



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO- BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (IEDS)
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

ABEL AUGUSTO NANZA

**MAPEAMENTO DE ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS
ESTRATÉGICOS NO ESTADO DO CEARÁ**

ACARAPE

2022

ABEL AUGUSTO NANZA

**MAPEAMENTO DE ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS
ESTRATÉGICOS NO ESTADO DO CEARÁ**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. George Leite Mamede

ACARAPE

2022

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Nanza, Abel Augusto.

N193m

Mapeamento de assoreamento de reservatórios estratégicos no Estado do Ceará / Abel Augusto Nanza. - Redenção, 2023.
63f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientador: Prof. Dr. George Leite Mamede.

1. Geoprocessamento. 2. Bacias hidrográficas. 3. Monitoramento. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 551.48

FICHA CATALOGRÁFICA

ABEL AUGUSTO NANZA

MAPEAMENTO DE ASSOREAMENTO DE
RESERVATÓRIOS ESTRATÉGICOS NO ESTADO DO
CEARÁ

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovada em: _/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



GEORGE LEITE MAMEDE
Data: 06/09/2022 16:38:08-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. George Leite Mamede
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-
brasileira (UNILAB)

Documento assinado digitalmente



REJANE FELIX PEREIRA
Data: 06/09/2022 13:42:09-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Rejane Félix Pereira
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-
brasileira (UNILAB)

Documento assinado digitalmente



RAFAELLA DA SILVA NOGUEIRA
Data: 06/09/2022 16:28:10-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Rafaella da Silva Nogueira
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-
brasileira (UNILAB)

AGRADECIMENTOS

Incomensurável gratidão a Deus, pela milagrosa dádiva de vida e por me manter vivo e são até o presente.

A minha querida mãe Carlota Joel Conjo, a quem tenho a mais elevada estima e incondicional amor e admiração, pela sua trajetória e determinação, um ser humano com uma inigualável nobreza de espírito, por me ter dado a luz, ter me criado condignamente mesmo em meio ao caos, e por sua abnegada devoção pelo meu percurso estudantil, apesar de iletrada, foi com ela que aprendi o real valor de lutar por uma causa, que a vitória faz-se com suor e sacrifício. Mãe, você é minha coluna!

Aos meus irmãos pela educação complementar, palmadas nas costas que muitas vezes me deram quando era aquele fedelho trifulha que trilhava caminhos conducentes a ruína, confesso que muitas vezes ficava chateado, sem saber o que fazer, mas hoje percebo claramente o real valor daqueles açoites, mas também passamos por inolvidáveis momentos que levarei na memória até o dia do meu descanso eterno, indubitavelmente vocês conhecem o bê-á-bá da minha história. Descrever o quão me são importantes é quase impossível, já se vão cinco anos que cruzei o atlântico tal como disse o apóstolo João “Eu tinha muitas coisas para lhe escrever, mas não quero continuar escrevendo com pena e tinta. Porém, espero vê-lo logo, e falaremos pessoalmente...” 3 João 1:14. Irmãos, vocês são uma bússola!

A meu orientador, Professor George Leite Mamede, um clássico do IEDS, a quem tenho muito respeito e admiração, por cumprir seu papel com zelo e ser aquele professor mui democrata, que preza a pluralidade de ideias, dono de uma cortesia de bradar os céus, é deveras um deleite a gregos e troianos. Por ele tenho muito a escrever, é um verdadeiro holofote!

Aos amigos e colegas, vocês são a minha segunda família, tem sido uma verdadeira coluna em momentos críticos, me trazem sempre luz quando das trevas sou refém, em meio às adversidades me deram suporte para que conseguisse prosseguir.

A todo o corpo docente da universidade pela genuína entrega e abnegação no desempenho das missões incumbidas, e despertarem em nós os vossos pupilos a enxergarem além do horizonte, e descobrir caminhos, alternativos outrora desconhecidos. Igual a vocês ainda não vi. Ode aos heróis anônimos!

RESUMO

O Ceará é um estado situado na região nordeste do Brasil é caracterizado por possuir um clima tropical, baixos índices pluviométricos e altas taxas de evaporação, estando sujeito a longos períodos do ano sem chuva, o que torna necessário a construção de reservatórios para suprir a demanda em tempos de escassez. O objetivo geral desta pesquisa é analisar espacialmente a situação de assoreamento de reservatórios estratégicos do Estado do Ceará. Para isso, foi selecionada uma amostra de 117 reservatórios (do total de 155 monitorados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH), que dispunham de dados de levantamentos topográficos/batimétricos em períodos distintos. Constatou-se que estes 117 reservatórios perdem em média anual 117,5 hm³ de capacidade de armazenamento em virtude da deposição de sedimentos. Os resultados indicaram que o assoreamento apresenta uma relação inversamente proporcional à área da bacia e diretamente proporcional ao fator de erodibilidade da chuva e à declividade do terreno. A taxa de assoreamento média foi de 4,4% por década conjunto de reservatório. Buscou-se, ainda, neste estudo, relacionar a taxa de assoreamento específica dos reservatórios estudados com a área da bacia hidrográfica, o fator de erodibilidade da chuva e a declividade média na bacia. Com base em resultados obtidos nos 117 reservatórios analisados, compararam-se os resultados com os estudos feitos por outros autores envolvendo alguns reservatórios no estado do Ceará. Pôde-se constatar que o estado apresenta um terreno significativamente declivoso, classificado como ondulado. Outro aspecto importante observado é grande erosividade que parte significativa do território cearense apresenta. Esta elevada erosividade contribui substancialmente para elevação do nível de assoreamento dos reservatórios. Os reservatórios tem grande importância no armazenamento de água destinado ao abastecimento público pelo que é importante um reiterado trabalho de combate aos atuais níveis de assoreamento, para garantir o abastecimento público de qualidade.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Bacias hidrográficas. Monitoramento.

ABSTRACT

Ceará is a state located in the northeast region of Brazil and is characterized by having a tropical climate, low rainfall rates and high evaporation rates, being subject to long periods of the year without rain, which makes necessary the construction of reservoirs to meet the demand in times of scarcity. The general objective of this research is to spatially analyze the siltation situation of strategic reservoirs in the State of Ceará. For this, a sample of 117 reservoirs was selected (from the total of 155 monitored by the Water Resources Management Company of the State of Ceará - COGERH), which had data from topographic/batimetric surveys in different periods. It was found that these 117 reservoirs lose an annual average of 117.5 hm³ of storage capacity due to sediment deposition. The results indicated that siltation presents a relationship inversely proportional to the basin area and directly proportional to the erodibility factor of rainfall and terrain slope. The average siltation rate was 4.4% per decade of the reservoir. This study also sought to relate the specific siltation rate of the reservoirs studied to the watershed area, rainfall erodibility factor and average slope in the watershed. Based on results obtained in the 117 reservoirs analyzed, the results were compared with studies done by other authors involving some reservoirs in the state of Ceará. It was found that the state presents a significantly sloping terrain, classified as undulating. Another important aspect observed is the high erosivity that a significant part of the Ceará territory presents. This high erosivity contributes substantially to the elevation of the siltation level of the reservoirs. The reservoirs have great importance in storing water for public supply, so it is important to repeatedly work to combat the current levels of silting, to ensure a quality public supply.

Keywords: Geoprocessing. Hydrographic basins. Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das 12 regiões hidrográficas	24
Figura 2: Capacidade de armazenamento das bacias hidrográficas	26
Figura 3: Total de açudes monitorados	29
Figura 4: Distribuição mensal do aporte de águas aos açudes em 2021	30
Figura 5: Evolução anual de batimetria realizadas de 2007 a 2021	31
Figura 6: Erosão em borda de um reservatório da UHE Furnas	36
Figura 7: Sedimentação no reservatório do açude de Marengo	37
Figura 8: Assoreamento do reservatório de Figueirão	38
Figura 9: Localização dos 117 reservatórios e suas bacias	48
Figura 10: Declividade nos 117 reservatórios e suas bacias	52
Figura 11: Taxa de assoreamento nos 117 reservatórios	56
Figura 12: Declividade nos 117 reservatórios e suas bacias	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Algumas características dos 117 reservatórios	40
Tabela 2: Valores do fator C	50
Tabela 3: Classificação da declividade	51
Tabela 4: Dados dos parametros em estudo	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Taxa de assoreamento x área (A)	61
Gráfico 2: Relação entre taxa de assoreamento e fator de erosividade	63
Gráfico 3: Relação taxa de assoreamento e declividade	65

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação da erosão localizada.	49
Equação 2: Média mensal de Índice de Erosividade.	51
Equação 3: Fator de Erosividade.	51
Equação 4: Fator de Topográfico.	53
Equação 5: Taxa de transporte difuso	53
Equação 6: Cálculo do fator topografico	53
Equação 7: Determinação do comprimento médio da rampa	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

NASA – National Aeronautics and Space Administration

SRH - Secretaria de Recursos Hídricos

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 RESERVATÓRIOS ESTRATÉGICOS DO ESTADO DO CEARÁ	21
3.2 ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS DO ESTADO DO CEARÁ	29
4 METODOLOGIA	34
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
4.2 ESTIMATIVAS DA EROSIVIDADE DA CHUVA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS AÇUDES ESTUDADOS	41
4.3 MAPEAMENTOS DA DECLIVIDADE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS AÇUDES ESTUDADOS	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 ANÁLISE DO ASSOREAMENTO DOS RESERVATÓRIOS ESTUDADOS	45
5.2 RELAÇÃO DO ASSOREAMENTO COM PARÂMETROS ANALISADOS	46
5.2.1 Relação taxa de assoreamento e área	46
5.2.2 Relação taxa de assoreamento e Erosividade (R)	48
5.2.3 Relação taxa de assoreamento e declividade (D)	50
6 RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

1 INTRODUÇÃO

Desde sempre na história da humanidade, a água desempenha um papel de vital importância para a sobrevivência dos seres vivos. Além de ser quimicamente conhecida como solvente universal e poder reagir com quaisquer elementos/substâncias químicos. A água representa 50 a 70% da composição líquida no corpo humano. Por isso é um imperativo de todos preservarem bem esse precioso líquido para garantir a continuidade de vida biosfera (GOMES, 2011).

A água é indubitavelmente o insumo ou recurso natural que desde os primórdios das civilizações desempenhou um papel importante para o desenvolvimento da sociedade em seus mais diversos aspectos e setores, desde a pesca artesanal, agricultura e moldes familiares, pecuária, atividades industriais, produção de energia, construção civil, pesquisa científica, turismo, cultura e recreação (CARMO; TAGNIN, 2011).

Estudos geoambientais mostram que o planeta terra tem uma abundância de água, quantificada em 1,4 milhão de quilômetros cúbicos, sendo que ela corresponde cerca de 70% da sua composição. Porém somente uma parcela pequena de 2,5% é de água doce, onde neste somente 0,26% é propícia para o consumo humano. Daí a reiterada necessidade de fazermos um esforço súplica para preservá-la, até porque nesta dita água propícia e disponível para o consumo, 10% é usada para abastecimento público, 23% para a indústria e os restantes 67% para atividade agrícola (REBOUÇAS, 2003).

É sabido que grande parte da água utilizada para consumo humano é proveniente de fontes hídricas como rios, lagos, lagoas, represas, etc. Em algumas regiões em que as fontes acima citadas não conseguem suprir a demanda, recorre-se ao uso de tecnologias para a dessalinização da água do mar, armazenada em reservatórios e posteriormente distribuída para consumo humano e/ou desenvolvimento de outras atividades específicas (BORDIGNON, 2016).

Para o contexto nacional brasileiro, a água é um dos recursos mais abundantes, onde é responsável por cerca de 12% da água doce existente no planeta terra.

Um dado bastante interessante neste enredo, é que a distribuição da mesma não é uniforme ao longo do território nacional, o que faz com que haja regiões com

uma grande disponibilidade (quase toda região norte e a Amazônia em particular) e regiões com muita escassez (a região nordestina, o Sertão nordestino em particular). Não obstante a fraca densidade habitacional, a Amazônia detém o maior volume de água no mundo, sendo considerada a maior bacia hidrográfica do planeta (TRONCOSO; CARNEIRO; TOMASELLA, 2007).

Grande parte da população reside em áreas afastadas das grandes bacias hidrográficas, principalmente das bacias da Amazônia, São Francisco e Paraná. A busca de melhores condições cria mais concentrações em grandes centros urbanos onde a disponibilidade de água é relativamente maior se comparado a regiões mais recônditas. Tal escassez de água tem grande origem em fenômenos naturais como erosão, declividade, baixas precipitações, mas também é resultante de intensa atividade antrópica que vem comprometendo a disponibilidade e qualidade de recursos hídricos existentes no local. Em algumas regiões os corpos hídricos apresentam contaminação de mercúrio oriundo do garimpo clandestino, desflorestamento, efluentes da indústria têxtil, o uso de agrotóxicos na agricultura, bem como descarte de lixo. Este último mencionado tem sido responsável pelo assoreamento dos reservatórios (VERIATO et al., 2015).

O assoreamento dos reservatórios é um fenômeno cada vez mais presente nos reservatórios brasileiros, e constitui uma grande ameaça à ictiofauna e à disponibilidade de recursos hídricos. Neste diapasão, aliado à fraca pluviosidade registrada no nordeste brasileiro, e no estado de Ceará em particular, se tem a necessidade de armazenar água. Uma parte considerável do Nordeste chega a atingir cerca de seis meses sem chuva (ARAÚJO, 2011).

O Nordeste é caracterizado por baixa e inconstante pluviosidade, com uma grande concentração em poucos meses do ano, o que propicia a grande desigualdade climática verificada em muitos lugares da região. Nalguns municípios, a precipitação tem uma magnitude de 300 mm, e comumente tem se verificado uma taxa de precipitação menor que a de evaporação (SOUTO, 2017).

No caso do estado de Ceará, de forma geral ele tem uma fraca disponibilidade de água, uma parte se deve à baixa taxa de pluviosidade, onde a média anual varia de 1250 a 2000 mm, que caracteriza a região nordestina, mas também tem altos índices de evaporação. A evaporação no Ceará chega a atingir a ordem dos 145,17 mm/mês,

e aliado a isso, as chuvas têm uma duração de 4 meses, onde corresponde 70% da chuva total anual (DANTAS, 2017).

A maior parte do território cearense é hidro geologicamente desfavorável (cerca de 80% é rocha cristalina), se verifica constante escassez de água em quase todo território estadual, onde a maioria dos rios e outros corpos de água são intermitentes, a construção de reservatórios é muito importante para suprir a demanda em períodos de estiagem e garantir a segurança hídrica. Vale salientar que a construção de infraestruturas para armazenamento de água, é datada do Brasil pré-independência, e tem se continuado até os dias atuais (FILHO, 2018).

Os reservatórios e bacias hidrográficas são responsáveis pelo abastecimento de mais de 90% da água no estado do Ceará, onde para além do consumo humano tem múltiplas finalidades, como irrigação, piscicultura, turismo, pesca, estudos científicos, recreação, bem como ajudam a manter o equilíbrio ecológico. Por isso é pertinente uma monitorização, com vista a obter informações sobre suas características físicas, químicas, biológicas, que são parâmetros indispensáveis para apurar o grau de salubridade (MEDEIROS et al., 2011).

Visto que o estado do Ceará é majoritariamente abastecido pela água proveniente de reservatórios e bacias hídricas, o mapeamento de reservatórios é importante para que a COGERH possa efetivar o processo de monitoramento e manutenção dos reservatórios de bacias hidrográficas. Uma fiscalização constante é um dos requisitos básicos para manter a saúde dos açudes, e evitar que haja uma grande deposição de sedimentos e outros dejetos nos reservatórios. A grande concentração de sedimentos e lixo tem sido a causa básica do assoreamento de açudes, fenômeno este que contribui para redução substancial da quantidade de água existente, bem como alterar as características físicas, químicas e biológicas da água em reservatório. Que por sua vez tem uma estrita relação a disponibilidade de água e comprometer a segurança hídrica (BANDEIRA et al., 2015) (CAPONE, 2021).

Os dados de batimetria, área das bacias hidrográficas e afins obtidos de entidades que atuam na área, foram uteis para a produção de mapas que tem taxas de assoreamento, declividade, pluviosidade e Erosividade dos 117 reservatórios estratégicos do Ceará (são considerados reservatórios estratégicos aqueles cuja acumulação apresenta capacidade de regularização plurianual). Esses quatro

parâmetros serão base para o desenvolvimento deste trabalho. Vale citar que o mapeamento das bacias hidrográficas tem uma grande importância para conhecer a saúde das mesmas, e garantir que se tenha um uso adequado de recursos hídricos, principalmente para o Ceará, onde parte significativa do abastecimento pública depende da água proveniente destas fontes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar espacialmente a situação de assoreamento de reservatórios estratégicos do Estado do Ceará.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar o assoreamento de um conjunto de 117 reservatórios monitorados pela COGERH;
- Relacionar o assoreamento com a Erosividade da chuva e declividade do terreno;
- Avaliar o impacto do Assoreamento na capacidade de acumulação de água no Estado do Ceará.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Uma vez que a terra está sujeita a degradação, e uma ameaça a escassez de recursos considerados renováveis, urge fazer uso racional e conservar tais recursos. A fim de garantir o equilíbrio ecossistêmico, a preservação dos recursos naturais renováveis no seu todo, e em particular de alguns como: água, solo, flora e fauna, devem ser feitas de forma integrada. A preservação nestes moldes é mais eficaz e contribui substancialmente para harmonia de todos os atores sociais.

A degradação do solo pode ser conceituada como aquela que se perdem espaços úteis para benefícios dos seres humanos. Tal degradação pode estar ligada a fatores edáficos, climáticos e antrópicos. Podendo ser de natureza física, química ou biológica. A interação desses fatores exerce uma influência sobre o ecossistema todo, de tal modo que a modificação de um, afeta os demais. O uso de manejo inadequado permite que a degradação venha a se ampliar cada vez mais, e expõe a terra a intempéries, que contribuem para redução de sua qualidade física, química e/ou biológica. A degradação da camada superficial da terra tem sido a principal causa da erosão no Brasil (HERNANI et al., 2013).

O presente capítulo descreve o monitoramento dos 117 reservatórios, bacias hidrográficas, características gerais da rede de monitoramento do Estado do Ceará, além de uma abordagem do impacto do assoreamento na gestão de recursos hídricos.

3.1 RESERVATÓRIOS ESTRATÉGICOS DO ESTADO DO CEARÁ

O sistema público de gestão de recursos hídricos no Ceará compreende a hierarquia seguinte:

- **Secretária dos Recursos Hídricos (SRH):** é uma entidade responsável pela criação estadual de Estadual De Recursos Hídricos, promoção do uso racional e integrado de águas; fomentar pesquisa, gerenciamento, gestão e operacionalização de estudos, programas, projetos, obras, bem como a articulação institucional a nível federal, estadual e municipal. A SRH tem uma estreita ligação com COGERH, A SOHIDRA e a FUNCEME (CEARÁ, 2022).
- **A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH):** é um órgão

criado com objetivo de gerenciar recursos a oferta hídricos recursos hídricos no estado do Ceará. A COGERH se ocupa de atividades como: i) operação e manutenção da infraestrutura hídrica; ii) Monitoramento quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos; iii) Estudos e projetos; iv) Gestão participativa (com destaque para a alocação negociada de água, através dos comitês de bacia); v) Implementação dos instrumentos de gestão; e iv) Desenvolvimento institucional (COGERH, 2022) (FILHO, 2018).

- **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME):** é uma entidade estatal que atua na gestão de águas, sob ponto de vista de conhecer as características climáticas e hidrológicas. Presta serviços de meteorologia, monitoramento de águas climatológico e hidrológico, recursos ambientais, planeja, desenvolve políticas públicas, realiza pesquisas científico-tecnológicas e estudos de campo no setor hidrológico (LIMA; NETO; TAVEIRA, 2016)
- **Comitês de Bacia e Comissões Gestoras no Ceará:** é constituído por um conjunto de órgãos que atuam em processos de negociação de águas. Os comitês compreendem um conjunto de bacias hidrológicas, ao passo que as comissões gestoras têm vigência em unidades hidrológicas (vales e açudes). Tem o poder decisório sobre a gestão de água em períodos de escassez (FILHO, 2018).

O estado de Ceará possui mais de 28 mil reservatórios, sendo que apenas um universo de 155 é considerado estratégico, pelo fato de terem uma capacidade plurianual de reservar água (São usinas com reservatório cuja capacidade de armazenamento de água é superior a 60% da vazão anual)

O Sistema estadual cearense se encontra dividido em 12 regiões hidrográficas, segundo uma espécie de distrito jurisdicional, nas quais são tomadas ações de planejamento e execução do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Estas regiões também servem para estabelecer a atuação dos Comitês de Bacias estaduais para todas as regiões hidrográficas e garantir um funcionamento integrado e efetivo dos reservatórios. A Figura 1 apresenta localização das 12 regiões hidrográficas do Estado do Ceará

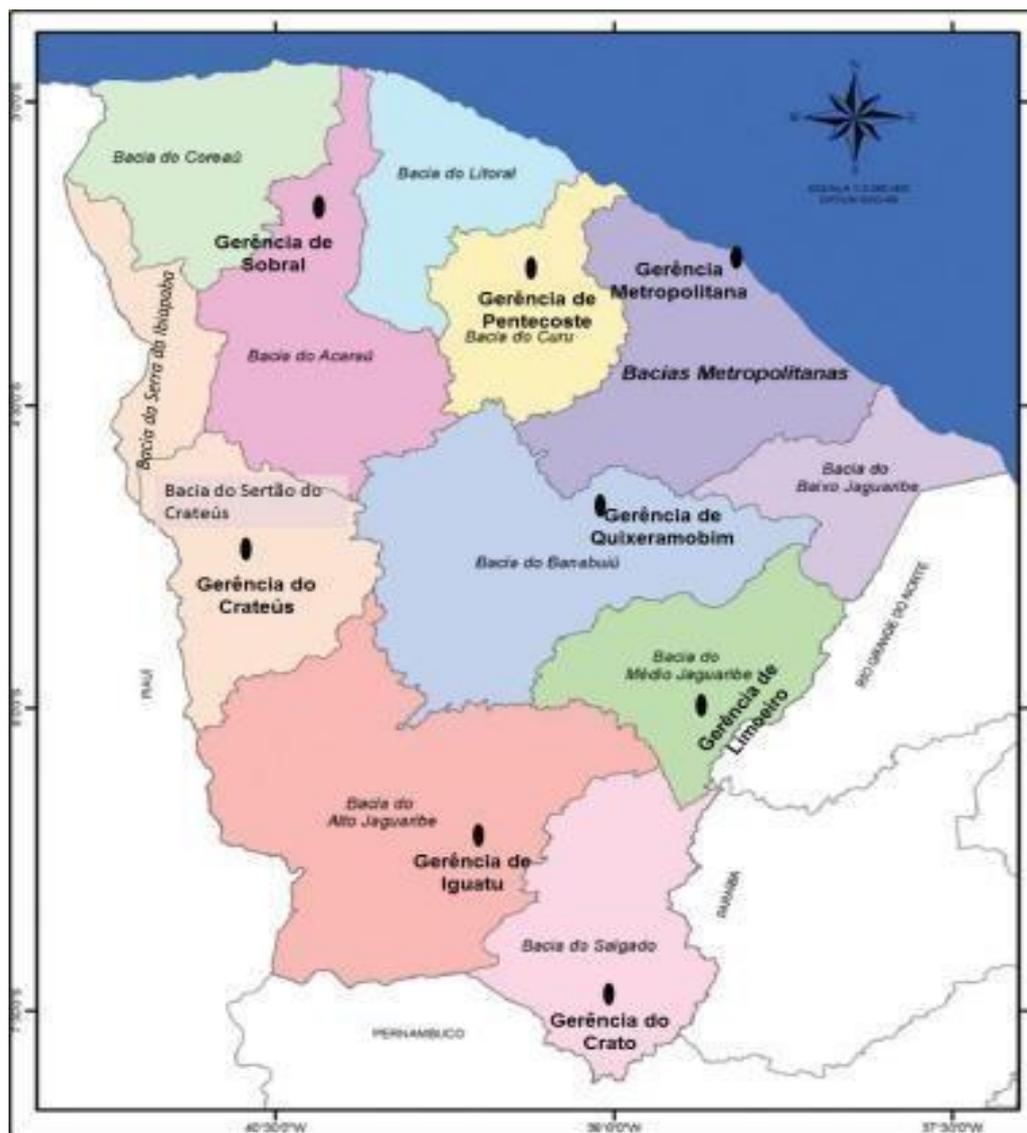


Figura 1: Localização das 12 regiões hidrográficas do Ceará

Fonte: (LIMA, 2016).

Infraestrutura Hídrica

Mediante as condições climáticas instáveis no território cearense, as entidades gestoras de recursos hídricos identificaram uma necessidade de armazenar água para efetivar a distribuição espacial equitativa e/ou mesmo para suprir a demanda em tempos críticos de abastecimento de água (COGERH, 2022).

A COGERH é a entidade estadual responsável gestão de recursos hídricos no território cearense. Vale reiterar que existem mais de 28 mil açudes de pequenos e grandes portes no estado, porém a COGERH é responsável por um total de 155. A gestão de recursos hídricos tem participação do DNOCS (Departamento Nacional

de Obras Contra as Secas) e de outras federais. No universo dos 155 reservatórios, elas têm capacidade de armazenar um volume em torno de 18,53 bilhões de m³. Todavia, com as adversidades climáticas frequentes e severas no Ceará, o que causou uma redução de 29,96% do seu total máximo de preservação, sendo apenas 5,55 bilhões m³ reservados (COGERH, 2022).

No que concerne aos canais de adução, a COGERH atualmente conta com uma extensão de cerca de 450 km de canais, com destaque para o canal Eixão das Águas com 210 km construídos e operando efetivamente, o Canal do Trabalhador conta com 102 km, e nos últimos tempos o canal Cinturão das Águas do Ceará (CAC) com 145 km (no trecho 1 Jati-Carius), sendo que 53 km em pré-operação, com uma capacidade de adução de 30 m³/s em projeto (COGERH, 2022).

Em conexão com essas malhas hídricas, ainda uma vasta rede de adutoras de distribuição de água bruta, com grande destaque para a adutora do Acarape que possui 56 km de extensão, o trecho V do Eixão das Águas com 56,7 km e as respectivas redes de distribuição de água bruta para os a regiões industriais do Horizonte-Pacajus, e Maracanaú e do Complexo Industrial e Portuário do Pecém - CIPP totalizando aproximadamente 55 km de rede (COGERH, 2022).

Para robustecer a infraestrutura hídrica, o Estado possui outras 55 estações elevatórias, sendo que 29 estão localizadas na região hidrográfica das Bacias Metropolitanas. Neste conjunto, 25 estações elevatórias mais estratégicas têm uma capacidade de bombeamento na ordem de 90 m³/s, evidenciando-se a estação elevatória EB Castanhão, com capacidade instalada de recalque de 11 m³/s, a EB-Pacoti com 10 m³/s e as elevatórias EE-0, EE-1 e EE-2 que atendem a ETA Oeste e ao CIPP (COGERH, 2022).

Açudes Monitorados

A política de construção desenvolvida no Estado, tem como principal foco estratégico reservar água no período chuvoso para suprir a demanda nos longos períodos de seca. Estas políticas priorizam suas ações na identificação das possibilidades de barramentos, envidando esforços para a elaboração de projetos e construção de barragens com vista a colmatar os vazios hídricos com reservatórios que apresentem capacidade interanual. Portanto, foi ampliada a capacidade de

acumulação do Estado, atingindo o volume de 18,64 bilhões de m³ para os 155 açudes monitorados pela COGERH. Num total de pouco mais de 28 mil reservatórios existentes no Estado, os 155 açudes monitorados pela COGERH, representam mais de 90% de todo o potencial de armazenamento das águas superficiais no estado do Ceará (COGERH, 2022).

Destaca-se, por oportuno, que os reservatórios monitorados pela COGERH e afins, tem um controle diário do ponto de vista quantitativo, para que se passa garantir a segurança e quantidade e qualidade de água. Os reservatórios e os que são de domínio do Estado são alvos de duas inspeções regulares de segurança de barragens anualmente (COGERH, 2022).

Tal como dito acima, o Estado possui 12 regiões hidrográficas, e um dado interessante é que ao longo dos anos sua capacidade de armazenamento vem aumentando consideravelmente, conforme ilustra a Figura 2.

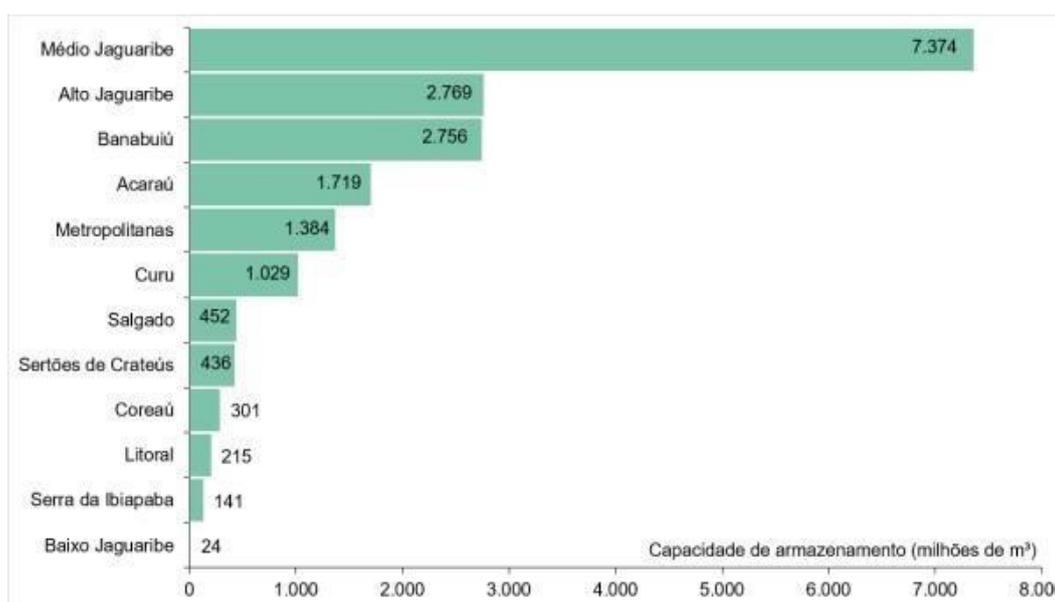


Figura 2: Capacidade de armazenamento das bacias hidrográficas
Fonte: (COGERH, 2022).

Estudos e Monitoramento dos Recursos Hídricos

Para preservar o bom funcionamento do reservatório e garantir a longevidade da vida útil do reservatório, é necessário que se tenha um eficiente programa monitoramento de bacias hidrográficas, cujo monitoramento pautado pela atualização constante de parâmetros como curva de cota, área e volume dos reservatórios. Algumas instituições do ramo energético (ANEEL) e das águas (ANA) utilizam

ferramentas como imagens de sensor espacial MODIS e uso de imagens satélite, e também são instalados postos hidrométricos que fornecem dados sobre a concentração de sedimentos (CUNHA; ROIG, 2018).

Com vista a garantir aspetos como segurança e qualidade da água, o monitoramento desempenha um papel indispensável no setor de recursos hídricos. Esta importância ganha mais dimensão, pelo fato deste recurso ser vital para quase todo tipo de atividade humana. Das mais diversas atividades cotidianas que podemos imaginar quase todas elas direta ou indiretamente tem uso da água, sendo que o crescimento demográfico é proporcional a demanda por este insumo. Infelizmente, não raro acompanhado pelo aumento dos impactos ambientais decorrentes da ação antrópica, o que contribui cada vez mais para tornar mais redução da disponibilidade da água (COGERH, 2022).

A ideia principal do monitoramento e gerenciamento dos recursos hídricos é zelar pela sustentabilidade destes recursos, criando um equilíbrio entre a oferta e a demanda de forma tal que as gerações disponibilidade para gerações vindouras. E neste caso, o monitoramento e gerenciamentos efetivos dos recursos hídricos busca o equilíbrio e sustentado de cada corpo hídrico, observando conjunta e estreitamente os aspectos quantitativos e qualitativos (COGERH, 2022).

Em vista disso, o monitoramento é uma ferramenta na gestão dos recursos hídricos, que podem fornecer informações tanto com os aspectos quantitativos quanto qualitativos das bacias hidrográficas. São estas informações, não só as atuais, disponibilizadas diariamente pela COGERH, o que permite criar um banco de dados que facilita no processo de monitoramento e gerenciamento. O monitoramento sistemático e continuado permite e facilita a identificação do tipo de regime hidrológico de cada reservatório, e assim saber a capacidade e a garantia de longo prazo ao atendimento das demandas hídricas ao qual está submetido. Conhecendo a quantidade, permite também conhecer a oferta, que atrelada à demanda possibilita o equilíbrio da oferta-demanda. A partir deste balanço é que é realizado a cada ano, permite estabelecer regras junto com os utentes das águas dos reservatórios, cuja efetivação das condições planejadas pode ser confirmada a partir do monitoramento e ajustadas se necessário. O monitoramento é uma ferramenta útil no acompanhamento em longos períodos do comprimento dos trechos de rio perenizados

pelos reservatórios (COGERH, 2022).

No processo de monitoramento, a COGERH tem a parceiros, com o são os casos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos-FUNCEME, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA e do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS (COGERH, 2022).

O sistema de monitoramento da COGERH, é descentralizado, através das suas gerências regionais localizadas em todo o estado do Ceará – Crateús, Crato, Fortaleza, Iguatu, Limoeiro do Norte, Pentecoste, Quixeramobim e Sobral. No qual são desenvolvidas as atividades de campo, ao passo que a central, Gerência de Desenvolvimento Operacional (Gedop), se ocupa do desenvolvimento e consistência, atualização do banco de dados, acompanhamento e controle da implementação das atividades de monitoramento (COGERH, 2022).

A rede de monitoramento da qualidade da água da COGERH abrange todos os 155 reservatórios gerenciados (a COGERH monitora todos os açudes públicos que estão sob gestão do governo estadual do Ceará), tanto estaduais quanto federais, em parceria com o DNOCS, os vales perenizados dos principais rios (Acaraú, Banabuiú, Curu e Jaguaribe), para os casos dos canais do Trabalhador e do Pecém, o Eixão das Águas e algumas lagoas, possui laboratórios para análises (físico-química, bacteriológica, nutrientes e hidrobiológica) da água, observando aspetos seguintes: cloretos, cor, ferro, sólidos dissolvidos totais, sólidos totais, sulfatos, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, cor, alcalinidade de hidróxidos, alcalinidade de carbonatos, alcalinidade de bicarbonatos, cálcio, magnésio, sódio, condutividade elétrica, fósforo total, nitrogênio total, ortofosfato solúvel, clorofila-a, feofitina, nitratos, nitrito, nitrogênio amoniacal e contagem/identificação de fitoplâncton. Quase três dias durante a semana são realizadas coletas de dados para posterior análise laboratorial (COGERH, 2022). A Figura 3 representa o total dos açudes monitorados

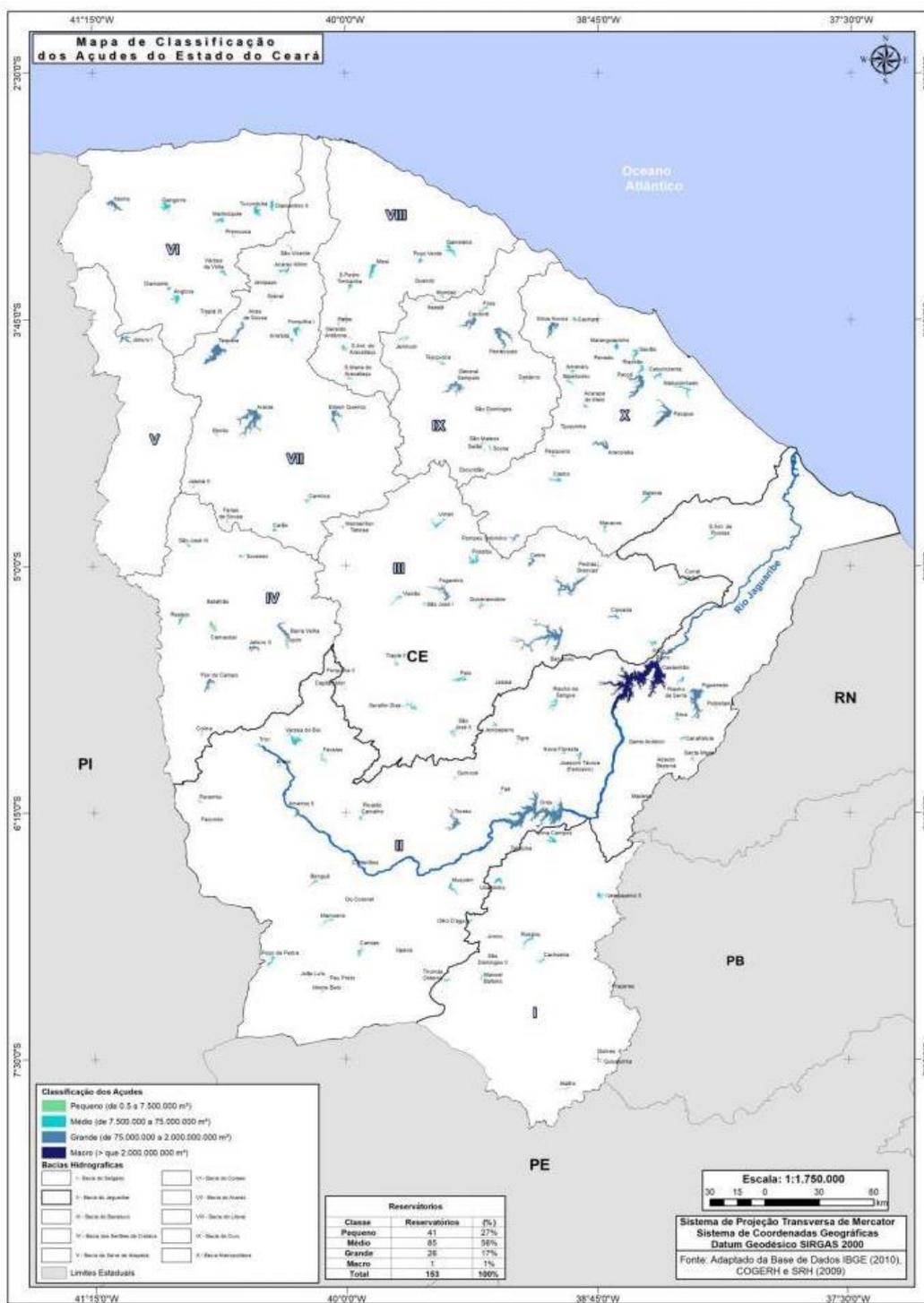


Figura 3: Total de açudes monitorados no Estado do Ceará

Fonte: (DANTAS, 2017)

Ainda sob ponto de vista quantitativo, em 2021, até 3º de setembro, foram registradas 41.660 cotas dos níveis de água dos açudes, o equivalente a 98,45% dos dados possíveis. Os dados do monitoramento quantitativo permitiram conhecer a distribuição mensal do 1,73 bilhão de m³ de aporte de água aos açudes, O resultado do binômio oferta demanda, em termos de perenização para o ano de 2021, ainda não foi contabilizado. A Figura 4 representa os aportes de distribuição de água no ano de 2021

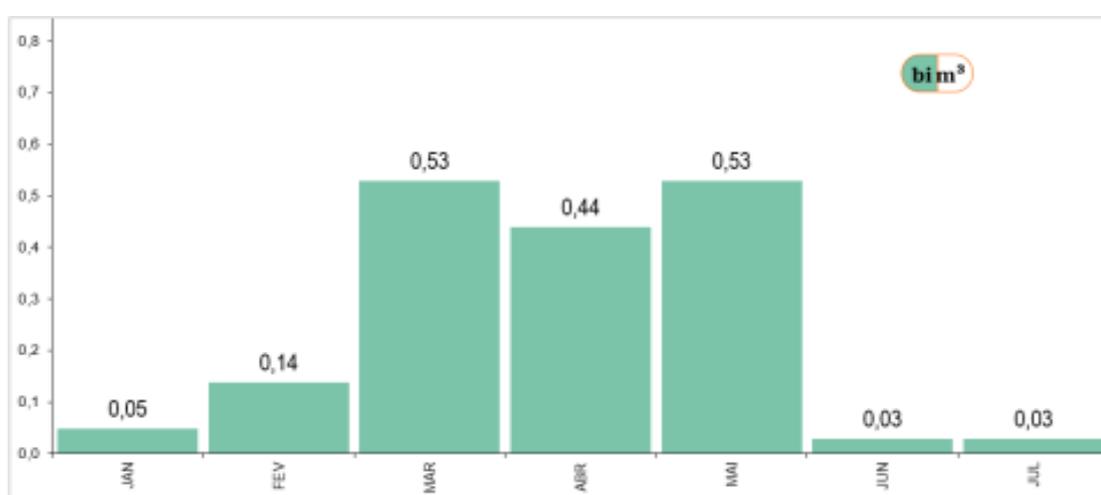


Figura 4: Distribuição mensal do aporte de águas aos açudes em 2021.
Fonte: (COGERH, 2022).

No que concerne a qualidade, anualmente, concretamente no mês de dezembro, se produz um calendário de monitoramento. A qualidade tem apresentado variações entre o planejado e o verificado. Estas diferenças não são apresentadas no gráfico da figura 4, elas derivam de fatores diversos, dentre eles a seca e a falta de perenização (COGERH, 2022).

Batimetria

A Batimetria consiste na medição da profundidade da água em vários locais de um corpo de água, com objetivo de recuperar o relevo do terreno em submersão. É um processo que geralmente se realiza no barco, usando um kit para batimetria, que é operado percorrendo o espelho d'água do açude em uma rota específica percorrendo de uma margem à outra, traçando retas paralelas e perpendiculares

(COGERH, 2022).

O conhecimento da tabela Cota-Área-Volume do açude também é essencial para se determinar com segurança o tempo que o açude terá capacidade ao atendimento de uma determinada hídrica, como por exemplo, o atendimento de sedes e distritos municipais, tornando possível uma melhor tomada de decisão. A batimetria torna-se importante, pois permite maior autonomia às gerências regionais para conhecer a capacidade de novos reservatórios e poder aumentar a oferta hídrica (COGERH, 2022).

Atualmente a COGERH adquiriu novo kit de material para medição de batimetria. Cada gerência regional conta com este equipamento. A Figura 5 apresenta a evolução das medições de batimetria em reservatórios

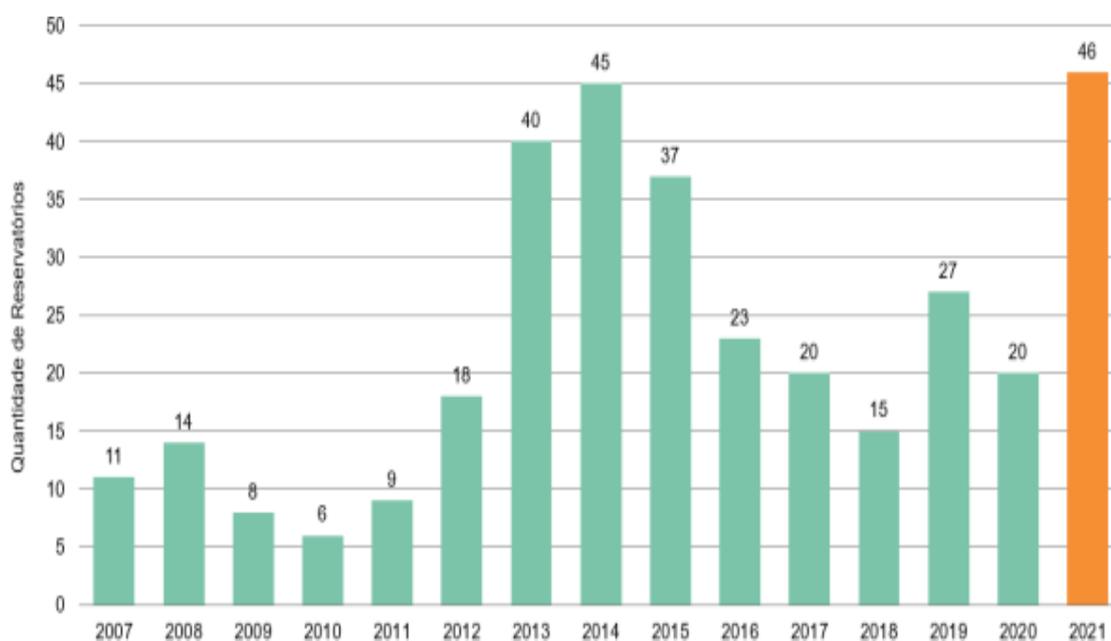


Figura 5: Evolução anual de batimetria realizadas de 2007 a 2021.

Fonte: (COGERH, 2022).

3.2 ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS DO ESTADO DO CEARÁ

Em virtude da escassez de água, fraca e distribuição desigual da precipitação em muitas regiões do Brasil, em particular a região Nordeste, os açudes desempenham um papel importante no processo de abastecimento de água para a

população de muitos estados brasileiros. Por razões de ordens diversas, como clima, política e/ou história, a construção de açudes no Nordeste brasileiro vem se notabilizando ao longo dos anos, pese embora as construções não tem observado determinados trâmites. Neste sentido, torna-se necessário a criação de um dispositivo regulatório, que vai desde programas para licenciamento de execução de obras, cadastramento e formação ou treinamento de recursos humanos para monitoria, através de ações desenvolvidas pelos órgãos gestores públicas de recursos hídricos. A ausência deste dispositivo regulatório tem gerado lacunas notáveis em diversas etapas da implantação do açude, tais lacunas estão presentes nos processos de construção, manutenção, conservação e utilização adequada de recursos hídricos (SILVA et al., [s.d.]).

A extensão territorial da região semiárida do Brasil, tem aproximadamente 1 milhão de Km², e um universo populacional pouco mais que superior a 20 milhões de habitantes, figurando nas áreas semiáridas com maior densidade populacional do mundo e por sinal, onde a seca ganha expressão cada vez mais (ARAÚJO; BRONSTERT, 2016).

No estado do Ceará, a combinação da crescente ocupação populacional e fraco planejamento de intervenção hídrica, deu origem a ampliação significativa de áreas vulneráveis a seca em diversas ocasiões. A densidade ocupacional veio aumentar a incerteza da disponibilidade de precipitação, numa região em que pelo menos 90% do seu território tem uma influência direta do semiárido (ALBUQUERQUE; SOUZA, 2015).

Mesmo com a existência de mais de 28 mil açudes no estado do Ceará, ainda tem muitos desafios no que concerne ao abastecimento desigual da água em todo território, principalmente na região semiárida. A deposição de sedimentos e posterior assoreamento têm vindo a afetar substancialmente a saúde dos reservatórios, contribuindo cada vez mais para a escassez da água e poluição.

Antes de adentrar sobre o assoreamento, importa realçar que é um fenômeno que tem uma estreita relação com a erosão e a sedimentação. Aliás, o assoreamento em si, é uma combinação da erosão e sedimentação em estágio avançado. Por isso merecem destaque no estudo do assoreamento, visto que todos eles têm um impacto na disponibilidade hídrica. Vale citar que os três em principio podem ser fenômenos

naturais, porém a atividade antrópica tem sido o vetor do seu recrudescimento.

Por erosão do solo, se entende como um fenômeno que ocorre em virtude do impacto da água e o transporte pela ação da energia superficial influenciada pela gravidade. Tem bastante ocorrência, inclusive em ecossistemas equilibrados. A atividade antrópica tem sido responsável pela aceleração desse fenômeno, resultando na conhecida como “erosão acelerada”. Em virtude da sua rapidez, este constitui um fenômeno notável, não só por afetar diretamente os reservatórios dos rios, mas também por ter uma ligação com uma série de outras atividades como agricultura, pecuária, construção, e a declividade do terreno. Este fenômeno ganha importância, pelo fato de poder exercer influência sobre a postura social, econômica, física e ambiental (MARQUES; NETO; BACELLAR, [s.d.]).

O aumento da população aumenta a demanda pela produção de bens e conseqüentemente um aumento no volume de atividades. Neste sentido, a agricultura tem sido uma das atividades que cresce nos últimos anos e é dos mais responsáveis pela erosão. Para fazer face a ampliação da erosão, alguns estados brasileiros têm incentivado a construção de terraços, que é uma técnica agrícola usada para a conservação do solo em terrenos com inclinações, favorecendo ao cultivo e erosão hídrica. Terraço também é tido como um conjunto formado pela combinação de um canal (valeta) e de um camalhão (monte de terra ou dique) (Figura 3), construído a intervalos dimensionados, no sentido transversal ao declive, ou seja, construídos em nível ou com pequeno gradiente. O uso do terraceamento é recomendado para declives superiores a 3%, comprimentos de rampa maiores que 100 metros e topografia regular (PAULO GUILHERME WADT, 2003).

De maneira geral, existem práticas para o controle de erosão, tais podem ser: edáficas, vegetativas e mecânicas.

As praticas edáficas, promovem o controle de erosão através da melhora na fertilização do solo e modificação de algumas formas de cultivo. Dentre as praticas edáficas mais comuns, podemos citar a adubação verde e a calagem.

- Adubação verde - consiste no uso de massa verde que tem origem em culturas previamente plantadas, com vista a fornecer elementos como nitrogênio e

elementos que promovam o crescimento de outras espécies, que incorporem a matéria orgânica para a fertilidade do solo. É preferencial o uso de espécies leguminosas, pois além do fornecimento do nitrogênio, tem uma considerável quantidade de massa seca. Fato interessante, é que podem ser empregues em quaisquer solos de texturas arenosa e argilosa, para melhoria física retenção das águas (VERDUM, 2016).

- Calagem – é a incorporação de determinados materiais ao solo, com vista a corrigir a acidez do solo. A quantidade de acidez é determinada pelo uso de escala de pH (potencial hidrogeniônico), que é relativa a concentração dos íons de hidrogênio (H^+) livres na solução (parte líquida) e adsorvidos à fase sólida do solo. Por sua vez pH desempenha um papel importante como barômetro da qualidade biológico, físico e química do solo, no sentido em que quanto mais ácido for um solo, ele é menos fértil naturalmente e maior sujeição à erosão. A calagem busca o enriquecimento das características do solo através do aumento das disponibilidades do cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e molibdênio (Mo) e diminuindo a solubilidade do alumínio (Al), ferro (Fe), e manganês (Mn), que são elementos tóxicos à maioria das culturas agrícolas (VERDUM, 2016).

Nas práticas vegetativas para controle da erosão, consiste no uso da própria vegetação. Para esta categoria, podemos citar cordões de vegetação permanentes e o cultivo em faixas.

- Cordões de vegetação permanentes – consiste em faixas em contorno intercalando à cultura principal, a serem mantidas com plantas perenes. Funcionam também como barreiras vivas capazes de reduzir a velocidade de escoamento superficial, servindo como reforço em terraços, o que ajuda na diminuição da desagregação e transporte de enxurradas (CAPONE, 2021).
- Cultivo em faixas – é uma técnica que implanta faixas com alternância no temporal e espacial, dispostas em nível com outras faixas de cultivos agrícolas. Emprega-se uma alternância anual, que consiste em culturas mais densas e culturas mais densas e faixas de menor proteção do solo, que tem uma

reação diferente a erosão. O cultivo em faixas deve ser implantado em nível, sendo a largura das faixas variável, em função da declividade do terreno (CAPONE, 2021).

O uso de estruturas artificiais construídas pelo homem, faz-se referência as práticas mecânicas. Nestas, podemos destacar valetamento e sulcos.

- Valetamento – É uma prática da abertura de sulcos, no qual as valetas apresentam cerca de 50 a 60 cm tanto de largura, como de profundidade. Os sulcos genericamente são abertos com auxílio de um trator. Algumas das vantagens desta técnica podem-se destacar a praticidade e o menor custo (podem-se confeccionar valetas em taxas de dois hectares/hora), a eficiência no controle de processos erosivos e o pequeno revolvimento do solo, podendo ser utilizada mesmo em terrenos de antigas derrubadas (VERDUM, 2016).
- Sulcos em nível – é uma prática bastante utilizada no controle à erosão em pastagens. Em termos de vantagens, apresenta algumas semelhanças com as técnicas de valetamento e terraceamento, principalmente pelo fato de os sulcos serem colocados mais próximos uns dos outros, distribuindo melhor a água pelo terreno. Em termos estruturais, os sulcos são pequenos, rasos e estreitos, dispostos em nível. Podendo medir cerca de 20 cm de largura por 20 cm de profundidade (VERDUM, 2016).

A erosão por ser um fenômeno que vem ganhando dimensão, a intervenção para mitigar este processo tem sido discutida e se tem levado a cabo uma série de ações para combate a erosão. Algumas das ações incluem a seleção das áreas de cultivo, reflorestamento, plantio em contorno, por entidades de Comitê de Bacias Hidrográficas em diversos estados nacionais, e tem se trabalhado em conjunto com o poder público, setor produtivo e sociedade em geral. Vale ressaltar que tal trabalho conjunto entre as entidades acima citadas, tem vindo a gerar resultados satisfatórios, trazendo ganhos na saúde do ambiente e contribuindo para controle efetivo do processo erosivo em zonas específicas, permitindo vislumbrar um futuro risonho para a sustentabilidade (MARQUES; NETO; BACELLAR, [s.d.]). A Figura 6 representa a erosão na borda do reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, no estado de Minas Gerais.



Figura 6: Erosão localizada na borda UHE Furnas
Fonte: (SALES et al., 2017)

Ao passo que a sedimentação é um fenômeno que se caracteriza pelo transporte de partículas através do meio. As partículas estão sujeitas a ação da força de gravidade, empuxo e resistência ao movimento. Geralmente o material do sedimentário é oriundo de rocha que forma o material. A deposição ou assentamento desse material pode formar rochas (FRANÇA; CASQUEIRA, [s.d.]).

A sedimentação é descrita como sendo causada grandemente pelo descuido da erosão na sua fase inicial, e ao atingir um estágio mais avançada culmina na sedimentação de reservatórios e consequente assoreamento (FRANÇA; CASQUEIRA, [s.d.]).

A construção de qualquer barreira ao longo de um curso de água, afeta de forma direta a hidrodinâmica da água, o que por sua vez dá origem ao processo de sedimentação. Quaisquer reservatórios que recebam descarga de modo passivo, este processo causaria o assoreamento, o qual tem sido responsável por comprometer o seu propósito de uso inicial. O tempo de vida dos reservatórios é calculado durante o planejamento da sua construção, entretanto devido a uma série de fatores, o tempo de vida útil outrora calculado pode sofrer certos desvios, fazendo com que seja mais curto. Isso geralmente se deve a ocupações massivas de áreas próximas ao reservatório, que como sabemos tem uma influência direta na erosão, que por sua vez

em seu estágio avançado dá origem a sedimentação. Estudos apontam que os rios e açudes tem aumentado em proporções significativas a sua carga de material sólido, o que pode causar assoreamento nos reservatórios e gerar grandes prejuízos (CUNHA;ROIG, 2018). A Figura 7 ilustra a sedimentação do Açude de Marengo



Figura 7: Sedimentação no Açude de Marengo
Fonte: (LOPES; CASTRO; LENA, 2003).

Por isso ter conhecimento quantitativo e qualitativo dos sedimentos desempenha um papel importante para planejar e melhorar a qualidade, e consequentemente evitar o possível assoreamento.

O assoreamento é um processo no qual a corrente das águas transporta em suspensão ou arrastamento um material sólido, e posteriormente depositado em leitos de rios, lagos ou reservatórios. O assoreamento de bacias hidrográficas tem uma estreita relação com a erosão e sedimentação, visto que estes é que fornecem matéria para consumir o processo de assoreamento. Neste processo a magnitude da velocidade com a qual as partículas são transportadas, reveste-se de tamanha importância, pois é ela que determina se o material erodido será depositado (ARAGÃO, 2003). A Figura 8 representa assoreamento do rio Figueirão, município de Camapuã.



Figura 8: Assoreamento do rio Figueirão.
Fonte: (BARBOSA; PINTO; CASTRO, 2015).

A construção de uma barragem e formação de seu reservatório ao longo de um curso de água modifica significativamente a estrutura e tem efeitos no fluxo natural da água. Portanto, a baixa velocidade das águas alteradas pela construção do barramento é responsável pela deposição de sedimentos ao longo do reservatório.

O assoreamento exerce uma grande influência na capacidade e vida útil de um reservatório. Estudos apontam que mais que um dado certo de reservatórios cearenses estão parcial ou totalmente assoreados. Vale ressaltar que é impossível evitar na totalidade que qualquer reservatório tenha partículas sedimentarias depositadas, porém é possível tomar uma série de ações para mitigar tanto na bacia, quanto no barramento (CARVALHO, 1994).

O Estado de Ceará tem sido campo de vários estudos, com o uso de batimetria para quantificar o nível de assoreamento de corpos hídricos existentes. Num estudo realizado para um universo de sete bacias características localizadas no território cearense, em um horizonte temporal médio de 68 anos. Neste universo de sete bacias, a cada 10 anos apresentam uma taxa de assoreamento equivalente a 1,85% (ARAÚJO, 2003).

Outra variável importante que tem influência direta no assoreamento de reservatórios, é conhecer as características do solo local (tipo de solo, permeabilidade, compactação, uso de determinados fertilizantes), pois diz muito sobre a vulnerabilidade a erosão e/ou determina a natureza dos sedimentos que são

assoreados para o reservatório. Também contribui na eficiência em reter sedimentos, isso porque em partes a natureza da cobertura vegetal que se desenvolve ao longo do corpo d'água tem importância na retenção e compactação do solo.

Um estudo sobre o nível de assoreamento feito no açude de Marengo, pertencente a bacia de Alto Jaguaribe, onde uma das características notáveis são a perda do solo em cerca de 70% do reservatório possui valor menor que $50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, sendo esta considerada com menor grau de erosão. A produção média de sedimentos para a bacia foi de $5,22 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. O que resultou em volume médio assoreado de $0,028 \text{ hm}^3\cdot\text{ano}^{-1}$. No final a taxa de assoreamento esteve na faixa dos 0,15% ao ano (LOPES; NETO; PINHEIRO, 2015).

Um estudo similar feito no açude de Pompeu Sobrinho, que tem 11 anos de existência e foi executado sem devida observância do projeto, tem aumentado significativamente o seu nível de assoreamento, em virtude de grande deposição de sedimentos., o que contribui para sua perda na quantidade de estocagem de água em tempos secos e fica propenso a cheias em períodos de chuvas longas (ALENCAR; ARAGÃO; ARAÚJO, 2019).

Portanto, o semiárido cearense possui características peculiares, e alguma complexidade. A alta taxa de evaporação e baixa pluviosidade, e um solo que é majoritariamente rochoso, contribui substancialmente para vulnerabilidade a seca. Por isso a existência de reservatórios de água neste território é um imperativo. Vale salientar que os reservatórios, além de armazenar água, tem um poder de retenção de sedimentos, o que ocasiona o assoreamento (ALENCAR; ARAGÃO; ARAUJO, 2019).

O abastecimento hídrico e uso multipolo da água no Ceará tem uma grande parte proveniência de reservatórios. O que torna os reservatórios cada vez mais importantes, sem contar o seu cunho social e econômico para o cotidiano dos cidadãos locais. E visto que a disponibilidade hídrica está ligada aos reservatórios, e por sua vez os reservatórios precisam possuir um volume considerável para suprir a demanda, e o assoreamento reduz o volume parcial ou totalmente, a ela tem um impacto direto na disponibilidade de recursos hídricos no território cearense.

4 METODOLOGIA

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Ceará é constituído por 26 Estados da República Federativa do Brasil, e está localizado na parte mais setentrional da região Nordeste. Ele possui os limites seguintes: ao norte, o oceano Atlântico; ao sul, o Estado de Pernambuco; ao leste, os Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba e ao oeste, o Estado do Piauí. Em termos de extensão territorial, tem uma área de 146.817 km² e uma população, aproximada, de 6.500.000 habitantes, com mais de 53% dela localizada na área urbana. Politicamente, está dividido em 184 Municípios (CEARÁ, 2012).

Situa-se na zona intertropical, relativamente próximo a linha do equador, é um e Estado que apresenta complexidade do clima. A influência da proximidade do equador, a dos sistemas de circulação da atmosfera (circulação das massas de ar e dos ventos), a das baixas altitudes, a dos ventos alísios de Nordeste (quentes e úmidos) e a ventos de Sudeste (quentes e secos), entre outros fatores, determinam esses microclimas. De forma geral, o clima cearense caracteriza-se por temperaturas elevadas (27.6 °C em média) o ano inteiro; pouca nebulosidade, na maior parte do ano; forte radiação solar (média anual no Ceará chega a um valor de 20 MJ/m²) e taxas muito altas de evaporação dos rios (3,99 mm/dia⁻¹ em média), açudes e lagoas, o que o torna o Estado mais característico do mais vulnerável a seca (CEARÁ, 2012).

O presente estudo foi desenvolvido estado nordestino do Ceará, dos 155 reservatórios monitorados pela COGERH, foram selecionados 117 reservatórios de bacias estratégicas, aqueles que possuem dados pluviométricos maiores que 30 anos de registro.

A Tabela 1 apresenta algumas das características físicas dos 117 reservatórios estudados, com áreas que variam entre 7,89 km² a 25712,45 km².

ID_acudes	Açude	Ano da batimetria	Volume atual (batimetria)	Ano de Construção	Volume antigo (construção)
1	Acarape do Meio	2011	29.600.000	1924	34.100.000
2	Acarau Mirim	2013	40.261.663	1907	52.768.000
3	Adauto Bezerra	2014	3.705.879	1984	4.790.000
4	Amanari	2013	9.225.407	1938	11.010.000
5	Angicos	2013	54.552.098	1998	56.050.000
6	Aracoiaba	2015	153.645.456	2003	162.000.000
7	Araras	2014	859.533.000	1958	980.000.000
8	Arneiroz II	2014	171.121.805	2004	187.700.000
9	Arrebita	2015	15.523.650	1992	18.530.000
10	Atalho	2011	72.552.000	1991	108.250.000
11	Ayres de Sousa	2010	96.800.000	1936	104.430.000

12	Banabuiu	2015	1.601.000.000	1966	1.700.000.000
13	Barra Velha	2014	85.654.649	1999	99.560.000
14	Bengue	2012	18.000.000	2000	20.000.000
15	Bonito	2013	5.583.492	1964	6.000.000
16	Cachoeira	2015	32.688.492	1999	34.330.000
17	Canafistula	2007	12.229.920	1992	13.110.000
18	Canoas	2014	61.860.038	1999	69.250.000
19	Capitao Mor	2013	5.666.446	1988	6.000.000
20	Carmina	2013	12.695.009	2003	13.480.000
21	Carnaubal	2014	75.801.600	1990	80.781.000
22	Castanhao	2012	5.738.257.328	2002	6.700.000.000
23	Castro	2015	57.107.642	1997	62.310.000
24	Catucinzenza	2014	21.628.517	2002	24.900.000
25	Cauhipe	2013	11.548.420	1999	12.000.000
26	Caxitore	2014	187.760.082	1962	202.000.000
27	Cedro	2000	105.000.000	1906	126.000.000
28	Cipoada	2013	84.267.149	1992	86.090.000
29	Colina	2016	3.861.890	1988	4.297.203
30	Cupim	2013	4.333.517	1970	4.550.000
31	Desterro	2013	5.010.000	1956	5.200.000
32	Diamante	2013	12.900.833	1988	13.200.000
33	Do Coronel	2013	1.770.000	1948	1.991.800
34	Edson Queiroz	2014	228.289.836	1987	254.000.000
35	Ema	2016	10.059.064	1932	10.395.000
36	Fae	2014	18.133.963	2004	19.200.000
37	Farias de Sousa	2007	10.555.477	1983	12.235.000
38	Favelas	2013	26.501.621	1988	30.100.000
39	Flor do Campo	2013	105.000.000	1999	111.300.000
40	Fogareiro	2014	106.691.462	1996	118.000.000
41	Forquilha	2007	47.452.456	1921	50.132.000
42	Forquilha II	2015	3.111.647	1988	3.400.000
43	Frios	2013	32.054.253	1988	33.025.000
44	Gangorra	2014	54.400.000	1999	62.500.000
45	Gaviao	2010	33.043.221	1974	33.300.000
46	General Sampaio	2014	279.864.776	1935	322.200.000
47	Gomes	2013	1.999.941	1967	2.350.000
48	Itauna	2013	76.987.398	2001	77.500.000
49	Jaburu I	2011	141.000.000	1983	143.680.000
50	Jaburu II	2013	89.990.888	1984	106.000.000
51	Jenipapeiro	2013	14.586.821	1997	17.000.000
52	Jerimum	2013	18.071.149	1996	20.500.000
53	Joaquim Tavora	2013	24.591.187	1933	26.772.000
54	Lima Campos	2016	62.003.638	1924	66.382.000
55	Malcozinhado	2015	33.435.033	2003	36.550.000
56	Manoel Balbino	2013	33.654.989	1985	37.181.000
57	Martinopole	2014	23.583.594	1984	24.830.000
58	Mons. Tabosa	2013	11.166.354	1998	12.100.000
59	Mundau	2014	19.479.580	1988	21.308.000
60	Muquem	2015	46.550.000	2000	47.643.000
61	Nova Floresta	2007	5.194.457	1926	7.610.000
62	Olho d'agua	2015	17.717.181	1998	19.000.000
63	Oros	2015	1.940.000.000	1962	2.100.000.000
64	Pacajus	2015	201.744.946	1993	232.000.000

65	Pacoti	2016	341.995.955	1981	380.000.000
66	Parambu	2013	7.934.207	1992	8.530.000
67	Patos	2013	5.998.643	1956	7.553.000
68	Patu	2014	63.906.297	1988	71.829.000
69	Pau Preto	2013	1.570.000	1958	1.808.767
70	Pedras Brancas	2015	456.000.000	1978	470.000.000
71	Penedo	2013	2.400.000	1958	3.062.100
72	Pentecoste	2009	360.000.000	1957	395.630.000
73	Pirabibu	2013	67.893.466	2000	74.000.000
74	Poco da Pedra	2014	43.649.949	1958	52.000.000
75	Poco do Barro	2013	50.828.556	1921	52.784.000
76	Poco Verde	2011	12.430.000	1955	13.650.000
77	Pompeu Sobrinho	2013	134.200.000	1934	143.000.000
78	Potiretama	2013	5.973.910	1992	6.380.000
79	Prazeres	2013	31.236.067	1988	32.500.000
80	Premuoca	2013	4.789.235	1981	5.200.000
81	Quandu	2014	3.370.000	1990	4.000.000
82	Quincoe	2008	4.330.000	1991	7.130.000
83	Quixabinha	2013	29.973.202	1967	31.780.000
84	Quixeramobim	2008	7.880.000	1960	54.000.000
85	Realejo	2013	30.493.540	1980	31.551.000
86	Riachao	2010	46.950.000	1981	48.000.000
87	Riacho do Sangue	2014	55.404.395	1918	58.434.157
88	Rivaldo de Carvalho	2014	17.675.522	1966	20.100.000
89	Rosario	2013	43.931.993	2001	47.220.000
90	Salao	2013	5.653.925	1918	6.049.000
91	Santa Maria	2015	6.720.000	2004	9.030.000
92	Santa Maria de Aracatiacu	2013	7.059.700	1923	8.200.000
93	Santo Antonio de Aracatiacu	2013	23.106.607	1954	24.338.000
94	Santo Antonio de Russas	2013	22.255.058	1927	24.000.000
95	Sao Domingos	2011	2.840.315	1977	3.200.000
96	Sao Jose I	2013	7.055.488	1988	7.670.000
97	Sao Jose II	2013	16.860.759	1992	21.000.000
98	Sao Mateus	2013	8.121.381	1957	10.340.000
99	Sao Pedro Timbauba	2008	16.000.000	1916	19.250.000
100	Serafim Dias	2015	35.630.647	1995	40.936.943
101	Sitios Novos	2013	120.992.574	1999	126.000.000
102	Sobral	2014	4.272.502	1921	4.755.000
103	Sousa	2013	28.950.881	1999	30.840.000
104	Sucesso	2015	4.451.937	1988	6.600.000
105	Tejucuoca	2014	23.511.519	1990	28.110.000
106	Thomas Osterne	2013	27.856.104	1982	28.780.000
107	Tigre	2013	3.510.000	1957	4.804.200
108	Trapia II	2013	17.185.500	1992	18.190.000
109	Trapia III	2013	5.031.872	1961	5.510.000
110	Trici	2016	13.000.000	1987	16.500.000
111	Trussu	2010	268.800.000	1996	301.318.000
112	Tucunduba	2013	39.910.691	1919	41.430.000
113	Ubaldinho	2013	29.439.434	1999	31.800.000
114	Valerio	2013	1.774.043	1996	1.860.000
115	Varzea da Volta	2000	11.000.000	1919	12.500.000
116	Varzea do Boi	2010	47.356.982	1954	51.910.000
117	Vieirao	2014	18.600.000	1988	20.700.000

Tabela 1: Algumas características dos 117 reservatórios
Fonte: Adaptada do autor

Na Figura 9 observa-se o mapa de localização dos 117 reservatórios e suas respectivas bacias.

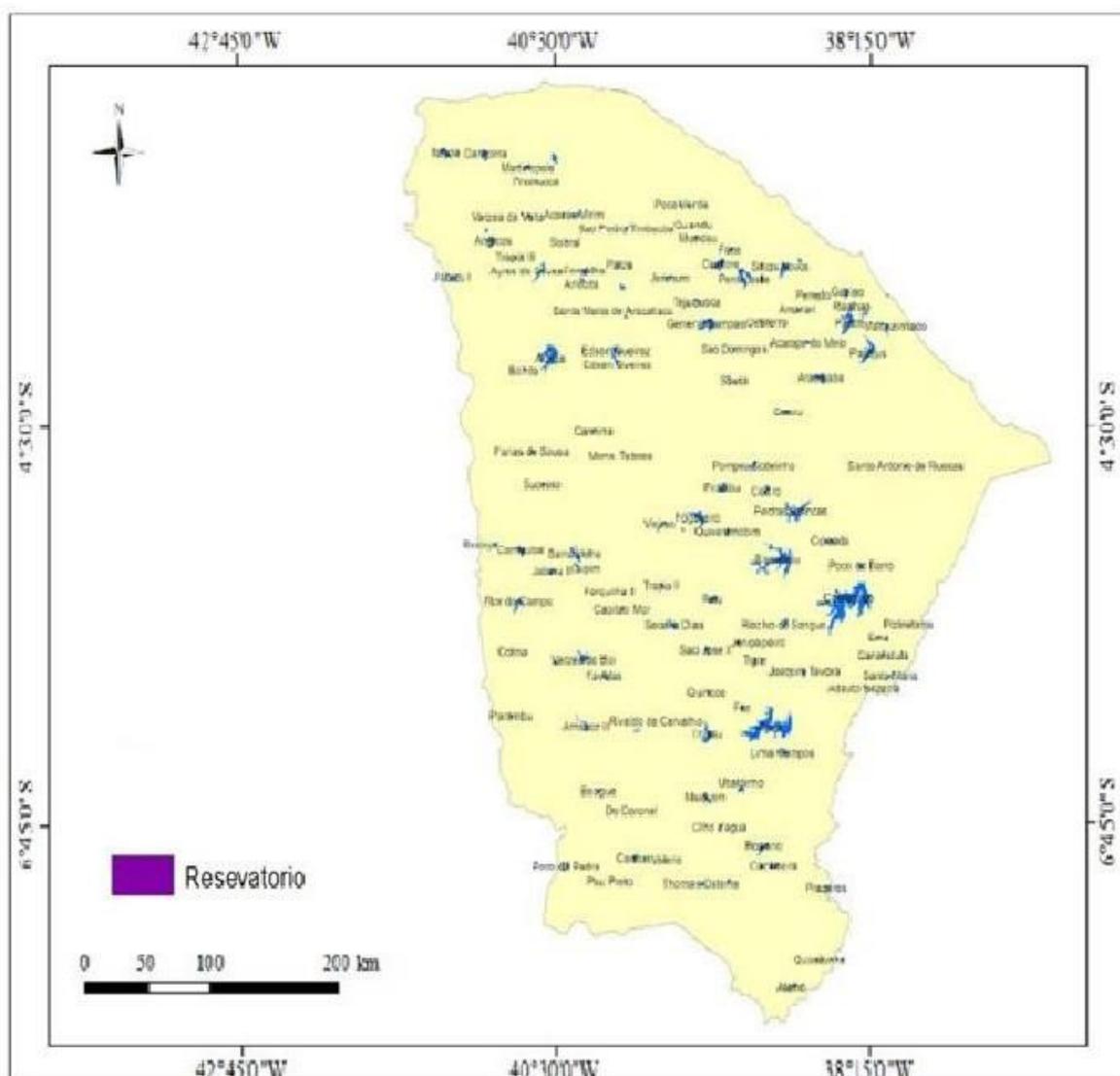


Figura 9: Localização dos 117 reservatórios e suas bacias.
Fonte: Adaptado do autor.

4.2 ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS DE EROSIÃO

A erosão é um fenômeno que é estritamente causado por dois agentes, que são eles a água e o vento. Neste caso, a erosão causada pela água chama-se erosão hídrica, e a causada pelo vento chama-se erosão eólica.

Para o presente estudo, vamos focar na erosão hídrica, a erosão causada pela chuva. Para estimar o nível de erosão, vamos usar alguns parâmetros descritos a seguir:

Calculo da erosão localizada

Para o cálculo da erosão localizada, proceder-se-á o uso da Equação Universal de Perdas de Solo (de sigla inglesa USLE), cuja sua representação matemática é a seguinte:

$$M_L = A.R.K.L.S.C.P$$

Equação 1: Equação da erosão localizada.
Fonte: (ARAÚJO, 2003)

Sendo que:

- M_L - Erosão localizada (mm.mês^{-1});
- A - Área (ha);
- R - Fator de Erosividade ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$);
- K - Fator de erodibilidade do solo ($\text{t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$);
- L - Fator topográfico que representa o comprimento do declive do terreno natural (m);
- S - Fator topografico que representa a declividade o terreno (%);
- C - Fator que representa a cobertura vegetal e o uso do solo (0 a 1).

Fator cobertura vegetal e uso do solo (C)

O fator C é o parâmetro da USLE, que é conhecida como o quociente entre perda de solo da parcela cultivada sob determinadas condições de manejo, e parcela que não é cultivada, isto é, mantida preparada para o plantio (WISCHMEIER; SMITH, 2009).

O fator C possui valores que variam entre 0 e 1. Sendo que os valores menores, isto é, iguais e próximos de zero (0), são para culturas que possuem maior proteção para o solo. Ao passo que valores maiores, os próximos de um (1), são para culturas que possuem menor proteção para o solo (WISCHMEIER; SMITH, 2009).

Geralmente os fatores C e P são determinados conjuntamente. É um processo que consiste na análise de fotos aéreas, mapas e ou imagens disponíveis em das bacias em certos anos de referência (geralmente os anos de referencia são tidos como o ano de construção de cada reservatório), para o levantamento mais recente (no ano de 1997), os dados são obtidos da base de dados da COGERH e imagens de satélite Landsat 8 (ARAÚJO, 2003). O fator C para o nordeste brasileiro está apresentado na Tabela 2.

Sistema de uso do solo	Valor característico Do fator C
Solo desnudo	1,0
Floresta ou sistema de cultivo com forte cobertura do solo	0,001
Savana ou áreas de pastagem não usadas culturas de crescimento demorado	0,01
1 ano	0,3 - 0,8
2 anos	0,1
Culturas de crescimento rápido	0,1
Milho	0,3 - 0,9
Arroz (cultivo intenso, 2° período de cultivo)	0,1 - 0,2
Algodão, tabaco (2° período de cultivo)	0,5
Mandioca (1° período de cultivo)	0,2 - 0,8
Café, cacau	0,1 - 0,3

Tabela 2. Valores do fator “C”, de uso e manejo do solo.
Fonte: (ARAÚJO, 2003).

Para cada célula, o fator de uso do solo é determinado por três componentes, a saber: vegetação natural uso agrícola e urbano. Tomando como base nos anos de referência, fazem-se estimativas de valores dos valores de CP para os demais anos, onde se aplica uma interpolação linear (ARAÚJO, 2003).

Neste estudo foram considerados os parâmetros de Erosividade da chuva (fator R) e de declividade (fator S) para relacionar com taxa de assoreamento na amostra de 117 reservatórios estratégicos do Estado do Ceará.

Fator da Erosividade da Chuva (R)

O fator Erosividade é um parâmetro que determina o grau ou a capacidade de

arrastamento de partículas do solo pela chuva. Ele é definido pelo Índice Erosividade (EI), que equivale a combinação entre energia cinética e a intensidade máxima da precipitação em um determinado intervalo de tempo. Os Índices de Erosividade das chuvas são determinados através de um evento de chuva isoladamente, posteriormente podendo ser classificados como erosivos e não erosivos. No contexto brasileiro, a precipitação é tida como erosiva, se tem pelo menos 6 mm, e uma duração temporal de 15 minutos (MACHADO et al., 2014).

O fator de Erosividade é obtido pela equação de Lombardi Neto e Moldenhauer:

$$EI = 89.5.(r^2/P)^{0.85}$$

Equação 2: Média mensal de Índice de Erosividade.
Fonte: (ARAÚJO, 2003)

$$R = EI.12\text{meses}$$

Equação 3: Fator de Erosividade.
Fonte: (ARAÚJO, 2003)

Onde:

- EI - Média mensal do índice de erosão: tem unidade (MJ/ha.mm);
- r^2 - Precipitação média mensal: tem unidade (mm);
- P - Precipitação média anual: tem unidade (mm/ano);
- R - Erosividade da chuva: tem unidade (MJ/ha.mm/ano).

Para obtenção de dados de Erosividade para os 117 reservatórios analisados, foram utilizadas medições de 88 postos pluviométricos situados ao longo do Estado do Ceará, que tem um tempo mínimo de 30 anos de registro pluviométricos. A partir desses dados, foi utilizada a equação (3), para determinar o Fator de Erosividade. Em virtude de falhas nas medições em postos pluviométricos, foram feitas algumas relações com vista a corrigir eventuais anomalias verificadas em postos pluviométricos.

Declividade (D)

Declividade é um parâmetro muito importante para os processos de degradação de terreno, sendo que junto com os agentes, é responsável pela aceleração da erosão. Para o cálculo da declividade (D), utilizou-se o modelo digital

de terreno da base SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponibilizado pela NASA (National Aeronautics and Space Administration - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) e do software ArcGis, onde com a aplicação de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica - SIG para geração automática da declividade em percentual. A Figura 10 representa o a declividade do terreno:

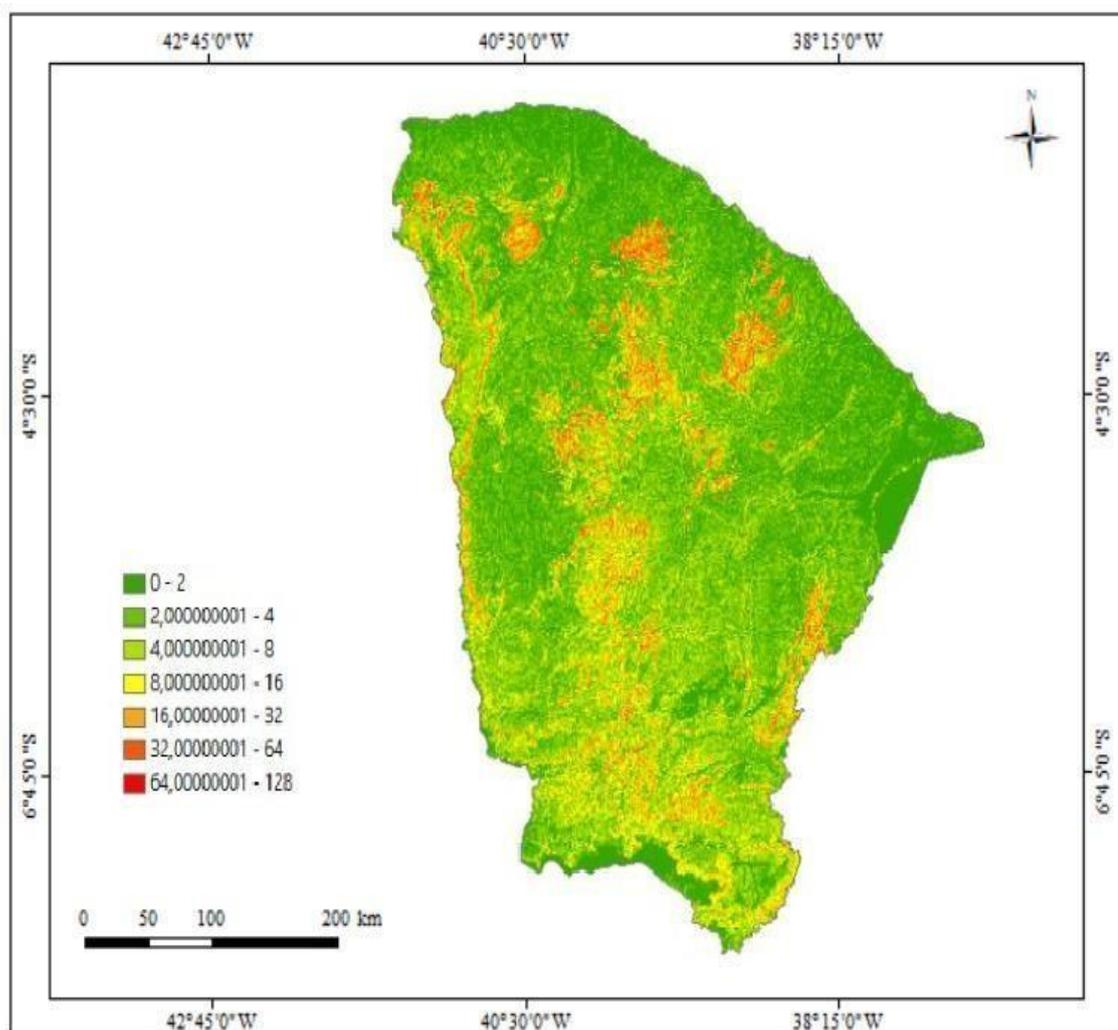


Figura 10: Declividade nos 117 reservatórios e suas bacias
Fonte: Adaptado do autor

A declividade obedece a classificação descrita na Tabela 3

Classes de Declividade (%)	Relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20- 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo fortemente montanhoso

Tabela 3: Classificação da declividade

Fonte: (SILVA; BEZERRA; ARAÚJO, 2018)

Transporte difuso de sedimento – SDR

A equação Universal de Perdas de Solo traz uma estimativa relativamente alta das perdas do solo, visto que ao fornecer dados sobre a produção bruta ou de sedimentos ou de solo, não leva em conta a produção difusa. Neste sentido, é razoável que a aplicação da USLE leve em consideração a taxa de sedimentos (MORRIS, 1998).

As equações (1) a (3) são uteis para calcular a erosão localizada, visto que os lotes foram a base dos experimentos usados na USLE. E vista disso, para se calcular com precisão a erosão em toda bacia, tem que se levar em conta fator de depósito e retenção difusa do sedimento para se chegar ao cálculo da erosão total da bacia. Por sua vez, a taxa de transporte difuso, cujo símbolo é SDR (sigla inlesa para, Sediment Delivery Ratio), é tida como o quociente entre a massa de sedimentos que deixa uma bacia (ME) e a massa de sedimentos localmente erodida (ML) (ARAÚJO, 2003). Conforme representado na Equação 4.

$$M_E = M_L \cdot SDR$$

Equação 4: Massa de sedimentos localmente erodida

Fonte: (ARAÚJO, 2003)

Para a equação (4), o valor médio de SDR é 25%, que pode ser calculada por um conjunto de pelo menos três equações. Para o presente estudo, usaremos a equação do Maner, A equação 5 representa a equação do Maner para

$$\text{Log (SDR \%)} = 2,943 - 0,824 \cdot \text{Log (L}_m/\text{F}_r)$$

Equação 5: taxa de transporte difuso

Fonte: (ARAÚJO, 2003)

Em que:

- L_m - comprimento máximo, em linha reta, medido paralelamente ao curso d'água;
- F_r - diferença entre a cota média do divisor da bacia e a cota do exutório. Por sua vez, a quantidade de sedimentos que chega ao reservatório.

Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico, LS, é determinado pelo uso da Equação 6.

$$LS = 0,00984 \cdot L_r^{0,63} \cdot D^{1,18}$$

Equação 6: Cálculo de fator topográfico

Fonte: (ARAÚJO, 2003)

Onde:

- L_r - comprimento médio de rampa (m); e
- D - grau de declive (%).

Por sua vez, o comprimento da declividade pode ser determinada pelo uso da Equação 7.

$$L_r = \frac{A_q}{(4 \cdot \sum L_{drena})}$$

Equação 7: determinação do comprimento médio de rampa

Fonte: (FERNANDES, 2000)

Onde:

- L_{drena} - soma dos comprimentos de drenagem em uma célula;
- A_q - área da célula.

Taxa de assoreamento

A taxa de assoreamento é resultado de uma operação de divisão de três variáveis, sendo área, período (tempo) e massa assoreada.

A área estava primeiramente em quilômetros quadrados (km²), foi multiplicada pelo fator 100, para se obter em hectares (ha). O período está expresso em anos (a).

O assoreamento foi obtido pela diferença dos volumes antigo (durante a construção) e atual, sendo que o volume está primeiramente expresso em metros cúbicos (m³). O volume expresso em metros cúbicos foi convertido para toneladas, pela multiplicação por um fator de 1,30 ton/m³, correspondente a massa específica aparente seca.

A taxa de assoreamento está expressa nas unidades: toneladas (ton); hectares (ha) e ano (a). A taxa de assoreamento foi obtida em virtude da divisão de massa assoreada (ton), dividida pela área, e por sua estes divididos pelo período (ano).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A discussão dos resultados abaixo é feita de forma conjunta para os 117 reservatórios estratégicos estudados, na qual se fará uma análise do assoreamento e veremos as relações existentes entre assoreamento, declividade e Erosividade.

5.1 ANÁLISES DO ASSOREAMENTO DOS RESERVATÓRIOS ESTUDADOS

O universo dos 117 reservatórios estratégicos estudados tem uma série de características peculiares, e também algumas diferenças notáveis. Os reservatórios foram construídos entre os anos de 1906 (Açude do Cedro) até 2004 (Açudes de Arneiroz II e Faé), e uma cota de sangramento média de 209,06 m. Sendo que as áreas variam de 7,89 km² a 45309 km².

O assoreamento por década varia entre 0,2 % a 33%, sendo que tem uma média de 4,4%, e isso corresponde ao quanto ele perde de volume num intervalo temporal de 10 anos. Este valor médio de assoreamento por década, tem se mostrado discrepante se comparado com uma o observado em outros estudos efetuados no território cearense, na qual aborda alguns açudes estratégicos. Diverge muito com o valor apresentado no estudo feito por (ARAÚJO, 2003), no qual o seu valor médio é de 1,83 % por década. Em partes tais discrepância se deve ao modelo paramétrico e a quantidade de açudes para os dois estudos efetuados. A Figura 11 representa o mapa da taxa de assoreamento nos 117 reservatórios.

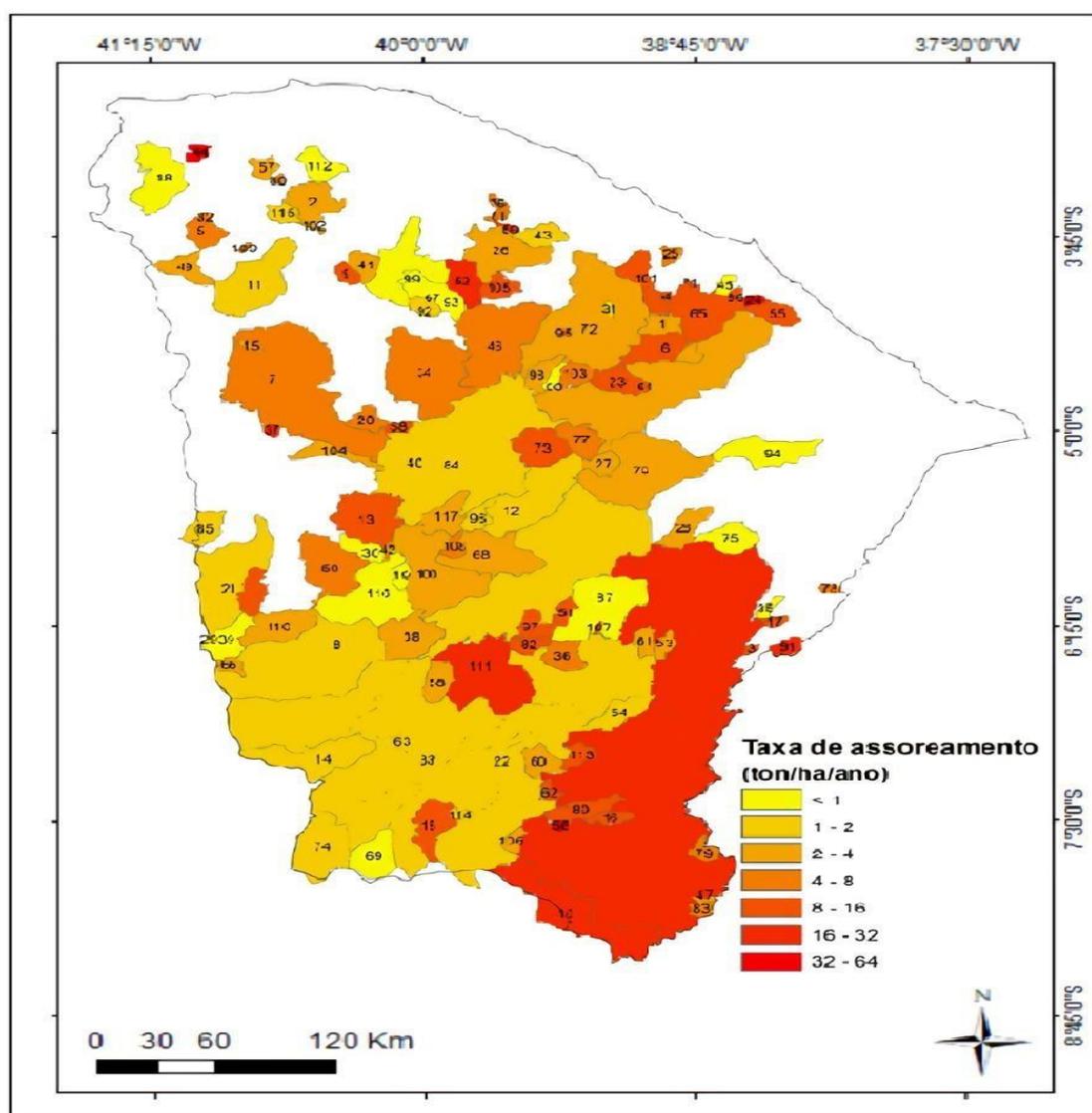


Figura 11: Taxa de assoreamento dos 117 reservatórios.

Fonte: Adaptado do autor.

A taxa de assoreamento varia entre 0,14 a 62,68 t/ha/ano. Sendo que possui uma média de 7,20 t/ha/ano. Diverge dos resultados do estudo efetuado por (ARAÚJO, 2003), sobre um universo de sete bacias específicas, no qual obteve uma taxa de assoreamento médio de 4,12 ton/ha/ano. Apesar da divergência verificada em diferentes estudos efetuados no território cearense, envolvendo números variados de açude, sob vários modelos de parametrização, vale salientar que os resultados obtidos não são críticos, se comparados com outras regiões do Brasil e mundiais. A média mundial para a taxa de assoreamento, que é de aproximadamente 10% da capacidade inicial (V_0) por década (LIMA et al., 2011).

Em síntese, os reservatórios localizados nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sul do Brasil, apresentam taxas de assoreamentos com valores abaixo em torno de 4%, consideradas baixas, face a média mundial. E o assoreamento dos reservatórios é tido como o mais baixo do Nordeste. Há maior probabilidade de retenção de sedimentos devido à presença de vários reservatórios existentes a montante, fazendo com que os reservatórios a jusante fiquem menos sedimentados. Tem uma enorme tendência de decaimento de taxa de assoreamento (NEGREIROS; NETO, 2014).

Visto que o assoreamento deriva do aumento de volume de sedimentos no seu interior, torna-se necessário conhecer o volume inicial, sua respectiva capacidade de armazenamento, sendo estes úteis para monitoramento de sedimentos em bacias hidrográficas. A Tabela 4 apresenta os dados de alguns parâmetros estudados.

Açude	Taxa de assoreamento (%/déc)	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Taxa de assoreamento (ton/ha/ano)	Declividade (%)	Erosividade da chuva (MJ.mm)/(ha.h)
Acarape do Meio	1,6%	210,96	3,15	20,41%	8911
Acarau Mirim	2,5%	479,59	3,17	12,22%	8309
Adauto Bezerra	8,2%	29,00	15,68	9,60%	7785
Amanari	2,3%	32,84	9,30	9,34%	8703
Angicos	1,8%	285,80	4,26	10,78%	9502
Aracoiaba	4,3%	588,60	14,19	16,15%	7001
Araras	2,3%	3504,38	7,84	6,08%	7793
Arneiroz II	8,8%	5407,00	3,62	64,76%	5442
Arrebita	7,4%	124,00	13,13	3,37%	7175
Atalho	18,1%	1298,04	17,02	3,63%	6220
Ayres de Sousa	1,0%	1100,90	1,20	6,51%	8144
Banabuiu	1,2%	14243,49	1,81	7,28%	6038
Barra Velha	9,5%	856,96	13,18	5,14%	6271
Bengue	8,4%	1062,30	1,88	4,91%	5618
Bonito	1,5%	34,75	3,12	8,66%	8501
Cachoeira	3,0%	134,60	9,33	9,71%	8092
Canafistula	4,5%	53,00	13,49	11,17%	7182
Canoas	7,2%	482,41	12,45	6,43%	6692
Capitao Mor	2,3%	187,00	0,89	9,07%	6370

Carmina	5,8%	189,30	4,90	16,81%	7823
Carnaubal	2,6%	2090,54	1,24	6,63%	6271
Castanhao	14,4%	45309,00	25,09	6,37%	7097
Castro	4,7%	359,83	9,89	6,91%	6450
Catucinzenta	11,1%	64,50	50,72	2,50%	9638
Cauhipe	2,7%	94,00	4,16	10,87%	8427
Caxitore	1,4%	1252,44	2,79	12,38%	7021
Cedro	1,9%	211,05	13,62	9,85%	6568
Cipoada	1,0%	355,00	3,03	2,28%	5886
Colina	3,7%	367,40	0,53	6,96%	6749
Cupim	1,1%	229,73	0,28	5,95%	6271
Desterro	0,7%	42,96	0,99	2,33%	8911
Diamante	0,9%	32,45	4,61	10,54%	9502
Do Coronel	1,8%	25,71	1,70	9,25%	5618
Edson Queiroz	3,9%	1779,22	6,71	8,20%	6090
Ema	0,4%	83,04	0,62	17,84%	7182
Fae	5,6%	309,98	4,06	4,51%	6356
Farias de Sousa	6,0%	43,97	19,86	7,88%	7785
Favelas	5,0%	669,31	2,69	6,64%	5712
Flor do Campo	4,1%	647,80	8,43	6,22%	7299
Fogareiro	5,4%	5095,37	1,52	8,03%	5706
Forquilha	0,6%	191,86	2,09	3,51%	8144
Forquilha II	3,2%	31,31	4,28	4,47%	6384
Frios	1,2%	274,24	1,77	8,22%	7387
Gangorra	8,8%	105,00	62,68	2,22%	9918
Gaviao	0,2%	97,00	0,93	7,58%	8938
General Sampaio	1,8%	1569,10	4,38	13,44%	8938
Gomes	3,4%	34,63	2,80	10,49%	6602
Itauna	0,6%	771,30	0,66	11,89%	10940
Jaburu I	0,7%	313,25	3,84	3,90%	12123
Jaburu II	5,5%	913,50	7,59	4,26%	6749
Jenipapeiro	9,1%	186,40	9,90	5,81%	6599
Jerimum	7,1%	71,80	24,43	8,71%	5198
Joaquim Tavora	1,1%	120,00	2,92	4,71%	6850
Lima Campos	0,7%	346,39	1,77	5,15%	6811
Malcozinhado	7,2%	240,00	12,98	2,29%	9638
Manoel Albino	3,5%	40,22	39,30	10,19%	8228
Martinópolis	1,7%	150,94	3,46	5,05%	8334
Mons. Tabosa	5,2%	81,00	9,37	7,37%	6310
Mundaú	3,4%	36,49	24,13	31,77%	7021
Muquém	1,5%	295,20	3,01	6,65%	7846
Nova Floresta	4,6%	158,75	2,41	5,72%	6685
Olho d'água	4,0%	73,02	12,69	8,70%	8078
Orós	1,5%	25712,45	1,50	6,40%	8055
Pacajus	6,2%	4492,05	3,81	6,12%	7633
Pacoti	3,0%	1080,00	12,71	12,00%	8499
Parambu	3,4%	121,89	2,89	6,06%	5442
Patos	4,0%	973,05	0,36	8,72%	5198
Patu	4,4%	1037,59	3,68	8,11%	6130
Pau Preto	2,5%	400,65	0,14	4,19%	6133
Pedras Brancas	0,8%	1987,72	2,41	5,35%	6568
Penedo	4,3%	7,89	19,48	14,72%	8703
Pentecoste	1,8%	3262,97	2,68	6,90%	7823
Pirabibu	6,4%	520,00	10,90	4,55%	5706
Poco da Pedra	3,1%	1325,76	1,44	3,43%	5390
Poco do Barro	0,4%	373,68	0,73	2,18%	6652
Poco Verde	1,7%	63,09	4,41	11,55%	9086
Pompeu Sobrinho	0,8%	321,47	4,45	10,16%	6568
Potiretama	3,1%	40,00	6,00	3,09%	6328
Prazeres	1,6%	139,35	4,54	11,02%	7260

Premuoca	2,5%	23,74	6,82	7,23%	8879
Quandu	6,9%	56,00	5,85	26,46%	9086
Quincoe	25,4%	168,33	12,01	6,43%	6356
Quixabinha	1,3%	80,50	6,21	12,06%	7435
Quixeramobim	33,0%	7005,63	1,75	7,55%	5706
Realejo	1,0%	216,65	1,87	8,55%	7299
Riachao	0,8%	33,68	13,51	4,85%	9197
Riacho do Sangue	0,6%	1368,58	0,30	4,45%	6418
Rivaldo de Carvalho	2,6%	318,04	2,02	7,90%	6148
Rosario	5,8%	329,00	9,99	13,20%	7683
Salao	0,7%	86,68	0,62	7,34%	8075
Santa Maria	23,6%	132,00	18,96	8,09%	7785
Santa Maria de Aracatiacu	1,6%	155,03	1,05	10,92%	7707
Santo Antonio de Aracatiacu	0,9%	629,14	0,42	8,72%	7208
Santo Antonio de Russas	0,9%	624,07	0,42	3,46%	6267
Sao Domingos	3,4%	15,77	8,47	3,01%	7635
Sao Jose I	3,3%	183,00	1,68	15,46%	6384
Sao Jose II	9,9%	223,00	10,97	5,06%	6599
Sao Mateus	4,2%	232,30	2,18	11,50%	8075
Sao Pedro Timbauba	2,0%	1553,03	0,29	5,87%	7992
Serafim Dias	6,7%	1515,05	2,17	11,20%	6312
Sitios Novos	2,9%	446,00	9,73	8,19%	6980
Sobral	1,1%	33,04	2,02	19,39%	11354
Sousa	4,4%	219,30	7,47	6,13%	7087
Sucesso	13,6%	278,74	3,58	5,31%	7299
Tejuocuca	7,2%	232,47	10,29	6,34%	7208
Thomas Osterne	1,0%	118,41	3,17	6,19%	7518
Tigre	5,5%	21,00	14,06	5,72%	7215
Trapiá II	2,7%	129,00	4,60	8,67%	6384
Trapiá III	1,7%	23,49	4,99	3,59%	8233
Trici	7,9%	555,06	2,73	3,64%	5442
Trussu	7,8%	1564,60	18,01	8,18%	7423
Tucunduba	0,4%	295,50	0,70	3,45%	7997
Ubalzinho	5,4%	176,00	11,62	8,28%	7846
Valério	2,7%	61,11	1,02	7,41%	7166
Várzea da Volta	1,6%	161,32	1,47	17,16%	11354
Várzea do Boi	1,6%	1240,23	0,84	4,78%	5442
Vieirao	4,0%	403,00	2,51	14,27%	5706

Tabela 4. Dados de alguns parâmetros em estudo.

Fonte: Adaptada pelo autor

5.2 RELAÇÕES DO ASSOREAMENTO COM PARÂMETROS ANALISADOS

5.2.1 Relação taxa de assoreamento e área (A)

A área do tamanho do reservatório é um parâmetro que exerce influência sobre

o nível de assoreamento de reservatório, conforme pode ser observado na equação (1).

Para o caso dos 117 reservatórios em análise no presente estudo, eles têm áreas que variam entre 7,89 km² e 45309 km², com uma média de 1352 km². Esta área média dos reservatórios lhes confere uma posição favorável no quesito de assoreamento. Visto que em princípio os reservatórios das bacias com maiores áreas tendem a ter menos assoreamento. Para além do tamanho da área, outros assuntos que corroboram para a baixa taxa de assoreamento estão ligados a fatores edáficos e natureza da cobertura vegetal ao longo do corpo hídrico.

Importa reiterar que as taxas de assoreamento dos 117 reservatórios variam de 0,14 t/ha/ano a 62,68 t/ha/ano, sendo a média de 7,20 t/ha/ano.

No universo dos 117 reservatórios que analisados, podemos considerar dois reservatórios para efeitos de comparação. Tomando como ponto de partida uma das menores e uma das maiores áreas, que são os casos de Gangorra (105 km²) e Oros (25712,45 km²), com taxas de assoreamento de 62,88 t/ha/ano e 1.50 t/ha/ano, respetivamente. Notando-se que os reservatórios de maiores áreas tendem a apresentar menores taxas de assoreamento, salvo algumas exceções.

Neste diapasão, um estudo feito por (ARAÚJO, 2003) em conjunto de 7 bacias estratégicas, envolvendo os açudes de Acarape do Meio, Canabrava, Cedro, São Mateus, Santo Anastácio, Várzea do Boi e Várzea da Volta. Os sete açudes tem uma área média de 2922.305714 km² e uma taxa de assoreamento de 4.1185 t/ha/ano. Sendo que o açude de Várzea do Boi apresenta a maior área, 1221.2 km² e Canabrava tem a menor área, 2.85 km². O açude de Cedro tem 12.77 t/ha/ano e Várzea do Boi, 1,22 t/ha/ano.

O estudo do Araújo (2003) e os resultados dos 117 reservatórios apresentam uma clarividência da proporcionalidade entre a área e a taxa de assoreamento. Outro estudo similar realizado sobre o açude de Pompeu Sobrinho destaca a influência que o tamanho da área tem sobre a taxa de assoreamento, e enfatiza que não obstante as anomalias do seu projeto durante a sua construção, ela apresenta menor taxa de assoreamento, devido ao tamanho da sua área, até porque essa é uma das características dos açudes superdimensionados.

Para cristalizar a ideia e que a tamanha da área contribui para a menor taxa de

assoreamento por unidade de área, o gráfico de taxa de assoreamento x área, apresentado no Gráfico 1, demonstra a tendência da taxa do assoreamento com a variação da área.

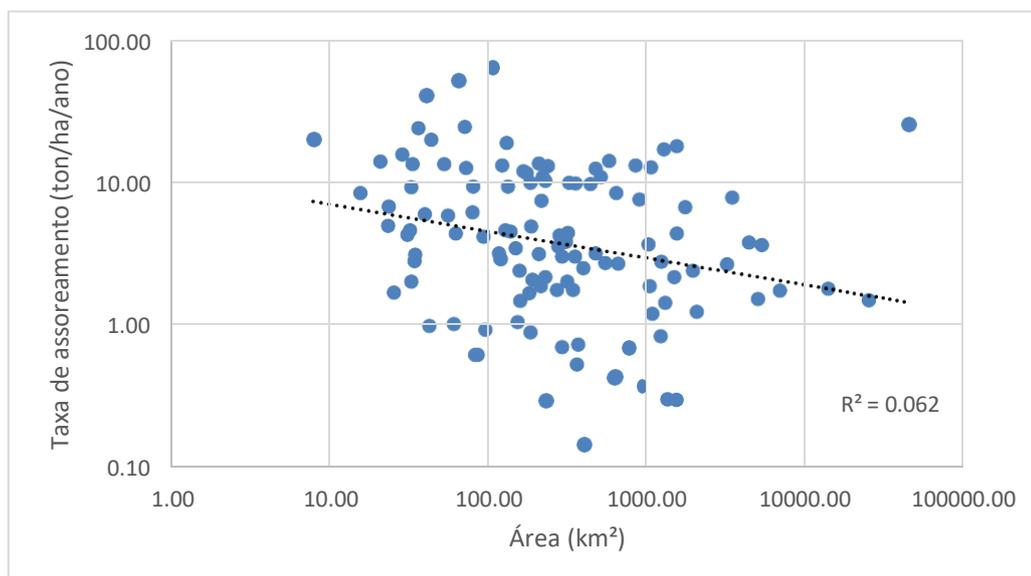


Gráfico 1: Taxa de assoreamento x área (A), analisada pela correlação R^2
Fonte: Adaptado do autor

5.2.2 Relação taxa de assoreamento e Erosividade (R)

O fator de Erosividade da chuva tem uma estrita relação com o assoreamento de reservatórios. Visto que esta tem a ver com a facilidade das partículas sedimentárias serem arrastadas pela chuva. Por isso um conhecimento do Índice de Erosividade sob o ponto de vista quantitativo, tem uma grande importância para estudos de assoreamento, visto que são parâmetros com proporcionalidade direta.

Analisando de maneira holística, todas 117 bacias têm uma Erosividade média de 7358 (MJ.mm) /(ha.h), sendo que a mínima Erosividade verificada foi de 5198 (MJ.mm) /(ha.h), para o reservatório de Jerimum, e uma maior Erosividade de 12123 (MJ.mm) /(ha.h), para o reservatório de Jaburu I. A Figura 12 apresenta o perfil da Erosividade nos 117 reservatórios.

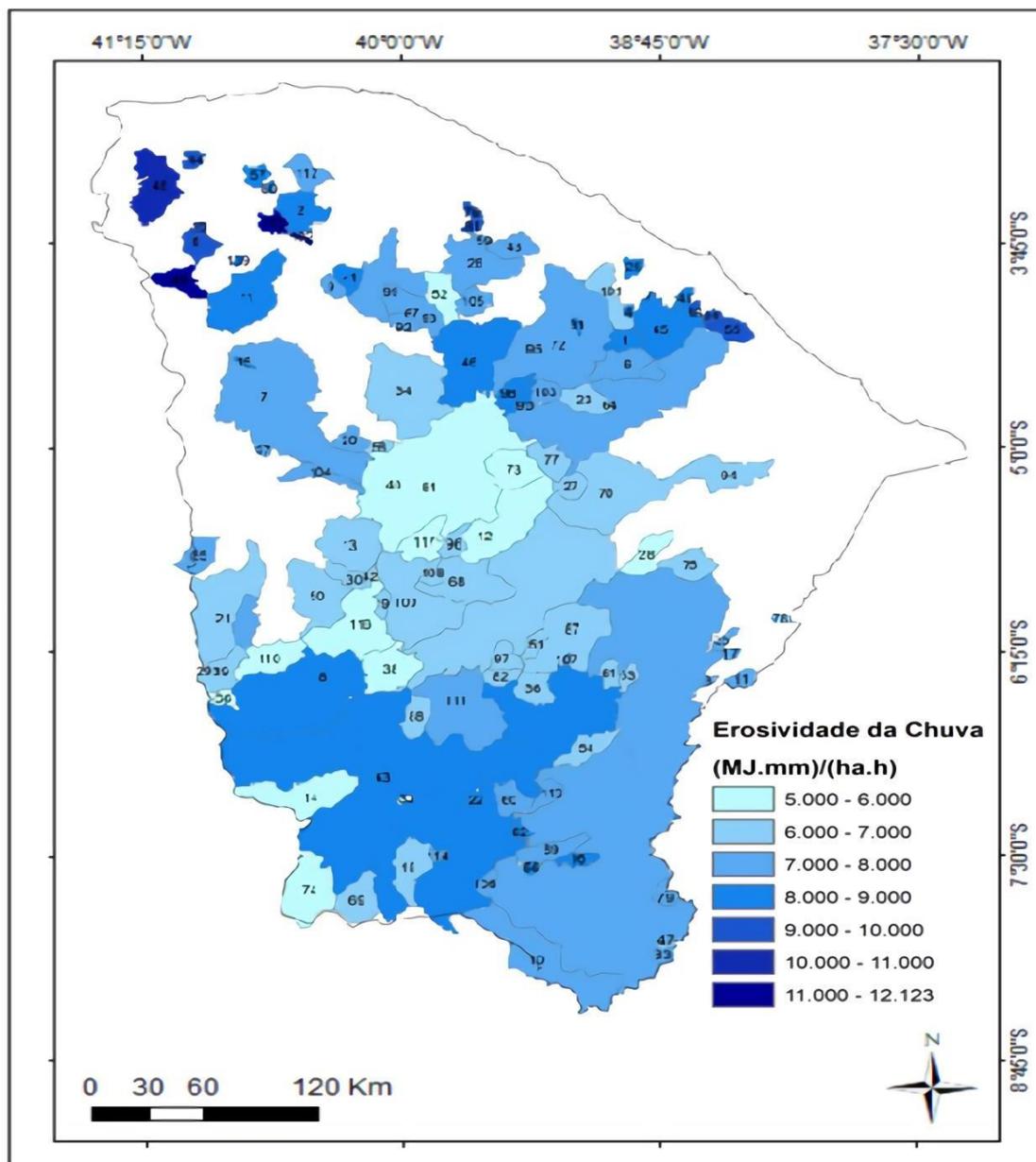


Figura 12: Erosividade dos 117 reservatórios.

Fonte: Adaptado do auto

Os valores acima são esperados, visto que no contexto do território brasileiro, as regiões nordeste e norte são consideradas expoentes no índice de Erosividade. No que concerne a Erosividade, aos estados da região nordeste apresentam um denominador comum, que é o de possuir altos índices, se comparados aos estados situados nas regiões sul e sudeste. Um estudo feito num açude situado na Ribeira Paulista, mostra um fator de Erosividade máximo de 9278,75 (MJ.mm)/(ha.h). O fator de Erosividade do açude de Vale Paulista é 76,53% menor que o verificado no reservatório de Jaburu I (BATISTA et al., 2020).

Um estudo realizado por (ARAÚJO, 2003), envolvendo sete bacias estratégicas

do estado do Ceará, envolvendo os açudes de Acarape do Meio, Canabrava, Cedro, São Mateus, Santo Anastácio, Várzea do Boi e Várzea da Volta. Os sete açudes tem um fator de Erosividade médio de 5882.428571 (MJ.mm)(ha.h) e uma taxa de assoreamento de 4.1185 t/ha/ano. Sendo que o açude de Várzea da Volta apresenta o maior fator de Erosividade, 7802 (MJ.mm)(ha.h) e Canabrava tem o menor fator de Erosividade, 4503 (MJ.mm)(ha.h).. O açude de Cedro tem 12.77 t/ha/ano e Várzea do Boi, 1,22 t/ha/ano.

Os valores médios do fator de Erosividade para os 117 reservatórios, tem uma discrepância em relação aos valores das sete bacias do estudo de Araújo (2003). Apesar dessa discrepância relativamente ligeira, ambos os estudos mostram que os resultados médios da sua Erosividade se enquadram na classificação *moderada a forte* ($4.905,0 < R \leq 7.357,0$), conforme está apresentado na Tabela 3.

Assim sendo, a magnitude do índice de Erosividade mostra que os açudes do Estados cearenses são favoráveis a assoreamento.

O Gráfico 2, é elucidativo na relação entre taxa de assoreamento e o fator de declividade, R. O intima positiva coeficiente de correlação é de natureza, tal como pode ser observado abaixo.

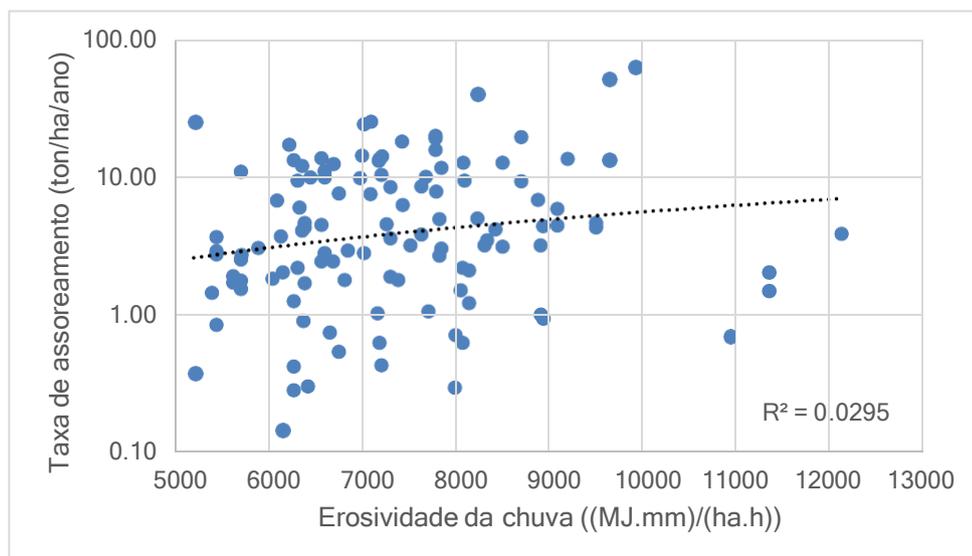


Gráfico 2: Relação entre taxa de assoreamento e fator de erosividade
Fonte: Adaptado do autor.

5.2.3 Relação taxa de assoreamento e declividade (D)

Um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento do processo erosivo, é a declividade do terreno. Por isso, essa desempenha um papel-chave para o assoreamento de um reservatório. Para que haja assoreamento, é necessário que a

energia cinética da água seja suficiente para escoar ou suspender as partículas. Visto que em terrenos mais declivosos, não se precisa de uma grande quantidade de energia cinética para escoar as partículas e deste modo causar à sedimentação e conseqüente assoreamento.

Para obtenção dos dados de declividade dos 117 reservatórios estratégicos, foram usadas as ferramentas de SIG, no qual produzimos um mapa de declividade. Através do mapa de declividade produzido registamos em tabela os valores médios de cada reservatório.

Os valores mínimos e máximos deste universo de 117 reservatórios são de 2,31 (%) para o reservatório de Poço do Barro, cuja taxa de assoreamento é de 0,73 t/ha/ano. Ao passo que a maior declividade é de 68,44 (%) para o reservatório de Muquém, a qual tem uma taxa de assoreamento de 12,01 t/ha/ano. Para uma análise mais extensiva para os 117 reservatórios, ela possui uma declividade média de 8,75 (%) e uma taxa de assoreamento de 7,2 t/ha/ano.

Os valores acima têm suas particularidades e generalidades, pelo que de forma mais extensiva e por inferência pode se considerar que os reservatórios têm um relevo ondulado, conforme a classificação abaixo.

Em virtude dos valores médios apresentados, tornam o reservatório cearenses favoráveis a erosão e conseqüentemente a assoreamento. Todavia, vale ressaltar que essa classificação não constitui alguma novidade, visto que a região nordeste no seu todo é tem características favoráveis a erosão.

Um estudo realizado sobre o Açude de Seco I, no Estado de Pernambuco, no qual consistiu em 5 medições consecutivas, com consistia na análise de parâmetros como elevação da curva de nível (m), distancia entre os pontos (m) e declividade (%).

As declividades dos solos em P1 (0,33%) e P2 (0,48%), se encontram em uma faixa que permite classificá-los como planos. Isso mostra que não são suscetíveis a erosão e são propícios para desenvolvimento de atividades agrícolas. Ao passo que os P3 (10,6%), P4(17,6%) e P5 (9,15%), apresentam um relevo ondulado, o que lhes coloca em vulnerabilidade a erosão e conseqüente assoreamento (FERREIRA, 2012).

A declividade média dos cinco pontos analisados neste açude é de 7,63%, o que permite classificar suavemente ondulado. Os valores médios têm alguma diferença (no caso de 1,07%) com a declividade média (de 8,70%) dos 117

reservatórios no Estado Ceará.

Os dados acima mostram a relação que se estabelece entre a declividade do terreno e a taxa de assoreamento. Ambos são diretamente proporcionais. Em virtude da declividade apresentada pelos reservatórios do Estado do Ceará, ele é um terreno propenso a erosão e conseqüente assoreamento. Contudo vale citar que não obstante essa vulnerabilidade a assoreamento. O Ceará, a semelhança do nordeste no seu todo, apresentam índices de assoreamento internacionalmente aceitáveis.

O Gráfico 3, apresenta a relação existente entre a taxa de assoreamento em função da declividade no Ceará para os 117 reservatórios em análise, indicando uma tendência de aumento da taxa de assoreamento com a declividade, com coeficiente de correlação de 0,0256, tal como ilustra o Gráfico 3.

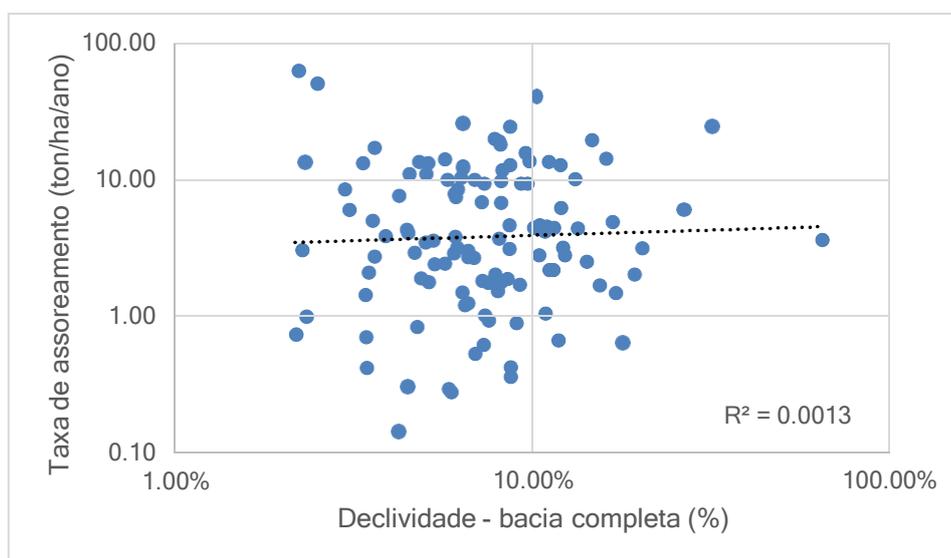


Gráfico 3: Relação taxa de assoreamento e declividade
Fonte: Adaptada do autor

6 CONCLUSÕES

Mediante o tratamento dos dados dos 117 reservatórios, reservatórios e da produção de mapas, tabelas, aplicação de métodos que auxiliaram a no desenvolvimento deste trabalho. Conclui-se que a semelhança dos açudes nordestinos, os 117 açudes analisados apresentam níveis de assoreamento com uma magnitude média mais baixa do território brasileiro, sendo que por sua vez o Brasil tem níveis abaixo da média se comparar com o que é o padronizado mundialmente.

O reservatório de Cupim apresenta menor taxa de assoreamento, com 0,28 ton/ha/ano. Ao passo que o reservatório de Gangorra apresenta a maior taxa de assoreamento, com 62,68 ton/ha/ano.

O assoreamento e a Erosividade têm uma proporcionalidade direta. Em vista disso, como os corpos hídricos cearenses se mostram favoráveis a erosão, são consequentemente vulneráveis ao assoreamento. Vale salientar que o comportamento verificado tem algumas particularidades.

Por ser um terreno maioritariamente rochoso e acidentado, onde o declive é classificado como ondulado, está propensa a erosão. As chuvas escassas e irregulares favorecem a seca e pouca densidade de cobertura vegetal, o que facilita a sedimentação na época chuvosa.

Os 117 reservatórios monitorados pela COGERH apresentam um assoreamento variável, sendo de 0,2% a 33% por década. Estes valores são relativamente católicos se comparados com as médias observadas em outras regiões do Brasil e/ou outros quadrantes geográficos ao redor do mundo, porém, a muito trabalho que precisa ser feito para melhorar o atual estágio e evitar que a situação venha a ganhar contornos críticos.

Um dos parâmetros mais importantes é a erosividade, que é um destaque para a região nordestina no geral e o Ceará em particular. Em vista disso, a região em estudo é favorável a erosão, consequentemente ao assoreamento.

Por outro lado, o Ceará apresenta um terreno significativamente declivoso. No caso da região em estudo, tem uma declividade média de 8,7%, que pode ser classificado como terreno ondulado. Esta natureza de terreno, lhe coloca em posições favoráveis ao assoreamento.

A declividade do terreno e a erosividade, são dois fatores que contribuem significativamente para o atual estágio assoreamento de reservatórios cearenses. Infelizmente, tem um impacto tem um impacto notável na perda da acumulação de água por parte dos reservatórios úteis para o abastecimento público, visto que uma

grande parcela provém dessas fontes. Vale salientar que o problema ainda se mostra mediano, porém, se continuar neste ritmo, em médios ou longos prazos atingirá níveis desfavoráveis. O açude de Orós corrobora com esta afirmação, visto que ela sofre pelo menos 10% do assoreamento, o que traduz uma perda de 190 milhões de metros cúbicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Pedro Henrique Lima; ARAGÃO, Jéssica; ARAÚJO, José Carlos De. **IMPACTOS DO ASSOREAMENTO SOBRE DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO AÇUDE POMPEU SOBRINHO, CE.** IV Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido - SBRNS. Crato: 24 maio 2019.

ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg; SOUZA, Marcos José Nogueira. **BACIAS HIDROGRÁFICAS COSTEIRAS: IMPORTÂNCIA E CENÁRIO DEGRADACIONAL NO SETOR LESTE METROPOLITANO DE FORTALEZA, ESTADO DO CEARÁ.** Revista GEOUECE. v. 4. n. 2317- 028X, p. 152-155. jun.2015.

ARAÚJO, José Carlos. **ASSOREAMENTO EM RESERVATÓRIOS DE SEMI-ÁRIDO: MODELAGEM E VALIDAÇÃO.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, p. 38-54, jun. 2003.

ARAÚJO, Sérgio Murilo Santos De. **A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: QUESTÕES AMBIENTAIS E POSSIBILIDADES DE USO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS.** Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE, p. 90, dez. 2011.

ARAÚJO, José Carlos. **ASSOREAMENTO EM RESERVATÓRIOS DE SEMI-ÁRIDO: MODELAGEM E VALIDAÇÃO.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

ARAGÃO, Mario B. **GEOMORFOLOGIA: UMA ATUALIZAÇÃO DE BASES E CONCEITO.** Rio de Janeiro: [s.n.].

BARBOSA, João Marcelo Costa; PINTO, Marcus Rodrigues; CASTRO, Marco Aurélio Holanda. **EROSÃO E ASSOREAMENTO EM RESERVATÓRIOS.** XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Fortaleza: 2015.

BANDEIRA, Jefferson Vianna et al. **ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS, DESCARGAS DE FUNDO E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: CASO ESTUDO DA PCH DE PACIÊNCIA, RIO PARAIBUNA, MG.** X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. 2015.

BORDIGNON, Simone. **DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR COMO ALTERNATIVA PARA OBTENÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL.** Curitiba

BATISTA, R. A. W. et al. **ESTIMATIVA DO FATOR DE EROSIVIDADE DO SOLO DA REGIÃO DO VALE DO RIBEIRA PAULISTA, BRASIL.** São Paulo. 2020. Revista Formação (ONLINE), v. 28, n. 53, 2021, p. 441-460.

CARVALHO, N. DE O. **HIDROSEDIMENTOLOGIA PRÁTICA.** Rio de Janeiro: [s.n.].

CAPONE, Viviane. **MAPEAMENTO DOS PEQUENOS RESERVATÓRIOS E ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GUARIROBA, CAMPO GRANDE – MS.** Geo UERJ, Rio de Janeiro, n. 39, 2021, p.3.

- COGERH. **RELATÓRIO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**. Fortaleza: [s.n.].
- CUNHA, P.; ROIG, H. **MONITORAMENTO DA SEDIMENTAÇÃO DE RESERVATÓRIOS HIDROELETRICOS (PROGRAMAS E NORMAS)**. XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos I Partículas nas Américas. Vitória: 28 set. 2018.
- CLEYBER NASCIMENTO DE MEDEIROS et al. **OS RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ: INTEGRAÇÃO, GESTÃO E POTENCIALIDADES**. Fortaleza: [s.n.].
- DA SILVA, Ana Cristina Souza et al. **CONSIDERAÇÕES SOBRE ASPECTOS SOCIAIS E FÍSICOS DA AÇUDAGEM NA BACIA DO AÇUDE SUMÉ - PB**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa: [s.d.].
- DANTAS, Sullivan Pereira. **AÇUDAGEM NO NORDESTE BRASILEIRO E NO CEARÁ: ESTIMATIVA DE EVAPORAÇÃO DO AÇUDE CASTANHÃO EM UM ANO SECO**. UFC. Fortaleza. 2017.
- DE ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. **A METHOD TO ASSESS HYDROLOGICAL DROUGHT IN SEMIARID ENVIRONMENTS AND ITS APPLICATION TO THE JAGUARIBE RIVER BASIN**. Water International. v. 41. p. 223, 2016.
- FABRÍCIO ANTÔNIO LOPES; PAULO DE TARSO CASTRO; CLÁUDIO EDUARDO LENA. **Sedimentação na bacia pantanal mato-grossense, Centro – Oeste do Brasil**. 2003.
- FRANCISCO DE ASSIS SOUZA FILHO. **CEARÁ 2050 Estudo Setorial**.
- FERREIRA, Clarisse Wanderley Souto. **SEDIMENTAÇÃO EM UM RESERVATÓRIO DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**. Recife. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. mar. 2012.
- GOMES, M. A. F. **Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã**.
- GOVERNO DO CEARÁ. **Estudo de Geografia do Brasil**. 2012.
- GOVERNO DO ESTADO DE CEARÁ. **Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará**.
- NEGREIROS, Jefferson Ronald Quaresma; NETO, IRAN E. LIMA. **RELAÇÕES SIMPLIFICADAS PARA ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS**. REGA. v. 11. p. 6-15, 29 dez. 2014.
- MARQUES, João Fernando; NETO, Francisco Lombardi; BACELLAR, Andréa Álvaro Alberto. **EROSÃO DO SOLO: INDICADORES FÍSICOS E ECONÔMICOS**. Fortaleza, [s.d.].
- LOPES, José Wellington Batista; NETO, José Ribeiro De Araújo; PINHEIRO, Everton Alves Rodrigues. **PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E ASSOREAMENTO EM RESERVATÓRIO NO SEMIÁRIDO: O CASO DO AÇUDE MARENGO, CEARÁ**. Geoambiente On-Line. v. 4. jun. 2015.

LIMA, B. P.; NETO, Jose Alves Carneiro; TAVEIRA, Itamara Mary Leite M. De. **RELATÓRIO ANUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS: GERENCIA DE SEGURANÇA E INFRAESTRUTURAS**. Fortaleza. [s.n.].

LIMA, B. P.; NETO, Jose Alves Carneiro; TAVEIRA, Itamara Mary Leite M. De. **RELATÓRIO ANUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS: GERENCIA DE SEGURANÇA E INFRAESTRUTURAS**. Fortaleza. [s.n.].

SOUTO, Lucas Valente; LIMA, Daniela de Freitas; FILHO, Boanerges de Freitas Barreto. **O NORDESTE E A ESCASSEZ DE ÁGUA: UMA ABORDAGEM DA MICRORREGIÃO DE PAUS DE FERRO/ RN**. XVII ENAMPUR. São Paulo. Desenvolvimento, Crise e Resistência. 2017.

LUÍS CARLOS HERNANI et al. **A EROSÃO E SEU IMPACTO**. 2013.

MACHADO, D. O. et al. **EROSIVIDADE DA CHUVA PARA O BIOMA PANTANAL**. ENG SANIT AMBIENTE. 2014.

SALES, Maurício Martines et al. **EROSÃO EM BORDA DE RESERVATÓRIO**. Goiânia: Gráfica UFG, 2017. v. 3.

SILVA, Wagner Bandeira Da; BEZERRA, Joel Medeiros; ARAUJO, Caio Sérgio Pereira De. **CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE FIGUEIREDO DO ALTO SANTO/CE**. I ERESP. Recife. 2018.

PAULO GUILHERME WADT. **Construção de Terraços para Controle Pluvial no Estado de Acre**. Rio Branco: [s.n.].

TRONCOSO, Rafael; CARNEIRO, Arnaldo; TOMASELLA, Javier. **AMAZONIA, DESFLORESTAMENTO E ÁGUA: A INTERAÇÃO ENTRE FLORESTA TROPICAL E A MAIOR BACIA HIDROGRÁFICA DO MUNDO**. Ciência Hoje. v. 40. p. 12, 2007.

REBOUÇAS, A. C. **ÁGUA NO BRASIL: ABUNDÂNCIA, DESPERDÍCIO E ESCASSEZ**. Bahia Análise & Dados. v. 13, p. 341-344. mar. 2003.

CARMO, Roberto Luiz Do; TAGNIN, Renato. **USO MÚLTIPLO DA ÁGUA E MÚLTIPLOS CONFLITOS EM CONTEXTOS URBANOS: O CASO DE RESERVATÓRIO DE BILLINGS**. p. 420-422. abr. 2011.

FRANÇA, Silvia Cristina Alves; CASQUEIRA, Rui de Góes. **ENSAIOS DE SEDIMENTAÇÃO**. Rio de Janeiro, [s.d.].

VERIATO, M. K. L. et al. **ÁGUA: ESCASSEZ, CRISE E PERSPECTIVAS PARA 2050**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. v. 10. p. 17-18. dez. 2015.

VERDUM, Roberto ; VIERA, Carmem Lucas; CANEPPELE, Jean Carlo Gessi. **MÉTODOS E TÉCNICAS PARA O CONTROLE DA EROSÃO E CONSERVAÇÃO DO SOLO**. Geociências. Porto Alegre - RS. 2016.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **PREDICTING RAINFALL EROSION LOSSES, A GUIDE TO CONSERVATION PLANNING.** Agriculture Handbook, n. 537, 1978. 58p