferta de água na capital e municípios da região metropolitana.

A bacia hidrográfica do rio Acaraú possui um total de 1.902 reservatórios (COGERH, 2008), destes, 556 apresentam área inundável superior à cinco hectares (FUNCEME, 2008). Apenas 15 reservatórios podem ser considerados de porte para serem monitorados pela COGERH, sendo os únicos utilizados pelo órgão para o cálculo da capacidade de acumulação na bacia, atualmente estimada em 1.721hm<sup>3</sup>. Dos reservatórios monitorados, três representam 83% da capacidade total de acumulação na bacia, são eles o açude Araras que barra o próprio rio Acaraú, com capacidade de 859hm<sup>3</sup>, o açude Taquara, implantado no tributário denominado Jaibaras, com capacidade de 320hm<sup>3</sup> e o açude Edson Queiroz, implantado no tributário denominado Groairas, com capacidade de 254hm<sup>3</sup>.

A COGERH monitora atualmente 15 reservatórios na bacia hidrográfica do rio Salgado, sendo os únicos utilizados pelo órgão para o cálculo da capacidade de acumulação superficial na bacia, atualmente estimada em 488,01hm<sup>3</sup>. Em ordem de importância temos o reservatório Atalho (município de Brejo Santo), com capacidade de acumular 108,25hm<sup>3</sup>; o Reservatório Lima Campos tem uma capacidade de 66,38hm<sup>3</sup>. Além destes, outros 7 reservatórios possuem capacidade similar, próximo aos 30hm<sup>3</sup>.

### 12.1.5 Demanda hídrica

As demandas concentradas são aquelas onde prevalecem os grandes usuários urbanos rurais, em sua maioria demandas humanas (classificadas como demandas urbanas e demandas rurais, de acordo com a distribuição territorial do contingente populacional), industriais e de irrigação.

A demanda hídrica humana representa 67% da demanda total de água na bacia da Região Metropolitana de Fortaleza. A demanda de irrigação representa 84% da demanda total de água na bacia do rio Acaraú. Na bacia do Salgado a demanda de irrigação representa o 49% da demanda total enquanto que a demanda humana representa 47%.

### 12.1.6 Balanço da oferta e demanda hídrica

Na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, estimou-se a demanda de água total em 22,99 m<sup>3</sup>/s o equivalente a 725,14 hm<sup>3</sup> anuais. Com relação à disponibilidade hídrica estimou-se em 21,25 m<sup>3</sup>/s, considerando uma garantia de 90% no caso das águas superficiais. Contrapondo-se os valores de oferta e de demanda, na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza obteve-se um valor deficitário de 1,74 m<sup>3</sup>/s ou aproximadamente 55 hm<sup>3</sup> anuais. Assim, cabe destacar que a região da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza não seria autossuficiente, mesmo em condições ótimas, considerando o total aproveitamento das águas disponíveis e anos normais de precipitação. Entretanto na região ainda existem alguns enclaves que fizeram a cidade de Fortaleza não entrar em colapso, diferentemente, da imensa maioria das grandes cidades do estado que vêm sofrendo consequências severas pela escassez de água. Tal fato é possível devido aos grandes aportes de água advindos da região do Alto e Médio Jaguaribe, para garantir o abastecimento da Capital. Atualmente praticamente todo o abastecimento da cidade de Fortaleza é feito via Eixão das Águas, com recursos provenientes do Açude Castanhão e Orós.

Na bacia hidrográfica do rio Acaraú, estimou-se a demanda de água total na bacia em 11,69 m<sup>3</sup>/s o equivalente a 364 hm<sup>3</sup> anuais. Com relação à disponibilidade hídrica estimou-se em 15,82 m<sup>3</sup>/s, considerando uma garantia de 90% no caso das águas superficiais, que representam 95% da oferta total na bacia. Contrapondo-se os valores de oferta e de demanda, na bacia hidrográfica do rio Acaraú, obteve-se um valor superavitário de 4,13 m<sup>3</sup>/s ou aproximadamente 130 hm<sup>3</sup> anuais. Porém cabe destacar que a oferta foi calculada considerando as condições normais do sistema, ou seja, não foram considerados eventos extremos de escassez. É importante destacar que durante eventos extremos de escassez, como o que vêm acontecendo desde 2012, outros fatores diversos são

percebidos, retirando a região de uma zona de conforto superavitária, caso da atual crise hídrica no estado. Tais fatores passam pelas dificuldades em impor prioridades de uso, falta de políticas públicas eficazes para administrar as crises hídricas e até a falta de infraestrutura auxiliar para o aproveitamento integral dos montantes hídricos disponíveis. Pese a tudo isso, na região ainda existem alguns enclaves que não sofreram ameaças de colapso como é o caso do abastecimento de Sobral, que, diferentemente, da imensa maioria das grandes cidades do estado ainda detém recursos para suportar mais um longo ano de estiagem.

Para a bacia hidrográfica do rio Salgado, estimou-se a demanda de água total na bacia em 3,53 m<sup>3</sup>/s o equivalente a 111,33 hm<sup>3</sup> anuais. Com relação à disponibilidade hídrica estimou-se em 4,96 m<sup>3</sup>/s, considerando uma garantia de 90% no caso das águas superficiais. Nota-se grande importância das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Salgado que representam 49% da oferta de água disponível. Contrapondo-se os valores de oferta e de demanda, na bacia hidrográfica do rio Salgado, obteve-se um valor superavitário de 1,43 m<sup>3</sup>/s ou aproximadamente 45,65 hm<sup>3</sup> anuais. Porém cabe destacar que a oferta foi calculada considerando as condições normais do sistema, ou seja, não foram considerados eventos extremos de escassez.

**Tabela 25**  
**Oferta e demanda de água nas bacias estudadas**  
**(hm<sup>3</sup>/ano)**

Especificação	Bacia RMF	Rio Acaraú	Rio Salgado
Oferta de águas subterrâneas	113,6	21,9	79,8
Oferta de águas superficiais	548,4	470,3	76,7
<b>Total da oferta</b>	<b>662,0</b>	<b>492,2</b>	<b>156,5</b>
Demanda Humana	488,2	44,6	52,0
Demanda Industrial	181,8	15,3	4,5
Demanda Irrigação	55,4	303,7	54,1
<b>Total da demanda</b>	<b>725,4</b>	<b>363,6</b>	<b>110,6</b>
<b>Balço oferta e demanda</b>	<b>-63,4</b>	<b>128,6</b>	<b>45,9</b>

Fonte: Aquatools.

## 12.2 Desperdício de água por sobreconsumo humano

### 12.2.1 Motivação e justificativa da relevância

A ONU estima que 1,1 bilhão de pessoas no mundo carece de acesso a um abastecimento

de água suficiente, definido como uma fonte que possa fornecer 20 litros por pessoa por dia a uma distância não superior a 1.000 metros.

Estimam também que um consumo diário de água de 110 litros por pessoa é suficiente para atender as necessidades básicas de um cidadão, incluindo tomar banho, escovar os dentes, beber água, preparar comida, lavar a roupa, dentre outros usos.

Em 2013, o consumo médio per capita de água no Brasil era de 166,3 litros por dia, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico do Ministério das Cidades. No caso do Ceará, o consumo de água per capita foi de 147 litros/hab/dia, mas em estados como o Rio de Janeiro e o Maranhão, esse índice superava os 200 litros.

O consumo de água acima das necessidades básicas pessoais supõe um custo social se considerarmos que a água é um recurso cada vez mais escasso. Em meio da grave crise de falta de água que afeta o Nordeste, economizar é extremamente necessário.

Um consumo de água de 110 litros por dia e habitante permite o banho (12 litros), as descargas diárias do sanitário (2 descargas, 12 litros), higiene pessoal (3 litros), lavar louça (55 litros), lavar roupa na máquina (20 litros), resultando em um consumo total de 102 litros por pessoa e dia (CSBESP, 2015).

### 12.2.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

O consumo de água dos habitantes do Ceará foi estimado a partir de um consumo médio por habitante de 147,9 litros/pessoa/dia (Acquatool Consultoria, 2016), como já foi discutido no Capítulo do Custo da Degradação das Águas. Este consumo é um valor relativamente baixo no contexto do Brasil.

Foi estabelecido o consumo de água por pessoa estritamente necessário em 110,0 l/hab. dia a partir da estimativa feita pelas Nações Unidas. Isso significa um sobreconsumo excessivo de água de 38 litros/hab/dia.

O valor do sobreconsumo por habitante foi levando em conta apenas a água consumida de fontes regularizadas (hipótese conservadora).

Considerando um valor do m<sup>3</sup> de água calculado a partir do quadro de tarifas de comercialização no estado do Ceará e a dimensão média das

moradias (3,9 pessoas por moradia, veja discussão no capítulo do Custo da Degradação das Águas), tem-se como resultado um valor médio de R\$ 3,16 por m<sup>3</sup>.

Em síntese, os principais parâmetros utilizados foram:

- sobreconsumo por pessoa: 0,038 m<sup>3</sup>/hab/dia;
- sobreconsumo anual por bacia: 54,05 hm<sup>3</sup> na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 8,37 hm<sup>3</sup> na bacia hidrográfica do rio Acaraú; 10,75 hm<sup>3</sup> na Bacia hidrográfica do rio Salgado;
- valor da água: R\$ 3,16 por m<sup>3</sup>.

### 12.2.3 Resultados

A Tabela 26 a seguir apresenta a perda de recursos hídricos derivados do sobreconsumo de água pelos cidadãos.

**Tabela 26**  
**Perdas de água por sobreconsumo das pessoas**

Especificação	Bacia RMF	Bacia do rio Acaraú	Bacia do rio Salgado
Perda de recursos hídricos (hm <sup>3</sup> /ano)	54 hm <sup>3</sup>	8 hm <sup>3</sup>	11 hm <sup>3</sup>
Perda de recursos hídricos (m <sup>3</sup> /ano)	54x10 <sup>6</sup>	8x10 <sup>6</sup>	11x10 <sup>6</sup>

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

### 12.2.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

A sensibilização da população para um consumo responsável da água é um elemento crítico numa região sofrendo de déficit hídrico e em um contexto da mudança climática se faz necessária a ação. Acredita-se que ainda pode-se incrementar o nível de consumo de água por pessoa observando os consumos unitários de outros estados da Federação, considerando o futuro crescimento econômico da região Nordeste, além do peso crescente da atividade turística, habitualmente, grande consumidora de água (piscinas, roupa de quarto etc.).

As economias potenciais de água, só na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza (54 hm<sup>3</sup>) poderiam diminuir um 85% o déficit de consumação da bacia (avaliado em 65 hm<sup>3</sup>), não fazendo necessárias interligações com outras bacias.

Além disso, o valor da água potencialmente economizada poderia ser um desafio difícil, já que o atingimento de um consumo por pessoa de 110 l/hab/dia é complexo, sobretudo, porque o consumo de água tende a crescer com a criação de riqueza econômica. Por exemplo, nos Estados Unidos, só cidades como Santa Fé (Novo México) consomem abaixo desse limiar (101 l/hab/dia),

sendo o consumo médio por pessoa no contexto do inteiro acima de 500 l/hab/dia. Em média, poucos países estão consumindo abaixo de 110 l/hab/dia (China 89 l/hab/dia; Quênia 46 l/hab/dia), de acordo com o portal data360.org a partir do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas.

### 12.3 Perdas nas redes de abastecimento de água

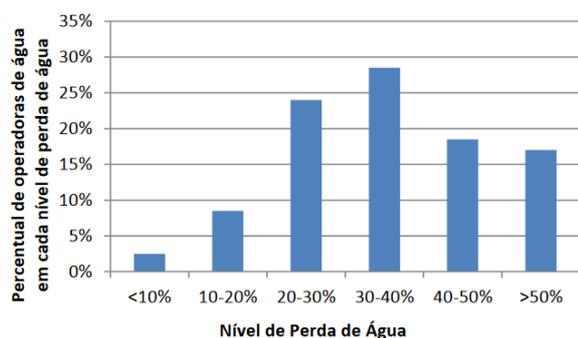
#### 12.3.1 Motivação e justificativa da relevância

Os sistemas de abastecimento de água, por sua complexidade, embutem um determinado grau de perda da produção. Aliada a isso, a infraestrutura antiga comum aos sistemas de abastecimento de água em muitos municípios brasileiros tem como consequência maiores problemas de manutenção e índices maiores de perdas de água, especialmente, por conta dos efeitos resultantes do descuido nas atividades de conservação.

Além das perdas econômicas derivadas para as empresas de saneamento básico, as perdas de água supõem um custo social quando se considera que a água está se tornando um recurso cada vez mais escasso, tanto devido à poluição dos mananciais de abastecimento quanto ao incremento da recorrência dos períodos de seca extrema.

Estima-se que em média, os valores das perdas beiram os 40% no Brasil, decrescendo, mas a uma velocidade baixa. A cada 100 litros de água coletados e tratados, em média, apenas 63 litros são consumidos. As perdas derivam dos vazamentos, roubos e ligações clandestinas, faltas de medições ou medições incorretas no consumo de água. Essas perdas estimam-se ter um custo agregado para o Brasil aproximado de R\$ 8 bilhões (ABES 2013).

**Figura 38**  
**Cenário de perdas de água das operadoras de água**



Fonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, IBNET, 2013

Para a determinação do índice de perdas na rede de distribuição utilizam-se os dados facilitados pelo Ministério das Cidades (SNIS). Esse índice é fornecido em nível de municipalidade, resultando em índices de perdas que em média são do 44% na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 30% na bacia hidrográfica do rio Acaraú e 47% bacia hidrográfica do rio Salgado.

**Tabela 27**  
**Índice de perdas de água nas redes de abastecimento**

Bacias hidrográficas	Índice de perdas (%)
Bacia da RMF	44
Bacia do Rio Acaraú	30
Bacia do Rio Salgado	47

Fonte: SNIS

### 12.3.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

Para a determinação do índice de perdas na rede de distribuição utilizam-se os dados facilitados pelo Ministério das Cidades (SNIS). Esse índice é fornecido em nível de municipalidade, resultando em índices de perdas que em média são do 44 na bacia da Região Metropolitana de Fortaleza, 30 na Bacia hidrográfica do rio Acaraú e 47 na bacia hidrográfica do rio Salgado.

Aplicam-se esses índices de perdas aos

consumos totais nas redes de abastecimento para obter a água total subministrada pelo industrial. Da diferença entre a água subministrada e os consumos, obtém-se as perdas. Concretamente, estas perdas foram estimadas para a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza 374,4 hm<sup>3</sup>/ano; para a bacia hidrográfica do rio Acaraú 46,7 hm<sup>3</sup>/ano e para bacia hidrográfica do rio Salgado 75,6 hm<sup>3</sup>/ano.

Utilizando-se do mesmo valor da água correspondente à tarifa comercial no estado de Ceará, R\$ 3,16 por m<sup>3</sup>.

Em síntese, os principais parâmetros utilizados foram:

- índices de perdas que em média são do 44 na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 30 na bacia do hidrográfica rio Acaraú e 47 bacia hidrográfica do rio Salgado;
- Perdas de água na distribuição: 163,65 hm<sup>3</sup>/ano na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 14,05 hm<sup>3</sup>/ano na bacia hidrográfica do rio Acaraú e 35,24 hm<sup>3</sup>/ano na bacia hidrográfica do rio Salgado;
- Valor da água perdida: R\$ 3,16 por m<sup>3</sup>.

### 12.3.3 Resultados

A Tabela 28 a seguir indica a perda de recursos hídricos derivados das falhas na rede de abastecimento de água.

**Tabela 28**  
**Perdas de água por falhas na rede de abastecimento**

Especificação	Bacia RMF	Bacia do rio Acaraú	Bacia do rio Salgado
Perda de recursos hídricos (hm <sup>3</sup> /ano)	164	14	35
Perda de recursos hídricos (m <sup>3</sup> /ano)	164x10 <sup>6</sup>	14 x10 <sup>6</sup>	35 x10 <sup>6</sup>

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

### 12.3.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

A melhoria das redes de distribuição de água é um elemento crítico. Havendo um incremento provável no consumo de água ligado ao crescimento econômico da região Nordeste e ao crescimento da atividade turística, os volumes necessários para abastecer os cidadãos e os negócios vão ter que aumentar considerando essas perdas. Portanto, numa região sofrendo de déficit hídrico e no contexto da mudança climática se faz necessária a ação.

Ainda que as perdas possam ser eliminadas quase sempre, sempre existe um verdadeiro nível de perda em qualquer sistema de fornecimento de água. Esta quantidade é conhecida como perdas reais anuais inevitáveis (PRAI). Os quatro métodos de intervenção centrais para combater as perdas reais de água são a gestão da pressão da rede, o controle ativo das fugas, a velocidade e qualidade das reparações e a melhoria de gestão da infraestrutura.

A enorme quantidade de água perdida por vazamento e redes de distribuição urbana de água (perdas físicas) e os volumes de água distribuídos sem a faturamento (as perdas de água aparentes) podem ser elementos que complicam a situação de fornecimento de água, especialmente em transição. As conexões ilegais e os erros de medição e contabilidade podem ser de grande importância também para as empresas de água.

## 12.4 Assoreamento de barragens e açudes

### 12.4.1 Motivação e justificativa da relevância

O assoreamento de barragens e açudes é causado principalmente pelos processos erosivos, uma vez que é este que fornece os materiais que ao serem transportados e depositados darão origem ao assoreamento (SILVEIRA, et al., 2009).

A vida útil média dos reservatórios existentes em todos os países no mundo decresceu de

100 para 22 anos (MAHMOOD, 1987). Estudos do Conselho de Recursos Hídricos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos indicam que 33 dos reservatórios construídos nesse país desde 1935 apresentam perda de volume que variam entre 25% e 50% em função do seu assoreamento; 14 dos reservatórios apresentam perda de volume que variam entre 50% e 75%; enquanto 10 perderam já perto de 100% de seu volume (VANONI, 2006).

Estima-se que no Brasil, a perda anual de volume dos reservatórios é de aproximadamente 0,5% da capacidade a cada ano (CARVALHO, 2008). Um levantamento batimétrico em 2008 na barragem de Três Irmãos (SP) comparado com os valores fornecidos pela concessionária de energia datados de 1975, mostrou que a variação do volume útil do reservatório entre 1975 e 2008 por assoreamento estava perto de 14,5% (redução de volume de 0,44% anual).

A estimativa com precisão do volume perdido num reservatório requer estudos batimétricos contrastados com dados históricos ou projeções de capacidade, ou a elaboração de estudos especializados para a aplicação de metodologias estimativas substitutivas. Muitos reservatórios de usinas hidrelétricas operam com dados defasados devido, principalmente, ao contínuo processo de assoreamento. Este fato faz com que as políticas de gestão e operação destes reservatórios sejam realizadas a partir de dados diferentes dos encontrados na realidade.

**Tabela 29**  
**Reservatórios e capacidades associadas por bacia**

Bacia Hidrográfica da RM			Bacia hidrográfica do rio Acaraú			Bacia hidrográfica do rio Salgado		
Município	Reservatório	Capacidade (hm³)	Município	Reservatório	Capacidade (hm³)	Município	Reservatório	Capacidade (hm³)
Aquiraz	Catucinzenta	24,9	Cariré	Taquara	320,78	Aurora	Cachoeira	34,33
Aracoiaba	Aracoiaba	162	Catunda	Carmina	13,48	Baixio	Jenipapeiro II	41,4
Baturité	Tijuquinha	0,88	Forquilha	Arrebita, Forquilha	68,66	Barro	Prazeres	32,5
Capistrano	Pesqueiro	9,03	Ipú	Bonito	6	Brejo Santo	Atalho	108,25
Cascavel	Malcozinhado	36,55	Ipueiras	Jatobá II	6,24	Caririaçu	São Domingos II	2,25
Caucaia	Cauhipe, Sítios Novos	138	Massapê	Acaraú Mirim	40,26	Cedro	Ubaldinho	31,8
Choró	Pompeu Sobrinho	143	Meruoca	Jenipapo	3,5	Crato	Thomás Osterne	28,78
Horizonte	Pacoti	213,48	Nova Russas	Farias de Sousa	12,23	Granjeiro	Junco	2,03
Ibaretama	Macacos	10,32	Santana do Acaraú	São Vicente	9,84	Icó	Lima Campos, Tatajuba	69,1
Itaitinga	Riachão	213,48	Santa Quitéria	Edson Queiroz	254	Juazeiro do Norte	Manoel Balbino	37,18
Itapiúna	Castro	62,31	Sobral	Ayes de Sousa, Sobral	101,07	Lavras da Mangabeira	Rosário	47,22
Maranguape	Amanary, Itapebussu,	29,06	Tamboril	Carão	26,23	Mauriti	Gomes, Quixabinha	34,17
Ocara	Batente	33,51	Varjota	Araras	859,53	Várzea Alegre	Olho d'água	19
Pacajus	Pacajus	232						
Pacatuba	Gavião	33,3						
Redenção	Acarape do Meio	29,6						
<b>TOTAL</b>		<b>1.371,41</b>	<b>TOTAL</b>		<b>1721,82</b>	<b>TOTAL</b>		<b>488,01</b>

Fonte: PLANERH, 2005

#### 12.4.2 Parâmetros e hipóteses da avaliação

Foram utilizados dados sobre a capacidade dos reservatórios das bacias fornecidos pelo PLANERH 2005 (veja Tabela 32).

Projetou-se uma estimativa conservadora da perda de capacidade dos reservatórios por assoreamento de 10% da capacidade das barragens para cada bacia. Estima-se que no Brasil, a perda anual de volume dos reservatórios, é de aproximadamente 0,5% da capacidade a cada ano. Estudos recentes no reservatório dos Três Irmãos (SP) mostraram uma variação do volume útil de 14,5%.

Utilizou-se do mesmo valor para a água correspondente à tarifa comercial no estado de Ceará, empregado já em outros Capítulos desta avaliação, ou seja, R\$ 3,16 por m<sup>3</sup>.

Em síntese, os principais parâmetros utilizados foram:

- capacidade total das barragens: 1371,41 hm<sup>3</sup> para a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; 1721,82 hm<sup>3</sup> para a bacia hidrográfica do rio Acaraú; 488,01 hm<sup>3</sup> para a bacia hidrográfica do rio Salgado;
- capacidade perdida por assoreamento: 137,1 hm<sup>3</sup> para a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza;; 171,8 hm<sup>3</sup> para a bacia hidrográfica do rio Acaraú; e 48,8 hm<sup>3</sup> para a bacia hidrográfica do rio Salgado;
- valor da água perdida: R\$ 3,16 por m<sup>3</sup>.

#### 12.4.3 Resultados

A Tabela 30 a seguir apresenta a perda de recursos hídricos derivados da redução de capacidade dos reservatórios por assoreamento e o valor econômico deste volume de água perdida.

**Tabela 30**  
Perdas de água por assoreamento de reservatórios

Especificação	Bacia da RMF	Bacia do rio Acaraú	Bacia do rio Salgado
Perda por assoreamento (hm <sup>3</sup> /ano)	137 hm <sup>3</sup>	171 hm <sup>3</sup>	49 hm <sup>3</sup>
Perda por assoreamento (m <sup>3</sup> /ano)	137x10 <sup>6</sup>	171 x10 <sup>6</sup>	49 x10 <sup>6</sup>

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

#### 12.4.4 Discussão sobre a magnitude do resultado

A estimativa pode ser conservadora em vista da antiguidade de um número significativo de reservatórios nas bacias hidrográficas em estudo. Concretamente, aplicou-se sobre os maiores reservatórios das três bacias o valor de uma perda de volume por assoreamento de 0,5% anual, havendo sido pesquisada a idade destas infraestruturas hidráulicas.

Os resultados mostrariam um valor de perda de capacidade perto de 400 hm<sup>3</sup>, só para 12 reservatórios que concentram 45% da capacidade teórica do sistema. O volume total perdido seria em média de 24%, ainda esse valor é muito ligado ao fato que o maior reservatório das bacias (Ara-ras) tem uma idade de 58 anos.

**Tabela 31**  
**Estimativa de perdas de água por assoreamento de reservatórios**  
**(Análise de sensibilidade da magnitude dos resultados)**

Reservatório	Capacidade teórica (hm <sup>3</sup> )	Ano de construção	Idade total	Perda teórica de capacidade (hip)	hm <sup>3</sup> perdidos
Catucinzenta	24,90	2002	14	7,0	1,7
Aracoiaba	162,00	2002	14	7,0	11,3
Pesqueiro	9,03	2008	8	4,0	0,4
Malcozinhado	36,55	2002	14	7,0	2,6
Cauhipe, Sítios Novos	138,00	1999	17	8,5	11,7
Riachão	213,48	1923	93	46,5	99,3
Castro	62,31	1997	19	9,5	5,9
Carmina	13,48	2002	14	7,0	0,9
Araras	859,53	1958	58	29,0	249,3
Cachoeira	34,33	2000	16	8,0	2,7
Ubalzinho	31,8	1999	17	8,5	2,7
Rosário	47,22	2001	15	7,5	3,5
<b>Total</b>				<b>24,0</b>	<b>392,1</b>

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

## 12.5 Quantidade e valor da água perdida por ineficiências

O valor das perdas de água não foi agregado ao custo total da degradação ambiental, mais foi avaliado em relação ao déficit de água na região, de caráter árido e submetida regularmente a fenômenos de seca e estiagem.

As principais perdas de água valoradas correspondem às derivadas do sobreconsumo humano (consumo acima de 110 litros por pessoa/dia), à manutenção insuficiente das redes de abastecimento (as perdas das redes podem superar o 40%) e ao assoreamento de reservatórios e açudes (situado com probabilidade entre o 10% e 20% do total da sua capacidade teórica).

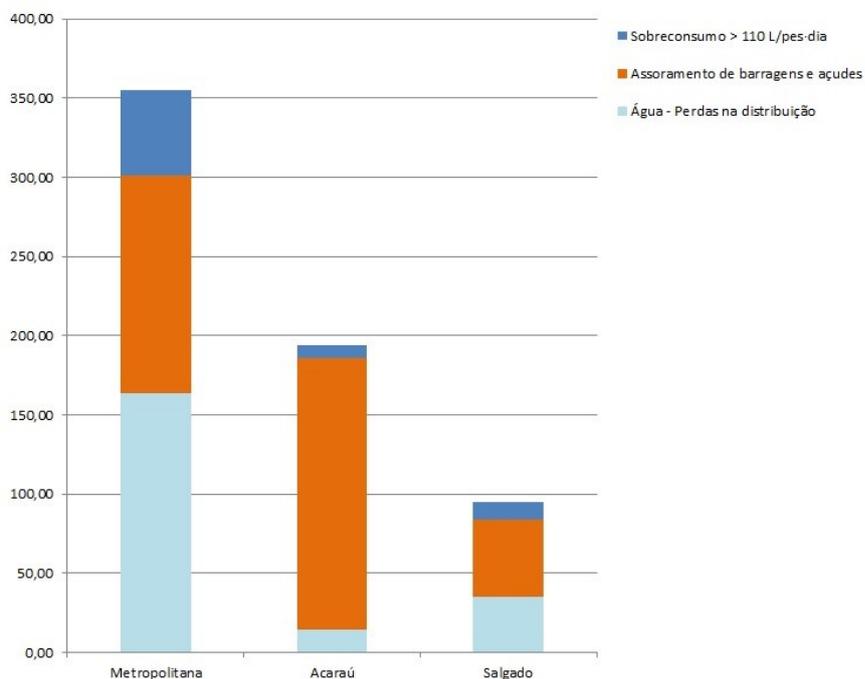
Ao valorar o volume total anual perdido e comparar com o déficit anual hídrico das diferentes bacias, chegou-se às seguintes conclusões:

- a água que se perde anualmente nas três bacias hidrográficas estudadas supera no mínimo 640 hm<sup>3</sup> anuais. Este volume equivale, aproximadamente, a 250.000 piscinas olímpicas. Em condições normais (fora dos períodos de seca), só a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza é deficitária em termos hidrológicos com um déficit de 63

hm<sup>3</sup> anuais;

- destes 640 hm<sup>3</sup>, aproximadamente, 33% são perdas nas redes de distribuição. A melhoria da conservação das redes de abastecimento tem que ser prioritária em uma região árida como o Ceará;
- o sobreconsumo humano acima dos mínimos necessários indicados pelas Nações Unidas (higiene pessoal, comida, bebida) representa aproximadamente 12%. Além disso, a região já tem um consumo de água per capita, relativamente, pequeno. Isto força o setor público e a sociedade a reforçar os esforços e a mudança de hábitos. Regiões como o Sudeste dos Estados Unidos (por exemplo, nas grandes cidades do estado do Novo México) conseguiram reduzir o consumo por pessoa para uma quantidade aproximada de 100 l de água por pessoa/dia;
- Os 55% restantes das perdas correspondem a perdas potenciais de armazenagem em reservatórios. A estimativa de perda de volume dos reservatórios foi feita com critérios conservadores e análises de sensibilidade indicam que esta perda poderia ser muito maior. Os trabalhos de manutenção dos grandes reservatórios requerem muitos recursos, mas poderão ser considerados viáveis em uma região muito exposta à seca e à estiagem.

**Figura 39**  
**Volume de água perdido anualmente por ineficiências (hm<sup>3</sup>/ano)**



Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

**Tabela 32**  
**Volume de água perdido anualmente por ineficiências (hm<sup>3</sup>/ano)**  
**e valor associado à esta perda (R\$ milhões)**

Especificação	hm <sup>3</sup> /ano			Custo (R\$ milhões)		
	Bacia RMF	Bacia rio Acaraú	Bacia rio Salgado	Bacia RMF	Bacia rio Acaraú	Bacia rio Salgado
Água - Perdas na distribuição	164	14	35	518	44	112
Assoreamento de reservatórios	137	172	49	434	544	154
Sobre consumo > 110 L/hab-dia	54	8	11	171	26	34
<b>Total</b>	<b>355</b>	<b>194</b>	<b>95</b>	<b>1123</b>	<b>614</b>	<b>300</b>

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

## 13 RESULTADOS DO ESTUDO

Este Capítulo apresenta além das conclusões sobre quadro ambiental das bacias estudadas, as recomendações e os possíveis desafios a serem enfrentados pelo governo, sociedade e o setor privado na perspectiva de um processo de desenvolvimento voltado para a redução dos danos ambientais baseado no princípio da sustentabilidade. Especificamente, as conclusões destacam os principais custos ambientais restritivos ao desenvolvimento econômico do estado do Ceará e são propositivos, já que incorpora recomendações para sua mitigação e potencialização de seus ativos ambientais.

### 13.1 Valoração do custo social e econômico da degradação ambiental

Apresentam-se a seguir os custos sociais e econômicos derivados dos diferentes impactos valorados neste estudo, nos capítulos anteriores.

Estes custos correspondem à degradação do ar (poluentes e GEE), à poluição das águas (falta de ligações ao abastecimento, coleta de esgoto inexistente ou insuficiente, destinação descontrolada e inadequada de lixo), e à degradação das terras (perda de produtividade agrícola, perda de funções ambientais da Caatinga).

Estes custos não incluem o valor da água perdida por ineficiência das redes de abastecimento ou o sobreconsumo dos cidadãos, que é apresentado no Subcapítulo a seguir. Também não incluem impactos indiretos redistribuídos através dos diferentes setores da economia.

O custo total agregado da degradação ambiental nas três bacias hidrográficas estudadas do estado do Ceará estima-se muito importante. Concretamente, está estimado nas seguintes dimensões:

- o impacto econômico agregado da degradação ambiental nas três bacias supõe um custo total acima de R\$ 3,2 bilhões anuais. Esse custo equivale a 3,24% do PIB agregado dessas três bacias;
- particularmente, para cada bacia, um custo estimado é de R\$ 1.597 milhões anuais na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza; R\$ 749 milhões anuais na bacia hidrográfica do rio Acaraú; e, R\$ 903 milhões

anuais na bacia hidrográfica do rio Salgado;

- em termos percentuais do PIB de cada bacia, o custo ambiental da degradação representa anualmente 2,21% dos PIBs dos municípios da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, 10,98% do PIB da Bacia hidrográfica do rio Acaraú e 11,61% do PIB da bacia hidrográfica do rio Salgado.

O custo mais relevante corresponde à valoração das funções ambientais perdidas pelo desmatamento da Caatinga (funções de aprovisionamento, de regulação ambiental, e valores culturais). Este custo representa R\$ 550 milhões anuais na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, R\$ 500 milhões na bacia hidrográfica do rio Acaraú e R\$ 625 milhões na bacia hidrográfica do rio Salgado. Nas bacias com um caráter mais rural como a bacia hidrográfica do rio Acaraú e a Bacia hidrográfica do rio Salgado, esse custo representa a maior parte do custo ambiental, 66% e 69%, respectivamente. Na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza o custo do desmatamento é, comparativamente menor, representando cerca de 35% do custo total da degradação ambiental.

O custo derivado das falhas na coleta do esgoto é o segundo mais importante. Essas falhas do sistema estão vinculadas a moradias não ligadas às redes de esgoto sanitário nem com instalações de fossa séptica e a problemas vinculados às perdas das redes de saneamento. No conjunto do estado do Ceará, a taxa de atendimento de esgoto nas áreas urbanas é de, aproximadamente, 40%, mas nas áreas rurais praticamente não há coleta de esgoto em virtude da inexistência de sistemas de esgotamento sanitário. Concretamente, foi levantado que:

- 41% da população da bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza está lançando o esgoto no ambiente, inadequadamente, isso representa, aproximadamente, 1,7 milhões de pessoas. Nesta bacia, esse custo ascende a 25% do total do custo da degradação ambiental;
- cerca de 65% da população nas bacias hidrográficas do rio Acaraú e do rio Salgado não têm atendimento de redes de esgoto, representando, aproximadamente, 550 mil e 600 mil pessoas, respectivamente. O custo referente à es-

te item nestas bacias corresponde à 12% do custo total da degradação ambiental.

As falhas no sistema de esgoto contribuem para a contaminação das águas em conjunto com a disposição inadequada de resíduos sólidos ou o uso de fertilizantes e praguicidas na agricultura. Os tratamentos inadequados do lixo têm um custo adicional entre 3% a 4% anualmente. Esse custo contabiliza apenas o impacto lixo não coletado, sem considerar o possível custo derivado da existência de lixões que provoca perdas para as águas subterrâneas, que não pôde ser valorado.

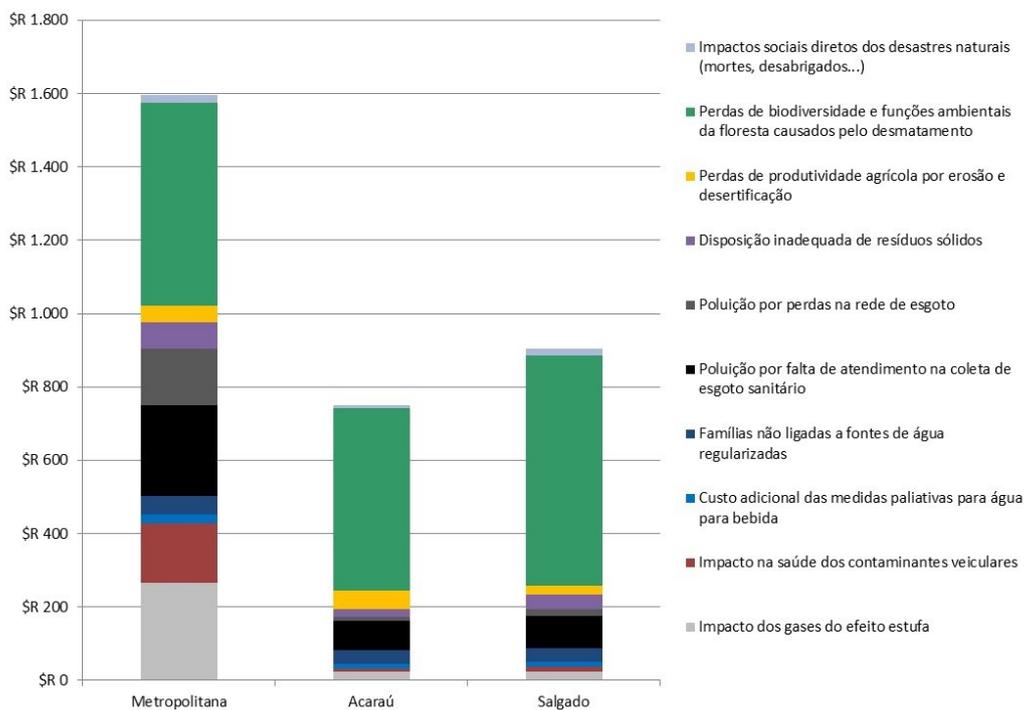
O custo das emissões de poluentes e de gases de efeito estufa são, especialmente, importantes nas áreas mais urbanas, em particular, na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, onde tem um peso próximo de 25% dos custos da degradação ambiental. Em síntese, estes custos são aqueles decorrentes das emissões de GEE produzidas pelas atividades industriais e da

economia de serviços, incluindo o transporte e das emissões de contaminantes causadas pelo tráfego veicular e a produção de energia. As emissões de GEE derivadas do setor agropecuário, que de forma estimativa, podem representar 70% das emissões de GEE do Brasil, estão principalmente incluídas nos custos derivados do desmatamento. Nas bacias hidrográficas do rio Acaraú e do rio Salgado, estas emissões representam, aproximadamente, 12% dos custos da degradação ambiental.

As Figuras 40 e 41 apresentadas a seguir, mostram o custo da degradação ambiental nos diferentes setores para as três bacias estudadas, resultado das discussões anteriores.

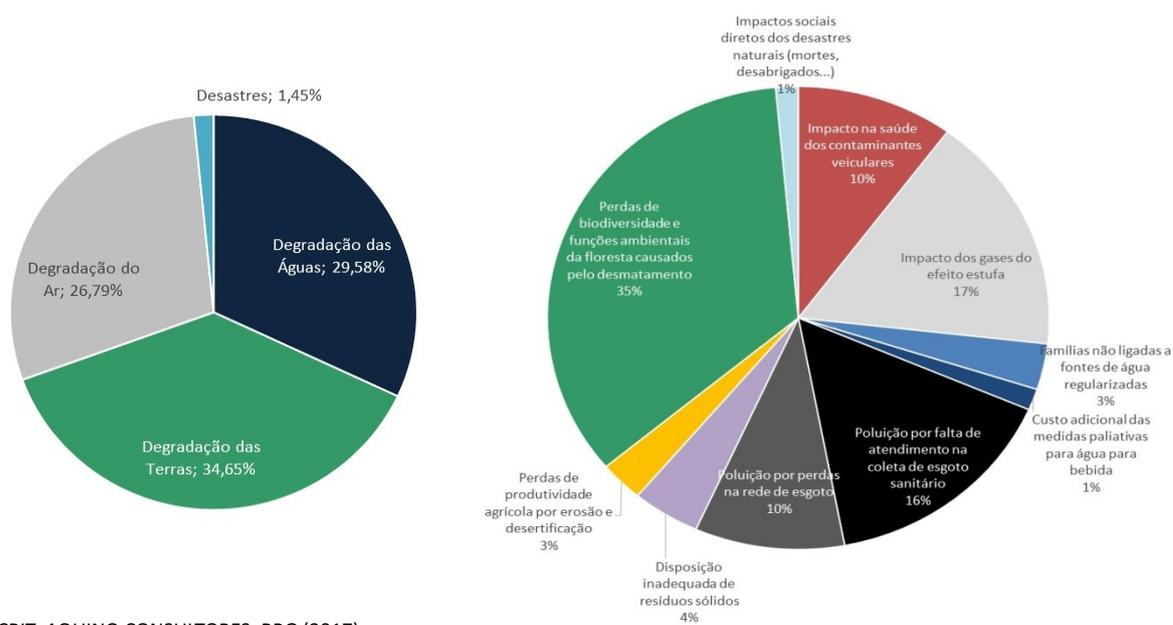
A Figura 42 indica no contexto de outros estudos, o percentual de degradação relativo às águas, as terras e o ar atmosférico por bacia hidrográfica e a Figura 43 apresenta o percentual de cada impacto provocado também por cada bacia estudada.

**Figura 40**  
**Custo anual da degradação ambiental (R\$ milhões / ano)**



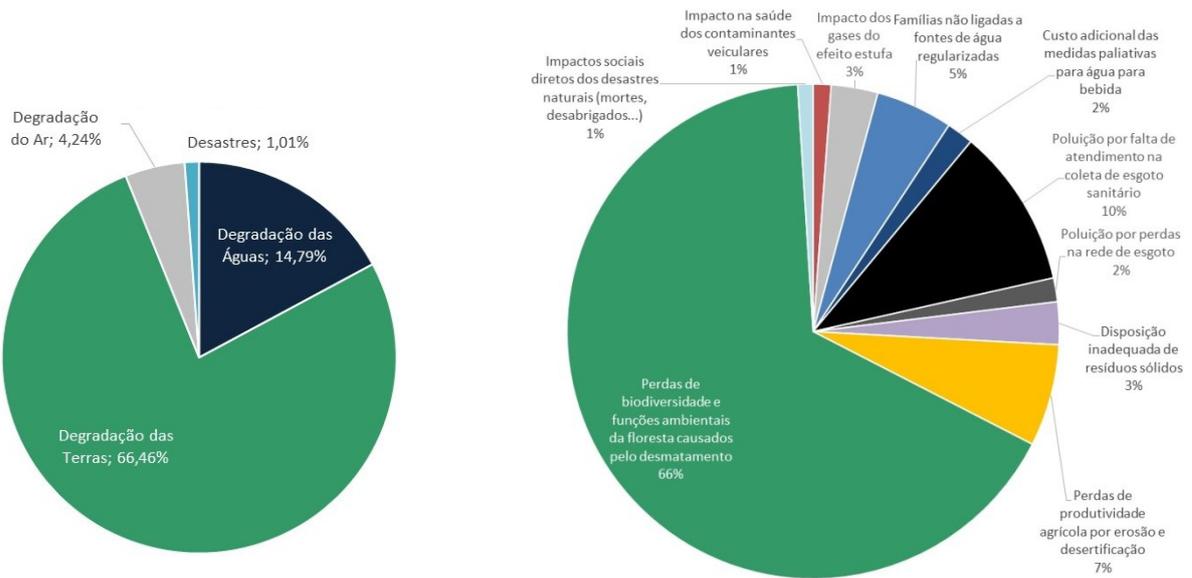
Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017)

**Figura 41**  
**Impacto da degradação ambiental nas bacias hidrográficas no contexto de outros estudos**  
**a) Impacto econômico na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza**



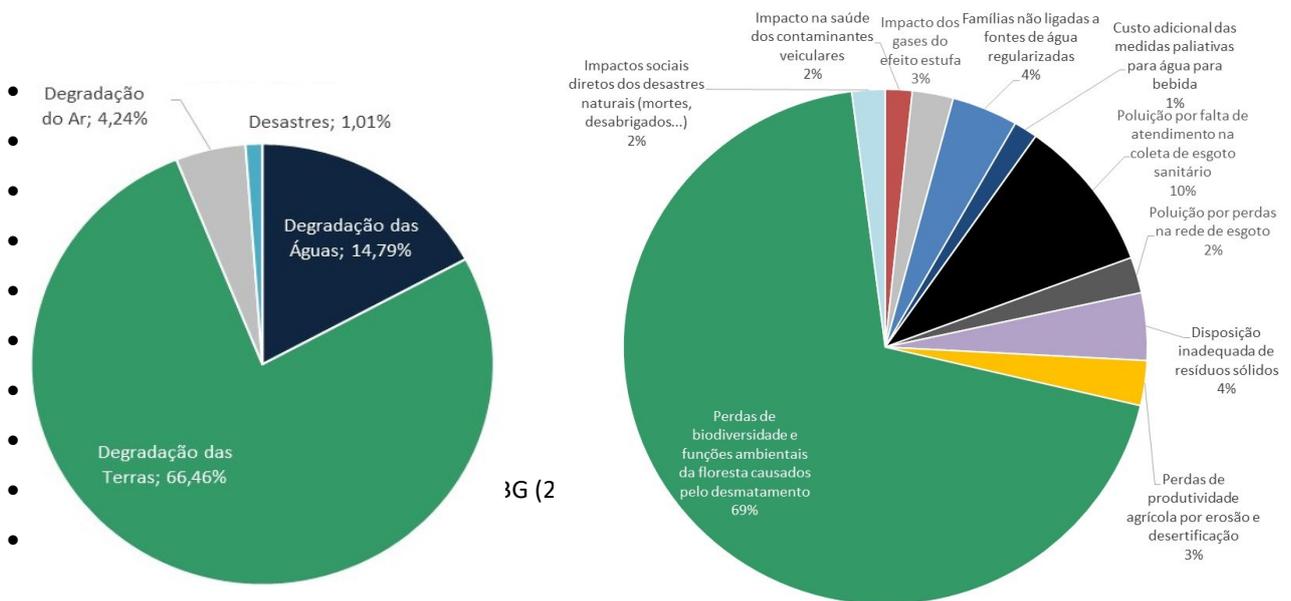
Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017)

**b) Impacto econômico na bacia hidrográfica do rio Acaraú**



Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017)

**c) Impacto econômico na bacia hidrográfica do rio Salgado**



A Tabela 33 a seguir, apresenta o custo da degradação ambiental nos diferentes setores, para as três bacias estudadas, resultado das discussões anteriores.

**Tabela 33**  
**Síntese de custos dos impactos associados à degradação ambiental por bacia hidrográfica**

Especificação		Custo anual da degradação ambiental (R\$ milhões/ano)			Redução anual do PIB de cada bacia hidrográfica pelo PIB da própria Bacia Hidrográfica (%)		
		Metropolitana	Acará	Salgado	Metropolitana	Acará	Salgado
Poluição do ar	Impacto na saúde dos contaminantes veiculares	162,00	9,00	15,00	0,22	0,13	0,19
	Impacto dos gases do efeito estufa	266,00	23,00	23,00	0,37	0,34	0,29
Poluição das águas	Famílias não ligadas a fontes de água regularizadas	51,00	38,00	37,00	0,07	0,56	0,47
	Custo adicional das medidas paliativas para água para bebida	24,00	13,00	13,00	0,03	0,19	0,17
	Poluição por falta de atendimento na coleta de esgoto sanitário	248,00	78,00	87,00	0,34	1,15	1,12
	Poluição por perdas na rede de esgoto	154,0	12,00	20,00	0,21	0,17	0,26
	Disposição inadequada de resíduos sólidos	70,00	21,00	38,00	0,10	0,31	0,49
Degradação das terras	Perdas de produtividade agrícola por erosão e desertificação	45,00	50,00	25,00	0,06	0,73	0,33
	Perdas de biodiversidade e funções ambientais da floresta causados pelo desmatamento	553,00	498,00	626,00	0,77	7,30	8,05
Desastres naturais	Impactos sociais diretos dos desastres naturais (mortes, desabrigados...)	23,00	8,00	19,00	0,03	0,11	0,24
<b>Custo Total</b>		<b>1.597,00</b>	<b>749,00</b>	<b>903,00</b>	<b>2,21</b>	<b>10,98</b>	<b>11,61</b>

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

Finalmente, a Tabela 34 estima a população afetada pelos diferentes impactos considerados.

**Tabela 34**  
**População diretamente afetada pelos diferentes impactos ambientais**

Especificação	Bacia RMF	Bacia do rio Acaraú	Bacia do rio Salgado
População exposta à mudança climática	4.171.656 (100,0%)	826.566 (100,0%)	949.440 (100,0%)
População exposta à altas concentrações de contaminantes veiculares (MP)	3.848.448 (90,0%)	208.296 (25,0%)	402.972 (42,0%)
Famílias não ligadas a fontes de água regularizadas	299.629 (7,0%)	221.976 (27,0%)	213.017 (22,0%)
População sem coleta de esgoto nem fossa séptica	1.724.416 (41,0%)	543.662 (66,0%)	603.332 (64,0%)
População sem atendimento de coleta de resíduos sólidos	376.438 (9,0%)	312.425 (38,0%)	277.961 (29,0%)
População em áreas rurais	323.208 (9,0%)	302.139 (37,0%)	285.576 (30,0%)
Residentes em municípios com área desmatada > 40	3.357.886 (80,0%)	186.882 (23,0%)	738.373 (89,0%)
Residentes em municípios com área desmatada > 10km <sup>2</sup> entre 2002/2008	821.695 (20,0%)	532.754 (64,0%)	584.885 (71,0%)
<b>População total</b>	<b>4.171.656</b>	<b>826.566</b>	<b>949.440</b>

Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017).

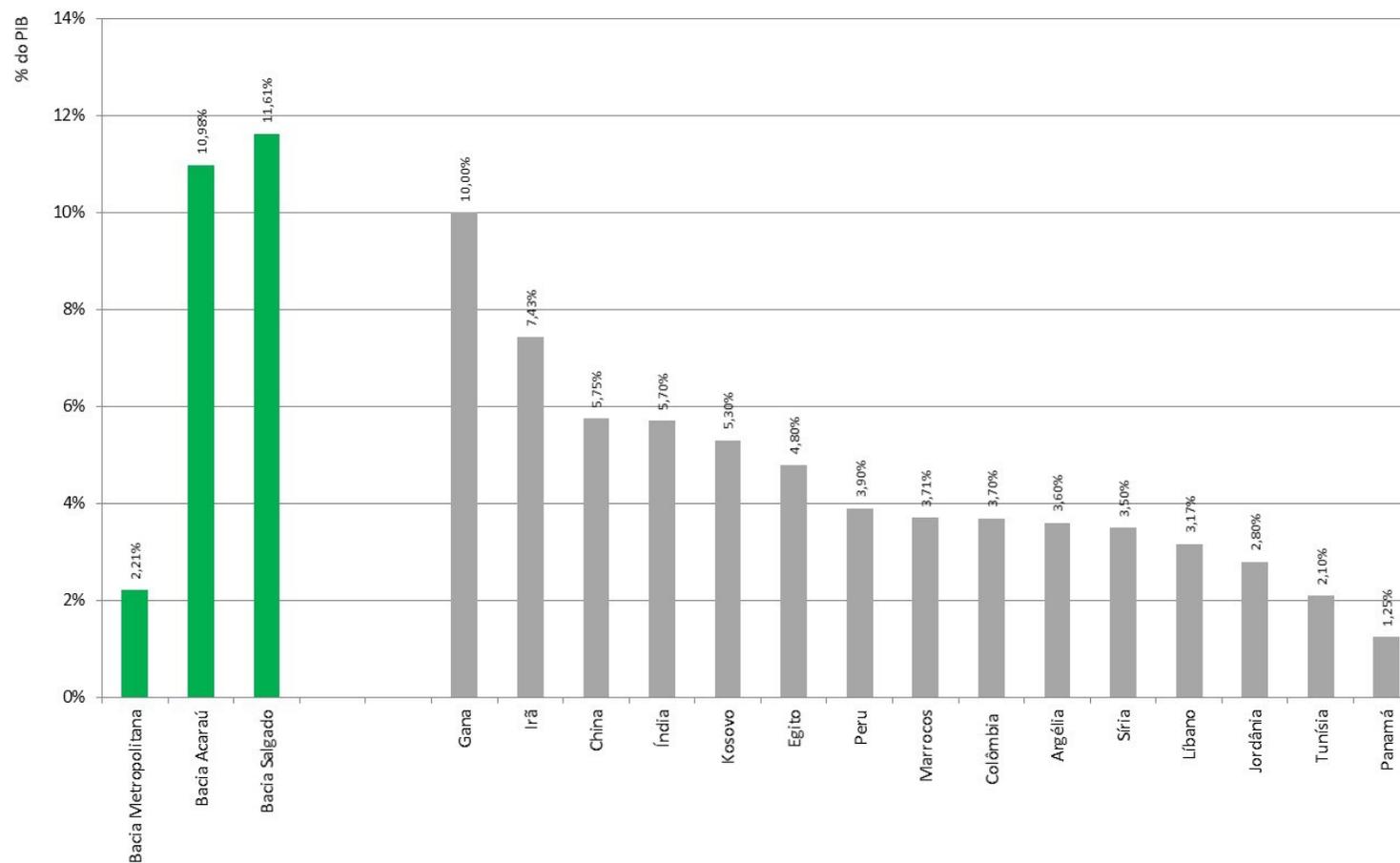
Estudos realizados pelo Banco Mundial desde 1999 relativos à custos de degradação ambiental em países, situaram a magnitude dessa degradação por ano entre 1,25% para o Panamá (BM, 2008) e 10%, respectivamente, em relação ao PIB para Gana (BM, 2007).

A Figura 42 mostra que em comparação com os estudos do Banco Mundial, a bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza apresenta um valor relativamente baixo do custo da degradação ambiental (2,21% do PIB), talvez por ser a capital do estado, ser mais urbana e com economia mais próspera há uma presença maior do estado na prestação de serviços de abastecimento de água e esgoto, entre outras razões. O impacto observado na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza se coloca em uma dimensão inferior em relação a outros resultados indicados em estudos históricos.

Porém, os resultados sobre as bacias hidrográficas do rio Acaraú e do rio Salgado manifestam que o impacto em regiões mais rurais, é muito mais severo no total das economias locais. O impacto nestas duas bacias se coloca em dimensão superior em relação à outros resultados indicados em estudos históricos.

Isso é bem significativo porque mostra que a degradação ambiental é um fator mais de desequilíbrio social e territorial. Ela afeta relativamente as economias mais fracas e menos as economias mais importantes porque a degradação dos recursos naturais em áreas onde estes recursos também são recursos econômicos (agricultura, pecuário, turismo). Faz-se necessária a ação pública para compensar esses desequilíbrios e retornar a um balance maior.

**Figura 42**  
**Impacto da degradação ambiental nas bacias hidrográficas no contexto de outros estudos**



Fonte: MCRIT; AQUINO CONSULTORES; BBG (2017) e Banco Mundial (vários anos).

**Tabela 35**  
**Custos da degradação ambiental de acordo com estudos do Banco Mundial, desde 1999**

País	Custo da degradação em relação ao PIB	Fonte, ano
Gana	10,00	Banco Mundial, 2007
Irã	7,43	Banco Mundial, 2005
China	5,75	Banco Mundial, 2007
Índia	5,70	Banco Mundial, 2014
Kosovo	5,30	Banco Mundial, 2010
Egypto	4,80	Banco Mundial, 2002
Peru	3,90	Banco Mundial, 2006
Marrocos	3,71	Banco Mundial, 2004
Colômbia	3,70	Banco Mundial, 2007
Argélia	3,60	Banco Mundial, 1999
Síria	3,50	Banco Mundial, 2001
Líbano	3,17	Banco Mundial, 2005
Jordânia	2,80	Banco Mundial, 2000
Tunísia	2,10	Banco Mundial, 2004
Panamá	1,25	Banco Mundial, 2008

Fonte: Banco Mundial (vários anos).

### 13.2 Conclusões

A avaliação econômica dos prejuízos decorrentes de danos ambientais e de práticas sanitárias e ambientais inadequadas ou não sustentáveis tem relação direta com a gratuidade dos serviços ou pela dificuldade de precificação exata de seus serviços.

Não se trata aqui de reeditar a “tragédia dos bens comuns”, na realidade toda sociedade encontra formas de administrar estes bens, mas trata-se de alertar para existência do problema e contribuir para sua abordagem no contexto da sociedade atual.

Por outro lado, a quantificação econômica da degradação ambiental deve ser compreendida em profundidade. Mesmo que em hipótese se reverta todas as práticas ambientais deficitárias, a eventual apropriação desses custos resulta de difícil e quase impossível efetivação.

Não obstante, diante do exercício de sua quantificação fica claro que a sociedade de uma determinada região, neste caso, uma importante parcela do estado do Ceará, representada pelas suas três principais bacias, destrói, com uma série de práticas ambientais inapropriadas ou pouco sustentáveis, uma parcela de seu patrimônio ambiental que, se avaliado, economicamente, ascende a uma vultosa soma de recursos, comparável à circulação de todas as riquezas produzidas por essa mesma sociedade, expressas em termo de Produto Bruto Interno local.

Perde-se todo ano uma importância entre 3% a 11% do PIB dessas bacias em deseconomias produzidas pela dificuldade em lidar com fenômenos climáticos adversos e a destruição de recursos ambientais que ficam indisponíveis por falta de infraestrutura adequada ou devido ao mau funcionamento da infraestrutura existentes.

Por exemplo, as perdas de água bruta decorrentes de poluição hídrica provocada por nossos centros urbanos são da mesma ordem de grandeza das demandas hídricas destes mesmos centros urbanos.

Isto não significa que caso sejam adotadas as medidas de saneamento adequadas se poderia abrir mão da atual infraestrutura hídrica. Não obstante, pode-se afirmar com base nos resultados destes estudos que redobrados esforços de proteção dos mananciais poderiam auxiliar de forma relevante na mitigação dos atuais problemas de escassez hídrica promovendo uma disponibilidade hídrica menos escassa e mais barata.

Neste contexto, uma grande dívida social, econômica e ambiental fica evidente de forma relevante. As deficiências do saneamento básico nas bacias estudadas, entendido estas em suas quatro componentes (água potável, esgotamento sanitário, drenagem urbana e coleta e disposição final de resíduos sólidos) representam uma importante parcela dos custos ambientais decorrentes da degradação ambiental.

Assim, a universalização dos serviços de esgotamento sanitário e a disposição adequada dos resíduos sólidos nos municípios de pequeno e médio porte representam, em grande medida, o principal desafio que pode ser extraído como conclusão dos trabalhos.

Isto pode ser deduzido não só dos custos efetivos associados às bacias onde estes componentes são menos desenvolvidos como no porte dos mesmos em comparação ao PIB das bacias.

Por outro lado, os estudos alertam para as vultosas perdas decorrentes da redução da biodiversidade e redução das funções ambientais das florestas causados pelo desmatamento.

Nas bacias hidrográficas do rio Salgado e do Acaraú este componente domina amplamente a mensuração de perdas, ascendendo a 70% – 80% do total de perdas computadas.

O uso indiscriminado da lenha e carvão provenientes da Caatinga como fonte de energia barata e a pressão pela expansão de áreas agrícolas e de pastoreio se mostraram, pelo menos no contexto das metodologias utilizadas, como grandes “ralos” por onde a degradação ambiental perde importantes recursos ambientais.

A questão relativa à disponibilidade de infraestrutura urbana consolidada foi também muito bem evidenciada no estudo. As bacias hidrográficas do rio Salgado e do rio Acaraú

apresentam deseconomias associadas à degradação ambiental da ordem de 10% do respectivo PIB. Já na bacia hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza, com uma infraestrutura deficitária, mas consolidada, apresenta perdas da ordem de 2%-3% do respectivo PIB.

### 13.2.1 Desafios

Com relação aos desafios no curto, médio e longo prazos, no que diz respeito ao conjunto de aspectos legais e administrativos, destaca-se a necessidade de:

- i) consolidar o fortalecimento institucional;
- ii) ampliar o envolvimento do setor privado organizado;
- iii) superar as dificuldades para a implantação efetiva de políticas públicas, para as bacias hidrográficas estudadas, sobretudo, aquelas políticas relacionadas com a gestão de programas e projetos voltados para a sustentabilidade das referidas bacias (ver Quadro 1);
- iv) sensibilizar as sociedades locais para assumir um papel de maior relevância com relação à preservação, conservação e monitoramento dos ambientes relacionados;
- v) incorporar na estratégia de desenvolvimento sustentável das áreas estudadas, a realização de programas de capacitação envolvendo cursos, treinamentos, dias especiais direcionados para diferentes públicos e voltados para preservação, conservação e recuperação do patrimônio ambiental.

#### Quadro 1

#### Desafios para implantação de políticas para as bacias hidrográficas estudadas

Os problemas e desafios identificados pelo Diagnóstico realizado pelo Consórcio AQUINO – MCRIT – BBG, indicam que a superação e mitigação exigirão esforços continuados em aspectos relevantes, tais como:

- Estudos sobre o nexo degradação ambiental – saúde das pessoas;
- Integração entre biodiversidade e políticas de uso e ocupação do solo;
- Integração de políticas ambientais nos níveis federal, estadual e municipal;
- Aperfeiçoamento da capacidade dos órgãos governamentais na identificação, desenho, implementação e fortalecimento do quadro legal visando o controle da degradação do solo, das águas do desmatamento e da desertificação;
- Melhoria da integração entre políticas ambientais e econômicas;
- Fortalecimento da capacidade de monitoramento da degradação do solo, gestão da água e perdas da biodiversidade;
- Maiores investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico para preservação, conservação e recuperação das bacias;
- Fortalecimento da capacidade dos usuários para implementar práticas sustentáveis de uso do solo e recursos hídricos (Governança).
- Fortalecimento dos Comitês de bacias com vistas a implementar monitoramento da magnitude dos principais impactos ambientais nas bacias estudadas
- Redução da superposição e não complementariedade entre programas e projetos governamentais.

### 13.3 Recomendações

As soluções para a resolução dos problemas ambientais nas bacias hidrográficas, principalmente, aqueles diagnosticados pelo presente estudo requerem um conjunto de ações integradas envolvendo as esferas produtiva, econômica, social, tecnológica, educacional e ambiental.

A introdução de programas e/ou mecanismos econômicos voltados para conservação dos recursos naturais são instrumentos de conservação importantes, mas não se configuram sozinhos como a solução de todos os problemas, dada a complexidade e heterogeneidade dos processos sociais, econômicos e ambientais que compõem uma paisagem.

Programas de conservação ambiental onde os consumidores e/ou usuários de determinado bem ambiental repassam parte de seus ganhos para a conservação de áreas fundamentais para a prestação de tais serviços, configuram-se como ações importantes para a conservação do patrimônio ambiental de determinada região e até como instrumentos de justiça social e transferência de renda para as famílias que habitam áreas consideradas prioritárias para a conservação e tem ou mantém parte de suas terras conservadas ou impedidas legalmente de utilização para a produção agropecuária.

Diante do exposto e visando atender um dos objetivos postulados no presente trabalho são propostas algumas diretrizes a serem seguidas na implantação de projetos ou programas de conservação ambiental:

1. os programas devem ter como critério a manutenção e melhoria dos serviços ecossistêmicos, principalmente os ligados à água, carbono e biodiversidade;
2. realizar estudos de “pegada hídrica” para os principais usuários de água;
3. realizar estudos para definir o custo de oportunidade dos diversos usos da terra existentes, principalmente os atrelados à degradação florestal como a banana, pastagens e mandioca;
4. Implementar programas de educação ambiental envolvendo principalmente as ONGs locais ou outras presentes nas bacias estudadas, as

escolas, professores, alunos e outros atores sociais diretamente interessados na questão ambiental;

5. focar as ações de restauração e conservação nas áreas identificadas como prioritárias para restauração e conservação florestal;
6. buscar minimizar as ações de degradação dos serviços ecossistêmicos nas áreas altamente vulneráveis localizadas nas áreas prioritárias para geração e conservação de serviços ecossistêmicos, realizando planejamento sócio ambiental nos imóveis rurais, introdução de novos arranjos produtivos mais amigáveis as condições físicas e ambientais dessas áreas como sistemas agroflorestais;
7. Introduzir nas áreas prioritárias da bacia, mecanismos de Pagamentos por Serviços Ambientais através de incentivos econômicos que visem reduzir a degradação dos serviços ecossistêmicos efetivando um sistema de gratificação pela conservação e/ou restauração florestal, que compense ainda que parcialmente, a rentabilidade das atividades associadas à degradação.

#### 13.3.1 Visão de Futuro – Sustentabilidade

No que concerne à perspectiva de sustentabilidade futura das bacias estudadas, são consideradas como prioridades estratégicas as seguintes:

- a) Governança e Políticas Públicas;
- b) Preservação e Conservação Ambiental nas bacias focalizadas;
- c) Gestão Integrada de Ecossistemas; e
- d) Sustentabilidade e Disseminação para outras bacias no estado do Ceará e região Nordeste.

No que diz respeito à prioridade estratégica **(a) Governança e Políticas Públicas**, prevê-se como ações relevantes: (i) o aperfeiçoamento das políticas existentes; (ii) desenho e implantação de novas políticas; (iii) apoio a parcerias setoriais envolvendo associações de produtores, industriais, *stakeholders*<sup>7</sup> locais, instâncias governamentais, outros; (iv) fortalecimento/criação de estruturas de agregação e sinergia, tais como núcleos de serviços em P&D

<sup>7</sup> É definido como sendo uma pessoa ou um grupo ou uma empresa que poderá ter influência importante nas ações de uma organização ou de um projeto tendo assim um papel direto ou indireto na gestão e resultados dessa organização ou desse projeto.

e inovação, núcleos de capacitação e de referência em educação e informação ambiental, outros; (v) plataformas temáticas visando desenvolvimento de negócios sustentáveis; (vi) *advocacy*<sup>8</sup> em temas relacionados a políticas públicas; e (vii) articulação das instâncias de governo – set or privado – terceiro setor visando maior participação das organizações do terceiro setor no processo de gestão e monitoramento das bacias.

Com relação à orientação estratégica **(b) Preservação, Conservação e Recuperação Ambiental nas Bacias**, é recomendável (i) consolidar e ampliar os trabalhos com áreas protegidas; (ii) dinamizar as ações integradas visando a recuperação de áreas degradadas e uso de práticas conservacionistas; (iii) realização de estudos, elaboração de planos estratégicos e implementação de programas de C&T; (iv) fortalecer programas em educação e saúde ambiental; (v) estabelecer conectividade reforçando corredores ecológicos em projetos de bacias hidrográficas; e (vi) sensibilizar governos e iniciativa privada para a implantação de projetos estruturantes, inclusive nas áreas de reciclagem de resíduos sólidos urbanos e esgotamento sanitário.

No que diz respeito à prioridade estratégica **(c) Gestão Integrada de Ecossistemas**, são considerados temas fundamentais para a convivência com a seca nas áreas rurais (i) associativismo; (ii) produção e gestão sustentáveis; (iii) assistência técnica; (iv) acesso a mercado; e (v) capacitação para estímulo à inovação.

No referente à estratégia **d) Sustentabilidade e Disseminação**, são consideradas, sem descartar outras, as seguintes ações prioritárias e projetos possíveis: (i) criação de fundos rotativos como da modalidade *matching grant*<sup>9</sup> que envolve contrapartida dos beneficiários; (ii) orientação financeira e acesso a crédito para implementação, por exemplo, de projetos de Serviços Ambientais; (iii) adicionalidade a programa, projetos e outras iniciativas em andamento nas bacias Hidrográficas estudadas e a busca de aderência com as tendências socioeconômicas dos municípios prioritários; e (iv) transferência das metodologias exitosas para Bacias em outras regiões.

<sup>8</sup> Atividades desenvolvidas por um indivíduo ou grupo visando influenciar decisões no âmbito de sistemas e instituições políticas, econômicas e sociais. É uma forma de exercitar a cidadania; envolve realizações de iniciativas que visam a defesa de uma causa ou de uma proposta de interesse público.

<sup>9</sup> São fundos financeiros que ao serem utilizados devem ser pagos em igual montante aos recursos disponibilizados por outras fontes.



## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. **O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras.** Geomorfologia, 43, São Paulo: IGEO-USP, 1974.
- Ahmed Hussein, M. (2008). **Cost of Environmental degradation: An analysis in the Middle East and North Africa region.** Management and Environmental Quality: An International Journal, 19 (3), pp. 305 – 317.
- Alexandre de Sousa Fontenelle et al. (2007). **Priorização de ações de segurança em barragens do estado do ceará através de inspeções e matriz de risco.** Comitê Brasileiro de barragens, XXVII seminário nacional de grandes barragens, BELÉM – PA.
- ANA – Agência Nacional das Águas, portal da qualidade das águas, disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>, acesso em: Dezembro de 2016.
- Avancini, M. e Tega, G.: **Caatinga: um bioma entre a devastação e a conservação**, [https://www.ufpe.br/agencia/clipping/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12269:caatinga-um-bioma-entre-a-devastacao-e-a-conservacao&catid=541&Itemid=243](https://www.ufpe.br/agencia/clipping/index.php?option=com_content&view=article&id=12269:caatinga-um-bioma-entre-a-devastacao-e-a-conservacao&catid=541&Itemid=243)
- BIRD. **Cost of Environmental Degradation-Argélia.** 1999;
- \_\_\_\_\_. **Cost of Environmental Degradation – Jordânia.** 2000;
- \_\_\_\_\_. **Cost of Environmental Degradation – Síria.** 2001;
- \_\_\_\_\_. **Cost Assessment of Environmental Degradation - Arab Republic of Egypt.** Egito. Report N° 25175 – EGT.2002;
- \_\_\_\_\_. **Cost Assessment Of Environmental Degradation - Kingdom Of Morocco.** Marrocos. Report N° 25992 – MOR 2004;
- \_\_\_\_\_. **Cost of Environmental Degradation – Tunísia.** 2004;
- \_\_\_\_\_. **Cost Assessment of Environmental Degradation - Islamic Republic of Iran.** Irã. Report N° 32043 – IR (2005);
- \_\_\_\_\_. **Country Environmental Analysis - Republic of Peru.** Peru (2006);
- \_\_\_\_\_. **Country Environmental Analysis – Ghana.** Gana. 2007;
- \_\_\_\_\_. **Cost Of Pollution In China – China.** 2007;
- \_\_\_\_\_. **A Country Environmental Analysis for Colombia.** Colômbia. 2007;
- \_\_\_\_\_. **Country Environmental Analysis - Republic of Panama.** Panamá. 2008;
- \_\_\_\_\_. **Country Environmental Analysis – Kosovo.** 2010;
- \_\_\_\_\_. **Country Environmental Analysis - Republic of Lebanon.** Líbano. 2011;
- \_\_\_\_\_. **Diagnostic Assessment of Select Environmental Challenges – Índia.** 2014;
- Bélaïd, F. & Youssef, M. (2017). **Environmental degradation, renewable and non-renewable electricity consumption, and economic growth: Assessing the evidence from Algeria.** Energy Policy 102, pp. 277–287.
- BÉTARD, F., PEULVAST, J., SALES, V.S. **Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 06, número 12, 2007.**
- Billia de Miranda, R. et al (2015). **Water Erosion in Brazil and in the World: A Brief Review, Modern Environmental Science and Engineering,** April 2015, Volume 1, No. 1, pp. 17-26.
- Boakye Fredua, K.: **The Economic Cost of Environmental Degradation: A Case Study of Agricultural Land Degradation in Ghana.** Environmental Protection Agency, Ghana.
- Bolt, K., Ruta, G. & Sarraf M. (2005). **Estimating the cost of environmental degradation.** The World Bank Environment Department.
- Braga Cruz, C. E. et al. (2008). **Fatores de degradação ambiental nos agropolos do Ceará.** Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural.
- BRAGA, Ricardo. **A termodinâmica na ecologia.** 2009. <http://ne10.uol.com.br/coluna/foco-ambiental/noticia/2009/02/04/a-termodinamica-na-ecologia>

- BRAGA, A.P.G; PASSOS, C.A.; SOUZA, E.M.; FRANÇA, J.B.; MEDEIROS, M.F.; ANDRADE, V.A. **Geologia da Região Nordeste do Estado do Ceará**. Projeto Fortaleza. Brasília: DNPM, 1981
- Brandão, Ricardo de Lima. **Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza - Projeto SINFOR: diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza**: Fortaleza: CPRH, 1995. 105; il.
- BRANDI, André Pedrozini e BARLETTE Vania Elisabeth. **Degradação Ambiental: uma Abordagem por Entropia**. Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Exatas, S. Maria, v.2, n.1, p:161-170, 2001.
- Cagece. **Estrutura tarifária**. [https://www.cagece.com.br/atendimentovirtual/faces/publico/home.xhtml?page=estrutura\\_tarifaria](https://www.cagece.com.br/atendimentovirtual/faces/publico/home.xhtml?page=estrutura_tarifaria)
- Casimiro Filho, F. et al. (2005). **Análise do custo social das perdas no processo produtivo da banana no município de Mauriti-Ce**. Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural.
- Cavalcante, I. N. – 1998. **Fundamentos hidrogeológicos para gestão integrada de recursos hídricos na região metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. Tese de Doutorado. IG/USP. São Paulo. 164 p.
- CEARÁ: Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Diagnóstico e Macrozoneamento Ambiental do Estado do Ceará**. Coordenação Geral e Metodologia Marcos José Nogueira de Souza. Fortaleza (CE), 1998 a. Volumes I. \_\_\_\_\_:
- \_\_\_\_\_. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Diagnóstico e Macrozoneamento Ambiental do Estado do Ceará**. Coordenação Geral e Metodologia Marcos José Nogueira de Souza. Fortaleza (CE), 1998 b. Volumes II. \_\_\_\_\_:
- \_\_\_\_\_. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Diagnóstico e Macrozoneamento Ambiental do Estado do Ceará**. Coordenação Geral e Metodologia Marcos José Nogueira de Souza. Fortaleza (CE), 1998 c. Volumes III.
- \_\_\_\_\_. Secretaria Estadual do Turismo. **Estudos Turísticos da SETUR: Evolução do Turismo no Ceará**. nº 17 – 2ª Edição. Fortaleza: SETUR (CE), 2006. Disponível em: Acesso em 10 de fev. de 2007.
- \_\_\_\_\_. Secretaria do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Programa de Infraestrutura Básica e Saneamento de Fortaleza. Consórcio Concremat/CLS/CAB. **Estudo de Impacto Ambiental: Desativação e Recuperação do Aterro do Jangurussu**. Fortaleza: Concremat/CSL/CAB, 1994. ilus, map, tab. 2v, 218 p.
- CETESB – Companhia ambiental do Estado de São Paulo. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2015**. Governo do Estado de São Paulo • Secretaria do Meio Ambiente.
- CEPED, UFSC, WB, GFDRR (2016). **Relatório de Danos Materiais e Prejuízos decorrentes de Desastres Naturais no Brasil – 1995-2014**.
- COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, **Consolidação dos Diagnósticos das Bacias Hidrográficas do Acaraú, Metropolitanas e Sub-Bacia do Salgado no Estado do Ceará**, 2015;
- \_\_\_\_\_. **Vamos conhecer o Salgado**. Crato/CE, 2007. (Cartilha técnica)
- Costa, C.C., Guilhoto, J.J.M (2014). **Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora**, Eng Sanit Ambient | Edição Especial | 2014 | 51-60
- Costa Barbosa et al.: **Erosão e Assoreamento em Reservatórios**. XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.
- Dantas Moreira Gomes, D. et al. (2010). **Análise tempo-espacial das ocorrências de focos de calor no estado do ceará: configuração dos cenários no contexto das unidades fitogeográficas e das macrorregiões de planejamento**. Governo do estado do Ceará, SEPLAG, IPECE.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília: 1999.
- **Erosão do solo pela atividade agrícola**, <http://monografias.brasilecola.uol.com.br/agricultura-pecuaria/erosao-solo-pela-atividade-agricola.htm>

- FERNANDES, Carlos. **Esgotos Sanitários**. Ed. Univ./UFPB, João Pessoa, 1997, 435p. Reimpressão Jan/2000
- Filgueira Galvão et al. (2016). **Land Degradation Neutrality: Implications in Brazil**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE, Brasília
- FUNCEME. **Zoneamento geoambiental do estado do Ceará: parte II mesorregião do sul cearense**. Fortaleza: 2006.
- Gerolomoa, M, Penna, M.L.F (2000). **Cólera e condições de vida da população em Brasil**. Rev. Saúde Pública vol.34 n.4 São Paulo Aug. 2000
- Gomes, A. G. **Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em região semi-árida utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento - área piloto de Parnamirim (PE)**. 2005. 165f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- HARGREAVES, G. H., 1974. **Potential evapotranspiration and irrigation requirements for northeast Brazil**. Utah State University, On Farm Water Management;
- Health Effects Institute - HEI (2013). **HEI's National Particle Component Toxicity (NPACT) Initiative**. HEI NPACT Review Panel Executive Summary
- Henschel S, Atkinson A, Zeka A, Tertre AL, Analitis A, Katsouyanni K, Chanel O, Pascal M, Forsberg B, Medina S, Goodman PG. **Air pollution interventions and their impact on public health**. International Journal of Public Health 2012; 57(5):757-768.
- **HIDROWEB: sistemas de informações hidrológicas**, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). Disponível em: .Acesso em: dezembro 2016.
- José Carlos De Araújo, Andreas Güntner & Axel Bronstert (2006). **Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil**, Hydrological Sciences Journal, 51:1, 157-170.
- Júnia, R.: **Brasileiros ainda adoecem por falta de saneamento básico**. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio (EPSJV/Fiocruz).
- LIMA, Luiz Mário Queiroz. **Lixo – Tratamento e biorremediação**. 3ª ed. São Paulo: Hemus, 1995, 260 p.
- Mac Knight et al (2006). **Análise custo benefício da substituição do diesel por gás natural veicular em ônibus na região metropolitana de São Paulo**. Monografia de Bacharelado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia.
- Marcos von Sperling (2016). **Urban wastewater treatment in Brazil**. IDB – Inter – American Development Bank.
- Marcos von Sperling (2016). **Urban wastewater treatment in Brazil**. Department of Sanitary and Environmental Engineering Federal University of Minas Gerais Brazil, IDB.
- Margulis S. (2003). **Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira**. BANCO MUNDIAL – Brasil.
- Marten, G., Minella, J (2013). **The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios**. International Soil and Water Conservation Research Volume 1, Issue 3, December 2013, Pages 37–48.
- Meireles, A. J. A. ; Raventos, J. S. Y. ; Maia, L. P. ; Rodrigues, A. C. B. ; Silva, J. C. O. **Dinâmica costeira relacionada com a foz do estuário do rio Choró, município de Cascavel - CE**. Revista de Ciência & Tecnologia, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 35-39, 1999.
- Meneguim (2012). **O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil?** Brasil, Economia e Governo.
- Miraglia e Gouveia (2014). **Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras**. Ciência & Saúde Coletiva, 19(10):4141-4147.
- MMA (2010). **Subsídios para a Elaboração do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Caatinga**. Ministério de Meio Ambiente, Brasília, dez 2010.
- MMA, IBAMA (2010). **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite**. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. Monitoramento do bioma Caatinga 2002 a 2008, Brasília 2010

- Motta, Ronaldo Seroa de. **Indicadores Ambientais do Brasil.: aspectos ecológicos de eficiência e distributivos.** IPEA. Texto para discussão n. 403. 1996. 104p.
- Moyini, Y. et al. (2002). **The costs of environmental degradation and loss to Uganda's economy with particular reference to poverty eradication.** IUCN, Policy Brief No. 3.
- Newton de Oliveira Carvalho et al. (2000). **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.** ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.
- Nunes, F.C., Silva, E.F. Boas, G.S.V. Grupo Barreiras: características, gênese e evidências de neotectonismo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. OLIVEIRA, Lívio Luiz Soares de e PORTO JÚNIOR, Sabino da Silva. **O Desenvolvimento Sustentável e a Contribuição dos Recursos Naturais para o Crescimento Econômico.** Revista Econômica do Nordeste – BNB. Fortaleza, v. 38, nº 1, jan/mar. p: 103-119. 2007. OLIVEIRA, Marcus Eduardo de. Economia e Entropia: A Economia do Futuro e o Futuro da Economia. Ecodebate (Artigo), 2010.
- NUNES, F.C., SILVA, E.F. BOAS, G.S.V. **Grupo Barreiras: características, gênese e evidências de neotectonismo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- OLIVEIRA, Lívio Luiz Soares de e PORTO JÚNIOR, Sabino da Silva. **O Desenvolvimento Sustentável e a Contribuição dos Recursos Naturais para o Crescimento Econômico.** Revista Econômica do Nordeste – BNB. Fortaleza, v. 38, nº 1, jan/mar. p: 103-119. 2007.
- OLIVEIRA, Marcus Eduardo de. **Economia e Entropia: A Economia do Futuro e o Futuro da Economia.** Ecodebate (Artigo), 2010,
- Paupitz, J. (2013). **Versão Final do Relatório Nacional de Implementação da UNCCD.** Ministério do Meio Ambiente, Secretaria De Extrativismo E Desenvolvimento Rural Sustentável, Departamento De Combate À Desertificação. Brasília 2013
- PBMC (2014). **Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Bustamante, M. M. C., Rovere E.L.L, (eds.)].** COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 463 pp.
- Pela, A. et al. (2013). **Impactos ambientais na destinação inadequada de resíduos sólidos urbanos na cidade de Ipameri-GO: um estudo de caso.** REGET - v. 17 n. 17 Dez. 2013, p. 3230 – 3239.
- Publicações CEPED UFSC, 2015. **Seca e Estiagem no Brasil – Conheça os Dados, Referências e Outras Informações.** <http://www.ceped.ufsc.br/seca-e-estiagem-no-brasil-conheca-os-dados-ate-2012/>
- R. de Groot et al (2012). **Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units.** Ecosystem Services 1, 50–61.
- Reami, L., Filho, B. (2015); **Estimativas de custos unitários de implantação de estações de tratamento de esgotos.** Apresentação Sabesp e Governo de São Paulo
- Renato Billia de Miranda et al.. **Influência do assoreamento na Capacidade de Armazenamento do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos (Sp/Brasil).** Recursos Hídricos, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Volume 34# 02.
- Ribeiro, J.A.P., Cavalcante, I.N., Colares, J.Q.S. **Aspectos geológicos e hidrogeológicos da faixa costeira leste da região metropolitana de fortaleza – ce.** 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000.
- Sarraf M., Larsen B. & Owaygen M. (2004). **Cost of Environmental Degradation- The case of Lebanon and Tunisia.** WB.
- Sartoratto De Alencar R. & Manolio Valladão Flores R. (2013) **Benefícios socioeconômicos gerados pelo transporte sobre trilhos.** Qualitas urbis consultaria em engenharia.
- Shinzato, E. et al. (2003) **Controle de perdas de água em sistemas de distribuição.** Escola politécnica da universidade de São Paulo.
- Soria, R. et al. (2015). **Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Techno-economic and environmental assessment in Brazil.** Biomass and Bioenergy, Volume 81, Pages 521–533.

- SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos.** GEOUSP - Espaço e Tempo, n. 15, p. 39-49, 2004.
- Tôrres Costa, C. et al.. **Barragem subterrânea: a experiência do estado do Ceará.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.
- **Trata Brasil Saneamento é saúde,** <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil#CE>
- TRICART, J.; SILVA, T. C. **Estudos geomorfológicos da Bahia e Sergipe.** Salvador, UFBA, 1968. 167 p.
- Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T., (2010). **Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos.** Biota Neotrop. 10 (4), pp 67-76, 2010. ISSN 1676-0603.
- UNCCD 2nd Scientific Conference 2013. **The Economics of Desertification, Land Degradation and Drought: Methodologies and Analysis for Decision-Making.**
- US EPA (2017). **The Social Cost of Carbon: Estimating the Benefits of Reducing Greenhouse Gas Emissions,** United States Environmental Protection Agency.
- Velasco, C. (2016). **Perda por falta de saneamento em favelas chega a R\$ 2,5 bilhões ao ano.**
- Vítor Lages do Vale (2014). **Reconstituição da calha natural do reservatório da pch salto do paraopeba.** Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG.
- WB (1998). **Brazil Managing Pollution Problems; The Brown Environmental Agenda.** Report No. 16635-BR.
- WHO Regional Office for Europe, OECD (2015). **Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth.** Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

