

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRAULICA E AMBIENTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**

**JEFFERSON RONALD QUARESMA NEGREIROS**

**RELAÇÕES SIMPLIFICADAS PARA A ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO  
DE RESERVATÓRIOS**

**FORTALEZA-CE**

**2014**

**JEFFERSON RONALD QUARESMA NEGREIROS**

**RELAÇÕES SIMPLIFICADAS PARA A ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO  
DE RESERVATÓRIOS**

**Dissertação submetida à Coordenação do  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, da Faculdade de Engenharia da  
Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Civil.**

**Área de concentração: Recursos Hídricos**

**Orientador: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto**

**FORTALEZA-CE**

**2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

---

N313r Negreiros, Jefferson Ronald Quaresma.  
Relações simplificadas para a estimativa do assoreamento de reservatórios / Jefferson Ronald

Quaresma Negreiros. – 2014.

131 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Mestrado Profissional em Gestão de Recursos  
Hídricos, Fortaleza, 2014.

Área de Concentração: Recursos Hídricos.

Orientação: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto.

1. Recursos Hídricos. 2. Equações empíricas. 3. Erosividade. 4. Reservatórios. I. Título.

JEFFERSON RONALD QUARESMA NEGREIROS

RELAÇÕES SIMPLIFICADAS PARA A ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO  
DE RESERVATÓRIOS

Dissertação submetida à Coordenação do  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial para a obtenção do  
grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos  
Orientador: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto

Aprovada em 26/03/2015.

BANCA EXAMINADORA

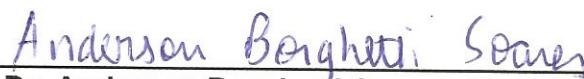
---



Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto (Orientador)

Universidade Federal do Ceará – UFC

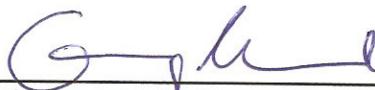
---



Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares (Examinador Interno)

Universidade Federal do Ceará – UFC

---



Prof. Dr. George Leite Mamede (Examinador Externo)

Universidade da Integração Intern. da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB

À Ana Luiza, minha esposa e à Luiza Beatriz,  
nossa Filha. Ao meu Pai Leônidas Quaresma  
*in memoriam*, pelo exemplo de caráter e  
firmeza na vida, e a minha Mãe Francisca pelo  
exemplo de trabalho, ternura e por acreditar no  
sucesso dos filhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao DEUS, Criador do Universo, agradeço pela Vida e pelas bênçãos sem fim que temos por meio de seu Filho, Jesus Cristo.

Ao Professor Iran Eduardo Lima Neto, pela orientação na pesquisa e, principalmente, pela paciência e confiança na conclusão do trabalho.

Ao Professor Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro, Professor José Nilson, Professora Ticiana Marinho e demais professores que ministraram aulas no MINTER em Recursos Hídricos em convênio com o IFPI, Universidade Federal do Piauí e Universidade Estadual do Piauí.

Aos membros da Banca Examinadora, Professor Dr. George Mamede e ao Professor Dr. Anderson Borghetti pelas valiosas contribuições ao trabalho.

Aos amigos do Banco do Nordeste da agência de Picos-PI e da Superintendência do Piauí, pelo apoio e permitir a participação neste Mestrado.

Ao estudante de Engenharia Civil Maik Vicente de Moura, pela compreensão e apoio nas horas de desânimo.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, em especial à funcionária Shirley Gomes pela presteza e atenção às demandas dos alunos do MINTER em Recursos Hídricos do Piauí.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) - Campus de Picos, em especial ao Professor Felinto Firmeza, coordenador do Curso de Eletrotécnica, pela compreensão.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de estudo e auxílio na pesquisa desenvolvida e incentivo ao desenvolvimento tecnológico e científico do Brasil.

“Bem aventurado o homem que encontra sabedoria, e o homem que adquire conhecimento, pois ela é mais proveitosa do que a prata, e dá mais lucro do que o ouro.  
(Provérbios 3:13, 14)

## RESUMO

Esta pesquisa apresenta uma síntese das taxas de assoreamento observadas em reservatórios brasileiros, onde foram identificadas taxas de assoreamento variando aproximadamente de 1 a 7% do volume inicial por década (inferiores à média mundial de 10%), sendo os reservatórios localizados no Estado do Ceará aqueles que possuem menores taxas, provavelmente devido às densas redes de reservatórios existentes nas bacias de contribuição. Verificou-se também uma tendência geral de decaimento das taxas de assoreamento com o volume inicial dos reservatórios. Em seguida, foram desenvolvidos dois métodos expeditos para estimativa do assoreamento de reservatórios, os quais são baseados em correlações empíricas ajustadas a partir de dados de campo, e com este mesmo objetivo foi realizada a aplicação da Metodologia de Lima Neto et al. (2011) para os reservatórios brasileiros. Os métodos propostos são mais simples que as metodologias existentes na literatura, e dependem basicamente da pluviometria nas bacias de contribuição e do volume inicial dos reservatórios. As diferenças observadas entre as diferentes metodologias foram inferiores a 30%. Este dado sugere que qualquer um dos três métodos pode ser utilizado para estimar o assoreamento de reservatórios, em nível de planejamento. Porém, vale ressaltar que apesar da praticidade/simplicidade das equações propostas, medições de campo e/ou modelos mais sofisticados continuam sendo necessários para se avaliar de forma mais precisa o assoreamento de reservatórios.

**Palavras-chave:** assoreamento; equações empíricas; erosividade; reservatório; volume.

## ABSTRACT

This study provides an overview of sedimentation rates observed in Brazilian reservoirs, which have been identified sedimentation rates ranging from about 1-7% of the initial volume per decade (below the world average of 10%), with the reservoirs in the State of Ceará presenting the lowest rates, probably due to the dense reservoir networks existing in the catchments. There is also a general trend of decline in the rates of sedimentation with the initial volume of the reservoirs. Then, two methods are proposed to quickly estimate the sedimentation of reservoirs, which are based on empirical correlations adjusted from field data, and with this same purpose was carried out the application of the methodology of Lima Neto et al. (2011) for the Brazilian reservoirs. The proposed methods are simpler than those available in the literature, and rely primarily on data of rainfall in the catchments and the initial volume of the reservoirs. In summary, the differences between the different methods were below 30%. This data suggests that any of the three proposed methods can be used to estimate the reservoir sedimentation in planning level. However, it is noteworthy that despite the convenience/simplicity of the proposed equations, field measurements and/or more sophisticated models are still needed to assess more accurately the sedimentation of reservoirs.

**Keywords:** sedimentation; empirical equations; erosivity; reservoir; volume.

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b>	Resumo dos reservatórios utilizados nesta pesquisa.....	49
<b>TABELA 2</b>	Série pluviométrica de Alto Araguaia-MT.....	53
<b>TABELA 3</b>	Série pluviométrica de Apuiarés-CE.....	54
<b>TABELA 4</b>	Dados de comprimento (L) e declividade (S) dos cursos de água afluentes aos reservatórios.....	55

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b>	Córrego sem a presença de mata ciliar em suas margens	20
<b>FIGURA 2</b>	Voçoroca causada pela erosão hídrica, em Santa Filomena-PI .....	20
<b>FIGURA 3</b>	Curva de Brune .....	31
<b>FIGURA 4</b>	Assoreamento do reservatório da Represa Ribeirão do Torto, em Brasília-DF.....	33
<b>FIGURA 5</b>	Depósito de sedimentos nos reservatórios.....	34
<b>FIGURA 6</b>	Esquema de funcionamento do AVSWAT .....	38
<b>FIGURA 7</b>	Esquema de discretização espacial adotado no WASA-SED .....	40
<b>FIGURA 8</b>	Trajetória de partícula de sedimento em um reservatório retangular idealizado .....	44
<b>FIGURA 9</b>	Perfil longitudinal traçado pelo WASA-SED de distribuição de sedimentos dentro do reservatório.....	45
<b>FIGURA 10</b>	Perfil transversal traçado pelo WASA-SED de distribuição de sedimentos dentro do reservatório.....	46
<b>FIGURA 11</b>	Reservatórios das regiões Nordeste e Centro-oeste .....	51
<b>FIGURA 12</b>	Reservatórios das regiões Sudeste e Sul .....	52
<b>FIGURA 13</b>	Medições de comprimento e declividade do Rio Paraíba do Sul.....	55
<b>FIGURA 14</b>	Síntese das taxas de assoreamento observadas em reservatórios de diferentes regiões do Brasil.....	60
<b>FIGURA 15</b>	Valores médios mensais de erosividade ( $R$ ) obtidos utilizando diferentes equações os postos pluviométricos de Iguatu-CE e São Paulo-SP.....	62
<b>FIGURA 16</b>	Taxas de retenção de sedimento ( $\xi$ ) obtidas para os reservatórios do Estado do Ceará.....	63
<b>FIGURA 17</b>	Valores do parâmetro $\phi_1$ obtidos para os reservatórios do Estado do Ceará.....	64

<b>FIGURA 18</b>	Taxas de retenção de sedimento ( $\xi$ ) obtidas para os reservatórios do Brasil.....	65
<b>FIGURA 19</b>	Valores do parâmetro $\phi_2$ obtidos para os reservatórios do Brasil.....	66
<b>FIGURA 20</b>	Correlação geral obtida para os reservatórios do Ceará	67
<b>FIGURA 21</b>	Correlação geral obtida para os reservatórios do Brasil.....	68
<b>FIGURA 22</b>	Simulação da redução da capacidade dos reservatórios de Várzea da Volta-CE e Orós-CE em função do assoreamento, considerando diferentes metodologias.....	70
<b>FIGURA 23</b>	Simulação da redução da capacidade dos reservatórios de Barra Bonita-SP e Billings-SP em função do assoreamento, considerando diferentes metodologias.....	71
<b>FIGURA 24</b>	Simulação da redução da capacidade de reservatórios em função do assoreamento, considerando diferentes metodologias: Reservatório Cedro-CE.....	72
<b>FIGURA 25</b>	Simulação da redução da capacidade de reservatórios em função do assoreamento, considerando diferentes metodologias: Reservatório Cachoeira Dourada – GO.....	72
<b>FIGURA 26</b>	Simulações da redução da capacidade de um reservatório hipotético considerando as correlações gerais.....	73
<b>FIGURA 27</b>	Simulações da redução da capacidade do Reservatório Castanhão-CE utilizando a Metodologia de Lima Neto et al. (2011), e considerando diferentes cenários para a erosividade R, em função de eventuais mudanças climáticas.....	74

## LISTA DE SÍMBOLOS

C	Fator relacionado ao uso e manejo do solo e cultura (adimensional)
D <sub>H</sub>	Diferença de nível entre a cota máxima e a mínima (m)
ξ	Taxa de retenção de sedimentos ( $t.m^{-3}.MJ^{-1}.mm^{-1}.ha.h$ )
ρ	Massa específica aparente do assoreamento ( $t.m^{-3}$ )
P	Precipitação média anual (mm)
p	Precipitação mensal total (mm)
K	Fator de erodibilidade do solo ( $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$ )
L	Comprimento do rio principal ou curso d'água (m)
S	Fator topográfico da declividade (adimensional)
V <sub>o</sub>	Volume inicial do reservatório ( $hm^3$ )
V	Volume do reservatório após um período $\Delta t$ de funcionamento ( $hm^3$ )
ΔV	Variação do volume do reservatório após um período $\Delta t$ de funcionamento ( $hm^3$ )
R <sub>m</sub>	Erosividade mensal da chuva ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}. mês^{-1}$ )
R	Erosividade anual da chuva ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}. ano^{-1}$ )
M <sub>e</sub>	Massa de sedimentos que deixa uma bacia ( $t. ano^{-1}$ )
M <sub>a</sub>	Massa assoreada do reservatório ( $t . ano^{-1}$ )

- $\eta$  Percentual que mede a retenção de sedimentos no reservatório
- $\phi$  Novo parâmetro para a taxa de retenção de sedimentos no reservatório  
(Ceará/mm<sup>3/2</sup>; Brasil/mm<sup>-1/2</sup>)
- $R'_m$  Parâmetro associado às variações locais de precipitação (Ceará/mm<sup>-3/2</sup>  
e Brasil/mm<sup>1/2</sup>)
- x Coeficiente de p
- y Coeficiente de P

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	16
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	18
2.1 Objetivo Geral .....	18
2.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	19
3.1 Processos hidrossedimentológicos .....	19
3.1.1 Erosão .....	19
3.1.2 Sedimento .....	20
3.1.3 Produção de sedimentos .....	21
3.1.4 Modelagem da produção de sedimentos.....	23
3.1.5 Modelos para a estimativa da produção de sedimentos.....	23
3.1.6 Transporte de sedimentos .....	27
3.1.7 Modelagem do transporte de sedimentos .....	29
3.2 Assoreamento de reservatórios.....	31
3.2.1 Formação de depósitos de sedimentos no reservatório .....	34
3.2.2 Modelagem do assoreamento de reservatórios .....	36
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	49
<b>4.1 Coleta e Análise de Dados.....</b>	49
4.2 Desenvolvimento de Metodologias Simplificadas.....	56
4.2.1 Método de Lima Neto et al. (2011) .....	56
4.2.2 Método Simplificado .....	58
4.2.3 Correlações Gerais .....	59
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	60
5.1 Taxas de assoreamento .....	60
5.2 Erosividades.....	61
5.3 Metodologias para estimativa do assoreamento .....	62

5.3.1 Metodologia de Lima Neto et al. (2011) para os reservatórios do Estado do Ceará.....	62
5.3.2 Método Simplificado para os reservatórios do Estado do Ceará.....	63
5.3.3 Metodologia de Lima Neto et al. (2011) para os reservatórios brasileiros..	65
5.3.4 Método Simplificado para os reservatórios brasileiros .....	66
5.3.5 Correlações Gerais .....	66
5.3.6 Simulação de cenários de redução da capacidade de reservatórios .....	68
6 CONCLUSÕES .....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
ANEXOS .....	96

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente problemática por água e energia tem resultado em um aumento significativo no número de reservatórios superficiais, incluindo não apenas as represas de médio e grande porte, mas, sobretudo, os inúmeros pequenos açudes localizados em regiões áridas/semiáridas e as pequenas centrais hidrelétricas (CARVALHO et al., 2000a,b; LIMA NETO et al., 2011; MALVEIRA et al., 2012). Esses reservatórios, no entanto, têm seus volumes reduzidos devido ao assoreamento, o que pode influenciar consideravelmente a disponibilidade hídrica (ARAÚJO et al., 2006) e a capacidade de geração de energia (Carvalho et al., 2000b). Portanto, é de suma importância para a gestão dos recursos hídricos, avaliar o assoreamento de reservatórios, sejam esses de pequeno, médio ou grande porte.

A estimativa do assoreamento de reservatórios é geralmente realizada a partir de medições de campo e/ou modelagem matemática (CARVALHO et al., 2000b; MORRIS et al., 2008). O modelo HidroSed (ARAÚJO et al., 2003), por exemplo, simula os processos de erosão, transporte e assoreamento com base na equação universal de perda de solo (USLE), na taxa de transporte difuso (SDR) e na fração de retenção de sedimento no reservatório ( $\eta$ ). Para tanto, faz-se necessário avaliar os diversos parâmetros envolvidos na modelagem: fator de erosividade da chuva (R), fator de erodibilidade do solo (K), fatores topográficos que representam o comprimento do declive do terreno natural (L) e a sua declividade (S), fator que representa a cobertura vegetal e o uso do solo (C), fator que reflete práticas conservacionistas (P), além das características geométricas da bacia e dos cursos de água, bem como a relação entre a capacidade do reservatório e a vazão afluente média anual.

Cabe salientar que todos esses processos são quantificados através de equações empíricas ajustadas a partir de dados de campo. Lima Neto et al. (2011) desenvolveram uma equação simplificada para estimativa do assoreamento que depende apenas do volume inicial do reservatório ( $V_0$ ), da massa específica aparente seca do sedimento ( $\rho$ ), do fator de erosividade (R) e de um coeficiente denominado taxa de retenção de sedimento ( $\xi$ ), o qual foi ajustado para reservatórios do semiárido cearense. Modelos

hidrossedimentológicos mais sofisticados como o WASA-SED permitem ainda avaliar os processos de erosão e transporte em grandes bacias hidrográficas, assim como quantificar a deposição de sedimento ao longo do reservatório (MAMEDE, 2008). Ressalta-se que o referido modelo se baseia em uma forma modificada da equação universal de perda de solo (MUSLE) e em outras equações empíricas para simulação dos processos. Alternativamente, modelos hidrodinâmicos tridimensionais como o Delft3D permitem avaliar detalhadamente a distribuição de sedimento dentro do reservatório (Garcia e Gonçalves, 2011). No entanto, tal modelo necessita de medições de campo e/ou algum outro método (USLE ou MUSLE) para fornecer os dados de entrada (carga de sedimento afluente ao reservatório). Além disso, o modelo supracitado demanda tempo e esforço computacional relativamente grandes para realização dos procedimentos envolvidos na modelagem (discretização de malha, calibração, validação e simulação numérica).

Neste contexto, visando contribuir para a gestão dos recursos hídricos, este trabalho apresenta metodologias simplificadas para estimativa rápida do assoreamento de reservatórios brasileiros. As metodologias se baseiam nos estudos de Araújo (2003) e Lima Neto et al. (2011), sendo propostas novas correlações empíricas obtidas a partir de análise e ajuste de dados disponíveis na literatura. Este estudo é importante pelos seguintes motivos: (1) apresenta uma síntese das taxas de assoreamento observadas para reservatórios localizados em diferentes regiões do Brasil; (2) considera novos reservatórios e novas equações para a erosividade ( $R$ ) no sentido de reavaliar a taxa de retenção de sedimento ( $\xi$ ) proposta por Lima Neto et al. (2011); (3) propõe novas metodologias para estimativa do assoreamento que consistem em simplificações dos métodos de Araújo (2003) e Lima Neto et al. (2011); e (4) compara cenários futuros de assoreamento considerando as diferentes metodologias apresentadas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar o assoreamento de reservatórios brasileiros e desenvolver metodologias simplificadas para a estimativa desse processo em nível de planejamento.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Calcular e comparar as taxas de assoreamento observadas para reservatórios localizados em diferentes regiões do Brasil;
- Reavaliar a taxa de retenção de sedimento ( $\xi$ ) proposta por Lima Neto et al. (2011) para os reservatórios do Estado do Ceará;
- Calcular a taxa de retenção de sedimento ( $\xi$ ) para reservatórios brasileiros;
- Propor metodologias mais simples que os métodos de Araújo (2003) e Lima Neto et al. (2011) para predição do assoreamento de reservatórios;
- Avaliar cenários futuros de assoreamento considerando as diferentes metodologias propostas.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Processos hidrossedimentológicos**

##### **3.1.1 Erosão**

Para Carvalho (2008), o conceito de erosão refere-se ao fenômeno de desgaste das rochas e solos, com desagregação, deslocamento ou arrastamento das partículas por ação da água ou outros agentes. Os agentes da erosão são elementos do meio físico que causam este processo, citam-se: agentes ativos (exemplo: a água, a temperatura, o vento, o gelo, a ação antrópica etc.) ou agentes passivos (exemplo: a topografia, a cobertura vegetal, o tipo de solo etc.).

Atribui-se à erosão hídrica grandes prejuízos ambientais nas camadas superficiais do solo, pois desagrega e transporta principalmente o solo desprotegido (que teve a vegetação removida por ação antrópica), ampliando a quantidade de material erodido, originando um processo de degradação ambiental dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

O processo de erosão hídrica (Figuras 1 e 2) possui três componentes físicos de funções distintas: decomposição, movimentação e deposição. A decomposição define-se como o processo de segregação de aglomerados do solo. Estes aglomerados são desagregados em partículas menores por meio do impacto oriundo das gotas de chuva. As partículas soltas aderidas saltitam juntamente com as gotas de água retornando ao solo, selando os poros, o que reduz a infiltração (fenômeno de encrustamento superficial). O segundo processo erosivo é a movimentação e tem início na drenagem superficial proveniente da chuva, e dependendo da intensidade pluviométrica (energia cinética das gotas de água ao impactarem o solo) e da declividade do solo contribuem de forma efetiva na quantidade de partículas decompostas arrastadas. O terceiro processo erosivo ocorre por meio do volume e velocidade da água que, pode ser insuficiente para transportar o material sólido

soltos pela decomposição, neste caso, inicia-se o processo físico da deposição (LAGROTTI, 2000).



**Fig. 1- Córrego desprovido de mata ciliar expondo o solo à erosão hídrica e promovendo o transporte de sedimentos.**

Fonte: Dill (2002)



**Fig. 2 – Voçoroca causada pela erosão hídrica, em Santa Filomena-PI.**

Fonte: Olimpio (2004)

### 3.1.2 Sedimento

Os sedimentos resultam da ação erosiva sobre os solos e da decomposição de rochas e são compostos de partículas individuais, com características próprias. O conhecimento destas características é necessário

para modelar o comportamento do sedimento na água e ao depositar-se no fundo dos corpos hídricos (CAMPOS, 2001). No transporte de sedimentos, os fatores que podem afetar diretamente este processo de depósito é o tamanho, formato, peso das partículas e as forças exercidas pela ação do escoamento, sendo que estas devem ser inferiores às exercidas pelas partículas (GUIMARÃES, 2009). O sedimento é considerado completamente caracterizado a partir de informações sobre as seguintes propriedades: densidade, textura, mineralogia e estabilidade, forma e o tamanho.

A ação antrópica realiza, com frequência, a prática de remoção da cobertura vegetal, desprotegendo o solo, deixando-o exposto à erosão hídrica, o que acarreta o acréscimo na produção de sedimentos, agravando o assoreamento de rios e reservatórios e reduzindo a disponibilidade hídrica. De acordo com Farias (2008) o excesso de sedimentos transportados na água causa impactos ambientais de forma negativa na qualidade da água, a turbulência aumenta o transporte de poluentes, reduzindo a zona fótica e, consequentemente, a produção primária de oxigênio. Outra consequência degradante é a retenção de sedimentos nos corpos hídricos.

### 3.1.3 Produção de sedimentos

A produção de sedimentos é definida como o total de descarga efluente de sedimento de uma área de contribuição medida em uma área de referência por um intervalo específico de tempo (VANONI, 1977). Em geral, é feito o uso de dois tipos de unidades para especificar esta produção: em termos absolutos ( $t \cdot ano^{-1}$ ) ou em termos de área específica ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ). Em uma bacia hidrográfica a quantidade de sedimentos originária do processo erosivo representa somente uma parcela da erosão total, pois grande parte deste sedimento é depositada, em forma de massa, antes de alcançarem o seu exutório.

A falta de monitoramento das descargas sólidas em rios e reservatórios dificulta a estimativa de sedimentos. A partir dos dados do monitoramento da descarga sólida ou por meio da medição do volume de sedimentos acumulados em reservatórios, estes dados são utilizados no processo modelagem

computacional de alguns programas (EUROSEM, WESP, SHETRAN e outros) para a estimativa de sedimentos depositados.

Quando ocorre a degradação das bacias hidrográficas devido à ação antrópica (alterando o uso do solo e outros elementos físicos), ocorre o agravamento do processo erosivo como a perda de solo e produzindo o sedimento em proporções maiores do que em séculos anteriores, onde predominava a ação dos fenômenos climáticos nesta produção e existia um quadro de equilíbrio natural (SIMÕES; COIADO, 2001).

De acordo com SOUZA (2007) o aumento da taxa de sedimento transportado para os mananciais hídricos influí diretamente na qualidade das águas superficiais e serve como veículo no transporte de poluentes presentes na água. No momento em que é atingida a capacidade máxima de transporte de sedimentos dos rios e cursos d'água, reduz-se a capacidade hidráulica devido ao depósito de sedimentos em reservatórios, portos, canais de irrigação e demais recursos hídricos.

A quantidade e qualidade dos sedimentos transportados aos rios revelam o estado de conservação da bacia hidrográfica e suas características. Estas informações podem contribuir para a manutenção de ecossistemas e na gestão dos recursos hídricos de uma região, sendo relevante para análise da viabilidade da intervenção antrópica para fins de abastecimento ou irrigação, ou para dimensionamento de obras hidráulicas de impacto ambiental considerável. O conhecimento das características dos sedimentos produzidos nas bacias hidrográficas e transportados por meio hídrico deve ser priorizado como meta importante para o desenvolvimento de políticas de gestão de recursos hídricos (SOUZA et al., 2007).

A produção de sedimentos resulta de um ciclo de erosão e deposição e, depende de variáveis que influenciam na erosão e o transporte concentrado ou difuso. Contudo, a erosão sofre influência de diversos fatores, dentre os quais: topografia local, das propriedades do solo, da cobertura vegetal e do clima, enquanto o transporte ocorre por influência do formato da bacia, o uso do solo e das características da rede de drenagem (VERSTRAETEN e POESEN, 2001).

### 3.1.4 Modelagem da produção de sedimentos

Nos dias atuais, realiza-se a estimativa de produção de sedimentos em bacias hidrográficas através de modelos computacionais, que pode ser classificada quanto a sua estrutura e escala (DE PAIVA, 2001). Quanto à estrutura, os modelos classificam-se em empíricos ou conceituais (devem ser considerados semi-conceituais, pois geralmente contêm algum empirismo em sua formulação). Os modelos em escala podem ser classificados em globais, quando consideram a bacia hidrográfica em toda a sua superfície como uma unidade homogênea e não inserem processos de transporte e transformação, ou distribuídos, e atentando para as heterogeneidades de vegetação, relevo e clima, solo e ocupação da bacia.

Deste modo, obter a estimativa da produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica é um fator importante, pois viabiliza às intervenções antrópicas de forma planejada, minorando os impactos ambientais e é uma ferramenta auxiliar no uso dos recursos hídricos de forma racional e equilibrada.

### 3.1.5 Modelos para a estimativa da produção de sedimentos

A seguir estão apresentados os principais modelos usados para a estimativa da produção de sedimentos

#### a) USLE

Conforme De Paiva (2001), a maioria dos modelos globais para a estimativa de produção de sedimentos em pequenas bacias tem origem na Equação Universal da Perda de Solo (USLE, de WISCHMEIER & SMITH). A variante mais empregada da USLE é a Equação Universal Modificada da Perda de Solo (MUSLE), que pode avaliar a produção de sedimentos em escala de eventos, enquanto que na USLE são realizadas estimativas médias para períodos de meses ou anos.

Devido ao uso frequente da equação da USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978) a aplicação deste modelo é limitada a pequenas bacias hidrográficas,

não podendo ser usada para a estimativa da massa afluente de sedimento a reservatórios com grandes bacias de contribuição. É um modelo concebido para calcular a perda de solo oriunda de erosão por sulcos e laminar, não considerando deposição, desprezando dados de produção de sedimento por ravinamento ou erosão das margens e de fundo de canais por exemplo. Apesar destas limitações, a USLE é uma equação empírica de grande aceitação e aplicação em todo o mundo, considerando que esta foi obtida a partir de 10.000 medições em lotes da mesma área, variando as condições de chuva e solos.

Mesmo que a USLE não tenha sido criada com esta finalidade, esta equação tem sido usada para estudos de avaliação da susceptibilidade natural dos ambientes, baseada na capacidade da superfície do solo sofrer erosão, contém todos os fatores que favorecem este tipo de processo erosivo. Alguns de seus parâmetros têm natureza definitiva por se tratar de fatores de difícil modificação tais como, o tipo de relevo, de solos e do clima, que caracterizam a estrutura física dos ambientes, enquanto outros são temporários e estão relacionados às diversas formas de antropização. A USLE é detalhada conforme a equação (1)

$$M_L = R \cdot K \cdot \lambda S \cdot C \cdot P \cdot A \quad (1)$$

Na equação 1, onde  $M_L$  refere-se a erosão localizada ( $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ ); R o fator de erosividade da chuva ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.Ano^{-1}$ ); K o fator de erodibilidade do solo, que representa a capacidade do solo de sofrer erosão devido a uma determinada chuva ( $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$ );  $\lambda S$  o fator topográfico que expressa, respectivamente, o comprimento do declive e a declividade do terreno ou grau do declive (-); C o fator que expressa uso e manejo do solo e cultura (-); P o fator que expressa a prática conservacionista do solo (-), e A a área (ha).

### b) MUSLE

Criado por (WILLIANS, 1975) tendo por objetivo superar as limitações apresentadas pela USLE, dando origem ao modelo MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) onde é realizada a substituição da erosividade por dados do hidrograma de uma chuva isolada, originando o aporte de sedimentos no

exutório da bacia por eventos pluviométricos, e deste modo torna possível realizar uma estimativa direta da carga de sedimentos.

### c) RUSLE

De acordo com EILERS (2003), dentre as várias tentativas de aperfeiçoamento do modelo USLE, a RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) fornece mais informações sobre o processo erosivo localizado. As diferenças entre os modelos RUSLE e a USLE estão resumidos em dois aspectos: primeiro, a inclusão de novos dados provenientes de novas medições realizadas em campo e, segundo a consideração de processos físicos mais específicos de erosão (compactação, encrustamento, erosão em sulcos, enxurrada excessiva dentre outros) ampliando a faixa de aplicação do modelo. Entretanto estas novas modificações tornaram o modelo RUSLE específico para as áreas onde foram coletados os novos dados ou possuem as exatas características dos processos físicos de erosão que agem sobre estas áreas.

### d) WEPP

O modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) é um modelo concebido para a estimativa de sedimento devido a erosão hídrica em encostas e bacias hidrográficas, de simulações contínuas e inclusão de diversos parâmetros, como precipitação, intensidade, textura, umidade do solo, cobertura vegetal e a fisiografia da área. O uso deste método em encostas é dividido em diversos segmentos conceituais: geração climática, irrigação, hidrologia, solos, decomposição residual, fluxo superficial, hidráulica, e erosão. Na versão para malha é aplicável para áreas que não coincidem com os limites da bacia. Permite a simulação do destacamento, transporte e deposição de sedimentos (FLANAGAN & LIVINGSTON, 1995). Nos estudos de Klik et al. (2005), este modelo foi usado para medir o transporte de sedimentos em 24 lotes de cultivos diferentes em uma bacia agrícola de área reduzida (16 ha). O WEPP é um modelo mais recomendado para a estimativa da erosão das bacias hidrográficas, onde com frequência ocorre a variação nos solos e utilização da terra.

### e) WESP

O modelo WESP (Watershed Erosion Simulation Program), criado por Lopes (1987), é um modelo distribuído e orientado para eventos, semi-conceitual, baseado nos processos físicos de infiltração, escoamento superficial, erosão e deposição. A bacia é dividida na forma de planos e canais, baseada nas características do solo, topografia e cobertura vegetal. O escoamento superficial e o transporte de sedimentos são representados por meio das equações da continuidade, onde a resolução é feita pelo método numérico das diferenças finitas. A aplicação do modelo para a simulação do escoamento superficial e a produção de sedimentos é limitada a bacias de pequeno porte (até 100km<sup>2</sup>) e em regiões semi-áridas, predominando no fluxo superficial o escoamento da forma Hortoniana (gerado a partir da precipitação sobre áreas impermeáveis ou quando supera a capacidade de infiltração do solo). Este modelo foi utilizado por Lopes (1987), em regiões experimentais do semi-árido da Paraíba, em que investigou a partir da variação parâmetros do modelo, os efeitos sobre os volumes de escoamento superficial e de taxas de erosão do solo, mostrando os efeitos sobre uma bacia hidrográfica. Para a execução do programa é necessário fornecer dados como: características das bacia e de precipitação e parâmetros de erosão e deposição.

### f) MOFIPE e MODFIPE

O MOFIPE (Modelo de Base Física para Simulação de Escoamento e Erosão do Solo em Pequena Escala) é um modelo concentrado e desenvolvido para realizar a simulação da erosão do solo e escoamento em bacias pequenas. No modelo, vários processos (precipitação, evapotranspiração, infiltração, escoamento e erosão) são simulados considerando a bacia como homogênea e sem variar o sistema de drenagem e a precipitação neste espaço. Considera os parâmetros físicos que podem ser mensuráveis. (DAVI, 2004 *apud* SOUSA, 2007).

O MODFIPE (Modelo Distribuído de Base Física para Simulação de Escoamento e Erosão do Solo em Pequena Escala) foi concebido a partir de reestruturação do MOFIPE, atualizando-o a partir da inserção de novos itens, dentre eles: a distribuição espacial das características da bacia (solo, relevo e vegetação) em planos e canais, a inserção de métodos de cálculo da

evaporação, a propagação do escoamento em duas direções ortogonais. O manuseio deste programa é feito de forma contínua, obtendo-se hidrogramas e sedigramas a partir dos eventos hidrológicos (SOUSA, 2007).

### **g) SHETRAN**

O modelo SHETRAN (Système Hydrologique Europeén) foi desenvolvido por meio da cooperação de diversos institutos europeus de hidrologia (Bathurst et al., 1995). É um modelo de base física (processos físicos que realizam a simulação do ciclo hidrológico), distribuído em toda a bacia, realiza a simulação do fluxo de água, transporte/deposição de sedimentos e migração de poluentes. É feita a inserção dos elementos principais do ciclo hidrológico (interceptação, evapotranspiração, fluxo superficial e em canais, zonas saturadas e não saturadas do fluxo) representando o fluxo de água dentro de uma bacia. A bacia é dividida em malhas. Usa equações de balanço de massa e energia, aplicando o método das diferenças finitas nas suas resoluções e também, de outras equações empíricas concebidas a partir de processos experimentais.

### **h) EPIC**

O modelo EPIC foi concebido por Williams (1985) e realiza simulação contínua (pode ser usado para uma seqüência de eventos), desenvolvido para avaliar os efeitos da erosão de solo. Entretanto, a sua aplicação foi estendida a itens do meio-ambiente em geral. É limitada a áreas de até 100 ha e baseia-se na USLE. O modelo oferece seis opções de cálculo de erosão incluindo a USLE e outras cinco variações. É um modelo que torna nas simulações a erosão ocorrente em uma área espacialmente homogênea (clima, solos, e uso da terra são homogêneos) e de inclinação uniforme, desprezando as variações espaciais (NEVES, 2010).

#### **3.1.6 Transporte de sedimentos**

O transporte de sedimentos é um fenômeno que ocorre de forma natural e faz parte da modificação da paisagem, dando origem as formas

geomorfológicas, visto que desde seus primórdios, a Terra tem sido transformada, entre outros fatores, pelos processos erosão natural e a deposição de sedimentos. Contudo, atividades antrópicas interferem de forma expressiva nos processos erosivos, podendo elevar até 100 vezes os processos erosivos naturais, o que pode ser ocasionado tanto por práticas agrícolas ou por obras de engenharia em geral (SIMÕES; COIADO, 2001; ARAÚJO et al., 2003).

Segundo Mamede (2008) a partir dos mecanismos de transportes, a carga total de sedimentos pode ser subdividida por fonte ou por tipo de transporte. Por fonte, a carga total é dividida entre a carga de lavagem e de carga de leito. Os materiais de carga de leito são provenientes do leito do rio e de areia do tamanho de cascalho. A carga de lavagem consiste de sedimentos que foram transportados para o rio a partir do escoamento superficial sobre o solo, sendo formada, em geral, por grãos finos, de tamanho o suficiente para permanecer em suspensão no rio.

Há várias formas de transporte de sedimentos, conforme Carvalho (2008) classificando-se como: (i) Carga Sólida de Arrasto – as partículas de sedimento rolam ao longo do curso d’água no sentido longitudinal. As partículas estão em contato com o leito durante quase o período completo de percurso; (ii) Carga Sólida Saltitante – neste exemplo as partículas pulam no percurso do curso d’água devido à ação da correnteza ou ao impacto com outras partículas. O impulso inicial que arremessa uma partícula na correnteza pode ser atribuído ao impacto de uma na outra, a pressão negativa sobre uma partícula pode ser atribuída ao rolamento de uma acima da outra ou o fluxo de água sobre a sua superfície curva; (iii) Carga Sólida em Suspensão – ocorre quando as partículas são sustentadas devido aos componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo deslocadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, caso estas partículas sejam pequenas o suficiente para permanecerem em suspensão, apresenta movimento de subir e descer na corrente acima do leito.

Em harmonia com os processos supracitados, deve-se considerar alguns trabalhos encontrados na literatura como Restrepo et al. (2006) os quais atribuíram a estimativa de produção de sedimentos como fator primordial e orientador para a compreensão das relações entre as mudanças

antropogênicas e a variabilidade natural, que podem alterar o transporte de água e sedimentos em bacias hidrográficas. Carvalho (2008) estimou que cerca de 70 a 90% de todo sedimento transportado pelos cursos d'água ocorre no período chuvoso, principalmente, durante os grandes eventos hidrológicos.

### 3.1.7 Modelagem do transporte de sedimentos

A seguir são apresentados alguns modelos utilizados na simulação do transporte de sedimentos.

#### a) SDR

No sentido de se obter uma maior precisão em relação aos valores encontrados na produção de sedimentos em grandes áreas a partir do modelo USLE/RUSLE, pesquisadores utilizam um novo parâmetro que trata do aporte de sedimento (Sediment Delivery Ratio – SDR), aplicado com frequência nos estudos de erosão e de transporte de sedimento para descrever a extensão na qual o solo erodido (sedimento) é depositado dentro da bacia. A SDR é definida como a razão entre a produção de sedimento medida e a erosão bruta da bacia (BROOKS et al., 1991).

#### b) ANSWERS

O modelo ANSWERS (1980) (Area Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation, Beasley & Huggins, 1982) baseia-se em eventos e simula a ação da agricultura como uma de suas atividades nas bacias hidrográficas.

Segundo Silva et al. (2004) este modelo subdivide a área em células uniformes de 0,4 a 1 ha. Todos os parâmetros relacionados ao uso da terra, inclinação, propriedades do solo, nutrientes, cultivo e práticas agrícolas são assumidos uniformes para cada célula. A diferença entre as células simula a heterogeneidade do terreno.

Apresenta limitações na estimativa do transporte de sedimentos, pois o faz de modo superficial. O Answers simula, principalmente, os aspectos de transformação e interação de diversos componentes químicos nos corpos de água, como o nitrogênio orgânico, amônia e nitrato. Este modelo apresenta

diversas limitações e não realiza a representação dos processos de transporte de sedimento e erosão.

#### **c) AGNPS**

O modelo AGNPS (Agricultural Nonpoint Source, Young et al., 1987) tem a sua aplicação principal a partir de eventos, simula o escoamento superficial de sedimentos e nutrientes transportados em bacias hidrográficas agrícolas. Esse modelo foi desenvolvido para prever o impacto da agricultura na qualidade das águas superficiais e subterrâneas (NETO et al., 2007).

#### **d) LISEM**

O Modelo LISEM (2001) simula o transporte de sedimentos e os aspectos hidrológicos durante e imediatamente após um único evento de chuva e é limitado a pequenas bacias. O modelo é aplicado para áreas entre 10 a 300 ha. O LISEM foi construído para simular os efeitos do uso do solo e medidas de conservação. Os processos básicos inseridos neste modelo são: escoamento superficial, interceptação, depósito em micro depressões, infiltração, movimento vertical de solo. Este modelo físico é totalmente integrado com o sistema de informações geográficas (DE PAIVA, 2001).

#### **e) EUROSEM**

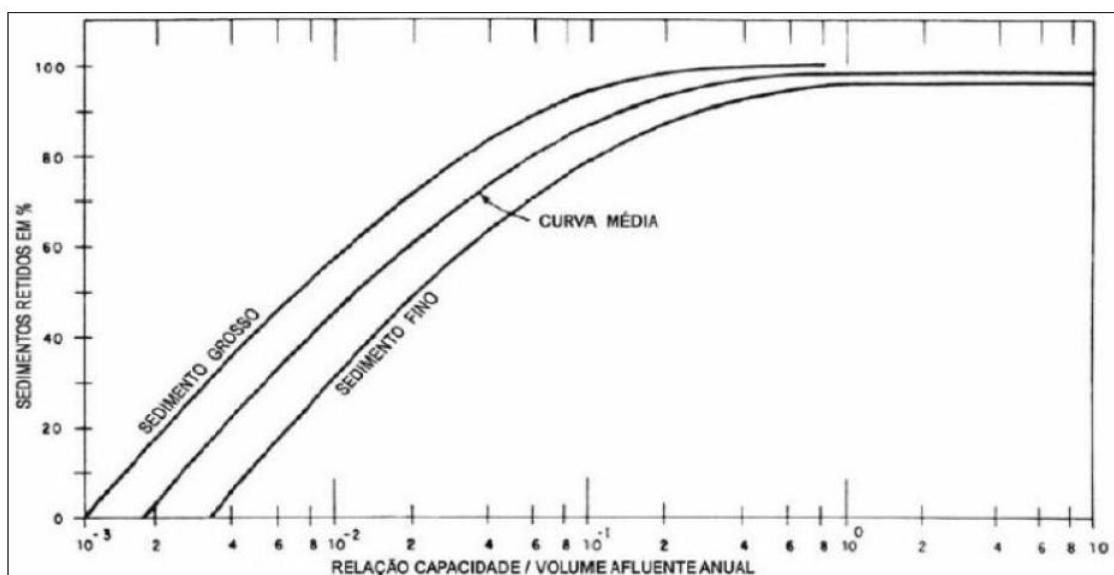
O modelo EUROSEM (1998) é usado para a simulação do transporte de sedimentos a partir da água gerada por meio de uma série de superfícies planas uniformes interligadas, sendo este modelo dividido em diversos módulos. Cada módulo representa um processo físico (interceptação, evaporação, etc.) através de um conjunto de equações matemáticas. Este modelo simula exclusivamente eventos unitários de chuva durante tempos curtos (1 minuto, por exemplo) e é aplicada a escala de resolução. Um dos problemas apresentados por modelos baseados na representação física é o elevado número de parâmetros e variáveis exigidas. O EUROSEM requer um número superior a 30 parâmetros para cada elemento espacial a ser modelado. Outro problema é a escala temporal (minutos) adotada, o que exige um número significativo de informações climáticas (Morgan et al., 2010).

### 3.2 Assoreamento de reservatórios

O estudo das camadas de solo do reservatório é importante para que se possa caracterizar as propriedades do sedimento assoreado. Soares (2003) em seu estudo sobre o açude Santo Anastácio retirou amostras em três pontos (com profundidades de até 2,0 m) para caracterizar os seguintes parâmetros do solo: massa específica aparente seca, granulometria e quantidade de matéria orgânica na amostra de solo do reservatório usada no experimento. Outro estudo semelhante foi feito recentemente por Navas et al. (2009), onde se utilizou dois pontos de amostragem para avaliar os três parâmetros supracitados com o objetivo de caracterizar o sedimento assoreado.

Como citado anteriormente, outro fator relevante na avaliação do assoreamento de reservatórios (ver figura 3) é a eficiência de retenção de sedimentos. É definida como a razão entre a quantidade de sedimento retida no reservatório e a quantidade que é recebida pelo mesmo.

Uma das ferramentas para medição da eficiência de retenção é a curva de Brune, representada no plano xy: no eixo das ordenadas o valor da eficiência de retenção de sedimentos é expressa em fração ou em porcentagem, e no eixo das abscissas a capacidade de afluência, correspondendo ao quociente entre o volume máximo do reservatório e o deflúvio médio anual afluente (BRUNE, 1953).



**Fig. 3- Curva de Brune é usada na medição da eficiência de retenção de sedimentos nos reservatórios**

Fonte: Vanoni (1977)

De acordo com o estudo realizado em seis reservatórios situados no semiárido cearense por Almeida (2001) mostra que a eficiência de retenção varia entre 77 e 92%. Estes valores são inferiores àqueles previstos quando se utiliza a curva de Brune (1953), sendo que grande parte dos sedimentos gerados é transportada no período chuvoso nesta região (de março a maio) por eventos hidrológicos concentrados, de variada intensidade e de curta duração.

As intervenções danosas ao meio ambiente, tais como desmatamento e remoção da cobertura vegetal, fragilizam o solo, expondo-o à erosão hídrica e, por consequência aumentam a produção de sedimentos, que são carreados até rios e canais e, sendo finalmente depositados em reservatórios. Este processo gera consequências para a acumulação hídrica e de extrema dificuldade de remediação, particularmente em regiões áridas e semiáridas (ICOLD, 1989). Desta forma, conforme Ogura et al. (1997) o assoreamento é, de fato, um dos mais graves impactos na disponibilidade de recursos hídricos, facilitando a ocorrência de enchentes, causando a perda da capacidade de armazenamento de água nos reservatórios para o abastecimento às populações e na qualidade da água (Wiegand, 2009).

Os processos da sedimentação no reservatório apresentam considerável complexidade. Os sedimentos transportados pelos canais fluviais são primeiramente depositados devido à redução de velocidade da água no reservatório. Ocorrendo o acúmulo crescente de sedimentos no lago, há uma redução do volume de água disponível para abastecimento e outras atividades. Durante o processo contínuo de deposição, há distribuição dos sedimentos nos reservatórios, sendo que esta é influenciada pela ocorrência de grandes cheias, responsáveis pelo carreamento de muitos sedimentos. Quando a vida útil do reservatório é afetada pelo assoreamento, tornam-se necessárias medidas intervencionistas para que este seja recuperado a capacidade (ICOLD, 1989).

Segundo Carvalho (2000; 2008) para as estimativas de assoreamento há diversas variáveis envolvidas, dentre elas: (a) carga de sedimentos (quantidade de material sólido afluente de uma dada seção num rio ou curso d'água); (b) eficiência de retenção de sedimentos (relação entre a carga sólida que se deposita no leito do reservatório e a carga sólida total afluente) e, (c) peso específico dos depósitos de sedimentos (relação entre o peso seco do

material e o volume ocupado pelo depósito). A estimativa da variável c é necessária para a transformação da carga sólida retida em volume sedimentado no reservatório.



**Fig. 4 - Assoreamento da represa Ribeirão do Torto, em Brasília-DF**

**Fonte:** Fonseca (2011)

Todo curso d'água normalmente apresenta um equilíbrio em relação ao transporte de sedimentos, seja por arrasto ou saltitação junto ao leito, seja por suspensão na corrente, existindo uma tendência natural para que o sedimento seja depositado quando o fluxo natural de sedimentos encontrar água com menor velocidade (alteração do fluxo), conforme a maior ou menor granulação das partículas e a menor ou maior turbulência do escoamento (CARVALHO, 2000b).

As partículas mais finas, em cuja sustentação a viscosidade exerce ação relevante, podem depositar-se no trecho mais próximo do barramento ou continuar em suspensão, disponíveis a processos de descarga sólidas que possam ocorrer no reservatório (MORRIS; FAN. 1997; CARVALHO, 2000).

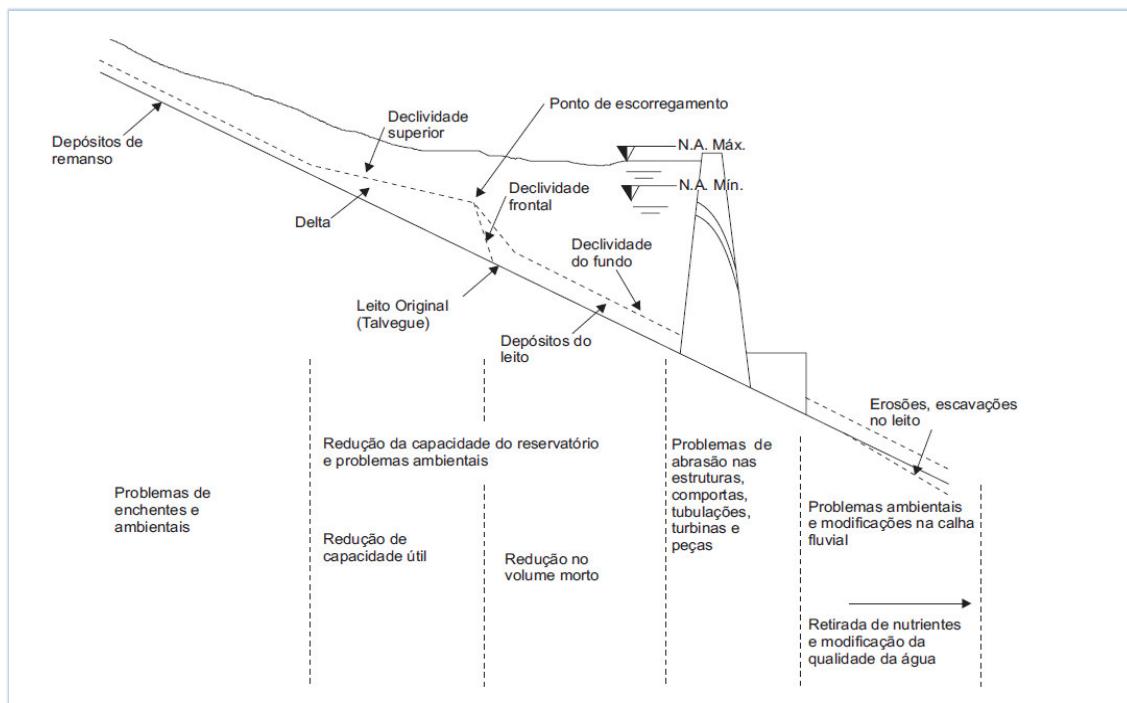
A disponibilidade hídrica do reservatório pode diminuir caso a quantidade de sedimentos retidos amplie-se, a influência do remanso cresce a montante, as velocidades no lago aumentam e maior quantidade de sedimentos passa a circular para jusante ocorrendo à perda da eficiência de retenção das partículas, mostrando que a evolução de fundo do reservatório depende de forma relevante do formato do reservatório e do tamanho do sedimento depositado (MORRIS; FAN. 1997; CARVALHO, 2000)

### 3.2.1 Formação de depósitos de sedimentos no reservatório

As forças exercidas sobre os sedimentos no escoamento de um rio ou curso d'água diminuem, paulatinamente, até cessarem, interrompendo este transporte, e iniciando-se o depósito de sedimentos. Com a evolução destes depósitos no reservatório, há uma perda do volume hídrico disponível. Dessa forma, ocorre o processo de assoreamento. Para reduzir este processo devem ser adotadas medidas para diminuir à ação antrópica sobre as bacias hidrográficas.

Com um menor volume útil do reservatório há uma modificação na função do amortecimento de cheias, aumento da possibilidade de ocorrência de cheias que causem o transbordamento do reservatório, consequente diminuição de sua vida, que leva a problemas ambientais diversos (Guimarães, 2009).

Na figura 5 são detalhados os principais problemas decorrentes do assoreamento no reservatório. Pode-se citar a redução do volume morto, este fica abaixo da cota de valor mínimo e pode ser usado em situações emergenciais de abastecimento por exemplo. Com a deposição de sedimentos o volume morto é reduzido.



**Fig. 5 – Tipos de depósitos de sedimentos nos reservatórios.**

Fonte: modificado de Carvalho (2008)

É importante obter estimativa da produção de sedimentos das bacias, mananciais ou cursos d'água que abastecem os reservatórios, pois a partir destes dados auxiliam no controle do problema do assoreamento e possibilita estimar a redução da capacidade do reservatório afetada pelo acúmulo de depósitos de sedimentos nas diversas partes de uma barragem. Na figura acima, percebe-se como o processo de assoreamento afeta a acumulação hídrica e outras atividades econômicas como a produção hidrelétrica, pesca e outros.

De acordo com Guimarães (2009), ao se construir um reservatório as seções transversais do curso d'água são aumentadas, as velocidades da corrente diminuem criando condições favoráveis para a retenção de sedimento, de forma que as partículas mais pesadas (pedregulho e areia grossa) são as primeiras a deixar de serem transportadas, enquanto que o sedimento mais fino (silte e argila e até areia média) "entra no reservatório".

Os depósitos de sedimentos podem ocorrer em canais, reservatórios, deltas, estuários, basicamente de duas formas:

- Provisório: como nas praias ou barras de rios, onde o sedimento fica depositado até que uma cheia o carregue a jusante.
- Permanente: como no caso do assoreamento, onde o sedimento devido a ação do peso próprio e da água acaba permanecendo.

O material sólido depositado a montante da barragem é subdividido nos tipos a seguir:

- Depósito de remanso: depósito a montante se referindo ao fenômeno consequente da construção do reservatório.
- Depósito de margem, delta e depósito do leito: são formados por depósito de material sólido mais graúdo, de acordo com Carvalho (2000).
- Depósito de várzea: ocorrem ao longo do reservatório, são formados por meio de cheias e são compostos por materiais finos e grossos.

Dependendo do volume do material assoreado depositado, da sua qualidade e do local, podem ocorrer alguns danos:

- Reservatório assoreado: diminuição de seu volume e vida útil do lago.
- Assoreamento: de estruturas fluviais de modo geral, de calha de rios, dificultando a navegação e aumentando a probabilidade de ocorrer enchentes devido à diminuição de profundidade.
- Depósito de sedimento mais fino: reduz a atividade de pesca artesanal, áreas de recreação, entre outros, devido à aparência de lama, a falta de nutrientes afeta o bioma aquático (peixes e microorganismos).
- Terras agrícolas: a presença de sedimento depositado sem nutriente, pode ocasionar a redução da fertilidade, o soterramento da região e ainda o desenvolvimento das plantas.
- Canais: ocorre o depósito de material mais fino propiciando o crescimento de vegetação, prejudicando o escoamento do rio.
- Riachos assoreados: prejudica o abastecimento de água para os animais.
- Diques Naturais: inicia-se um processo de impermeabilização do solo devido ao acúmulo de material mais fino na base do reservatório e favorecendo a formação de área encharcada na zona de várzea.

### 3.2.2 Modelagem do assoreamento de reservatórios

A seguir estão apresentados as principais modelos físicos usados para a estimativa de assoreamento de reservatórios.

#### a) KINEROS

O modelo KINEROS (1995) é um modelo físico orientado a eventos e que descreve os processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão em pequenas bacias urbanas e rurais. A bacia é representada por uma cascata de planos e canais. As equações diferenciais parciais que descrevem o fluxo nos planos e canais, a erosão e o transporte de sedimentos são resolvidos pelo método das diferenças finitas. Considera-se a variação espacial da precipitação, da infiltração, do escoamento e dos parâmetros da erosão. Este modelo pode ser usado para determinar os efeitos, no hidrograma e no sedimentograma de uma seção qualquer, de possíveis

mudanças nas características da bacia, tais como: urbanização de uma área, construção de reservatórios, desmatamento, dentre outros. O KINEROS 2 é uma versão melhorada do modelo KINEROS, e traz como diferencial a redistribuição da umidade do solo durante a chuva e a capacidade de comportar mais de um pluviógrafo (PEREIRA, 2010).

### **b) SWAT**

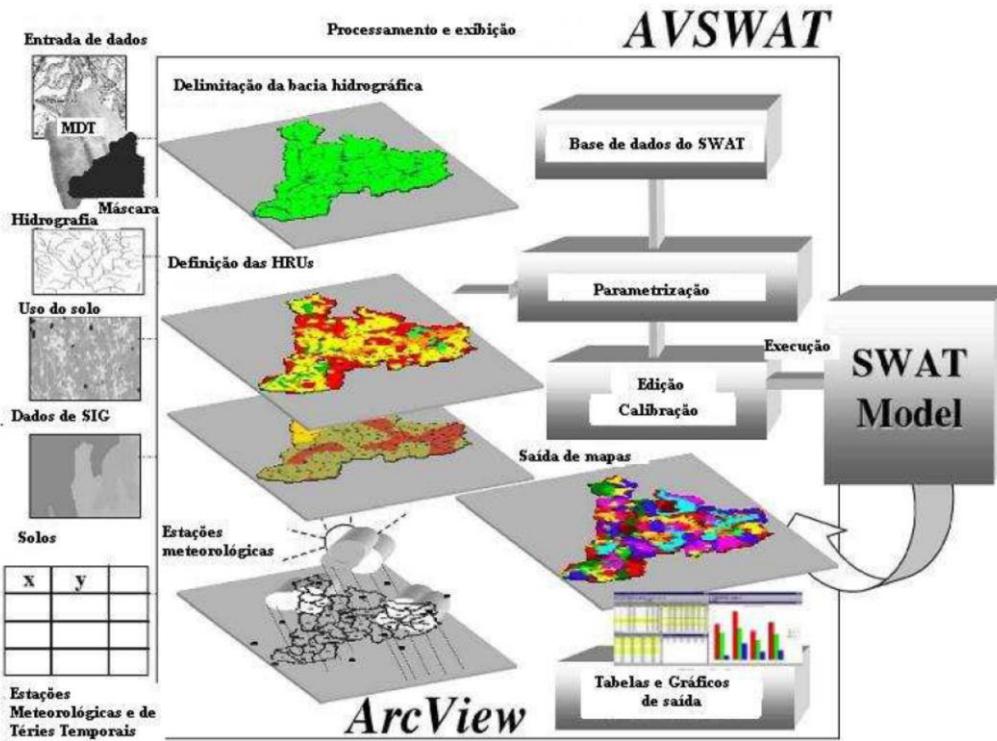
O modelo SWAT (1993) foi desenvolvido para predizer o impacto a longo prazo, de práticas de manejo do solo sobre a qualidade da água, sedimento e produção agrícola, em bacias hidrográficas de larga escala, com variações nos tipos de solos, uso e cobertura do solo e condições de manejo.

Segundo Machado et al. (2003) este modelo é baseado em uma estrutura de vários módulos, com comandos para simular a propagação do escoamento, sedimentos e agroquímicos através da bacia. Os maiores componentes do modelo incluem hidrologia, clima, sedimentos, temperatura do solo e manejo agrícola. O componente hidrológico do modelo inclui escoamento superficial, percolação, fluxo lateral sub-superficial, fluxo de retorno do aquífero raso e evapotranspiração. O modelo requer dados diários de precipitação, temperaturas máxima e mínima do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa. O SWAT utiliza uma formulação modificada do Método da Curva Número (CN) para calcular o escoamento o escoamento superficial ao tipo de solo, uso da terra e práticas de manejo.

Para o uso específico de modelagem, o SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias baseado no relevo, solos e uso da terra e, dessa forma, preserva os parâmetros espacialmente distribuídos dentro da bacia e as características homogêneas dentro da bacia.

O AVSWAT-2000 Versão 1.0 (DI LUZIO et al., 2002), é uma extensão desenvolvida para o software de Sistema de Informação Geográfica ArcView e uma interface gráfica para o modelo SWAT. Na literatura Brasileira, há poucos trabalhos disponíveis de aplicação do modelo AVSWAT em bacias hidrográficas. Nestes trabalhos, apenas os módulos de uso do solo, clima e cobertura vegetal foram processados, gerando unicamente resultados de erosão na bacia hidrográfica de interesse.

Silva et. al. (2006) realizaram trabalho para a estimativa de perda de solo com o uso do modelo AVSWAT para bacias da região de Luís Antônio – SP, 2006. Em tal trabalho, realizaram-se simulações com o referido modelo, estabelecendo-se cenários de perda de solos com diferentes coberturas.



**Fig. 6 – Esquema de funcionamento do AVSWAT.**

Fonte: modificado de Di Luzio (2002)

Na literatura Brasileira, encontram-se disponíveis poucos trabalhos de aplicação do modelo AVSWAT em bacias hidrográficas. Baseada nos dados disponíveis, em todos eles, apenas os módulos de uso do solo, clima e cobertura vegetal foram processados, gerando unicamente resultados de erosão na bacia hidrográfica de interesse.

### c) CHDM

O modelo CHDM (1995) usa parâmetros espacialmente distribuídos, ou seja, considera o sistema hidrológico como uma unidade heterogênea. Neste modelo são relevantes as variações na vegetação, topografia, solos e uso da terra ao invés de valores médios destes elementos físicos. Outra característica

importante do CHDM é a simulação baseada em eventos, porém pouca precisão nos resultados. (NEVES, 2010). Segundo Lopes (1995) como o modelo não tem componentes que descrevem a evapotranspiração e o movimento da água no solo entre duas precipitações e, por isso, não pode estabelecer um balanço hidrológico entre eles, a simulação baseia-se em cada precipitação. A partir das condições iniciais de umidade do solo conhecidas, o modelo para cada evento o escoamento superficial.

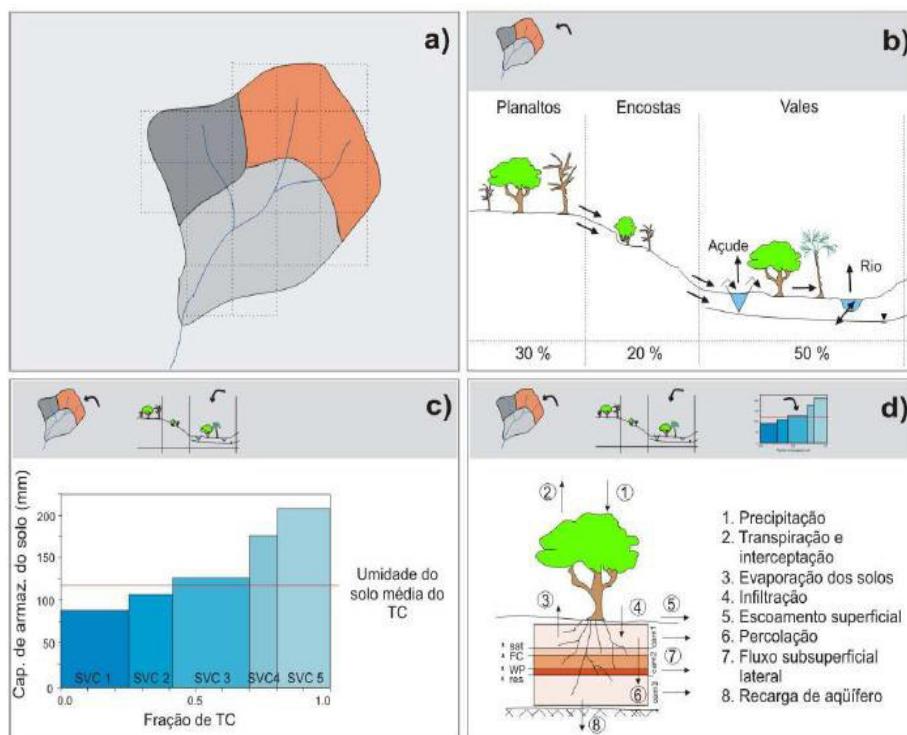
#### d) WASA-SED

WASA-SED (*Model of Water Availability in Semi-Arid Environments with Sediment Dynamics Component*) (Güntner, 2002; Güntner e Bronstert, 2004; Güntner et al., 2004; Bronstert et al., 2007; Mamede, 2008; Mueller et al., 2008; Francke et al., 2008; Medeiros et al., aceito) é um modelo determinístico, semi-distribuído, de simulação contínua de processos hidrológicos e sedimentológicos. Para realizar a representação das características da bacia em todo o perímetro (tais como topografia, tipo de solo e cobertura vegetal) e sua influência na geração de escoamento, é adotada uma discretização espacial hierarquizada da área de estudo em cinco níveis de escala (Güntner e Bronstert, 2004):

- Sub-bacia: unidade básica, delimitada de acordo com a localização de reservatórios e postos fluviométricos. Os processos de transporte em rios e balanço hídrico em reservatórios são calculados nesta escala;
- Unidade hidrológica (*landscape unit* – LU): associação de vertentes com sequência semelhante de litologia, solo e vegetação ao longo da encosta. Admitem-se similaridades nos fluxos verticais e horizontais de água entre vertentes de uma mesma LU;
- Componente de terreno (*terrain component* – TC): sub-área de uma Unidade Hidrológica (LU) com mesma posição na encosta e características semelhantes de declividade, solo e vegetação. Nesta unidade é simulada a transferência lateral de fluxo superficial e sub-superficial entre componentes de terreno (TC) de diferentes posições topográficas;
- Componente de solo e vegetação (*soil-vegetation component* – SVC): consiste em uma combinação específica de solo e cobertura vegetal em

um TC, sendo representado por seu percentual de área dentro de seu respectivo TC. Também nesta escala é considerada redistribuição lateral de escoamento superficial e subsuperficial entre os diversos componentes de solo e vegetação (SVCs);

- Perfil: menor componente espacial da hierarquia. É nesta escala onde são especificados os horizontes de solos em cada SVC e onde é calculado o balanço hídrico, considerando processos verticais e horizontais.



**Fig. 7 – Esquema de discretização espacial adotado no WASA-SED: a) Unidade Hidrológica (LU); b) Componente do terreno (TC); c) Componente do solo e vegetação (SVC) e d) Perfil de solo.**

Fonte: modificado de Mamede et al., 2008, adaptado de Güntner, 2002

No modelo WASA-SED, o balanço hídrico é iniciado na escala de perfil de solo as transferências de fluxo e agregação do escoamento sendo computadas até a escala de sub-bacia. Os processos contemplados na modelagem hidrológica são: interceptação (balanço simplificado - Güntner, 2002); evapotranspiração (modelo de duas camadas - Shuttleworth e Wallace, 1985); evaporação de reservatórios superficiais (Penman, 1948; Monteith, 1965); infiltração (Green e Ampt, 1911); percolação entre horizontes de solo

(Arnold et al., 1990); escoamento sub-superficial (relação simplificada para fluxo saturado baseada na equação de Darcy); armazenamento subterrâneo (modelagem simplificada com base em um modelo linear de armazenamento).

Durante a simulação, após a totalização do escoamento gerado em uma sub-bacia, o mesmo é propagado em uma rede de drenagem e transferido aos reservatórios superficiais. No que se refere aos pequenos reservatórios de superfície (açudes), a simulação do balanço hídrico é feita por meio do WASA-SED realizando o agrupamento destes em classes de acordo com suas capacidades de armazenamento. Assim, o balanço é calculado para um reservatório hipotético com características representativas de cada classe, sendo a transferência de água entre os reservatórios por meio da aplicação do método de cascata, no qual os reservatórios de ordem inferior contribuem com fluxo para os reservatórios de ordem superior (Güntner et al., 2004). Para os reservatórios estratégicos, o balanço hídrico é calculado explicitamente, sendo necessária a devida caracterização de cada açude (localização, dimensões do vertedouro, curva cota-área-volume, liberação de vazões a jusante).

O modelo WASA-SED contém módulo de processos sedimentológicos composto de rotinas que simulam a erosão do solo, o transporte de sedimentos nas vertentes e sua transferência para a rede de drenagem, a propagação dos sedimentos nos rios e a deposição das partículas em reservatórios. Müller et al. (2008) de forma detalhada descrevem todos os processos sedimentológicos simulados no modelo WASA-SED.

Para o cálculo da geração de sedimentos, o modelo oferece quatro opções de equações derivadas da Equação Universal de Perda de Solos – USLE (Wischmeier e Smith, 1978), as quais apresentam a seguinte estrutura (Williams e Arnold, 1997):

$$E = \chi \cdot K \cdot \lambda S \cdot C \cdot P \cdot ROKF \cdot A \quad (2)$$

em que: E é erosão (t); K é o fator de erodibilidade do solo ( $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$ );  $\lambda S$  é o fator de comprimento de rampa e declividade (adimensional); C é o fator de cobertura vegetal e manejo de culturas (adimensional); P é o fator de práticas conservacionistas (adimensional); ROKF é o fator de fragmentos de rocha (adimensional) e A é a área (ha) da unidade de modelagem.  $\chi$  é o termo de

energia, que varia de acordo com a equação utilizada, como apresentado por Williams e Arnold (1997):

$$\text{USLE: } \chi = EI \quad (3)$$

$$\text{Onstad-Foster: } \chi = 0,646EI + 0,45(Q_{\text{SURF}} \cdot q_p)^{0,33} \quad (4)$$

$$\text{MUSLE: } \chi = 1,586(Q_{\text{SURF}} \cdot q_p)^{0,56} A^{0,12} \quad (5)$$

$$\text{MUST: } \chi = 2,5(Q_{\text{SURF}} \cdot q_p)^{0,5} \quad (6)$$

em que:  $EI$  é o fator de erosividade da chuva ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$ );  $Q_{\text{surf}}$  é a lâmina escoada superficialmente (mm);  $q_p$  é a intensidade máxima do escoamento ( $\text{mm.h}^{-1}$ ). A erosão calculada é distribuída entre o número de classes de tamanho das partículas de solos, de acordo com a composição média dos solos erodidos.

A equação 2 tem as opções de aplicação em escala de sub-bacia ou de componente de terreno. Vale destacar que, de acordo com Müller et al. (2008), as equações de Onstad-Foster, MUSLE e MUST consideram o escoamento superficial (calculado internamente pelas rotinas hidrológicas do modelo WASA-SED) na estimativa do fator de energia, dispensando o uso de uma Razão de Aporte de Sedimentos (SDR) para cálculo da produção de sedimentos na escala de sub-bacia. A USLE, por sua vez, devido às condições de transporte é incapaz de estimar a limitação da produção de sedimentos, não sendo adequada sua aplicação à escala de sub-bacia.

Na escala de sub-bacia, os fatores da USLE são estimados por médias ponderadas pela área de ocorrência, com exceção do fator  $\lambda S$ , que é calculado de forma acumulada ao longo da vertente no sentido de jusante.

Caso a equação de geração de sedimentos seja aplicada aos componentes de terreno, os fatores da USLE são estimados nessa escala e é simulada a propagação dos sedimentos erodidos na vertente. O processo baseia-se em adicionar a massa de sedimentos produzida a montante ( $SED_{in}$ , expressa em t) à massa de sedimentos gerada no componente de terreno corrente ( $E$ , em t). A massa de sedimentos disponível é então comparada com a capacidade de transporte ( $q_s$ , em t) para se obter a produção de sedimentos do componente de terreno ( $SY$ , em t), que será propagada para jusante. A produção de sedimentos é calculada pela seguinte equação:

$$SY = \min (E + SED_{in}; q_p) \quad (7)$$

Obtida a estimativa da massa de sedimentos transferida para a rede de drenagem, a simulação da propagação nos rios é feita considerando processos de arraste de fundo e transporte de material em suspensão, dessa forma, verifica-se a capacidade de transporte. Müller et al.(2008) explicam que, no modelo WASA-SED, a máxima concentração de sedimentos que pode ser transportada pelo fluxo é calculada utilizando-se uma função tipo potência com base na velocidade de pico, similar aos modelos SWIM (Krysanova et al., 2000) e SWAT (Neitsch et al., 2002):

$$C_{s,max} = a \cdot (v_{peak}^b) \quad (8)$$

em que:  $v_{peak}$  é a velocidade de pico no canal (m/s);  $C_{s,max}$  é a concentração de sedimentos máxima para cada trecho de rio ( $t \cdot m^{-3}$ );  $a$  e  $b$  são coeficientes definidos pelo usuário. Se a concentração de sedimentos ( $C_{actual}$ ) exceder a concentração máxima, ocorre deposição( $Sed_{dep}$ ). Caso não ocorra, erosão do leito do rio ( $Sed_{ero}$ ) é calculada empregando-se uma função empírica de erodibilidade (Neitsch et al., 2002):

$$\text{Se } C_{actual} > C_{s,max}: Sed_{dep} = (C_{actual} - C_{s,max}) \cdot V \quad (9a)$$

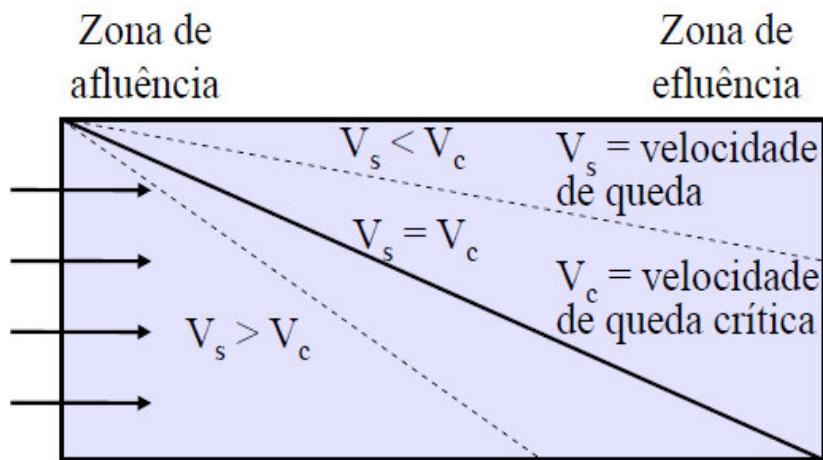
$$\text{Se } C_{actual} < C_{s,max}: Sed_{ero} = (C_{s,max} - C_{actual}) \cdot V \cdot K \cdot C \quad (9b)$$

em que:  $Sed_{dep}$  é massa de sedimentos depositada (t);  $Sed_{ero}$  é a massa de sedimentos ressuspendidos no trecho de rio (t);  $V$  é o volume de água no trecho ( $m^3$ );  $K$  é o fator de erodibilidade do leito;  $C$  é o fator de cobertura do leito.

As equações de transporte de sedimentos por arraste podem ser encontrados, de forma detalhada por meio de Müller et al. (2008). As mesmas apresentam uma grande variedade de condições, aplicando-se a granulometrias uniforme e variada, diâmetros de partículas de 0,4 a 29 mm e declividades de rio entre 0,003 e 0,2 m/m.

Nos reservatórios, o conceito de taxa de vertimento (Haan et al., 1994) é aplicado para realizar o balanço de sedimentos, deste modo, é admitido um reservatório retangular sem ressuspensão de sedimento (Mamede, 2008). A

taxa de vertimento, equivalente à velocidade crítica de queda de uma partícula, é definida como a razão entre a vazão vertida e a área da bacia hidráulica. Conforme o método, partículas com velocidade de queda superior à crítica ficam retidas no reservatório. A Figura 8 ilustra o conceito de taxa de vertimento aplicado no cálculo da retenção de sedimentos em pequenos reservatórios.



**Fig. 8 –Trajetória de partícula de sedimento em um reservatório retangular idealizado.**

Fonte: modificado de Mamede et al. (2008)

No modelo WASA-SED, o transporte de sedimentos é calculado utilizando uma equação unidimensional de transporte, adaptada de Han e He (1990):

$$\frac{dS}{dx} = \frac{\alpha}{\varpi q} (S^* - S) \quad (10)$$

em que:  $S$  é a concentração de sedimentos,  $S^*$  é a capacidade de carreamento de sedimentos,  $q$  é a vazão por unidade de largura,  $\varpi$  é a velocidade de queda das partículas,  $\alpha$  é o coeficiente de recuperação de saturação.

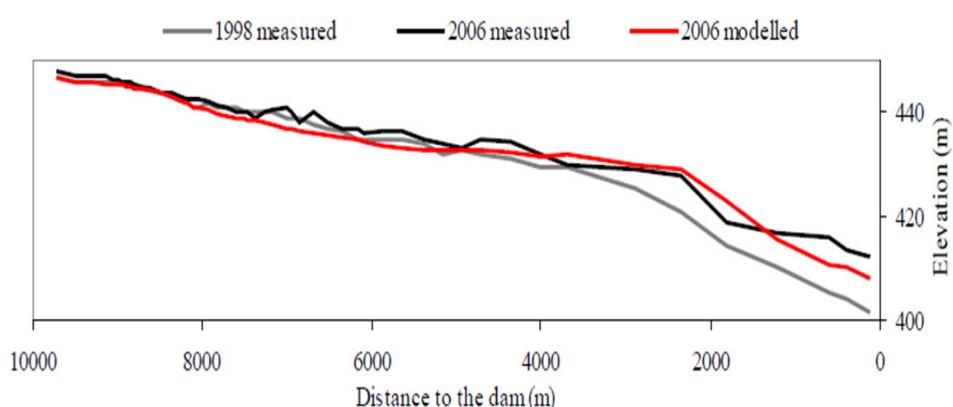
Mamede (2008) adaptou quatro equações de transporte de sedimentos (Wu et al., 2000; Ashida e Michiue, 1973; IRTCES, 1985; Ackers e White, 1973) para o cálculo da capacidade de carreamento de sedimentos, as quais são apresentadas detalhadamente por Müller et al. (2008).

As modificações ocorridas na elevação do leito do reservatório são calculadas para cada seção transversal adotando três camadas conceituais sobre o leito original: uma camada inferior de armazenamento, onde é compactado o sedimento e protegido contra erosão, uma camada intermediária, onde o sedimento pode ser depositado ou re-suspendido, e uma camada superior, onde ocorre fluxo carregado de sedimentos. A variação temporal do leito móvel é calculada utilizando a equação de balanço de sedimentos proposta por Han (1980):

$$\frac{\partial(QS)}{\partial(x)} + \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial \rho_d A_d}{\partial t} \quad (11)$$

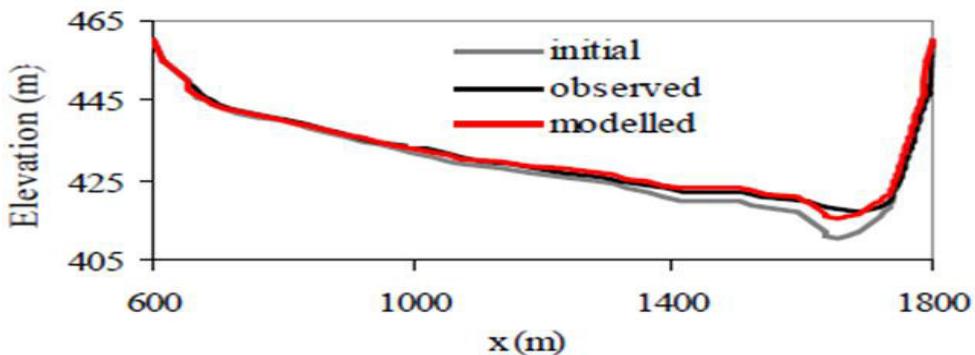
em que:  $Q$  é a vazão líquida,  $S$  é a concentração de sedimentos,  $M$  é a massa de sedimentos na coluna de água com comprimento unitário na direção longitudinal,  $A_d$  é a área total de deposição,  $\rho_d$  é a densidade do material depositado.

Nas simulações realizadas no modelo WASA-SED sobre a distribuição dos sedimentos depositados dentro do reservatório encontram-se resultados precisos e próximos às medições de campo, possibilitando obter informações sobre o depósito de sedimentos de forma longitudinal (figura 9) e transversal (figura 10) e, também, mostrando de forma detalhada os pontos em que o processo de assoreamento atinge maior intensidade.



**Fig. 9—Perfil longitudinal traçado pelo WASA-SED de distribuição de sedimentos dentro do reservatório.**

Fonte: modificado de Mamede (2008)



**Fig. 10—Perfil transversal traçado pelo WASA-SED de distribuição de sedimentos dentro do reservatório.**

Fonte: modificado de Mamede (2008)

### e) Hidrosed

Modelo proposto por Araújo (2003) que quantifica o assoreamento em reservatórios do semi-árido a partir de dados sobre precipitação, topografia, pedologia, vegetação do solo e uso do solo de uma bacia hidrográfica.

O modelo Hidrosed parte do princípio que, com base na observação de campo, predominando na produção de sedimentos nas bacias hidrográficas a erosão laminar. Considera a massa de sedimentos que chega aos drenos (rios, riachos e outros) é a mesma que chega aos reservatórios e, para cálculo da erosão localizada utiliza a Equação Universal de Perdas de Solo (USLE, equação 1).

Khanbilvardi e Rogowski (1984) criaram um parâmetro para cálculo do assoreamento que é a SDR, denominada taxa de transporte difuso, sendo a razão entre a massa de sedimentos que deixa uma bacia ( $M_e$ ) e a massa de sedimentos localmente erodida ( $M_L$ ). Logo, utilizando equações existentes na literatura para cálculo da SDR (Araújo, 2003) e a equação (1) para cálculo de  $M_L$ , obtém-se  $M_e$  pela equação (2):

$$M_e = M_l \cdot SDR \quad (12)$$

Com o valor de  $M_e$  torna-se possível o cálculo da retenção de sedimentos no reservatório. O modelo Hidrosed calcula a fração de sedimentos retido nos reservatórios com a curva de Brune (Carvalho, 1994), obtida de forma empírica para 41 reservatórios dos EUA. A curva de Brune considera a fração média de retenção de sedimento, uma função direta tempo de

residência médio da água no reservatório. O cálculo é feito pela razão entre a capacidade do reservatório ( $V$ ) e a vazão afluente média anual ( $Q_a$ ). Contudo o uso desta fórmula apresentou bons resultados para regiões em que não houve variações bruscas no nível do reservatório. No caso do semi-árido que apresenta alta sazonalidade dos volumes dos reservatórios, apresentam-se retenção de sedimentos inferiores à calculada pela curva de Brune. O cálculo da retenção de sedimentos nos reservatórios do semi-árido é feito de acordo com a equação abaixo:

$$M_a = M_e \cdot \eta \quad (13)$$

onde  $M_a$  é a massa assoreada do reservatório e  $\eta$  é o percentual de retenção do sedimento no reservatório. Araújo (2003) considerou também as eventuais contribuições urbanas na produção de sedimentos, sendo a equação (3) modificada para a seguinte forma:

$$M_a = (M_L \cdot SDR + Pop \cdot \omega) \cdot \eta \quad (14)$$

onde  $Pop$  é igual a população contribuinte e  $\omega$  é a contribuição per capita de sedimentos.

#### **f) Modelo Simplificado de LIMA NETO et al. (2011)**

Este modelo foi desenvolvido a partir de uma pesquisa sobre a distribuição de sedimentos em um período de 25 anos em uma bacia semi-árido brasileiro com uma área de  $2,5 \times 10^4 \text{ km}^2$ , considerando uma rede com mais de 4.000 reservatórios superficiais. A metodologia baseou-se em parâmetros embutidos ( $R_m$ ,  $\xi_m$ ,  $Vo$ ,  $V$ ,  $h$  e outros) e em curvas de classificação derivados de dados de campo. Os resultados mostraram que a carga suspensa correspondeu a cerca de 70% da produção total de sedimentos ( $148 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ ) não retidos. A contribuição relativamente baixa da carga suspensa (em comparação com outras regiões semi-áridas) foi atribuído ao impacto dos inúmeros reservatórios a montante, que manteve  $235 \text{ t km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$  retidos. Os reservatórios classificados como micro ( $<1 \text{ hm}^3$ ), pequeno ( $1-10 \text{ hm}^3$ ), médios ( $10-50 \text{ hm}^3$ ) e grande ou estratégico ( $> 50 \text{ hm}^3$ ) retiveram respectivamente, 5, 17, 30 e 48% do montante de sedimentos retidos pela rede de reservatórios. O estudo indicou que a retenção dos reservatórios não estratégicos a montante

tem um impacto positivo na disponibilidade de água, sem estes a taxa de assoreamento dos reservatórios estratégicos seria acima do dobro.

A fim de avaliar a taxa de sedimentação dos reservatórios, foi proposta a taxa de retenção de sedimentos  $\xi$  ( $t m^{-3} MJ^{-1} mm^{-1} ha.h$ ) como um parâmetro-chave:

$$\xi = \frac{\Delta V}{V_o} \frac{\rho}{\sum R} \quad (15)$$

onde  $\Delta V$  é a diferença entre o volume inicial e volume atual, representa a redução da capacidade do reservatório ( $hm^3$ ),  $\rho$  é a densidade do sedimento seco em massa ( $t/m^3$ ) e  $\sum R$  é o fator erosividade da chuva acumulada ( $MJ mm ha^{-1} h^{-1}$ ). Neste estudo, devido à falta de dados detalhados para o cálculo do representante da intensidade da chuva de 30 minutos para toda a bacia hidrográfica, a erosividade foi obtida usando a equação (2a). Esta foi proposta por Bertoni & Lombardi Neto (1990) para a região sudeste do Brasil, mas verificada como válida para a região do semiárido brasileiro também (Araújo et al., 2003):

$$R_m = 67,355 \left( \frac{P^2}{P} \right)^{0.85}; \quad R = \sum_{m=1}^{12} R_m \quad (16)$$

onde  $R_m$  e  $R$  são, respectivamente, mensal e fatores erosividade anual ( $MJ .mm.ha^{-1} h^{-1}$ ), e  $p$  e  $P$  são, respectivamente, a precipitação mensal total e o precipitação média anual (mm).

Considerando os dados de sete reservatórios localizados no Estado do Ceará (volumes de 0,51 a 125  $hm^3$ ) obtidos de Araújo (2003), Lima Neto et al. (2011) desenvolveu esta metodologia tendo como um dos objetivos obter  $\xi$ .

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Coleta e Análise de Dados

Inicialmente foram coletados e analisados dados referentes a 32 reservatórios brasileiros, com capacidades iniciais variando de 0,51 a 29.000 hm<sup>3</sup>, conforme detalhado na Tabela 1. Os reservatórios listados estão localizados em diferentes regiões do Brasil (CO, NE, S e SE), e incluem represas de pequeno, médio e grande porte para fins de abastecimento de água, geração de energia e/ou controle de cheias. Esses reservatórios foram selecionados em função da disponibilidade de dados para aplicação das metodologias propostas na presente pesquisa. Somente foram considerados trabalhos técnico-científicos como fonte de informação. Os dados obtidos foram utilizados para cálculo e comparação das taxas de assoreamento observadas para os reservatórios selecionados.

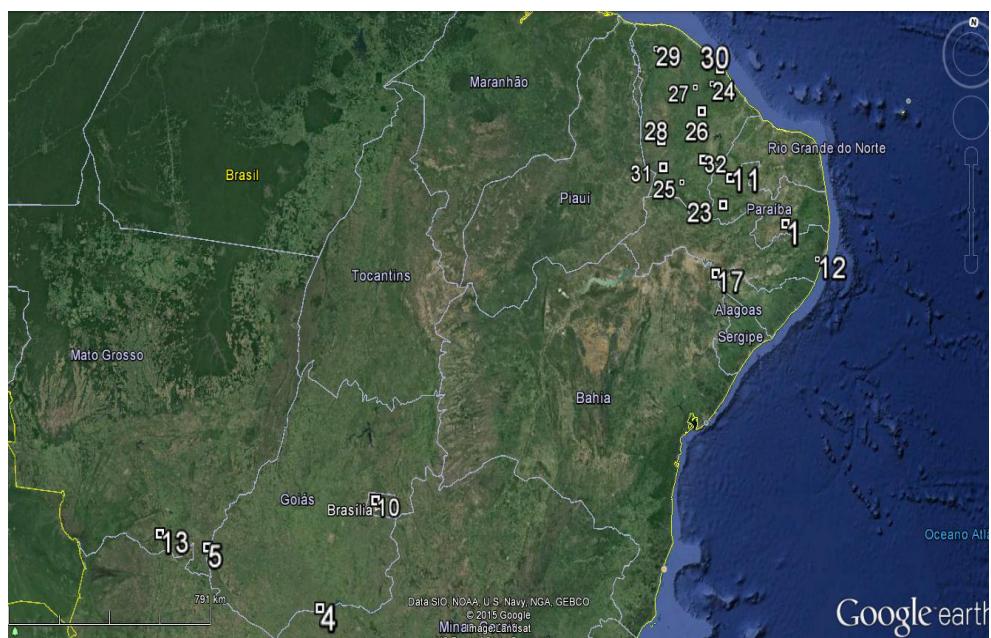
**Tabela 1 - Resumo dos reservatórios utilizados nesta pesquisa.**

N. <sup>º</sup>	Açude/ Reservatório	Vo (hm <sup>3</sup> )	V (hm <sup>3</sup> )	Const. (ano)	Levant. (ano)	Município	Fonte
1	Aç. Epitácio Pessoa	536,40	411,67	1956	2009	Campina Grande-PB	Araújo Júnior, 2009
2	Barra Bonita	17,60	16,72	1980	2005	Barra Bonita-SP	Teixeira et al., 2007
3	Billings	1.300,00	1.014,00	1958	2008	São Paulo-SP	PROAM, 2013
4	Cachoeira Dourada	504,00	310,00	1959	2005	Itumbiara-GO	Cabral et al., 2006
5	Couto Magalhães	71,41	69,17	2000	2015	Alto Araguaia /MT	Enercoutho, 2013
6	Reserv. dos Mottas	0,61	0,51	1972	2000	Guaratinguetá-SP	Simões et al, 2007
7	Baln. da Amizade	2,00	1,82	1980	2009	Presidente Prudente-SP	Schwalm, 2008
8	Rio Santo Anastácio	2,24	1,79	1968	1998	Presidente Prudente-SP	Schwalm, 2008
9	Rio São Bento	58,00	55,39	1998	2005	Nova Veneza-SC	Schwalm, 2008
10	Ribeirão do Torto	0,46	0,24	1959	2003	Brasília-DF	Fonseca, 2011

N. <sup>º</sup>	Açude/ Reservatório	V <sub>o</sub> (hm <sup>3</sup> )	V (hm <sup>3</sup> )	Const. (ano)	Levant. (ano)	Município	Fonte
11	Açude Paraíso	2,47	2,17	1985	2009	São Francisco-PB	Guimarães, 2009
12	Pirapama	61,39	52,99	1987	2001	Pirapama-PE	Silva, 2005
13	Itiquira	8,70	7,69	1983	1989	Itiquira-MT	Carvalho et al., 2000
14	Vacacaí-Mirim	5,10	3,60	1972	2001	Santa Maria-RS	Dill, 2002
15	Santa Bárbara	10,00	8,50	1965	2006	Pelotas-RS	Korb, 2006
16	Mário Leão	2.127,00	2.084,46	1975	2005	Promissão-SP	Maia e Vilela, 2010
17	Luiz Gonzaga	11.000,00	9.746,00	1972	2000	Itaparica-BA	Barbosa et al., 2000
18	Itaipu	29.000,00	28.396,28	1983	2012	Foz do Iguaçu /PR	Carvalho et al., 2000
19	Tanque Grande	378,00	372,00	1972	2000	Guarulhos-SP	Figueira et al., 2011
20	Três Irmãos	5,47	5,34	1972	2000	Pereira Barreto-SP	Albertin et al., 2010
21	Reserv. Funil	82,19	63,74	1965	1992	Resende-RJ	Silva, 2005
22	Vargem das Flores	39,46	29,71	1972	2010	Contagem-mG	Santos, 2009
23	Açude Itaporanga	10,61	8,83	1984	2006	Itaporanga-PB	Guimarães, 2007
24	Acarape do Meio	34,10	31,40	1924	1997	Redenção-CE	Araújo et al., 2003
25	Canabrava	1,22	1,13	1944	2000	Missão Velha-CE	Araújo et al., 2003
26	Cedro	125,70	105,05	1906	2000	Quixadá-CE	Araújo et al., 2003
27	São Mateus	10,30	8,88	1954	1999	Canindé-CE	Araújo et al., 2003
28	Várzea do Boi	51,90	46,10	1954	1998	Banabuiú-CE	Araújo et al., 2003
29	Várzea da Volta	12,50	10,97	1919	2000	Moraújo-CE	Araújo et al., 2003
30	Santo Anastácio	0,51	0,372	1918	1992	Fortaleza-CE	Araújo, 2003

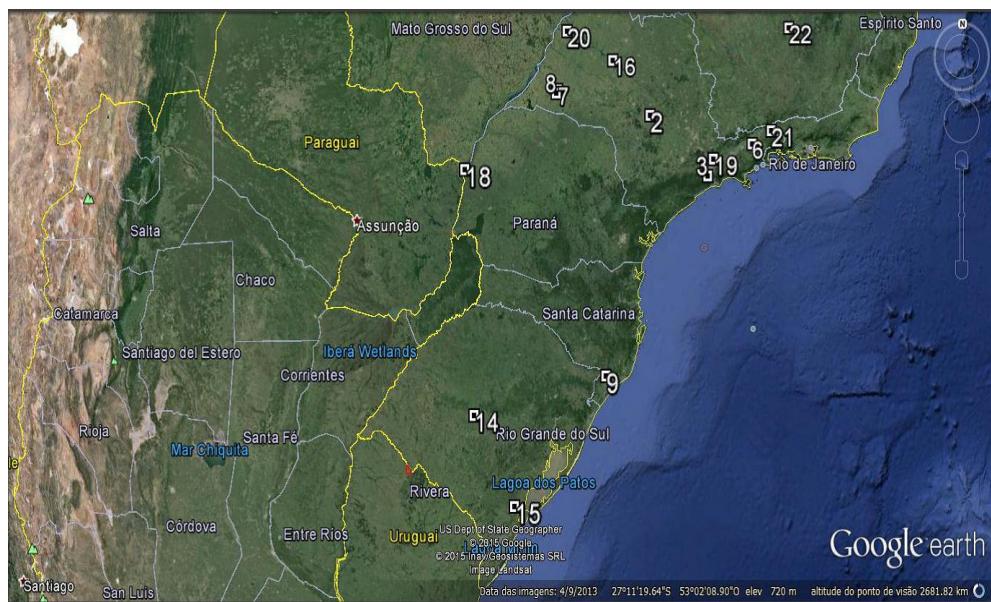
31	Benguê	19,56	19,48	2003	2008	Aiuaba	Mamede, 2008
32	Orós	1940,00	1763,33	1961	2013	Iguatu-CE	Lima Neto et. al, 2011

Por meio da ferramenta Google Earth foi feita a localização dos 32 reservatórios em um mapa do Brasil, conforme detalhado na Tabela 1. Sendo esta distribuição feita na seguinte forma: Na região Nordeste foram 9 reservatórios no estado do Ceará, 3 na Paraíba, 1 no Pernambuco, 1 na Bahia. Na região Centro-oeste adotou-se 2 no estado do Mato Grosso, 1 no Distrito Federal e 1 no Goiás. Na região Sudeste a amostra contém 8 reservatórios no estado de São Paulo, 1 no Rio de Janeiro e 1 em Minas Gerais. E, finalmente, na região Sul foram 1 reservatório no Paraná, 1 em Santa Catarina e 2 no Rio Grande do Sul.



**Fig. 11- Reservatórios das regiões Nordeste e Centro-oeste**

Fonte: Google Earth



**Fig. 12- Reservatórios das regiões Sudeste e Sul**

Fonte: Google Earth

Em seguida, foram coletados dados pluviométricos de postos localizados nas bacias de contribuição dos 32 reservatórios listados na Tabela 1, os quais foram disponibilizados pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SRH-SP) e Agência Nacional de Águas (ANA). Somente foram consideradas séries com duração igual ou superior a 20 anos.

As Tabelas 2 e 3 mostram exemplos de séries pluviométricas para postos de Alto Araguaia-MT e Apuiarés-CE. Percebe-se claramente que no caso do posto localizado na região semiárida (CE), somente ocorrem precipitações em aproximadamente seis meses do ano, diferentemente da região de pluviometria regular e bem distribuída ao longo do ano (MT).

**Tabela 2-** Série de dados pluviométricos de Alto Araguaia-MT

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1976	88,0	153,0	133,0	101,0	91,0	73,0	63,0	61,0	70,0	98,0	108,0	146,0	1185
1977	140,0	151,0	129,0	124,0	98,0	88,0	70,0	64,0	74,0	72,0	101,0	112,0	1223
1978	207,0	115,0	111,0	99,0	86,0	81,0	71,0	61,0	74,0	70,0	92,0	155,0	1222
1979	212,0	160,0	156,0	107,0	90,0	76,0	71,0	67,0	92,0	76,0	86,0	107,0	1300
1980	138,0	183,0	134,0	120,0	84,0	76,0	68,0	61,0	66,0	60,0	75,0	122,0	1187
1981	127,0	105,0	123,0	85,0	70,0	69,0	60,0	57,0	54,0	68,0	129,0	131,0	1078
1982	167,0	146,0	189,0	135,0	99,0	86,0	75,0	71,0	78,0	77,0	92,0	104,0	1319
1983	176,0	129,0	124,0	108,0	82,0	75,0	69,0	61,0	64,0	74,0	110,0	158,0	1230
1984	119,0	117,0	138,0	113,0	93,0	73,0	66,0	73,0	60,0	70,0	94,0	138,0	1154
1985	158,0	126,0	132,0	106,0	83,0	72,0	69,0	62,0	62,0	65,0	70,0	81,0	1086
1986	103,0	117,0	108,0	79,0	72,0	61,0	57,0	62,0	58,0	59,0	63,0	138,0	977
1987	142,0	136,0	129,0	106,0	84,0	91,0	65,0	60,0	61,0	65,0	95,0	138,0	1172
1988	133,0	170,0	178,0	138,0	100,0	84,0	74,0	68,0	64,0	67,0	84,0	113,0	1273
1989	145,0	195,0	163,0	122,0	99,0	87,0	80,0	77,0	73,0	79,0	97,0	156,0	1373
1990	144,0	127,0	120,0	104,0	103,0	78,0	73,0	71,0	78,0	85,0	81,0	91,0	1155
1991	138,0	158,0	190,0	127,0	94,0	82,0	75,0	69,0	74,0	80,0	101,0	125,0	1313
1992	137,0	142,0	144,0	133,0	107,0	86,0	79,0	74,0	116,0	108,0	127,0	132,0	1385
1993	109,0	164,0	132,0	114,0	87,0	102,0	73,0	70,0	80,0	89,0	85,0	113,0	1218
1994	140,0	131,0	144,0	115,0	125,0	104,0	88,0	83,0	72,0	75,0	90,0	103,0	1270
1995	147,0	237,0	129,0	143,0	127,0	111,0	83,0	77,0	76,0	105,0	86,0	127,0	1448
1996	126,0	125,0	178,0	103,0	92,0	84,0	77,0	71,0	88,0	88,0	184,0	161,0	1377
1997	148,0	125,0	112,0	97,0	105,0	138,0	86,0	86,0	84,0	100,0	83,0	120,0	1284
1998	140,0	156,0	144,0	125,0	113,0	101,0	92,0	86,0	86,0	95,0	99,0	120,0	1357
1999	137,0	107,0	163,0	95,0	90,0	85,0	85,0	74,0	81,0	83,0	86,0	122,0	1208
2000	119,0	173,0	170,0	102,0	87,0	85,0	79,0	81,0	102,0	90,0	116,0	145,0	1349
2001	109,0	110,0	120,0	101,0	95,0	83,0	74,0	70,0	76,0	85,0	104,0	174,0	1201
2002	139,0	129,0	128,0	95,0	88,0	79,0	82,0	78,0	76,0	82,0	103,0	98,0	1177
2003	130,0	137,0	136,0	125,0	91,0	83,0	81,0	76,0	76,0	88,0	80,0	90,0	1193
2004	112,0	126,0	99,0	96,0	85,0	77,0	74,0	70,0	67,0	81,0	80,0	105,0	1072
2005	162,0	111,0	120,0	89,0	80,0	76,0	70,0	67,0	71,0	76,0	89,0	118,0	1129
2006	101,0	111,0	156,0	124,0	89,0	82,0	78,0	61,0	61,0	67,0	85,0	112,0	1127

Precipitação média anual (P): 1227

Fonte: Hidroweb (ANA)

**Tabela 3-** Série de dados pluviométricos de Apuiarés-CE

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1981	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,0	68
1982	29,0	83,0	209,0	149,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,0	471
1983	0,0	11,0	103,5	104,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	239
1984	10,5	68,0	295,0	267,0	278,0	103,5	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	17,0	1044
1985	259,5	269,0	418,0	272,0	166,5	69,5	45,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84,0	1584
1986	80,0	165,5	439,0	156,5	115,5	117,0	53,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1131
1987	19,0	0,0	268,0	58,5	90,0	162,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	598
1988	61,0	139,0	177,0	345,4	178,0	46,5	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	967
1989	17,5	37,5	282	259,5	187,0	42,0	124,0	0,0	0,0	0,0	0,0	94,5	1044
1990	0,0	138,5	53,0	107,5	64,0	26,5	15,0	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	414
1991	69,0	58,0	307,5	95,0	184,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	719
1992	99,0	159,5	152,8	91,0	23,5	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	528
1993	27,0	46,0	96,0	86,5	3,0	32,0	21,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	322
1994	91,5	145,0	177,0	308,0	237,5	131,5	132,0	0,0	0,0	0,0	21,0	43,0	1287
1995	10,0	158,5	242,0	533,0	287,0	57,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1293
1996	59,0	105,5	341,5	300,0	169,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	0,0	992
1997	0,0	54	320,0	171,0	62,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	631
1998	330,6	46,5	126,6	27,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,0	574
1999	25,0	113,0	303,0	75,5	259,5	49,5	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	18,0	869
2000	169,0	70,6	302,6	206,7	49,9	46,8	54,6	79,0	3,4	0,0	0,0	7,4	990
2001	60,7	73,3	96,9	287,0	28,2	47,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	594
2002	199,9	90,5	259,8	141,0	110,2	32,0	29,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	863
2003	79,6	185,7	295,6	122,2	70,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	753
2004	362,0	139,0	61,0	20,0	50,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	643
2005	31,0	53,0	111,9	155,4	76,9	63,1	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	496
2006	8,0	80,0	165,4	289,5	145,5	54,3	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	748

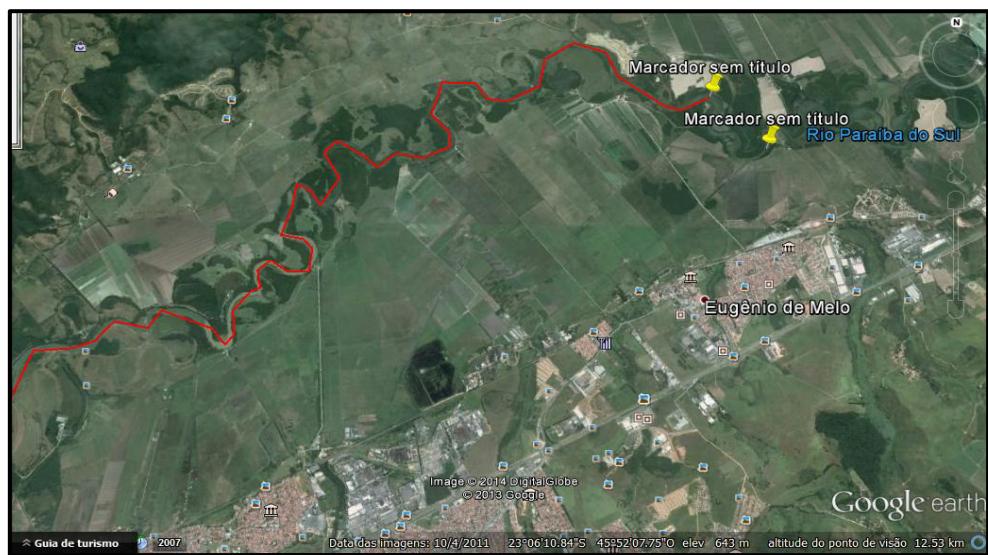
**Precipitação média anual (P): 764**

**Fonte:** Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH)

Nas séries de dados pluviométricos, para obter a precipitação total ocorrida em um ano (coluna Anual) é realizada a soma da precipitação mensal total e, em seguida, é realizada a média dos valores anuais obtidos (coluna Anual), denominada de precipitação média anual (P).

Comparando as séries pluviométricas supracitadas verifica-se que Alto Araguaia-MT tem praticamente o dobro de precipitação média anual(P) em relação a Apuiarés-CE.

Além disso, foram calculados os comprimentos (L) e as declividades médias ( $S_m$ ) dos rios que abastecem os reservatórios envolvidos neste trabalho, utilizando a ferramenta Google Earth. A Figura 4 mostra exemplo de medições de L e S realizadas no Rio Paraíba do Sul.



**Fig. 13- Medições de comprimento e declividade média do Rio Paraíba do Sul**

Fonte: Google Earth

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para os cursos de água relacionados a cada reservatório da presente pesquisa. Esses dados, assim como as informações referentes aos reservatórios da Tabela 1, foram utilizados como parâmetros para as correlações empíricas a serem ajustadas nesta pesquisa.

**Tabela 4 – Dados de comprimento (L) e declividade média ( $S_m$ ) dos cursos de água afluentes aos reservatórios.**

Açude	L (Km)	$S_m$	Município
Açude Epitácio Pessoa	120,53	0,00188	Campina Grande-PB
Barra Bonita	402,00	0,00124	Barra Bonita-SP
Billings	8,00	0,00237	São Paulo-SP
Cachoeira Dourada	593,00	0,00105	Itumbiara-GO
Couto Magalhães	142,00	0,00096	Alto Araguaia-MT
Reserv. dos Mottas	33,00	0,01809	Guaratinguetá-SP
Balneário da Amizade	2,00	0,01150	Presidente Prudente-SP
Rio Santo Anastácio	23,00	0,00491	Presidente Prudente-SP
Rio São Bento	24,00	0,04604	Nova Veneza-SC
Ribeirão do Torto	18,00	0,01105	Brasília-DF
Luiz Gonzaga	1964,00	0,00027	Itaparica-BA
Itiquira	170,00	0,00172	Itiquira-MT
Vacacaí-Mirim	8,40	0,03238	Santa Maria-RS
Santa Bárbara	8,20	0,00244	Pelotas-RS
Mário Leão	592,00	0,00090	Promissão-SP
Açude Itaporanga	88,00	0,00419	Itaporanga-PB
Itaipu	509,00	0,00010	Foz do Iguaçu-PR

Açude	L (Km)	S <sub>m</sub>	Município
Tanque Grande	3,00	0,05133	Guarulhos-SP
Três Irmãos	822,00	0,00075	Pereira Barretos-SP
Reserv. Funil	360,00	0,00046	Resende-RJ
Vargem das Flores	10,00	0,00380	Contagem-mG
Pirapama	54,00	0,00417	Pirapama-PE
Açude Paraíso	4,00	0,00800	São Francisco-PB
Acarape do Meio	22,80	0,01842	Redenção
Canabrava	2,20	0,02000	Missão Velha
Cedro	20,00	0,00150	Quixadá
São Mateus	32,50	0,00554	Canindé
Várzea do Boi	50,00	0,00088	Banabuiú
Várzea da Volta	19,30	0,02497	Moraújo
Orós	237,00	0,00093	Iguatu
Benguê	83,00	0,00259	Aiuaba
Santo Anastácio	4,70	0,00319	Fortaleza

## 4.2 Desenvolvimento de Metodologias Simplificadas

Conforme mencionado anteriormente, o modelo Hidrosed (Araújo, 2003) necessita de diversos parâmetros para estimativa do assoreamento de reservatórios. Com o objetivo de desenvolver métodos expeditos para estimativa do assoreamento, foram propostas as seguintes metodologias simplificadas:

### 4.2.1 Método de Lima Neto et al. (2011)

Inicialmente, foi realizado o cálculo de  $\xi$  utilizando a equação 5 para os nove reservatórios do Estado do Ceará listados na Tabela 1 (volumes variando entre 0,51 e 1.940 hm<sup>3</sup>), considerando três diferentes equações para o cálculo da erosividade nas suas bacias de contribuição:

- Campinas-SP:  $R_m = 67,355 (P^2 P^{-1})^{0,85}$ , Bertoni e Lombardi Neto (1990);
- Fortaleza-CE:  $R_m = 73,989 (P^2 P^{-1})^{0,7387}$ , Dias e Silva (2003);
- Cabrobró-PE:  $R_m = 73,34 + 23,18 (P^2 P^{-1})$ , Cantalice et al. (2009).

Sendo  $p$  e  $P$  a precipitação mensal total (mm) e a precipitação média anual (mm) no período analisado, respectivamente. Ressalta-se que tais equações foram utilizadas devido à falta de dados detalhados de precipitação para se calcular a intensidade da chuva de 30 minutos representativa de cada bacia de contribuição.

Cabe salientar que o estudo de Lima Neto et al. (2011) considerou apenas a equação de Bertoni e Lombardi Neto (1990) e os dados de sete reservatórios (volumes de até 125 hm<sup>3</sup>) obtidos de Araújo (2003).

Posteriormente, obteve-se o valor de  $\xi$  para os 32 reservatórios brasileiros listados na Tabela 1, considerando as seguintes equações para o cálculo da erosividade em cada bacia de contribuição (em função da proximidade dos postos pluviométricos aos seus respectivos reservatórios):

- Cáceres-MT:  $R_m = 56,115 (p^2P^{-1})^{0,95}$ , Morais et al. (1991);
- Rondonópolis-MT :  $R_m = 133,2 (p^2P^{-1})^{0,537}$ , Almeida et al. (2011);
- Goiânia-GO:  $R_m = 215,33 + 30,23 (p^2P^{-1})$ , Silva et al. (1997);
- Piraju-SP:  $R_m = 72,549 (p^2P^{-1})^{0,849}$ , Roque et al. (2001);
- Juquiá-SP:  $R_m = 207,21 + 40,65 (p^2P^{-1})$ , Silva et al. (2009);
- Teodoro Sampaio-SP:  $R_m = 106,82 + 46,96 (p^2P^{-1})$ , Colodro et al. (2002);
- Santa Bárbara-MG:  $R_m = 170,59 (p^2P^{-1})^{0,64}$ , Silva et al. (2010);
- Barra do Piraí-RJ:  $R_m = 50,36 + 24,53 (p^2P^{-1})$ , Gonçalves et al. (2006);
- Oeste do Paraná-PR:  $R_m = 182,86 + 56,21 (p^2P^{-1})$ , Rufino et al. (1993);
- Campos Novos-SC:  $R_m = 59,265 (p^2P^{-1})^{1,087}$ , Bertol (1994);
- Santa Rosa-RS:  $R_m = 59,265 (p^2P^{-1})^{1,087}$ , Mazurana et al. (2009);
- Caruaru-PE:  $R_m = 61,81 (p^2P^{-1})$ , Cantalice et al. (2009);
- Petrolina-PE:  $R_m = 73,34 + 23,18 (p^2P^{-1})$ , Cantalice et al. (2009).

Após o cálculo de valores de  $\xi$  para os nove reservatórios do Estado do Ceará e em seguida para os 32 reservatórios brasileiros, obteve-se o coeficiente de variação (CV) para cada caso.

Finalmente, a Equação (17) foi utilizada para avaliar a redução anual do volume dos reservatórios selecionados em função do assoreamento, ao longo

de um período de 100 anos. Para o cálculo da erosividade, considerou-se que as séries de precipitação observadas poderiam ser reproduzidas ao longo do período de análise.

$$V_{i+1} = V_i \left( 1 - \frac{\xi R_{m,i+1}}{\rho} \right) \quad (17)$$

#### 4.2.2 Método Simplificado

Este método consiste em uma simplificação da metodologia de Lima Neto et al. (2011). Neste caso, propõe-se um novo parâmetro  $R'_m$  (em vez da erosividade  $R$ ) para incorporar o efeito da variabilidade das precipitações em cada local:

$$R'_m = (p)^x (P)^y \quad (18)$$

Sendo  $x$  e  $y$  coeficientes a serem ajustados. Além disso, assume-se que a variação de  $\rho$  (massa específica aparente seca do sedimento) entre os diferentes reservatórios é pequena (inferior a 15%), sendo esse parâmetro eliminado da Equação (15). Dessa forma, o parâmetro  $\xi$  passa a ser substituído por  $\phi$ :

$$\phi = \frac{\Delta V}{V_o \sum R'_m} \quad (19)$$

Os coeficientes  $x$  e  $y$  foram ajustados de forma a se minimizar os valores de CV obtidos através do cálculo de  $\phi$ .

Logo, após a obtenção de  $\phi$  para os nove reservatórios do Estado do Ceará e em seguida para os 32 reservatórios brasileiros, pode-se usar a Equação (20) para análise da evolução do volume de reservatórios, considerando-se novamente que as séries de precipitação observadas poderiam ser reproduzidas ao longo do período de análise (100 anos).

$$V_{i+1} = V_i \left( 1 - \phi R'_{m,i+1} \right) \quad (20)$$

#### 4.2.3 Correlações Gerais

A terceira e última metodologia proposta no presente estudo consiste na obtenção de correlações gerais para o volume assoreado ( $V_a$ ) em função dos seguintes parâmetros: capacidade inicial do reservatório ( $V_o$ ), erosividade da chuva ( $R$ ), comprimento do rio principal ( $L$ ) e declividade do rio principal ( $S$ ). Note que essa metodologia consiste em uma simplificação do método de Araújo (2003), que considera todos os parâmetros da equação universal de perda de solo (USLE), além da taxa de transporte difuso (SDR) e da fração de retenção de sedimento no reservatório ( $\eta$ ). Assim, o volume assoreado por ser descrito pelas seguintes equações gerais:

$$V_a = \alpha \theta^\beta \quad (21)$$

$$\theta = (V_o)^a (\sum R)^b (L)^c (S)^d \quad (22)$$

Sendo os valores de  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  ajustados de forma a se maximizar os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos através de curvas  $V_a \times \theta$ . Após o ajuste dos parâmetros supracitados, pode-se usar a Equação (23) para análise da evolução do volume de reservatórios ao longo do período de 100 anos:

$$V_{i+1} = V_i - V_a \quad (23)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Taxas de assoreamento

A Figura 5 mostra uma síntese das taxas de assoreamento obtidas para os reservatórios listados na Tabela 1. Observa-se que os reservatórios brasileiros localizados nas regiões CO, NE, S e SE apresentam em geral taxas de assoreamento inferiores à média mundial reportada por Morris et al. (2008), que é de aproximadamente 10% da capacidade inicial ( $V_o$ ) por década. Nota-se que os reservatórios do Estado do Ceará são os que apresentam menores taxas de assoreamento em comparação com os demais da região NE (e demais regiões, em geral), provavelmente devido a algumas causas: os valores baixos de precipitação pluviométrica verificados, pois grande parte do território cearense está situado na região semi-árida, consequentemente, o escoamento superficial é de pequeno volume e à elevada quantidade de açudes de montante que retêm grande parte do volume de sedimento que noutrora chegaria aos açudes de jusante, corroborando os resultados de Lima Neto et al. (2011). Percebe-se ainda uma tendência de decaimento das taxas de assoreamento com  $V_o$ , conforme discutido por Carvalho et al. (2000b).

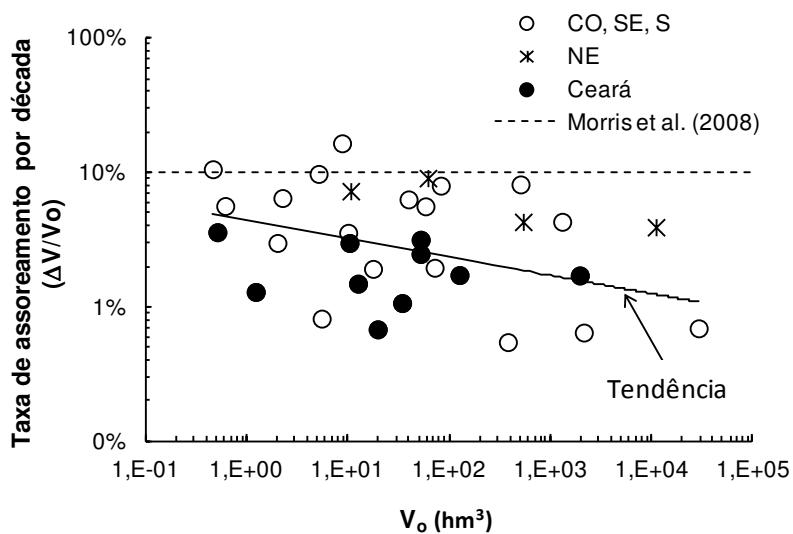
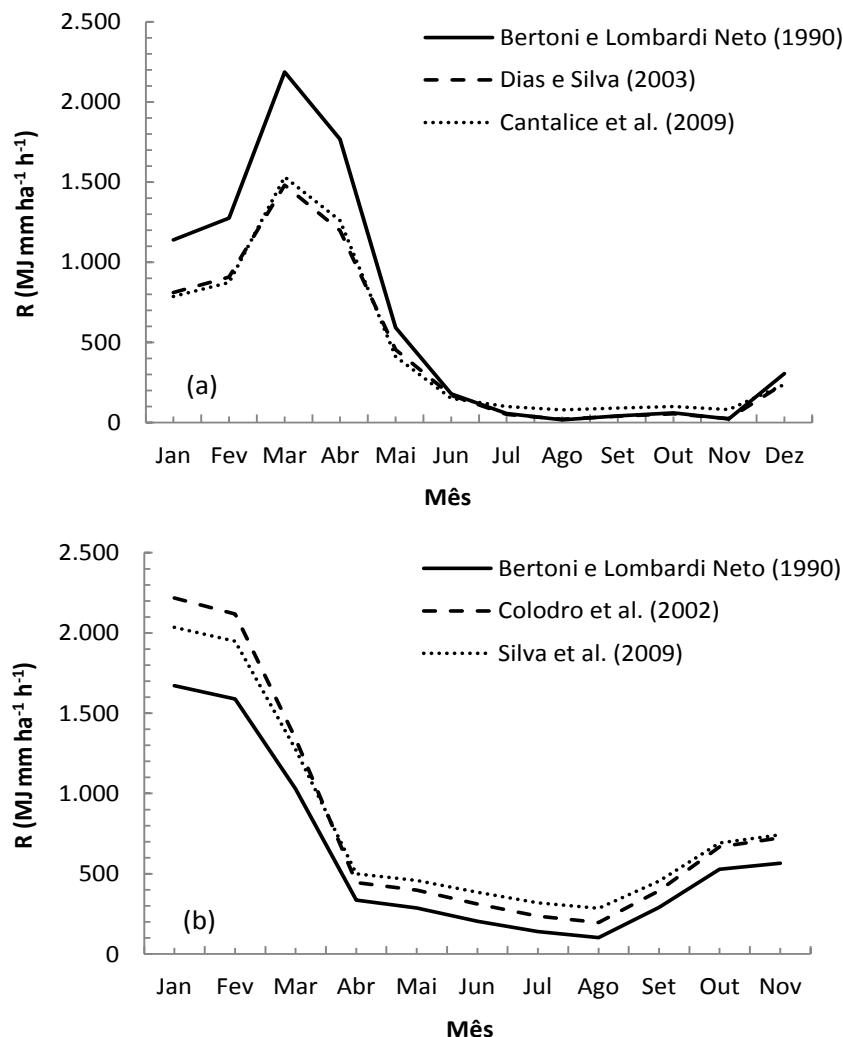


Fig. 14 – Síntese das taxas de assoreamento observadas em reservatórios de diferentes regiões do Brasil. A linha sólida indica uma tendência geral de decaimento da taxa com a capacidade inicial dos reservatórios, enquanto a linha tracejada indica uma taxa média mundial reportada por Morris et al. (2008).

## 5.2 Erosividades

As Figuras 15(a) e 15(b) mostram como exemplo valores médios mensais de erosividade ( $R$ ) obtidos utilizando diferentes equações para dois postos pluviométricos adotados na presente pesquisa, Iguatu-CE e São Paulo-SP, respectivamente. A Figura 15(a) sugere dois fatos: no período de janeiro a março ocorre o pico máximo na produção de sedimento e que praticamente esta produção cessa (valor de  $R$  próximo de zero) durante o período de julho a novembro (período seco) na bacia de contribuição referente ao posto de Iguatu-CE. Pode-se notar também que a equação de Bertoni e Lombardi Neto (1990) tende a fornecer valores de  $R$  superiores aos das demais equações obtidas especificamente para a região Nordeste do Brasil. Por outro lado, a Figura 15(b) mostra um valor mínimo de  $R$  superior a  $100 \text{ MJ.mm.h}^{-1}$ , o que indica que mesmo para períodos de baixas pluviosidades (mês de agosto), espera-se a ocorrência de transporte de sedimento na bacia referente ao posto de São Paulo-SP. Também são observadas diferenças nos valores de  $R$  calculados com as diferentes equações.



**Fig. 15 – Valores médios mensais de erosividade (R) obtidos utilizando diferentes equações para dois postos pluviométricos adotados na presente pesquisa: (a) Iguatu-CE e (b) São Paulo-SP.**

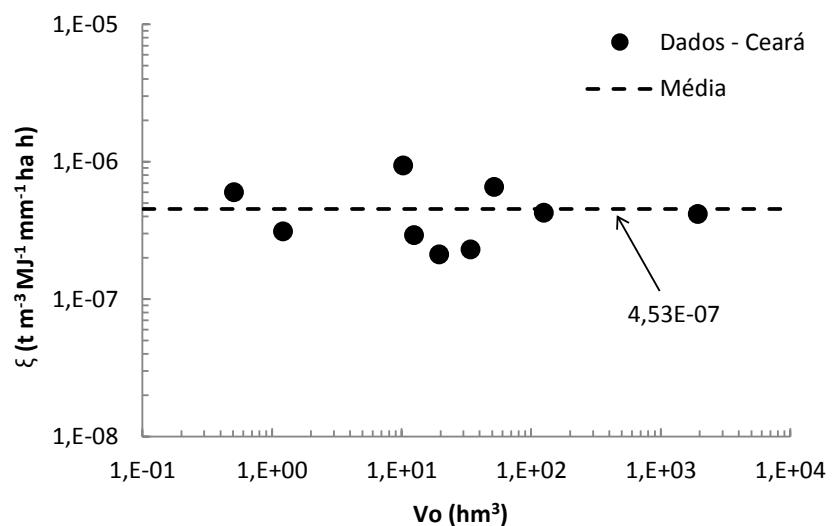
### 5.3 Metodologias para estimativa do assoreamento

#### 5.3.1 Metodologia de Lima Neto et al. (2011) para os reservatórios do Estado do Ceará

As taxas de retenção de sedimento ( $\xi$ ) obtidas para os reservatórios do Estado do Ceará utilizando a equação de Dias e Silva (2003) são mostradas na Figura 16. Obteve-se um coeficiente de variação  $CV = 52,62\%$  e um valor

médio  $\xi = 4,53 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha.h}$ . Resultados semelhantes foram obtidos para as outras duas equações adotadas para o Estado do Ceará: CV = 51,04% e  $\xi = 3,36 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha.h}$ , para a equação de Bertoni e Lombardi Neto (1990); e CV = 52,12% e  $\xi = 4,15 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha.h}$ , para a equação de Cantalice et al. (2009). É importante destacar que esses valores foram próximos ao valor de  $\xi = 3,65 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha.h}$  sugerido por Lima Neto et al. (2011). Portanto, tal valor será adotado como referência para estimativa do assoreamento de reservatórios localizados no Estado do Ceará, através da Equação (24):

$$V_{i+1} = V_i \left( 1 - \frac{3,65 \times 10^{-7} R_{m,i+1}}{\rho} \right) \quad (24)$$



**Fig. 16 – Taxas de retenção de sedimento ( $\xi$ ) obtidas para os reservatórios do Estado do Ceará.**

### 5.3.2 Método Simplificado para os reservatórios do Estado do Ceará

A Figura 17 mostra os valores de  $\phi_1$  obtidos a partir de nova equação em função das precipitações mensal (p) e anual (P) para os reservatórios do Estado do Ceará, mantendo-se apenas os reservatórios típicos localizados em zona rural, isto é, eliminando-se os reservatórios Santo Anastácio (localizado na zona urbana de Fortaleza-CE) e o reservatório Benguê (localizado em bacia

preservada no município de Aiuaba-CE). Assim, ajustando os valores de  $x$  e  $y$  para 1,5 e -3,0, respectivamente, obteve-se um coeficiente de variação mínimo de  $CV = 15,25\%$  e um valor médio de  $\phi_1 = 9,39 \times 10 \text{ mm}^{3/2}$ . Consistentemente, devido ao aporte de sedimento relativamente baixo, o reservatório localizado em bacia preservada (Benguê) apresentou valor de  $\phi_1$  inferior à média, enquanto o reservatório localizado em bacia urbana (Santo Anastácio) apresentou valor de  $\phi_1$  superior à média, haja vista a contribuição não apenas de sedimentos de origem mineral, mas também de esgotos e resíduos sólidos urbanos, conforme descrito em Araújo (2003). Portanto, adotando os valores supracitados de  $x$ ,  $y$  e  $\phi_1$ , a Equação (25) é proposta para estimativa do assoreamento de reservatórios do Estado do Ceará:

$$V_{i+1} = V_i (1 - 9,39 \times 10 R'_{m,i+1}) ; \text{ sendo } R'_m = (P)^{1,5} (P)^{-3,0} \quad (25)$$

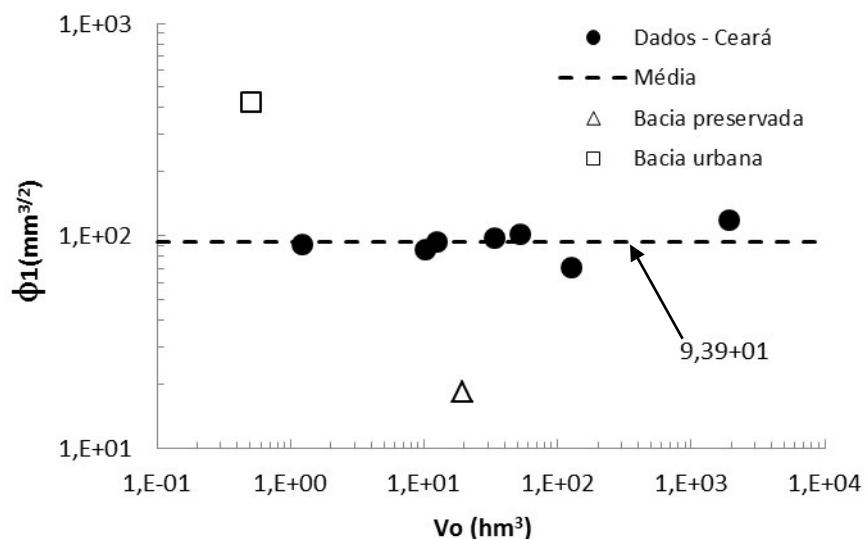
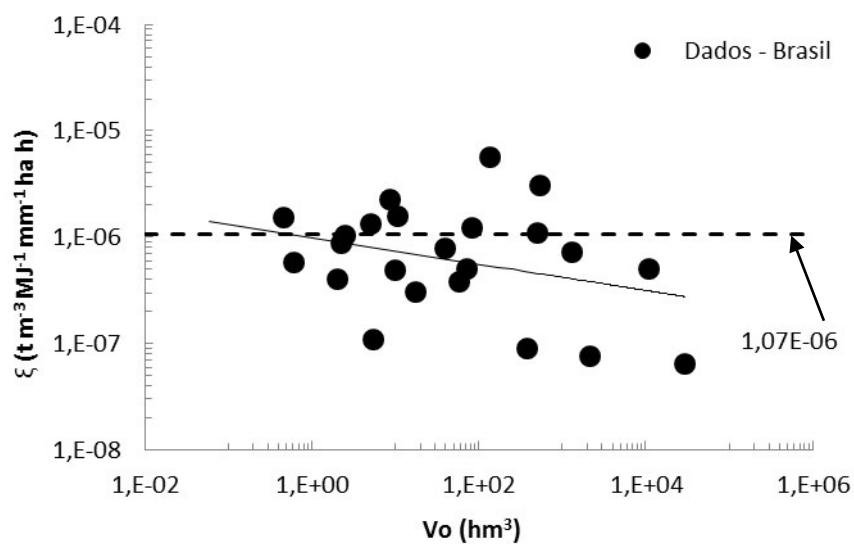


Fig. 17 – Valores de  $\phi_1$  obtidos para os reservatórios do Estado do Ceará.

5.3.3 Metodologia de Lima Neto et al. (2011) para os reservatórios brasileiros

As taxas de retenção de sedimento ( $\xi$ ) obtidas para os reservatórios do Brasil utilizando as equações de cada local são mostradas na Figura 18. Obteve-se um coeficiente de variação  $CV = 114,76\%$  e um valor médio  $\xi = 1,07 \times 10^{-6} \text{ t.m}^{-3}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ha.h}$ , sendo este superior aproximadamente o triplo do valor adotado para o Estado do Ceará ( $\xi = 3,65 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ha.h}$ ). Isto confirma que os reservatórios do Estado do Ceará apresentam em geral menores taxas de assoreamento que os reservatórios localizados nas demais regiões do Brasil. Nota-se ainda uma tendência de decaimento de  $\xi$  em função do volume dos reservatórios, diferentemente da tendência observada para os reservatórios do Ceará (aproximadamente constante). A Equação (26) é proposta para estimativa do assoreamento de reservatórios brasileiros:

$$V_{i+1} = V_i \left( 1 - \frac{1,07 \times 10^{-6} R_{m,i+1}}{\rho} \right) \quad (26)$$

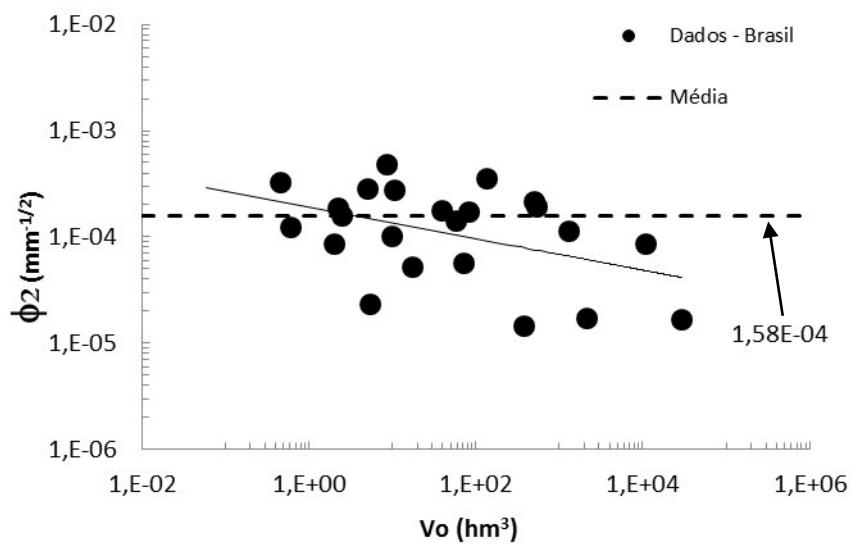


**Fig. 18 – Taxas de retenção de sedimento ( $\xi$ ) obtidas para os reservatórios do Brasil.**

### 5.3.4 Método Simplificado para os reservatórios brasileiros

Os valores de  $\phi_2$  obtidos para os reservatórios do Brasil são mostrados na Figura 19. Assim, ajustando os valores de  $x$  e  $y$  para 1,0 e -0,5, respectivamente, obteve-se um coeficiente de variação mínimo de  $CV = 76,08\%$  e um valor médio de  $\phi_2 = 1,58 \times 10^{-4} \text{ mm}^{-1/2}$ . Percebe-se novamente uma tendência de decaimento de  $\phi_2$  em função do volume dos reservatórios, diferentemente da tendência observada para o Ceará (aproximadamente constante). Logo, considerando os valores supracitados de  $x$ ,  $y$  e  $\phi_2$ , a Equação (27) é proposta para estimativa do assoreamento de reservatórios brasileiros:

$$V_{i+1} = V_i (1 - 1,58 \times 10^{-4} R'_{m,i+1}); \text{ sendo } R'_m = (p)^{1,0} (P)^{-0,5} \quad (27)$$



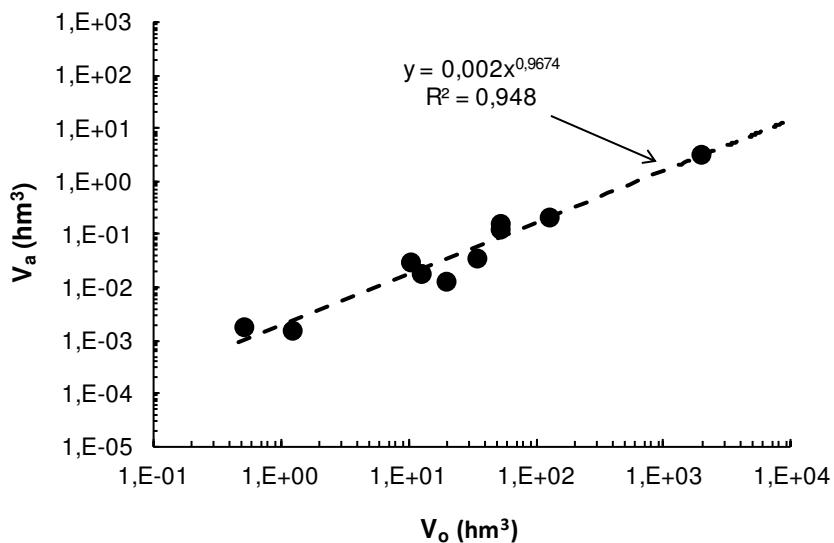
**Fig. 19 – Valores de  $\phi_2$  obtidos para os reservatórios do Brasil.**

### 5.3.5 Correlações Gerais

Por fim, a última metodologia proposta no presente estudo consiste na obtenção de correlações gerais para o volume assoreado ( $V_a$ ) em função dos seguintes parâmetros: capacidade inicial do reservatório ( $V_o$ ), erosividade da chuva ( $R$ ), comprimento do rio principal ( $L$ ) e declividade do rio principal ( $S$ ).

O melhor ajuste para os reservatórios do Ceará ( $R^2 = 0,9422$ ) resultou nos seguintes valores para os parâmetros:  $a = 0,995$ ;  $b = 0,058$ ;  $c = 0,023$ ;  $d = 0,082$ ;  $\alpha = 2,0 \times 10^{-3}$ ; e  $\beta = 0,962$ . Isto sugere que o fator mais importante no cálculo do assoreamento é  $V_o$ . Assim, ajustou-se uma nova correlação em função apenas de  $V_o$  (isto é, considerando-se  $a = 1,0$ ;  $b = 0$ ;  $c = 0$ ; e  $d = 0$ ), obtendo-se um ótimo ajuste ( $R^2 = 0,948$ ) para valores de  $\alpha = 2,0 \times 10^{-3}$  e  $\beta = 0,9674$ . A Figura 20 mostra o ajuste da Equação (28) (Correlação Geral) aos dados de campo.

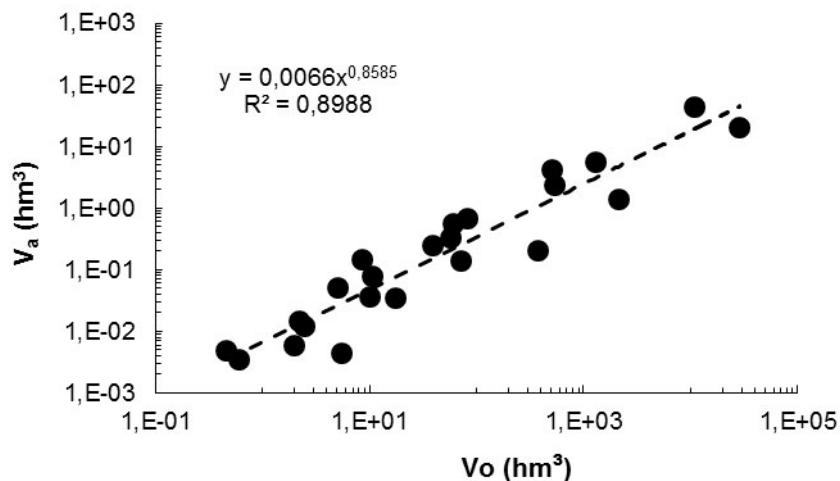
$$V_{i+1} = V_i - 2,0 \times 10^{-3}(V_i)^{0,9674} \quad (28)$$



**Fig. 20 – Correlação geral obtida para os reservatórios do Ceará.**

O melhor ajuste para os reservatórios do Brasil ( $R^2 = 0,899$ ) resultou nos seguintes valores para os parâmetros:  $a = 0,996$ ;  $b = 0,007$ ;  $c = 0,092$ ;  $d = 0,087$ ;  $\alpha = 7,1 \times 10^{-3}$ ; e  $\beta = 0,859$ . Isto indica que, conforme esperado, o assoreamento é diretamente proporcional aos parâmetros supracitados sendo, porém, o efeito de  $a$  (expoente de  $V_o$ ) dominante em relação aos demais. Portanto, ajustou-se uma nova correlação em função de  $V_o$  (isto é, considerando-se  $a = 1,0$ ;  $b = 0$ ;  $c = 0$ ; e  $d = 0$ ), obtendo-se um bom ajuste ( $R^2 = 0,8988$ ) para valores de  $\alpha = 6,6 \times 10^{-3}$  e  $\beta = 0,8585$ . A Figura 21 mostra o ajuste da Equação (29) (Correlação Geral) aos dados de campo.

$$V_{i+1} = V_i - 6,6 \times 10^{-3} (V_i)^{0,8585} \quad (29)$$

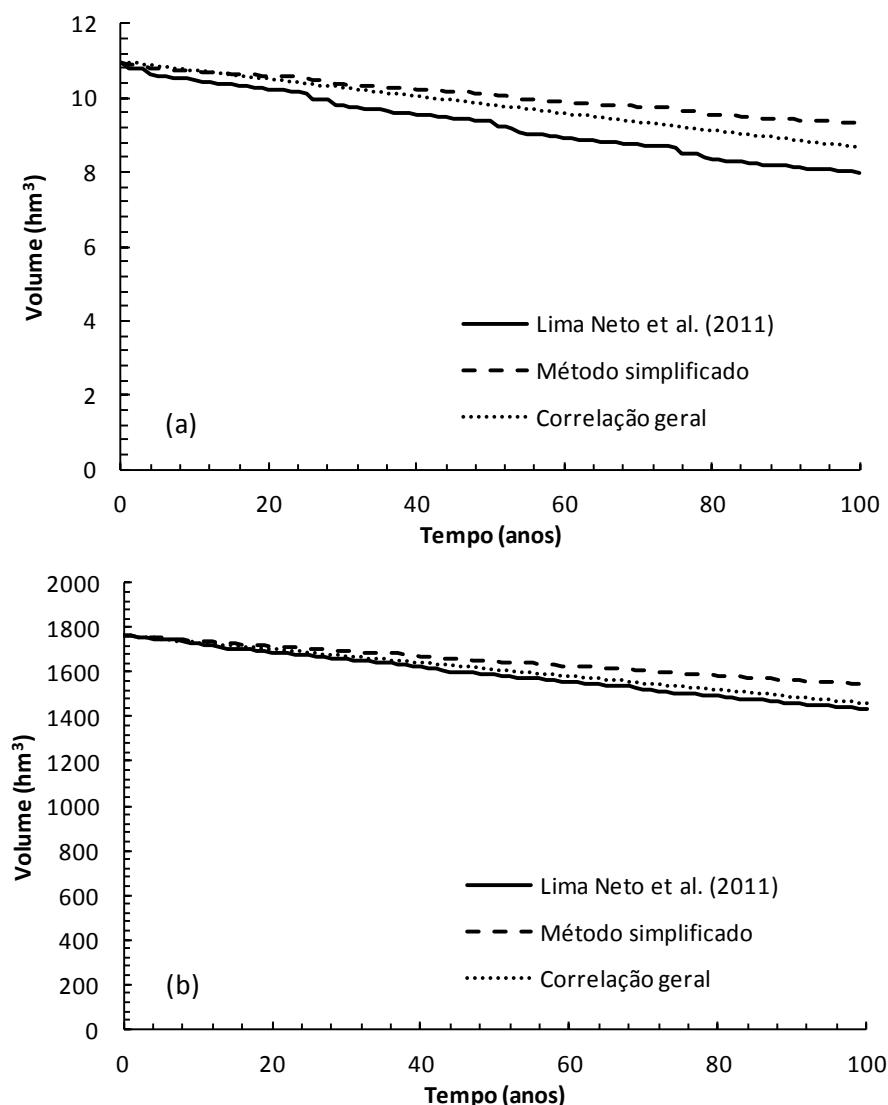


**Fig. 21 – Correlação geral obtida para os reservatórios do Brasil.**

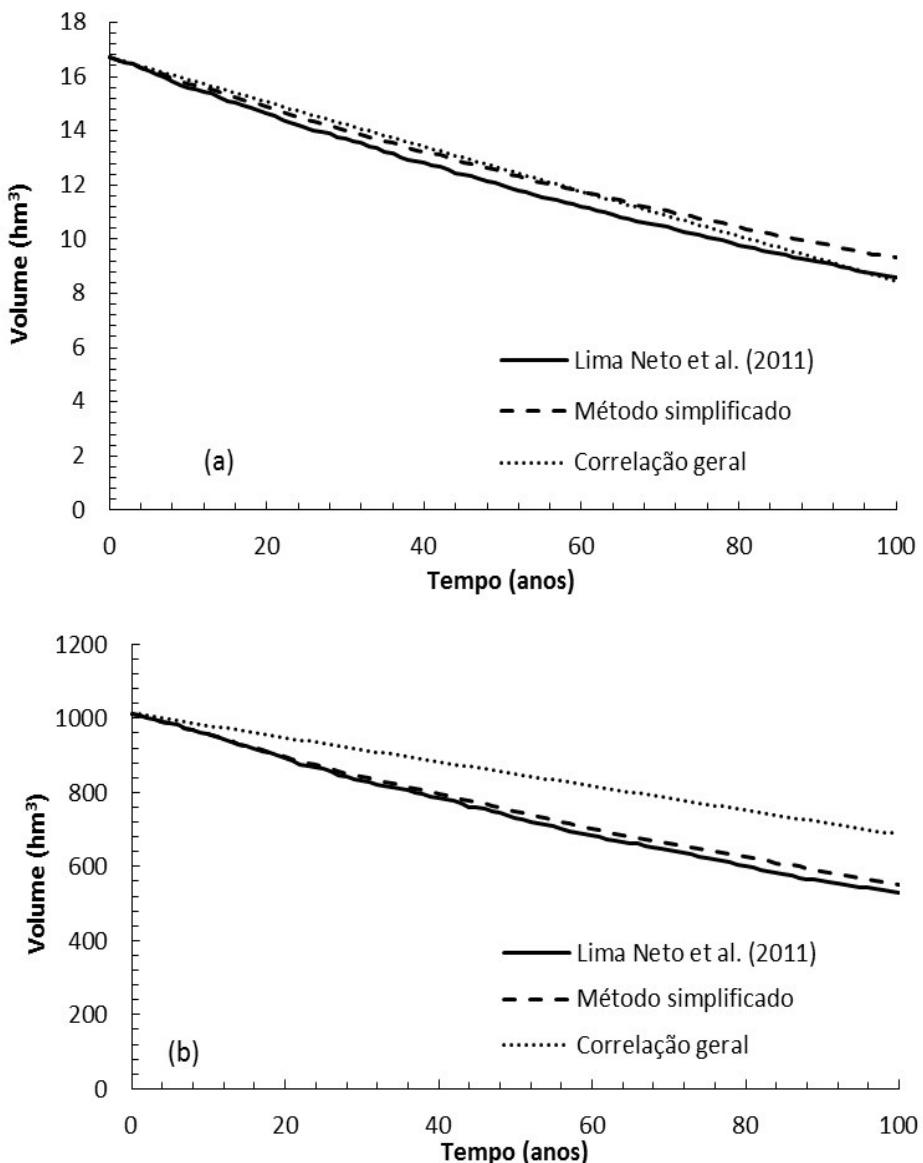
### 5.3.6 Simulação de cenários de redução da capacidade de reservatórios

A Figura 22 mostra simulações para um período de 100 anos da redução da capacidade de reservatórios localizados no Estado do Ceará (Várzea da Volta e Orós) utilizando a Metodologia de Lima Neto et al. (2011) [Equação (24)], o Método Simplificado [Equação (25)] e a Correlação Geral [Equação (28)]. Consistentemente, o Método Simplificado forneceu taxas de assoreamento inferiores à Correlação Geral, que por sua vez forneceu taxas inferiores à Metodologia de Lima Neto et al. (2011) para ambos os casos [Figuras 19(a) e 19(b)]. Por outro lado, a Figura 23 mostra simulações para reservatórios localizados no Estado de São Paulo (Barra Bonita e Billings) utilizando a Metodologia de Lima Neto et al. (2011) [Equação (26)], o Método Simplificado [Equação (27)] e a Correlação Geral [Equação (29)]. Ambos apresentaram resultados divergentes, no caso de Barra Bonita [Figuras 23(a)] a Metodologia de Lima Neto et al. (2011) forneceu taxas de assoreamento inferiores à Correlação Geral, que por sua vez forneceu taxas inferiores ao Método Simplificado. No caso de Billings a Metodologia de Lima Neto et al. (2011) forneceu taxas de assoreamento inferiores ao Método Simplificado, que por sua vez forneceu taxas inferiores ao Correlação Geral. Em geral, as

diferenças observadas entre as diferentes metodologias foram inferiores a 30%, o que sugere que qualquer um dos métodos supracitados pode ser utilizado para estimar o assoreamento de reservatórios, pelo menos em nível de planejamento. No entanto, vale ressaltar que a Metodologia de Lima Neto et al. (2011) e o Método Simplificado trazem informações sobre as distribuições de chuva (erosividade) nas bacias de contribuição, e devem ser utilizados preferencialmente. Esses dois métodos podem inclusive ser utilizados para prever o impacto de mudanças climáticas no assoreamento de reservatórios. Todavia, na ausência de dados mais detalhados, a Correlação Geral pode ser utilizada.

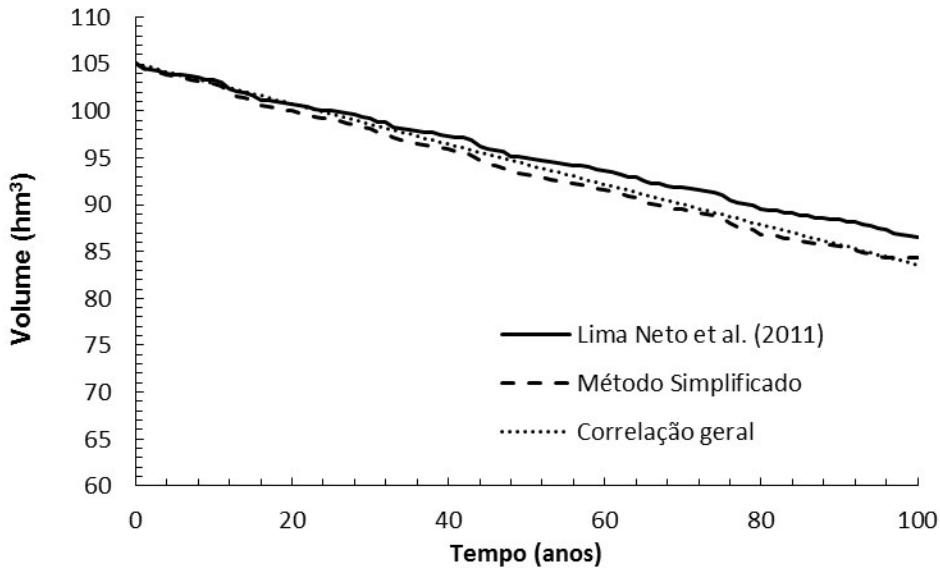


**Figura 22 – Simulação da redução da capacidade de reservatórios do Estado do Ceará em função do assoreamento, considerando diferentes metodologias: (a) Reservatório Várzea da Volta e (b) Reservatório Orós.**



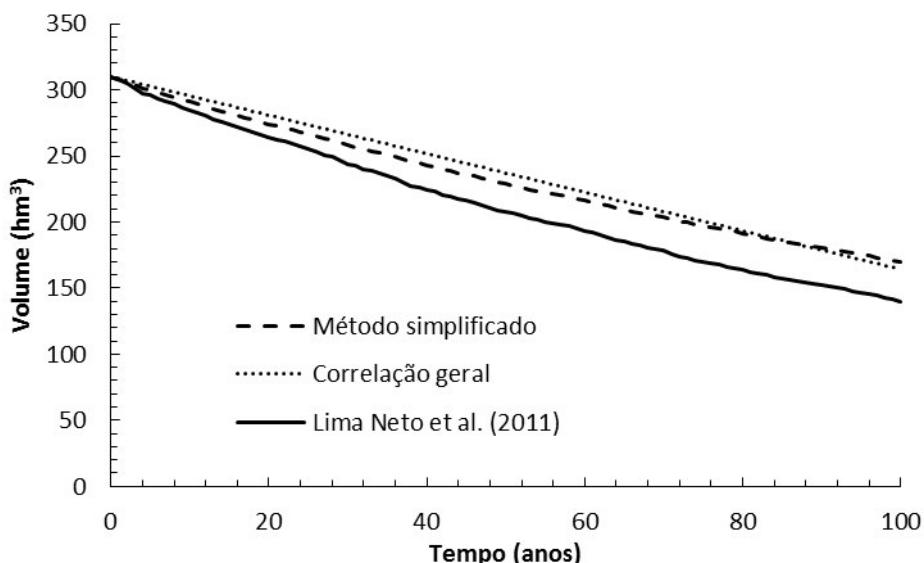
**Figura 23 – Simulação da redução da capacidade de reservatórios do Estado de São Paulo em função do assoreamento, considerando diferentes metodologias: (a) Reservatório Barra Bonita e (b) Reservatório Billings.**

A Figura 24 mostra uma simulação para o Reservatório Cedro-CE utilizando a Metodologia de Lima Neto et al. (2011) [Equação (24)], o Método Simplificado [Equação (25)] e a Correlação Geral [Equação (28)]. Nota-se que os três métodos forneceram taxas de assoreamento bastante semelhantes.



**Figura 24 – Simulação da redução da capacidade de reservatórios em função do assoreamento, considerando diferentes metodologias: Reservatório Cedro-CE.**

A Figura 25 mostra uma simulação para o Reservatório Cachoeira Dourada-GO utilizando a Metodologia de Lima Neto et al. (2011) [Equação (26)], o Método Simplificado [Equação (27)] e a Correlação Geral [Equação (29)]. Neste caso, o Método Simplificado forneceu taxas de assoreamento superiores à Correlação Geral e a Metodologia de Lima Neto et al. (2011).

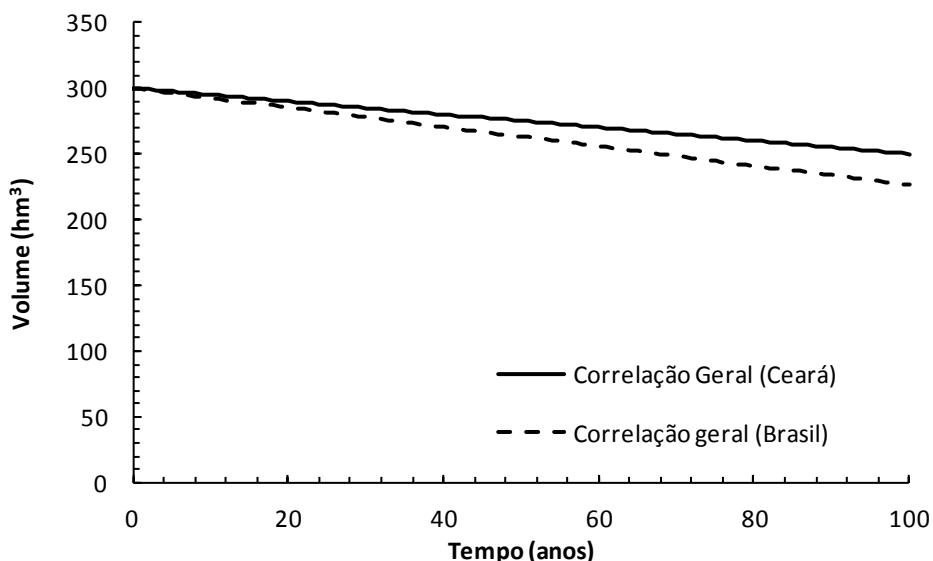


**Figura 25 – Simulação da redução da capacidade de reservatórios em função do assoreamento, considerando diferentes metodologias: Reservatório Cachoeira Dourada-GO.**

Nos anexos encontram-se como exemplo os resultados de outras simulações realizadas acerca da redução dos volumes de 12 reservatórios do

Brasil, dentre eles: Açude Epitácio Pessoa (PB), Santa Bárbara (RS), Reservatório Funil (RJ), Reservatório dos Mottas (SP), Couto Magalhães (MT), Pirapama(PE, Vargem das Flores (MG), São Mateus (CE), Canabrava (CE), Acarape do Meio (CE), Várzea do Boi (CE) e Poço da Pedra(CE).

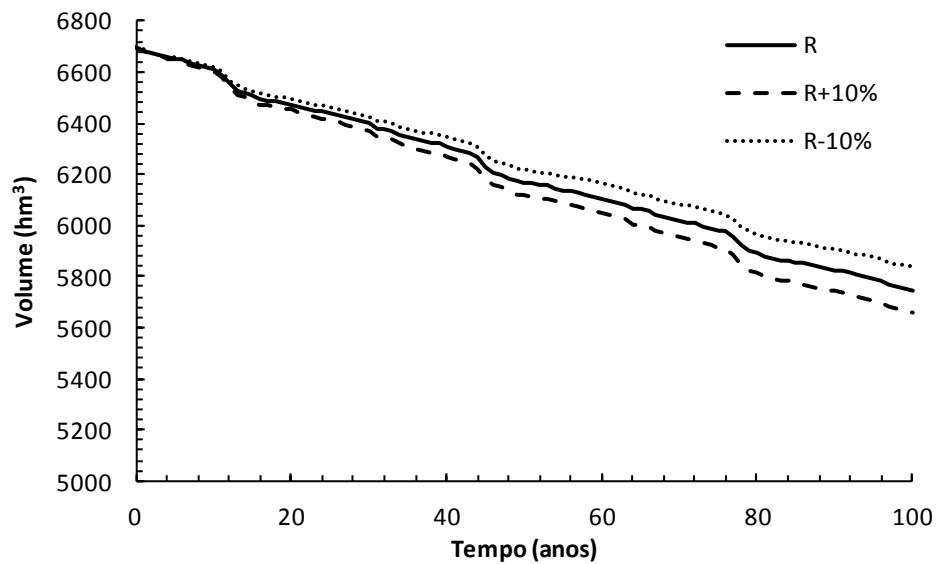
Simulações da evolução do assoreamento em um reservatório hipotético ( $V_0 = 300 \text{ hm}^3$ ) considerando as correlações gerais para o Estado do Ceará [Equação (28)] e o Brasil [Equação (29)] são mostradas na Figura 26. Percebe-se claramente que a primeira correlação fornece maiores volumes do reservatório ao final do período de simulação (100 anos), indicando novamente que o Estado do Ceará apresenta menores taxas de assoreamento que os reservatórios do Brasil.



**Figura 26 – Simulações da redução da capacidade de um reservatório hipotético considerando as correlações gerais.**

Por fim, a Figura 27 mostra simulações para o Reservatório Castanhão-CE utilizando a Metodologia de Lima Neto et al. (2011), e considerando diferentes cenários para a erosividade da chuva R (valor atualmente observado, valor acrescido de 10%, e valor reduzido em 10%), em função de eventuais mudanças climáticas para a região. Essas simulações ilustram como a metodologia pode ser utilizada para prever tal impacto. Observa-se que o

efeito de variações de  $\pm 10\%$  no valor de R causam impactos da ordem de  $\pm 2\%$  no volume final.



**Figura 27 – Simulações da redução da capacidade do Reservatório Castanhão-CE utilizando a Metodologia de Lima Neto et al. (2011), e considerando diferentes cenários para a erosividade R, em função de eventuais mudanças climáticas.**

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma síntese das taxas de assoreamento observadas para reservatórios localizados em diferentes regiões do Brasil. Verificou-se que os reservatórios brasileiros apresentam taxas de assoreamento inferiores à média mundial de 10% do volume inicial por década. Observou-se ainda que os reservatórios localizados no Estado do Ceará possuem taxas de assoreamento em geral inferiores à média nacional, provavelmente devido às densas redes de reservatórios existentes nas bacias de contribuição. Verificou-se também uma tendência geral de decaimento das taxas de assoreamento com o volume inicial dos reservatórios, corroborando resultados disponíveis na literatura.

Como principal contribuição desta dissertação, foram propostos três métodos expeditos para estimativa do assoreamento de reservatórios do Estado do Ceará e do Brasil em geral, os quais foram baseados em correlações empíricas obtidas a partir do ajuste de diferentes parâmetros a dados de campo. Tais métodos são mais simples que as metodologias existentes, e dependem basicamente da pluviometria nas bacias de contribuição e do volume inicial dos reservatórios.

Dentre as metodologias propostas, a primeira utilizou três equações de erosividade para obter a taxa de retenção de sedimento  $\xi$  para os reservatórios do Estado do Ceará. Aplicando a equação de Dias e Silva (2003), obteve-se um coeficiente de variação  $CV = 52,62\%$  e o valor médio para a taxa de retenção de sedimento  $\xi = 4,53 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ha.h}$ . Através da equação de Bertoni e Lombardi Neto (1990), obteve-se  $CV = 51,04\%$  e  $\xi = 3,36 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ha.h}$ . Finalmente, obteve-se  $CV = 52,12\%$  e  $\xi = 4,15 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ha.h}$  a partir da equação de Cantalice et al. (2009). Verificou-se que esses resultados aproximam-se ao valor médio  $\xi = 3,65 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ha.h}$ . ( $CV = 49,30\%$ ), sugerido por Lima Neto et al. (2011). Portanto, tal valor foi utilizado como referência para estimativa do assoreamento de reservatórios do Ceará.

Para os reservatórios do Brasil (incluindo outros estados da Federação) foram aplicadas equações de erosividade específicas para cada local, obtendo-se  $CV = 114,77\%$  e um valor médio para  $\xi = 9,73 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ha.h}$ , sendo este superior ao adotado para o Estado do Ceará ( $\xi = 3,65 \times 10^{-7} \text{ t.m}^{-3}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}.\text{ha.h}$ ). Observou-se ainda uma tendência de decaimento de  $\xi$  em função do volume dos reservatórios, diferentemente da tendência observada para os reservatórios do Ceará (aproximadamente constante).

No Método Simplificado foram ajustadas novas equações em função das precipitações mensal ( $p$ ) e anual ( $P$ ), obtendo-se um valor mínimo de  $CV = 15,25\%$  e um valor médio de  $\phi = 9,39 \times 10 \text{ mm}^{3/2}$  para os reservatórios do Estado do Ceará. Na aplicação desta metodologia para os reservatórios do Brasil, obteve-se um coeficiente de variação mínimo de  $CV = 77,66\%$  e um valor médio de  $\phi = 1,48 \times 10^{-4} \text{ mm}^{-1/2}$ . Verificou-se novamente uma tendência de decaimento de  $\phi_2$  em função do volume dos reservatórios, diferentemente da tendência observada para  $\phi_1$  com relação aos reservatórios do Ceará (aproximadamente constante).

Na terceira metodologia, foi desenvolvida uma Correlação Geral em função apenas do volume inicial dos reservatórios ( $V_0$ ), uma vez que os demais parâmetros envolvidos (erosividade, comprimento e declividade do rio) se demonstraram de importância secundária no cálculo do assoreamento. Para o Ceará obteve-se um ótimo ajuste ( $R^2 = 0,948$ ) para os coeficientes da equação:  $\alpha = 2,0 \times 10^{-3}$  e  $\beta = 0,9674$ . Para o Brasil, também obteve-se um bom ajuste ( $R^2 = 0,8988$ ) para valores de  $\alpha = 6,6 \times 10^{-3}$  e  $\beta = 0,8585$ .

Em síntese, as diferenças observadas entre as diferentes metodologias para estimativa do assoreamento de reservatórios foram inferiores a 30%, o que sugere que qualquer um dos três métodos propostos pode ser utilizado para se prever o assoreamento, principalmente em nível de planejamento. Os métodos baseados em informações de pluviometria podem inclusive ser utilizados para prever o impacto de mudanças climáticas no assoreamento de reservatórios, como ilustrado para o reservatório Castanhão-CE. Entretanto, cabe salientar que apesar da praticidade/simplicidade das equações propostas, medições de campo e/ou modelos mais sofisticados continuam sendo

necessários para se avaliar se avaliar detalhadamente como a distribuição de sedimentos ocorre dentro dos reservatórios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERS, P., WHITE, W.R. (1973) Sediment transport: new approach and analysis, *Journal of Hydrologic Engineering Div.-ASCE*, 99, 2041-2060.
- AGUIAR, M. I.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. (2006). Perdas de solo, água e nutrientes em diferentes sistemas agroflorestais no Brasil, Sobral-Ceará. *Revista Ciência Agronômica* 37(3), 270–278.
- ALBERTIN, L. L.; MATOS, A. J. S.; MAUAD, F.F. (2010). Cálculo do Volume e Deposição de Sedimentos do Reservatório de Três Irmãos – SP, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 15 (4), 57-67.
- ALMEIDA, G. B. de. (2001). Modelagem da retenção de sedimentos em reservatórios do semi-árido. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2001.
- ALMEIDA, C.O.S.; AMORIN, R.S.S.; COUTO, E.G.; ELTZ, F.L.F.; BORGES, L.E.C. (2011a). Erosivepotential of rainfall in Cuiabá, MT: distribution and correlation with rainfall. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15, 178–184. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000200011>.
- ALMEIDA, C.O.S.; AMORIN, R.S.S.; ELTZ, F.L.F.; COUTO, E.G.; JORDANI, S.A. (2011b). Erosividade em quatro municípios do estado de Mato Grosso e suas correlações com dados pluviométricos. Proc. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, 1–4.
- ALMEIDA, C.O.S.; AMORIN, R.S.S.; ELTZ, F.L.F.; COUTO, E.G.; PELISSARI, A.L. (2011c). Correlação do índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) com o coeficiente de chuvas em Cáceres (MT) e Rondonópolis (MT). Proc. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, 1–4.

ARAÚJO, J. C. (2003). Assoreamento em Reservatórios do Semi-árido: Modelagem e Validação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 8(2), 39-56.

ARAÚJO, J. C., FERNANDES, L., MACHADO JÚNIOR, J. C., LIMA OLIVEIRA, M. R., CUNHA SOUSA, T. (2003). Sedimentation of reservoirs in semiarid Brazil. In: T. Gaiser, M.S. Krol, H. Frischkorn, J.C.D. Araújo (Eds.): Global change and regional impacts: Water availability and vulnerability of ecosystems and society in the semi-arid Northeast of Brazil. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 205-216.

ARAÚJO, J. C., GÜNTNER, A., BRONSTERT, A. (2006). Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. Hydrological Sciences Journal, 51(1), 157-170.

ARAÚJO JÚNIOR, R. J. (2009). A evolução temporal dos níveis Tróficos do açude Epitácio Pessoa, semi-árido paraibano. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual da Paraíba.

ARNOLD, J.G., WILLIAMS, J.R., GRIGGS, A.D.; SAMMONS, N.B. (1990). SWRRB: A basin scale simulation model for soil and water resources management. Texas A&M Univ. Press, College Station, USA.

ASHIDA, K., MICHIE, M. (1973) Studies on bed load transport rate in alluvial streams. Trans. Japan Society of Civil Engineers, 4.

AQUINO, D. N.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S. & CRISÓSTOMO, L. A. (2008). O impacto da irrigação nas reservas de água no solo. Revista Ciência Agronômica, 39(2), 225–232.

BARBOSA, C.; BARBOSA, E.; CANDEIAS, A. L. B. (2000). Algumas considerações sobre o Reservatório de Itaparica utilizando análise

multitemporal. V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Presidente Prudente - SP, 24-27 de julho de 2000, p.1119-1122.

BATHURST, J.C., WICKS, J. M., O'CONNELL, P.E. (1995). The SHE/SHESED basin scale water flow and sediment transport modelling system. In: Computer models of Watershed Hydrology (ed. by V.P. Singh), 563-594. Water Resources Publications. Highlands Ranch. Colorado, USA.

BAZZANO, M.G.P., ELTZ, F.L.F., CASSOL, E.A. (2007). Erosivity, rainfall coefficient and patterns and return period in Quarai, RS, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo 31, 1205–1217.

BEASLEY, D.B., HUGGINS, L. F., MONKE, E. J. (1981). ANSWERS: a model for Watershed Planning. Transactions of the ASAE, 23 (4), 938-944.

BERTOL, I. (1994). Evaluation for rain erosivity for Campos Novos (SC) during the 1981–1990 period. Pesquisa Agropecuária Brasileira 29, 1453–1458.

BERTOL, I., SCHICK, J., BATISTELA, O., LEITE, D., VISENTIN, D., COGO, N.P. (2002). Rain erosivity and its distribution between 1989 and 1998 in the district of Lages, state of Santa Catarina, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo 26, 455–464.

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F (1990). Conservação do solo. São Paulo. 2<sup>a</sup> ed. Ed. Ícone: São Paulo

BRASIL, Agência Nacional de Águas (ANA). Banco de dados HidroWeb. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1040&TipoReg=4&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=false>>. Web site acessado no período de 7 a 13 de outubro de 2013.

BRONSTERT, A., BATALLA, R.J., ARAÚJO, J.C. DE, FRANCKE, T., GÜNTNER, A., MAMEDE, G., MÜLLER, E. N. (2007). Investigating erosion and sediment transport from headwaters to catchments to reduce reservoir siltation in drylands. In: Reducing the vulnerability of societies to water related risks at the basin scale (ed. A. Schumann e M. Pahlow), 119-122. IAHS-Publ. 317, IAHS Press, Wallingford, UK.

BROOKS, K. N., FFOLLIOTT, P. F., GREGERSEN, H. M., THAMES, J. L. (1991). Hydrology and the Management of Watersheds. Iowa State University. 1 ed., 392p.

CABRAL, J. B. P.; BECEGATO, V. A.; FERNANDES, L. A.; FIORI, A. P.; SCOPEL, I. (2006). Avaliação do Estado de Assoreamento do Reservatório de Cachoeira Dourada (GO/MG). Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, 21(1), 99-116.

CAMPOS, R. (2001). Three Dimensional reservoir sedimentation model, University of Newcastle, England, 6-10.

CANAMARY, B. C. (2013). Gestão de Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas com alta variabilidade de deflúvios superficiais: análise comparativa entre o Ceará no Nordeste do Brasil e o Leste da Austrália. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará.

CANTALICE, J.R.; BEZERRA, S.A.; FIGUEIRA, S.B.; INÁCIO, E.S.; SILVA, M.D., (2009). Isoerodents of Pernambuco state – Brazil: 1 St.Approximation. Caatinga 22, 75–80.

CARVALHO, D.F., MONTEBELLER, C. A., FRANCO, E.M., VALCARCEL, R., BERTOL, I., (2005). Rainfall patterns and erosion indices at Seropedica and Nova Friburgo, Rio de Janeiro — Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 9, 7–14. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000100001>.

CARVALHO, M.P.E.; LOMBARDI, N. F.; VASQUES, F. J.; CATÂNEO, A., (1991). Correlação entre o índice de erosividade  $EI_{30}$  médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Mococa, SP. Científica — Revista de Agronomia 19,1–7.

CARVALHO, N. O. (2008). Hidrossedimentologia prática. Editora Interciênciа. Rio de Janeiro, RJ. 599p.

CARVALHO, N. O., GUILHON, L. G.; TRINDADE, P. A. (2000a). Assoreamento de um Pequeno Reservatório – Itiquira, um Estudo de Caso. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 5(1), 69-79.

CARVALHO, N. O., JÚNIOR, N. P. F., SANTOS, P. M. C., LIMA, J. E. F. W. (2000b). Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. ANEEL, Brasília-DF.

CASSOL, E.A., MARTINS, D., ELTZ, F.L.F., LIMA, V.S., BUENO, A.C., (2007). Erosivity and hydrological patterns of Ijuí (RS, Brazil) rainfalls in the period of 1963 to 1993. Revista Brasileira de Agrometeorologia 15, 220–231.

CEARÁ, Secretaria de Recursos Hídricos (SRH). Banco de Dados dos Postos Pluviométricos do Estado do Ceará. Disponível em <<http://atlas.srh.ce.gov.br/gestao/postos-pluviometricos/index.php>>. Acessado no período de 18 a 20 de julho de 2013.

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (2010). Relatórios de levantamento batimétrico. Fortaleza, Ceará.

COLODRO, G., CARVALHO, M.P., ROQUE, C.G., PRADO, R.M. (2002). Rainfall erosivity: its distribution and relationship with the non-recording rain gauge precipitation at Teodoro Sampaio, São Paulo, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo 26, 809–818.

DE PAIVA, E. M. C. D. (2001a). Métodos de Estimativa da Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas. In: Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Org. por De PAIVA, J.B.D.; De PAIVA, E.M.C.D., Porto Alegre: ABRH, 365-394.

DE PAIVA, E. M. C. D. (2001b). Métodos de Cálculo do transporte de Sedimentos em Rios. In: Hidrologia Aplicada à gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Org. por DE PAIVA, J. B. D.; DE PAIVA, E. M. C. D., Porto Alegre: ABRH, 313-364.

DE ROO, A.P.J; OFFERMANS, R.J.E; CREMERS, N.H.D.T. LISEM: a single event physically-based hydrologic and soil erosion model for drainage basins: Sensitivity analysis validation and application. *Hydrological Processes*, v.10, n.8, p.1119-1126, 1996b.

DIAS, A. S., SILVA, J. R. C. (2003). Rainfall erosivity in Fortaleza, Ceará State, Brazil: I-distribution, probability of occurrence and return period – 1<sup>st</sup> approximation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 335-345.

DIAS, A. S., SILVA, J. R. C. (2003). Rainfall erosivity in Fortaleza, Ceará State, Brazil: II-correlation with the rainfall coefficient and updating of factor R for the years 1962 to 2000. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 347-354.

DI LUZIO, M., SRINIVAZAN, R., ARNOLD, J.G., NEITSCH, S.L. ArcView interface for SWAT2000: User's guide. 2002. 345p.

DILL, P. R. J. (2002). Assoreamento do Reservatório do Vacacaí-Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria.

EILERS, V. H. (2003). Erosão do solo e qualidade da água: o conceito de tolerância e qualidade da água. EMBRAPA. Relatório Parcial de Atividades do Projeto Vinculado ao Programa Capes-Prodoc USP-PPGSEA.

ELTZ, F.L.F., CASSOL, E.A., PASCOTINI, P.B.(2011). Erosivity potential and characteristics of rainfalls at Encruzihada do Sul, RS. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 15, 331–337.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000400001>.

ENERCOUTO (2013). Estudo de Impacto Ambiental (EIA): Avaliação do Assoreamento do reservatório de Couto Magalhães. Disponível em: <<http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreleticas/CoutoMagalhaes/EIA/Textos/VOL.II>>. Co. Acesso em 25 de setembro de 2013.

EVANGELISTA, A.W.P., CARVALHO, L.G., DANTAS, A.A.A., BERNADINO, D.T. (2006). Rainfall erosive potential in Lavras, Minas Gerais state, Brazil: distribution, occurrence probability and return period. Irriga 11, 1–11.

FARIAS, T. R. L. (2008). Produção de sedimentos em bacias hidrográficas sob diferentes contextos geoambientais: medida e modelagem. Departamento de Engenharia Ambiental e Hidráulica, Universidade Federal do Ceará.

FIGUEIRA, R. C. L.; LABUTO, G.; OLIVEIRA, A. M. S.; SEMENSATTO, D.; SILVA, C. (2011). Estudo do Assoreamento do Reservatório de Tanque Grande- SP, UNESP, São Paulo, Geociências, 30 (2), 254-255.

FLANAGAN, D. C., LIVINGSTON, S. J. (1995). WEPP User Sumary. USDA. Disponível em: //<http://topsoil.nserl.purdue.br/nserlweb/wepmain>. Acessado no dia 23 de janeiro de 2008.

FONSECA, J. M. (2011). Assoreamento em Reservatórios estudo de caso da Represa Ribeirão do Torto no Distrito Federal. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 7-11.

FRANCKE, T.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A.; MAMEDE, G.L.; MÜLLER, E.N. (2008). Automated catena-based discretization of landscapes for the derivation of hydrological modelling units. International Journal of Geographic Information Science, 22(2), 111-132.

GARCIA, G. E., GONÇALVES, J. E. (2011). Implementação de Modelo Numérico para Avaliação do Transporte de Sedimentos no Reservatório de Itaipu-PR. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 16 (3), 49-57.

GREEN, W.H., AMPT, G.A. (1911) Studies on soil physics: 1. Flow of water and air through soils. Journal of Agricultural Science, 4, 1-24.

GONÇALVES, F.A., SILVA, D.D., PRUSKI, F.F., CARVALHO, D.F., CRUZ, E.S., (2006). Indices and spatialization of rainfall erosivity in Rio de Janeiro State, Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 10, 269–276. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000200003>.

GUIMARAES, C. L. (2007). Geotecnologia na determinação do assoreamento do açude Cachoeira dos Alves, Itaporanga-PB: um desenvolvimento metodológico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande.

GUIMARÃES, C. L., RIBEIRO, G. N.; VIEIRA, L. J. S. (2009). Levantamento batimétrico do açude Paraíso São Francisco- PB. Revista Verde, 4 (1), 6-7.

GUIMARÃES, J. A. (2010). Avaliação da influência do transporte de sedimentos na vida útil de usinas hidrelétricas. Tese de doutorado. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.

GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2004). Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modeling in semi-arid areas. Journal of Hydrology 297, 136-161.

- HAN, Q., HE, M. (1990) A mathematical model for reservoir sedimentation and fluvial processes. *International Journal of Sediment Research*, 5, 43–84.
- HAN, Q.W. (1980) A study on the non-equilibrium transportation of suspended load. *Proceedings of the International Symposium on River Sedimentation*, 2 (Beijing China), 793-802.
- HAAN, C.T., BARFIELD, B.J., HAYES, J.C. (1994) Design hydrology and sedimentology for small catchments. Academic Press, ISBN 0-12-312340-2.
- HICKMANN, C., ELTZ, F.L.F., CASSOL, E.A., COGO, C.M., (2008). Rainfall erosivity in Uruguiana, Rio Grande do Sul, Brazil from 1963 to 1991 determined by the  $El_{30}$  index. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 825–831. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200035>.
- KHANBILVARDI, R. M., ROGOWSKI, A. A. (1984). Quantitative evaluation of sediment delivery ratios. *Water Resources Bulletin*, 20 (6), 865-874.
- KLIK, A., JESTER, W., RAUTER, C. (2005). Sediment transport in a small agricultural watershed-evaluation of WEPP simulations with measured data. (Proc. VII Symposium of IAHS) 127-135. *Sediment budgets 2*. IAHS Publication 292, Foz do Iguaçu, Brazil.
- KORB, C. C. (2006). Identificação de Depósitos Tecnogênicos no Reservatório Santa Bárbara, Pelotas (RS). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- KRYSANOV, F., WECHSUNG, J., ARNOLD, R., SRINIVASAN, J., WILLIAMS, J. (2000) SWIM (Soil and Water Integrated Model). User Manual, PIK Report Nr. 69, 239 pp.

ICOLD, International Commission on Large Dams. (1989). Sedimentation control of reservoirs/Maîtrise de l'alluvionnement des retenues. Committee on Sedimentation of Reservoirs. Paris.

IRTCES (1985) Lecture notes of the training course on reservoir sedimentation. International Research of Training Center on Erosion and Sedimentation, Sediment Research Laboratory of Tsinghua University, Beijing, China.

LAGROTTI, C. A. A. (2000). Planejamento agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim, SP: Estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego do Jardim. Tese Doutorado. UNICAMP.

LEONARD, R. A.; KNISEL, W. G.; STILL, D. A. (1987). GLEAMS: Groundwater loading effects of agricultural management systems. Trans. ASAE 30(5): 1403-1417.

LIMA, Y. C. P. (2010). Análise do assoreamento de um pequeno reservatório estudo de caso: Açude Boqueirão, Aiuba, Ceará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. <http://ateneulondrina.com.br/wp-content/uploads/2011/02/aula-Clima.pdf>.

LIMA NETO, I. E., WIEGAND, M. C., ARAÚJO, J. C. (2011). Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semi-arid Brazilian basin. Hydrological Sciences Journal, 56, 319-333.

LOMBARDI NETO, F., MOLDENHAUER, W.C. (1992). Rainfall erosivity — its distribution and relationship with soil loss at Campinas, state of São Paulo, Brazil. Bragantia 51, 189–196. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051992000200008>.

LOPES, V.L. (1987). A numerical model of watershed erosion and sediment yield. Tucson. phD. Dissertation, University of Arizona, USA.

LOPES, V.L. CHDM: Catchment Hidrology Distributed Model. In: WARD, T. J. (Ed.). *Watershed Management Planning for the 21st Century: Proceedings of the Symposium held in San Antonio, Texas, August 14-16, 1995.* [San Antonio]: American Society of Civil Engineers, 1995, p. 144-153.

LOPES, W. T. A. (2003). Efeitos de Escala na Modelagem Hidrosedimentológica na Região Semi-Árida da Paraíba. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande.

MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; CRUCIANI, D. E. (2003). Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 8 (1), 147-153.

MACHADO, R.L., CARVALHO, D.F., COSTA, J.R., OLIVEIRA NETO, D.H., PINTO, M.F. (2008). Analysis of rainfall erosivity associated to pluvial precipitation patterns in the Ribeirão das Lajes region, Rio de Janeiro state, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 2113–2123. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500031>.

MAIA, A. G., VILELA, S. W. (2010). Análise Qualitativa do Assoreamento do Reservatório de Promissão (SP). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 15 (1), 39-46.

MALVEIRA, V. T. C., ARAÚJO, J. C., GUENTNER, A. (2012). Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. *J. Hydrol Eng*, 17, 109-117.

MAMEDE, G. L. (2008). Reservoir Sedimentation in Dryland Catchments: Modelling and Management. PhD dissertation. University of Potsdam, Germany.

MAMEDE, G.L., ARAÚJO, J.C. DE, MEDEIROS, P.H.A., BRONSTERT, A. (2008) Modelo hidrossedimentológico WASA-SED: aplicação para o semi-árido brasileiro. VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Campo Grande, MS.

MARQUES, J.J.G.S.M., ALVARENGA, R.C., CURI, N., SANTANA, D.P., SILVA, M.L.N. (1997). Rainfall erosivity indices, soil losses and erodibility factor for two soils from the cerrado region — first approximation. Revista Brasileira de Ciência do Solo 21, 427–434.

MARTINS, R. F. (2008). Avaliação da presença de metais e de biomarcadores fecais em sedimentos do rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba-PR. Universidade Federal do Paraná.

MARTINS, S.G., AVANZI, J.C., SILVA, M.L.N., CURI, N., NORTON, L.D., FONSECA, S. (2010). Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the coastal plain of Espírito Santo, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo 34, 999–1004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300042>.

MAZURANA, J., CASSOL, E.A., SANTOS, L.C., ELTZ, F.L.F., BUENO, A.C. (2009). Erosivity, hydrological patterns and return period of erosive rainfalls at Santa Rosa, RS — Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 13, 975–983. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000700016>.

MEDEIROS, P. H. A., DE ARAÚJO, J. C., BRONSTERT, A. (2009). Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semiarid region. Revista Ciência Agronômica 40(2), 165–174.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G.; CUNHA R. B.; GOMES, S. T. (2008). Avaliação da descarga sólida do leito em rio de montanha com uso do

amostrador BLH-84. In: VII ENCONTRONACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, Campo Grande, Anais.

Monteith, J.L. (1965) Evaporation and environment. Symp. Soc. Exp. Biology, 19, 205-234.

MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, C.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.S.; BOEL, E.; DURIGON, V. (1991). Índice  $EI_{30}$  e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste do Mato Grosso. Revista Brasileira de Ciência do Solo 15, 339–344.

MORGAN, R. P. C., QUINTON, J. N., SMITH, R. E., GOVERS, G., POESEN, J. W. A., AUERSWALD, K., CHISCI, G., TORRI, D., STYCZEN, M. E. (1998). The European soil erosion model (EUROSEM): a process-based approach for predicting soil loss from fields and small catchments. Earth Surface Processes and Landforms, Sussex, 23, 527-544.

MORRIS, G. L.; FAN, J. (1997). Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. New York: McGraw-Hill, 1997. 848p.

MORRIS, G. L., ANNANDALE, G., HOTCHKISS, R. (2008). Reservoir Sedimentation, Chapter 12, In Sedimentation engineering: processes, measurements, modeling, and practice, García MH (ed.), ASCE Manual of Practice 110, American Society of Civil Engineers (ASCE): Reston, Va.

MULLER, E. N.; GÜNTNER, A.; Francke, T.; Mamede, G. (2008). Modelling water availability, sediment export and reservoir sedimentation in drylands with the WASA-SED Model. Geoscientific Model Development Discussions, 1(1), 285-314.

NAVAS, A.; VALERO-GARCES, B.; GASPAR, L.; MACHIN, J. (2009). Reconstructing the history of sediment accumulation in the Yesa reservoir:

an approach for management of mountain reservoirs. *Lake and Reservoir Management*, 25: 1, 15-27. 2009.

NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R. (2005) Soil and water assessment tool– Theoretical Documentation. Version 2005, USDA-ARS, Texas.

NETO, L. M.; VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S. (2007). Instrumentação avançada em ciência do solo. Embrapa Instrumentação Agrícola. São Carlos, São Paulo, 291-311.

NEVES, F. F. (2010). Avaliação da influência de sedimentos em suspensão em populações de *Corbicula fluminea* (MÜLLER, 1774) (Mollusca, Bivalvia, Corbiculidae): análise comparativa em duas microbacias hidrográficas do Estado de São Paulo, Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OGURA, A. T.; GOUVEIA, M. I. F.; RIDENTE JR., J.L.; CANIL, K.; ALMEIDA FILHO, G. S. de. (1997). A dinâmica dos processos de erosão e assoreamento e a gestão dos recursos hídricos. In: XII SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS. Anais... Vitoria, 1997. 6 p.

OLIMPIO, J. A. (2004). A agricultura comercial e suas consequências sobre o ambiente nos municípios de Palmeira do Piauí e Currais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Piauí.

OLIVEIRA JR., R.C., MEDINA, B.F. (1990). A erosividade das chuvas em Manaus (AM). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 14, 235–239.

OLIVEIRA JR., R.C.; RODRIGUES, T.E.; MELO, A.S. (1992). A erosividade das chuvas nos municípios de Bragança e Marabá no Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Série Ciências da Terra*, 4, 45–57.

PENMAN, H.L. (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings Royal Society London, A 193, pp. 120-145.

PEREIRA, J. C. D. (2010). Aplicação do Modelo Hidrosedimentológico AVSWAT na bacia hidrográfica do Ribeirão da Cachoeirinha - MG. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá.

PROAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (2013). Assoreamento degradado Represa Billings. Disponível em: <http://www.proam.org.br/noticias.asp?ID=35>. Acesso em: 25/09/2013.

RESTREPO, J. D., KJERFVE, B., HERMELIN, M., RESTREPO, J. C. (2006). Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. Journal of Hydrology, 316, 213–232.

ROQUE, C.G., CARVALHO, M.P., PRADO, R. M. (2001). Rainfall erosivity factor at Piraju (SP), Brazil: distribution, probability of occurrence, return period and correlation with rainfall coefficient. Revista Brasileira de Ciência do Solo 25, 147–156.

RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H. (1993). Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná através da pluviometria: terceira aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo 17, 439–444.

SANTOS, S. P. (2009). Nova batimetria, morfometria e diagnóstico de áreas de assoreamento em um reservatório tropical periurbano (Vargem das Flores - Minas Gerais, Brasil). Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios, Belo Horizonte.

SAUNITI, R. M.; FERNANDES, L. A; BITTENCOURT, A. V. L. (2004). Estudo do Assoreamento do Reservatório da Barragem do Rio Passaúna - Curitiba – PR . Boletim Paranaense de Geociências, 54, 65-82.

SCHWALM, H. (2008). Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: estudo de caso da barragem do Rio São Bento, Siderópolis, Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Universidade do Extremo Sul Catarinense.

SHUTTLEWORTH, W.J., Wallace, J.S. (1985). Evaporation from sparse crops - an energy combination theory. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 111, 839-855.

SILVA, R. B., IORI, P., ARRESTO, C., BENDINI, H. N. (2010). Assessing rainfall erosivity with artificial neural networks for the Ribeira Valley, Brazil. International Journal of Agronomy. <http://dx.doi.org/10.1155/2010/365249>.

SILVA, R. B., IORI, P., SILVA, F. A. M. (2009). Proposition and compare of equations to estimate the rainfall erosivity in two cities of São Paulo state. Irriga 14, 533–547.

SILVA, F. G. B.; MINOTI, R. T.; ANGELOTTI-NETTO, A.; REIS, J. A. T.; CRESTANA, S. (2004). Determinação da perda de solo em uma sub-bacia hidrográfica rural da região de São Carlos-SP, a partir de modelo hidrosedimentológico. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE 7. São Luís. Anais.

SILVA, A.M., SILVA, M.L.N., CURI, N., AVANZI, J.C., FERREIRA, M.M. (2009). Rainfall erosivity and erodibility of Cambisol (Inceptisol) and Latosol (Oxisol) in the region of Lavras, Southern Minas Gerais state, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo 33, 1811–1820. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600028>.

SILVA, F. G. B. ; PIOLTINE,V ; MINOTI, R. T. ; CRESTANA, S. ; DUPAS,F. Estimativa preliminar de perda de solo com o uso do modelo AVSWAT para bacias da região de Luis Antônio- S.P.. in: VII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 2006, PORTO ALEGRE.

SILVA, M.A., SILVA, M.L.N., CURI, N., SANTOS, G.R., MARQUES, J.J.G.S.M., MENEZES, M.D., LEITE, F.P. (2010). Evaluation and spatialization of rainfall

erosivity in the Rio Doce Valley, central-eastern region of Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34, 1029–1039. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400003>.

SILVA, R. M. (2005). Previsão hidrossedimentológica numa bacia periurbana através do acoplamento de modelos climáticos e hidrológicos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba.

SIMÕES, S.J.C.; BERNARDES, G. P.; NUNES, C. M. F.; MARCH, T.C. (2007). Variabilidade Espacial do Potencial de Erosão e seus Efeitos no processo de Sedimentação de um Pequeno Reservatório – A Bacia dos Mottas, Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 12 (3), 177-187.

SIMÕES, S.J.C., COIADO; E.M. (2001). Métodos de Estimativa da Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas, In: *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Org. por DE PAIVA, J.B.D.; DE PAIVA, E.M.C.D., Porto Alegre: ABRH, 365-394.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SIGRH) (2001). Banco de Dados de 2013. Disponível em <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Web site acessado no período de 23 a 30 de setembro de 2013.

SMITH, R. E.; GOODRICH, D. C.; QUINTON, J. N. Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: the KINEROS2 and EUROSEM models. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankey, v.50, n. 5, p. 517-520, 1995.

SOARES, F. A. (2003). Assoreamento de uma Bacia Urbana: estudo de caso do Açude Santo Anastácio, CE. Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. 2003.

- SOUSA, G. (2007). MODFIPE – Um modelo físico distribuído de base física para simulação do escoamento e erosão do solo. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. Porto Alegre, nov. 2006, Anais.
- SOUZA, C. F.; DORNELLES, A. M.; ACIOLE, L. A.; MERTEN, G. (2007). Comparação dentre estimativas de produção de sedimentos na bacia do rio Potiribu. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. Nov. 2006, Anais.
- TEIXEIRA, F. J.; ALBERTIN, L. L.; LOUREIRO, D. D. T.; MAIA, J.L; MAUAD, F.F. (2007). Previsão da vida útil do Reservatório de Barra Bonita utilizando digitalização de mapas e comparação batimétrica. Revista Minerva, 4(1), 1-10.
- VANONI, V. A. (1977). Sedimentation engineering: manuals and reports on engineering practice. 54. New York: ASCE, 745 p.
- VERSTRAETEN, G.; POESEN, J. (2001). Factors controlling sediment yield from small intensively cultivated catchments in a temperate humid climate. Geomorphology 40, 123–144.
- WIEGAND, M. C. (2009). Proposta Metodológica para a estimativa da produção de sedimentos em grandes bacias hidrográficas: estudo de caso Alto Jaguaribe, CE. Universidade Federal do Ceará.
- WILLIAMS, J. R. (1975): Sediment-yield prediction with universal soil equation using runoff energy factor. In: Present and prospective technology for predicting for sediment yield and sources: Proceedings of the sediment-yield workshop. USDA Sedimentation Lab., Oxford, MS, November 28-30, 1972, ARS-S-40, 244-252.

WILLIAMS, J. R. (1985). The physical components of the EPIC model. In: ELSWAIFY, S. A; MOLDENHAUER, W.C.; LO, A. (ed.). Soil Erosion and Conservation. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 272-284.

WILLIAMS, J.R., ARNOLD, J.G. (1997) A system of erosion – sediment yield models. *Soil Technology*, 11(1), 43-55.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. USDA, Agriculture Handbook 537, Washington.

WU, W., RODI, W., WENKA, T. (2000) 3-D numerical modeling of flow and sediment transport in open channels. *Journal of Hydrologic Engineering*, 126, 4-15.

YOUNG, R. A.; ONSTAD, C. A.; BOSH, D.D., Anderson, W.P. (1989). AGNPS: a nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watershed. *Journal of Soil in Water Conservation*, 44 (2), 168-173.

## ANEXOS

### ANEXO A – TABELA DE CÁLCULO DA REDUÇÃO DE VOLUME DE RESERVATÓRIOS PARA O PERÍODO DE 100 ANOS

METODOLOGIAS APLICADAS: Método Simplificado  $\phi$ , Metodologia de Lima Neto et al. (2011) e Correlação Geral (BR):

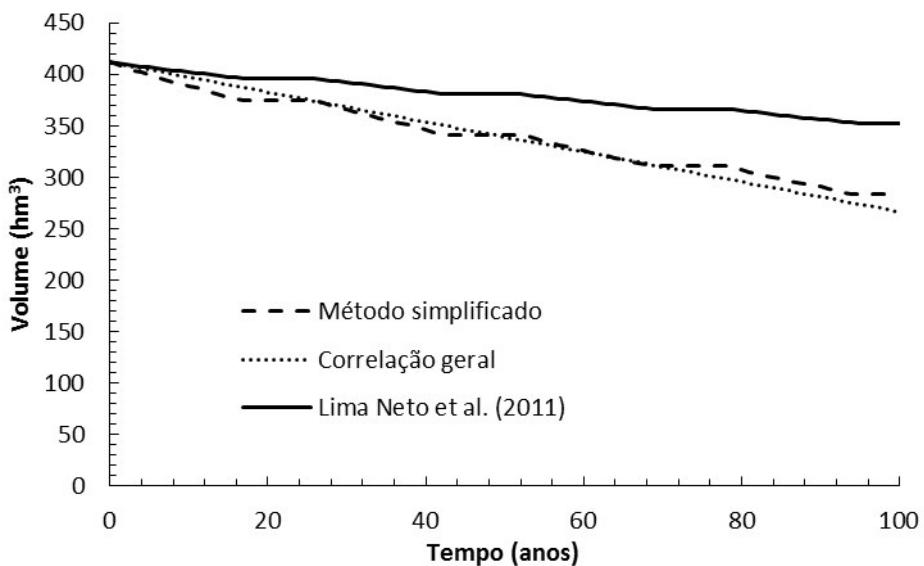
#### A.1 Epitácio Pessoa-PB

ano	Epitácio Pessoa	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)	Vo:	536,40hm <sup>3</sup>
0	R'	411,67		411,67	411,67	Ass./ano:	1,535hm <sup>3</sup> /ano
1	38	409,18	3118,0	410,61	410,22		
2	48	406,11	3843,0	409,31	408,76		
3	37	403,76	2841,0	408,36	407,31		
4	33	401,65	2494,9	407,52	405,85		
5	38	399,25	3125,2	406,47	404,40		
6	31	397,27	2417,3	405,66	402,94		
7	44	394,49	3548,1	404,48	401,49		
8	34	392,38	2674,6	403,59	400,03		
9	31	390,49	2416,7	402,78	398,58		
10	37	388,23	2986,2	401,79	397,12		
11	29	386,48	2295,3	401,04	395,67		
12	31	384,59	2408,7	400,24	394,21		
13	43	381,97	3553,4	399,07	392,76		
14	34	379,90	2642,3	398,20	391,30		
15	42	377,40	3315,0	397,12	389,85		
16	24	375,96	2012,6	396,46	388,39		
17	19	374,86	1399,0	396,00	386,94		
18	0	374,86	0,0	396,00	385,48		
19	0	374,86	0,0	396,00	384,03		
20	0	374,86	0,0	396,00	382,57		
21	0	374,86	0,0	396,00	381,12		
22	0	374,86	0,0	396,00	379,66		
23	0	374,86	0,0	396,00	378,21		
24	0	374,86	0,0	396,00	376,75		
25	0	374,86	0,0	396,00	375,30		
26	0	374,86	0,0	396,00	373,84		
27	38	372,59	3118,0	394,98	372,39		
28	48	369,79	3843,0	393,74	370,93		
29	37	367,65	2841,0	392,81	369,48		
30	33	365,74	2494,9	392,01	368,03		
31	38	363,55	3125,2	391,00	366,57		
32	31	361,74	2417,3	390,22	365,12		
33	44	359,21	3548,1	389,08	363,66		
34	34	357,29	2674,6	388,23	362,21		
35	31	355,57	2416,7	387,45	360,75		
36	37	353,51	2986,2	386,50	359,30		
37	29	351,92	2295,3	385,77	357,84		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
38	31	350,19	2408,7	385,01	356,39
39	43	347,81	3553,4	383,88	354,93
40	34	345,92	2642,3	383,04	353,48
41	42	343,65	3315,0	382,00	352,02
42	24	342,34	2012,6	381,37	350,57
43	19	341,33	1399,0	380,93	349,11
44	0	341,33	0,0	380,93	347,66
45	0	341,33	0,0	380,93	346,20
46	0	341,33	0,0	380,93	344,75
47	0	341,33	0,0	380,93	343,29
48	0	341,33	0,0	380,93	341,84
49	0	341,33	0,0	380,93	340,38
50	0	341,33	0,0	380,93	338,93
51	0	341,33	0,0	380,93	337,47
52	0	341,33	0,0	380,93	336,02
53	38	339,27	3118,0	379,95	334,56
54	48	336,72	3843,0	378,75	333,11
55	37	334,77	2841,0	377,86	331,65
56	33	333,03	2494,9	377,09	330,20
57	38	331,04	3125,2	376,12	328,75
58	31	329,39	2417,3	375,37	327,29
59	44	327,09	3548,1	374,27	325,84
60	34	325,34	2674,6	373,45	324,38
61	31	323,77	2416,7	372,71	322,93
62	37	321,90	2986,2	371,79	321,47
63	29	320,45	2295,3	371,09	320,02
64	31	318,88	2408,7	370,35	318,56
65	43	316,71	3553,4	369,27	317,11
66	34	314,99	2642,3	368,47	315,65
67	42	312,92	3315,0	367,46	314,20
68	24	311,73	2012,6	366,85	312,74
69	19	310,81	1399,0	366,43	311,29
70	0	310,81	0,0	366,43	309,83
71	0	310,81	0,0	366,43	308,38
72	0	310,81	0,0	366,43	306,92
73	0	310,81	0,0	366,43	305,47
74	0	310,81	0,0	366,43	304,01
75	0	310,81	0,0	366,43	302,56
76	0	310,81	0,0	366,43	301,10
77	0	310,81	0,0	366,43	299,65
78	0	310,81	0,0	366,43	298,19
79	38	308,93	3118,0	365,49	296,74
80	48	306,61	3843,0	364,33	295,28
81	37	304,83	2841,0	363,48	293,83
82	33	303,25	2494,9	362,73	292,37
83	38	301,44	3125,2	361,80	290,92
84	31	299,94	2417,3	361,08	289,46
85	44	297,84	3548,1	360,03	288,01

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
86	34	296,25	2674,6	359,23	286,56
87	31	294,82	2416,7	358,52	285,10
88	37	293,11	2986,2	357,64	283,65
89	29	291,79	2295,3	356,96	282,19
90	31	290,36	2408,7	356,25	280,74
91	43	288,38	3553,4	355,21	279,28
92	34	286,82	2642,3	354,44	277,83
93	42	284,94	3315,0	353,47	276,37
94	24	283,85	2012,6	352,89	274,92
95	19	283,01	1399,0	352,48	273,46
96	0	283,01	0,0	352,48	272,01
97	0	283,01	0,0	352,48	270,55
98	0	283,01	0,0	352,48	269,10
99	0	283,01	0,0	352,48	267,64
100	0	283,01	0,0	352,48	266,19

#### A.1.1 Simulação de redução do volume do açude Epitácio Pessoa-PB



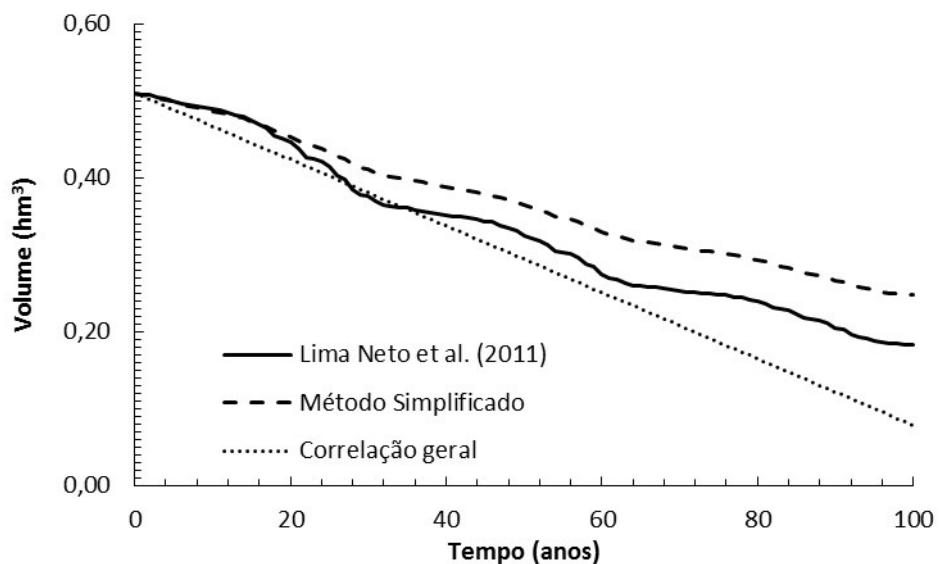
## A.2 Reservatório dos Mottas-SP

ano	Reserv. dos Mottas	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)	Vo:	0,61
0	R'	0,51		0,51	0,51	Ass/ano:	0,00432hm <sup>3</sup> /ano
1	28	0,51	4208,5	0,51	0,51		
2	22	0,51	2930,3	0,51	0,50		
3	30	0,50	5137,9	0,50	0,50		
4	30	0,50	6027,2	0,50	0,49		
5	31	0,50	6110,9	0,50	0,49		
6	44	0,50	8977,2	0,50	0,48		
7	23	0,49	4145,4	0,49	0,48		
8	28	0,49	4581,6	0,49	0,48		
9	33	0,49	5533,1	0,49	0,47		
10	27	0,49	3869,7	0,49	0,47		
11	20	0,49	2874,9	0,49	0,46		
12	33	0,48	6472,6	0,49	0,46		
13	51	0,48	11079,1	0,48	0,45		
14	22	0,48	3066,5	0,48	0,45		
15	49	0,47	13164,3	0,47	0,45		
16	49	0,47	12823,2	0,47	0,44		
17	53	0,47	14160,7	0,46	0,44		
18	71	0,46	22767,5	0,46	0,43		
19	47	0,46	12082,9	0,45	0,43		
20	55	0,45	12764,0	0,45	0,42		
21	63	0,45	22936,0	0,44	0,42		
22	87	0,44	29826,4	0,43	0,42		
23	23	0,44	5976,9	0,42	0,41		
24	42	0,44	10602,9	0,42	0,41		
25	61	0,43	19269,7	0,41	0,40		
26	88	0,43	32587,8	0,40	0,40		
27	56	0,42	14192,5	0,40	0,39		
28	95	0,42	41171,7	0,38	0,39		
29	63	0,41	21335,9	0,38	0,38		
30	35	0,41	8904,3	0,38	0,38		
31	62	0,41	20225,0	0,37	0,38		
32	63	0,40	16636,1	0,36	0,37		
33	28	0,40	4208,5	0,36	0,37		
34	22	0,40	2930,3	0,36	0,36		
35	30	0,40	5137,9	0,36	0,36		
36	30	0,40	6027,2	0,36	0,35		
37	31	0,39	6110,9	0,36	0,35		
38	44	0,39	8977,2	0,35	0,35		
39	23	0,39	4145,4	0,35	0,34		
40	28	0,39	4581,6	0,35	0,34		
41	33	0,39	5533,1	0,35	0,33		
42	27	0,38	3869,7	0,35	0,33		
43	20	0,38	2874,9	0,35	0,32		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
44	33	0,38	6472,6	0,35	0,32
45	51	0,38	11079,1	0,34	0,32
46	22	0,38	3066,5	0,34	0,31
47	49	0,37	13164,3	0,34	0,31
48	49	0,37	12823,2	0,33	0,30
49	53	0,37	14160,7	0,33	0,30
50	71	0,36	22767,5	0,32	0,29
51	47	0,36	12082,9	0,32	0,29
52	55	0,36	12764,0	0,32	0,29
53	63	0,35	22936,0	0,31	0,28
54	87	0,35	29826,4	0,30	0,28
55	23	0,35	5976,9	0,30	0,27
56	42	0,35	10602,9	0,30	0,27
57	61	0,34	19269,7	0,30	0,26
58	88	0,34	32587,8	0,29	0,26
59	56	0,33	14192,5	0,28	0,26
60	95	0,33	41171,7	0,27	0,25
61	63	0,33	21335,9	0,27	0,25
62	35	0,32	8904,3	0,27	0,24
63	62	0,32	20225,0	0,26	0,24
64	63	0,32	16636,1	0,26	0,23
65	28	0,32	4208,5	0,26	0,23
66	22	0,32	2930,3	0,26	0,23
67	30	0,31	5137,9	0,26	0,22
68	30	0,31	6027,2	0,26	0,22
69	31	0,31	6110,9	0,25	0,21
70	44	0,31	8977,2	0,25	0,21
71	23	0,31	4145,4	0,25	0,20
72	28	0,31	4581,6	0,25	0,20
73	33	0,30	5533,1	0,25	0,19
74	27	0,30	3869,7	0,25	0,19
75	20	0,30	2874,9	0,25	0,19
76	33	0,30	6472,6	0,25	0,18
77	51	0,30	11079,1	0,24	0,18
78	22	0,30	3066,5	0,24	0,17
79	49	0,30	13164,3	0,24	0,17
80	49	0,29	12823,2	0,24	0,16
81	53	0,29	14160,7	0,24	0,16
82	71	0,29	22767,5	0,23	0,16
83	47	0,29	12082,9	0,23	0,15
84	55	0,28	12764,0	0,23	0,15
85	63	0,28	22936,0	0,22	0,14
86	87	0,28	29826,4	0,22	0,14
87	23	0,27	5976,9	0,22	0,13
88	42	0,27	10602,9	0,21	0,13
89	61	0,27	19269,7	0,21	0,13
90	88	0,27	32587,8	0,21	0,12
91	56	0,26	14192,5	0,20	0,12

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
92	95	0,26	41171,7	0,20	0,11
93	63	0,26	21335,9	0,19	0,11
94	35	0,26	8904,3	0,19	0,10
95	62	0,25	20225,0	0,19	0,10
96	63	0,25	16636,1	0,19	0,10
97	28	0,25	4208,5	0,18	0,09
98	22	0,25	2930,3	0,18	0,09
99	30	0,25	5137,9	0,18	0,08
100	30	0,25	6027,2	0,18	0,08

#### A.2.1 Simulação de redução do volume do reservatório dos Mottas-SP



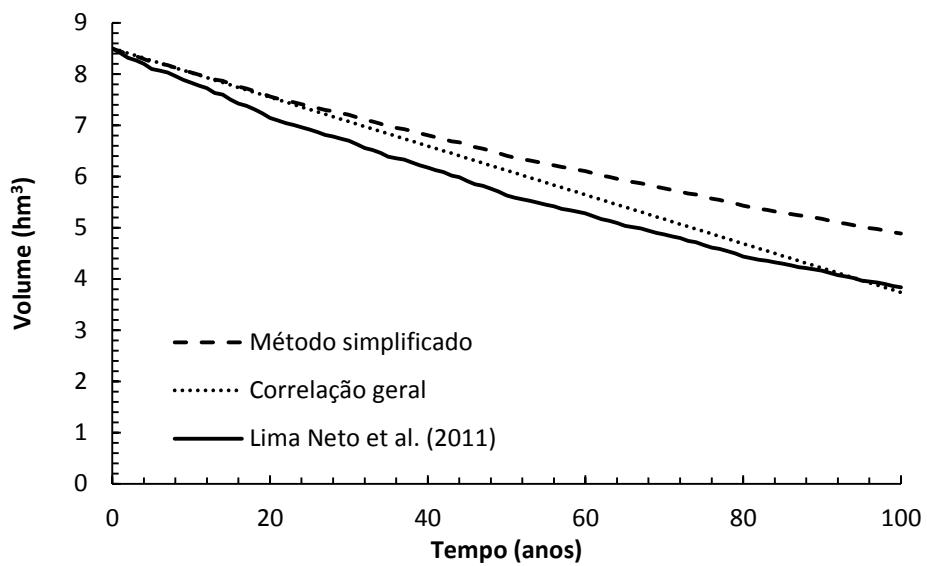
### A.3 Santa Barbara-RS

ano	Santa Barbara	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)	Vo:	10,00
0	R'	8,50	R	8,50	8,50	Ass/ano:	0,04765hm <sup>3</sup> /ano
1	43	8,44	12979,7	8,41	8,45		
2	45	8,38	13656,2	8,31	8,40		
3	28	8,35	6860,0	8,27	8,36		
4	40	8,29	10369,7	8,20	8,31		
5	47	8,23	14364,4	8,10	8,26		
6	24	8,20	5362,4	8,06	8,21		
7	25	8,17	5660,5	8,03	8,17		
8	35	8,12	10597,3	7,96	8,12		
9	38	8,08	10582,0	7,89	8,07		
10	36	8,03	8944,6	7,83	8,02		
11	35	7,98	9249,5	7,77	7,98		
12	32	7,94	7477,8	7,72	7,93		
13	41	7,89	14506,3	7,63	7,88		
14	23	7,86	5526,0	7,60	7,83		
15	48	7,80	15296,9	7,50	7,79		
16	41	7,75	12783,5	7,42	7,74		
17	31	7,72	6685,2	7,38	7,69		
18	40	7,67	11311,7	7,31	7,64		
19	40	7,62	12491,0	7,24	7,59		
20	51	7,56	16191,9	7,14	7,55		
21	34	7,52	8471,4	7,09	7,50		
22	33	7,48	7979,3	7,04	7,45		
23	27	7,45	6477,9	7,01	7,40		
24	32	7,41	7507,9	6,96	7,36		
25	31	7,37	8494,0	6,91	7,31		
26	32	7,34	7898,1	6,87	7,26		
27	31	7,30	10111,5	6,81	7,21		
28	22	7,27	5666,5	6,78	7,17		
29	33	7,24	7774,1	6,74	7,12		
30	29	7,20	6608,1	6,70	7,07		
31	43	7,15	12979,7	6,63	7,02		
32	45	7,10	13656,2	6,55	6,98		
33	28	7,07	6860,0	6,52	6,93		
34	40	7,03	10369,7	6,46	6,88		
35	47	6,98	14364,4	6,38	6,83		
36	24	6,95	5362,4	6,36	6,78		
37	25	6,92	5660,5	6,33	6,74		
38	35	6,88	10597,3	6,27	6,69		
39	38	6,84	10582,0	6,22	6,64		
40	36	6,80	8944,6	6,17	6,59		
41	35	6,77	9249,5	6,12	6,55		
42	32	6,73	7477,8	6,09	6,50		
43	41	6,69	14506,3	6,01	6,45		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
44	23	6,66	5526,0	5,99	6,40
45	48	6,61	15296,9	5,91	6,36
46	41	6,57	12783,5	5,85	6,31
47	31	6,54	6685,2	5,82	6,26
48	40	6,50	11311,7	5,76	6,21
49	40	6,46	12491,0	5,70	6,17
50	51	6,40	16191,9	5,63	6,12
51	34	6,37	8471,4	5,59	6,07
52	33	6,34	7979,3	5,55	6,02
53	27	6,31	6477,9	5,52	5,97
54	32	6,28	7507,9	5,49	5,93
55	31	6,25	8494,0	5,45	5,88
56	32	6,22	7898,1	5,41	5,83
57	31	6,18	10111,5	5,37	5,78
58	22	6,16	5666,5	5,34	5,74
59	33	6,13	7774,1	5,31	5,69
60	29	6,10	6608,1	5,28	5,64
61	43	6,06	12979,7	5,22	5,59
62	45	6,02	13656,2	5,17	5,55
63	28	5,99	6860,0	5,14	5,50
64	40	5,95	10369,7	5,09	5,45
65	47	5,91	14364,4	5,03	5,40
66	24	5,89	5362,4	5,01	5,36
67	25	5,87	5660,5	4,99	5,31
68	35	5,83	10597,3	4,94	5,26
69	38	5,80	10582,0	4,90	5,21
70	36	5,77	8944,6	4,86	5,16
71	35	5,73	9249,5	4,83	5,12
72	32	5,70	7477,8	4,80	5,07
73	41	5,67	14506,3	4,74	5,02
74	23	5,65	5526,0	4,72	4,97
75	48	5,60	15296,9	4,66	4,93
76	41	5,57	12783,5	4,61	4,88
77	31	5,54	6685,2	4,58	4,83
78	40	5,51	11311,7	4,54	4,78
79	40	5,47	12491,0	4,50	4,74
80	51	5,43	16191,9	4,44	4,69
81	34	5,40	8471,4	4,40	4,64
82	33	5,37	7979,3	4,38	4,59
83	27	5,35	6477,9	4,35	4,55
84	32	5,32	7507,9	4,33	4,50
85	31	5,29	8494,0	4,30	4,45
86	32	5,27	7898,1	4,27	4,40
87	31	5,24	10111,5	4,23	4,35
88	22	5,22	5666,5	4,21	4,31
89	33	5,20	7774,1	4,19	4,26
90	29	5,17	6608,1	4,16	4,21
91	43	5,14	12979,7	4,12	4,16

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
92	45	5,10	13656,2	4,07	4,12
93	28	5,08	6860,0	4,05	4,07
94	40	5,05	10369,7	4,01	4,02
95	47	5,01	14364,4	3,97	3,97
96	24	4,99	5362,4	3,95	3,93
97	25	4,97	5660,5	3,93	3,88
98	35	4,94	10597,3	3,90	3,83
99	38	4,91	10582,0	3,86	3,78
100	36	4,89	8944,6	3,83	3,74

### A.3.1 Simulação de redução do volume do reservatório Santa Barbara-RS



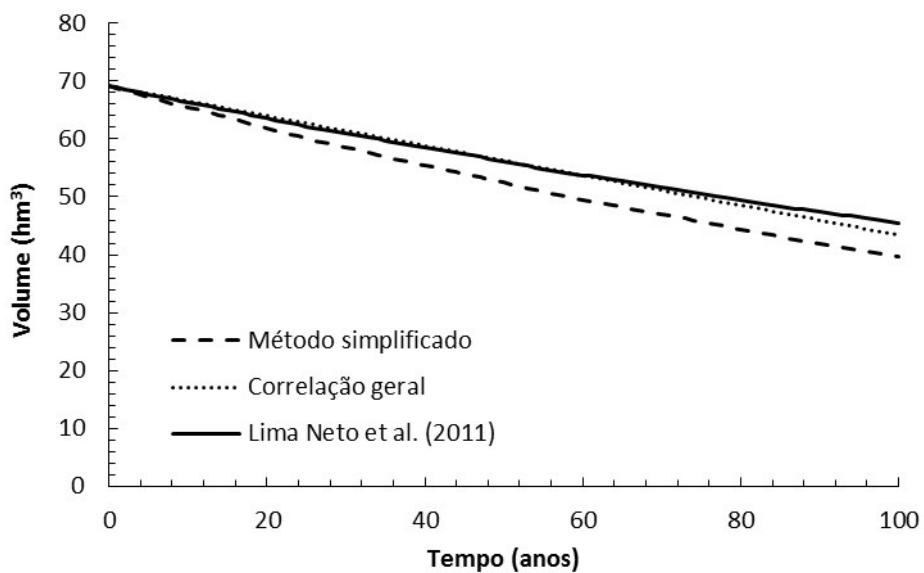
#### A.4 Couto Magalhães-MT

ano	Couto Magalhães	V (φ)	R	V (ζ)	V (BR)	Vo:	71,41
0	R'	69,17	R	69,17	69,17	Ass/ano:	0,25763m³/ano
1	34	68,80	4885,1	68,89	68,91		
2	35	68,42	5050,8	68,61	68,65		
3	35	68,04	5058,7	68,32	68,40		
4	37	67,64	5407,3	68,02	68,14		
5	34	67,28	4903,3	67,74	67,88		
6	31	66,96	4415,8	67,50	67,62		
7	38	66,56	5485,9	67,19	67,37		
8	35	66,19	5091,2	66,91	67,11		
9	33	65,84	4745,7	66,65	66,85		
10	31	65,52	4451,2	66,40	66,59		
11	28	65,23	3971,8	66,19	66,34		
12	33	64,89	4829,1	65,92	66,08		
13	36	64,51	5283,6	65,64	65,82		
14	39	64,12	5727,5	65,33	65,56		
15	33	63,78	4745,2	65,07	65,31		
16	37	63,40	5458,0	64,78	65,05		
17	40	63,01	5765,6	64,47	64,79		
18	35	62,66	5025,7	64,21	64,53		
19	36	62,30	5254,4	63,93	64,28		
20	41	61,90	6064,5	63,61	64,02		
21	39	61,51	5744,1	63,31	63,76		
22	37	61,15	5313,8	63,03	63,50		
23	39	60,78	5639,6	62,74	63,24		
24	34	60,45	4981,1	62,48	62,99		
25	39	60,08	5612,2	62,19	62,73		
26	34	59,76	4951,4	61,94	62,47		
27	34	59,44	4840,9	61,69	62,21		
28	34	59,12	4913,5	61,44	61,96		
29	31	58,83	4377,1	61,22	61,70		
30	32	58,53	4635,1	60,99	61,44		
31	32	58,24	4626,8	60,76	61,18		
32	34	57,92	4885,1	60,51	60,93		
33	35	57,61	5050,8	60,26	60,67		
34	35	57,29	5058,7	60,01	60,41		
35	37	56,95	5407,3	59,74	60,15		
36	34	56,65	4903,3	59,50	59,90		
37	31	56,37	4415,8	59,28	59,64		
38	38	56,04	5485,9	59,02	59,38		
39	35	55,73	5091,2	58,77	59,12		
40	33	55,44	4745,7	58,54	58,86		
41	31	55,16	4451,2	58,33	58,61		
42	28	54,92	3971,8	58,13	58,35		
43	33	54,63	4829,1	57,90	58,09		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
44	36	54,32	5283,6	57,65	57,83
45	39	53,98	5727,5	57,38	57,58
46	33	53,70	4745,2	57,16	57,32
47	37	53,38	5458,0	56,90	57,06
48	40	53,05	5765,6	56,63	56,80
49	35	52,76	5025,7	56,39	56,55
50	36	52,45	5254,4	56,15	56,29
51	41	52,11	6064,5	55,87	56,03
52	39	51,79	5744,1	55,61	55,77
53	37	51,49	5313,8	55,36	55,52
54	39	51,17	5639,6	55,11	55,26
55	34	50,89	4981,1	54,88	55,00
56	39	50,58	5612,2	54,63	54,74
57	34	50,31	4951,4	54,40	54,49
58	34	50,04	4840,9	54,19	54,23
59	34	49,77	4913,5	53,97	53,97
60	31	49,53	4377,1	53,77	53,71
61	32	49,28	4635,1	53,57	53,45
62	32	49,03	4626,8	53,36	53,20
63	34	48,77	4885,1	53,15	52,94
64	35	48,50	5050,8	52,93	52,68
65	35	48,23	5058,7	52,71	52,42
66	37	47,95	5407,3	52,47	52,17
67	34	47,69	4903,3	52,26	51,91
68	31	47,46	4415,8	52,07	51,65
69	38	47,18	5485,9	51,84	51,39
70	35	46,92	5091,2	51,62	51,14
71	33	46,67	4745,7	51,42	50,88
72	31	46,44	4451,2	51,23	50,62
73	28	46,24	3971,8	51,06	50,36
74	33	45,99	4829,1	50,86	50,11
75	36	45,73	5283,6	50,64	49,85
76	39	45,45	5727,5	50,40	49,59
77	33	45,21	4745,2	50,20	49,33
78	37	44,94	5458,0	49,98	49,07
79	40	44,66	5765,6	49,74	48,82
80	35	44,42	5025,7	49,53	48,56
81	36	44,16	5254,4	49,32	48,30
82	41	43,87	6064,5	49,07	48,04
83	39	43,60	5744,1	48,84	47,79
84	37	43,35	5313,8	48,63	47,53
85	39	43,08	5639,6	48,40	47,27
86	34	42,85	4981,1	48,20	47,01
87	39	42,59	5612,2	47,98	46,76
88	34	42,36	4951,4	47,79	46,50
89	34	42,13	4840,9	47,60	46,24
90	34	41,91	4913,5	47,40	45,98
91	31	41,70	4377,1	47,23	45,73

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
92	32	41,49	4635,1	47,05	45,47
93	32	41,28	4626,8	46,87	45,21
94	34	41,06	4885,1	46,68	44,95
95	35	40,83	5050,8	46,49	44,70
96	35	40,61	5058,7	46,30	44,44
97	37	40,37	5407,3	46,09	44,18
98	34	40,15	4903,3	45,90	43,92
99	31	39,96	4415,8	45,74	43,66
100	38	39,72	5485,9	45,53	43,41

#### A.4.1 Simulação de redução do volume do reservatório Couto Magalhães-MT



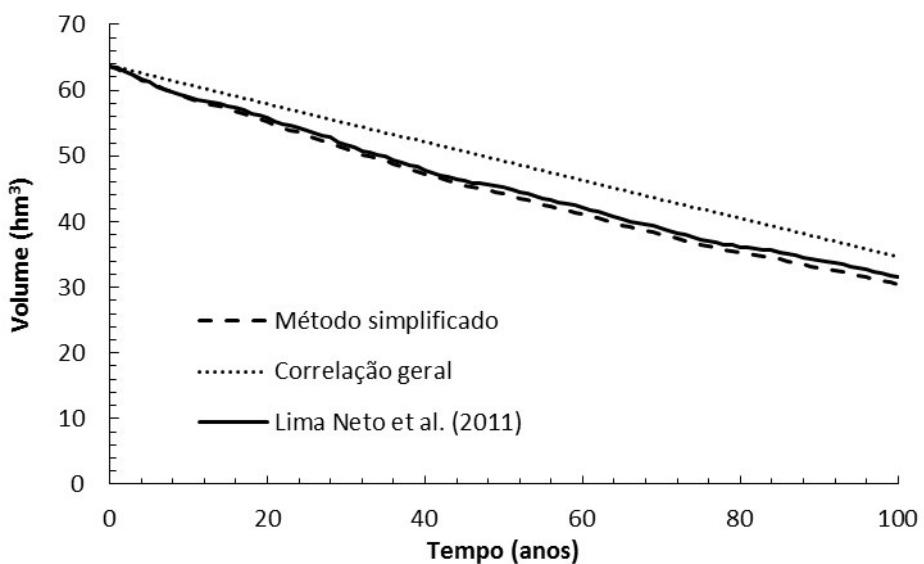
### A.5 Reservatório Funil-RJ

ano	Reservatório Funil	V ( $\phi$ )	R	V ( $\zeta$ )	V (BR)	Vo:	82,19
0	R'	63,74	R	63,74	63,74	Ass/ano:	0,29068m <sup>3</sup> /ano
1	45	63,29	6802,1	63,38	63,45		
2	57	62,72	11345,4	62,79	63,16		
3	51	62,22	9729,6	62,29	62,87		
4	64	61,59	12087,6	61,67	62,58		
5	40	61,21	5436,2	61,39	62,29		
6	56	60,66	16006,3	60,58	62,00		
7	52	60,16	9910,8	60,09	61,71		
8	44	59,75	6336,4	59,78	61,41		
9	48	59,30	8042,8	59,38	61,12		
10	53	58,80	9900,0	58,90	60,83		
11	40	58,43	5120,4	58,65	60,54		
12	40	58,06	7203,3	58,30	60,25		
13	23	57,85	2542,9	58,18	59,96		
14	37	57,51	5484,5	57,92	59,67		
15	37	57,18	5385,4	57,66	59,38		
16	32	56,89	4401,5	57,45	59,09		
17	53	56,41	10093,3	56,97	58,80		
18	51	55,95	10165,8	56,50	58,51		
19	43	55,57	6928,7	56,17	58,22		
20	48	55,15	9334,8	55,74	57,93		
21	53	54,68	12146,3	55,19	57,64		
22	41	54,33	5728,2	54,93	57,35		
23	44	53,95	6838,6	54,62	57,05		
24	42	53,60	6999,3	54,30	56,76		
25	50	53,18	8461,9	53,92	56,47		
26	52	52,74	10968,4	53,44	56,18		
27	46	52,35	7739,6	53,10	55,89		
28	42	52,01	6491,4	52,81	55,60		
29	65	51,48	14409,4	52,19	55,31		
30	49	51,07	9151,4	51,79	55,02		
31	56	50,62	13220,6	51,23	54,73		
32	49	50,23	10142,7	50,80	54,44		
33	45	49,87	7096,4	50,51	54,15		
34	29	49,65	7343,3	50,20	53,86		
35	45	49,30	6802,1	49,92	53,57		
36	57	48,86	11345,4	49,45	53,28		
37	51	48,47	9729,6	49,06	52,98		
38	64	47,97	12087,6	48,57	52,69		
39	40	47,67	5436,2	48,35	52,40		
40	56	47,25	16006,3	47,71	52,11		
41	52	46,86	9910,8	47,32	51,82		
42	44	46,54	6336,4	47,08	51,53		
43	48	46,19	8042,8	46,77	51,24		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
44	53	45,80	9900,0	46,39	50,95
45	40	45,51	5120,4	46,19	50,66
46	40	45,23	7203,3	45,92	50,37
47	23	45,06	2542,9	45,82	50,08
48	37	44,80	5484,5	45,61	49,79
49	37	44,54	5385,4	45,41	49,50
50	32	44,31	4401,5	45,25	49,21
51	53	43,94	10093,3	44,87	48,92
52	51	43,58	10165,8	44,50	48,62
53	43	43,29	6928,7	44,24	48,33
54	48	42,96	9334,8	43,90	48,04
55	53	42,59	12146,3	43,46	47,75
56	41	42,32	5728,2	43,26	47,46
57	44	42,02	6838,6	43,01	47,17
58	42	41,75	6999,3	42,77	46,88
59	50	41,42	8461,9	42,47	46,59
60	52	41,08	10968,4	42,09	46,30
61	46	40,78	7739,6	41,82	46,01
62	42	40,51	6491,4	41,59	45,72
63	65	40,10	14409,4	41,10	45,43
64	49	39,78	9151,4	40,79	45,14
65	56	39,43	13220,6	40,35	44,85
66	49	39,12	10142,7	40,01	44,56
67	45	38,85	7096,4	39,78	44,26
68	29	38,67	7343,3	39,54	43,97
69	45	38,40	6802,1	39,31	43,68
70	57	38,06	11345,4	38,95	43,39
71	51	37,75	9729,6	38,64	43,10
72	64	37,37	12087,6	38,25	42,81
73	40	37,14	5436,2	38,08	42,52
74	56	36,80	16006,3	37,58	42,23
75	52	36,50	9910,8	37,27	41,94
76	44	36,25	6336,4	37,08	41,65
77	48	35,98	8042,8	36,83	41,36
78	53	35,67	9900,0	36,53	41,07
79	40	35,45	5120,4	36,38	40,78
80	40	35,23	7203,3	36,16	40,49
81	23	35,10	2542,9	36,09	40,19
82	37	34,89	5484,5	35,92	39,90
83	37	34,69	5385,4	35,76	39,61
84	32	34,51	4401,5	35,63	39,32
85	53	34,22	10093,3	35,34	39,03
86	51	33,95	10165,8	35,04	38,74
87	43	33,72	6928,7	34,84	38,45
88	48	33,46	9334,8	34,58	38,16
89	53	33,18	12146,3	34,23	37,87
90	41	32,96	5728,2	34,07	37,58
91	44	32,73	6838,6	33,88	37,29

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
92	42	32,52	6999,3	33,68	37,00
93	50	32,26	8461,9	33,45	36,71
94	52	32,00	10968,4	33,14	36,42
95	46	31,76	7739,6	32,93	36,13
96	42	31,55	6491,4	32,76	35,83
97	65	31,23	14409,4	32,37	35,54
98	49	30,99	9151,4	32,13	35,25
99	56	30,71	13220,6	31,78	34,96
100	49	30,47	10142,7	31,51	34,67

#### A.5.1 Simulação de redução do volume do reservatório Funil-RJ



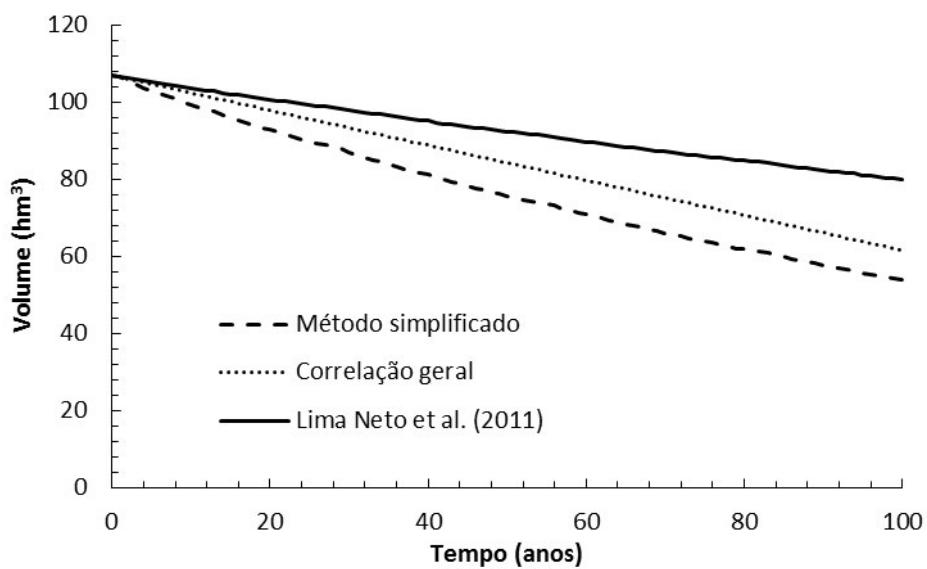
### A.6 Reservatório Pirapama-PE

ano	Pirapama	V ( $\phi$ )	R	V ( $\zeta$ )	V (BR)	Vo:	138,00
0	R'	106,89	R	106,89	106,89	Ass/ano:	0,45356m <sup>3</sup> /ano
1	29	106,40	2235,5	106,69	106,44		
2	51	105,54	4232,5	106,32	105,98		
3	65	104,47	5671,0	105,83	105,53		
4	46	103,71	3781,4	105,50	105,08		
5	49	102,90	4086,9	105,14	104,62		
6	48	102,12	3927,2	104,80	104,17		
7	28	101,66	2164,9	104,61	103,72		
8	56	100,75	4770,5	104,20	103,26		
9	47	100,00	4009,2	103,86	102,81		
10	46	99,28	3715,9	103,54	102,35		
11	44	98,58	3674,8	103,23	101,90		
12	29	98,13	2187,2	103,04	101,45		
13	32	97,64	2418,2	102,84	100,99		
14	80	96,41	6998,2	102,25	100,54		
15	34	95,89	2659,3	102,02	100,09		
16	42	95,25	3324,3	101,74	99,63		
17	43	94,60	3425,3	101,46	99,18		
18	41	93,99	3308,0	101,18	98,73		
19	43	93,35	3643,5	100,88	98,27		
20	39	92,78	3038,2	100,62	97,82		
21	44	92,13	3517,5	100,33	97,37		
22	37	91,59	2907,3	100,09	96,91		
23	48	90,90	3810,8	99,78	96,46		
24	39	90,34	3136,4	99,52	96,00		
25	52	89,60	4351,5	99,16	95,55		
26	25	89,24	1892,0	99,01	95,10		
27	20	88,96	1546,1	98,88	94,64		
28	29	88,55	2235,5	98,70	94,19		
29	51	87,84	4232,5	98,36	93,74		
30	65	86,94	5671,0	97,90	93,28		
31	46	86,31	3781,4	97,59	92,83		
32	49	85,64	4086,9	97,27	92,38		
33	48	84,99	3927,2	96,95	91,92		
34	28	84,60	2164,9	96,78	91,47		
35	56	83,85	4770,5	96,40	91,02		
36	47	83,22	4009,2	96,08	90,56		
37	46	82,62	3715,9	95,79	90,11		
38	44	82,05	3674,8	95,50	89,65		
39	29	81,67	2187,2	95,33	89,20		
40	32	81,26	2418,2	95,14	88,75		
41	80	80,24	6998,2	94,59	88,29		
42	34	79,80	2659,3	94,38	87,84		
43	42	79,27	3324,3	94,12	87,39		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
44	43	78,73	3425,3	93,86	86,93
45	41	78,22	3308,0	93,60	86,48
46	43	77,69	3643,5	93,32	86,03
47	39	77,21	3038,2	93,09	85,57
48	44	76,67	3517,5	92,82	85,12
49	37	76,23	2907,3	92,60	84,67
50	48	75,65	3810,8	92,31	84,21
51	39	75,19	3136,4	92,07	83,76
52	52	74,57	4351,5	91,74	83,31
53	25	74,27	1892,0	91,59	82,85
54	20	74,04	1546,1	91,48	82,40
55	29	73,70	2235,5	91,31	81,94
56	51	73,10	4232,5	90,99	81,49
57	65	72,36	5671,0	90,57	81,04
58	46	71,83	3781,4	90,29	80,58
59	49	71,27	4086,9	89,98	80,13
60	48	70,73	3927,2	89,69	79,68
61	28	70,41	2164,9	89,53	79,22
62	56	69,79	4770,5	89,18	78,77
63	47	69,26	4009,2	88,88	78,32
64	46	68,76	3715,9	88,61	77,86
65	44	68,28	3674,8	88,35	77,41
66	29	67,97	2187,2	88,19	76,96
67	32	67,63	2418,2	88,01	76,50
68	80	66,78	6998,2	87,50	76,05
69	34	66,41	2659,3	87,31	75,59
70	42	65,97	3324,3	87,07	75,14
71	43	65,52	3425,3	86,83	74,69
72	41	65,10	3308,0	86,59	74,23
73	43	64,65	3643,5	86,33	73,78
74	39	64,26	3038,2	86,12	73,33
75	44	63,81	3517,5	85,87	72,87
76	37	63,44	2907,3	85,66	72,42
77	48	62,96	3810,8	85,39	71,97
78	39	62,57	3136,4	85,17	71,51
79	52	62,06	4351,5	84,87	71,06
80	25	61,81	1892,0	84,73	70,61
81	20	61,62	1546,1	84,63	70,15
82	29	61,33	2235,5	84,47	69,70
83	51	60,84	4232,5	84,18	69,24
84	65	60,22	5671,0	83,78	68,79
85	46	59,78	3781,4	83,52	68,34
86	49	59,31	4086,9	83,24	67,88
87	48	58,86	3927,2	82,97	67,43
88	28	58,60	2164,9	82,83	66,98
89	56	58,08	4770,5	82,50	66,52
90	47	57,64	4009,2	82,23	66,07
91	46	57,23	3715,9	81,98	65,62

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
92	44	56,83	3674,8	81,73	65,16
93	29	56,57	2187,2	81,58	64,71
94	32	56,28	2418,2	81,42	64,26
95	80	55,57	6998,2	80,95	63,80
96	34	55,27	2659,3	80,77	63,35
97	42	54,91	3324,3	80,55	62,90
98	43	54,53	3425,3	80,32	62,44
99	41	54,18	3308,0	80,11	61,99
100	43	53,81	3643,5	79,87	61,53

#### A.6.1 Simulação de redução do volume do reservatório Pirapama-PE



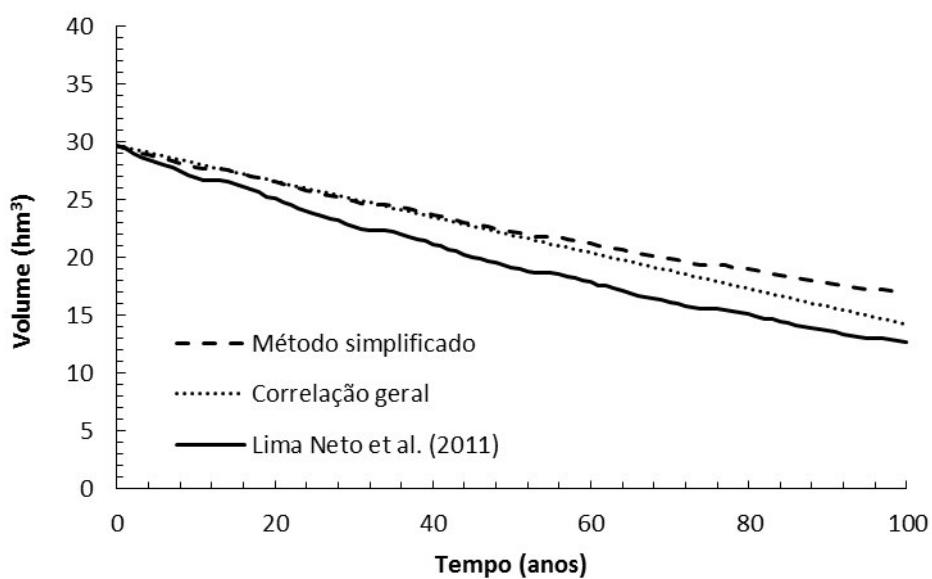
### A.7 Reservatório Vargem das Flores-MG

ano	Vargem das Flores	V ( $\phi$ )	R	V ( $\zeta$ )	V (BR)	Vo:	39,46
0	R'	29,71	R	29,71	29,71	Ass/ano:	0,15483hm <sup>3</sup> /ano
1	41	29,52	11565,5	29,43	29,56		
2	56	29,26	17925,7	28,99	29,40		
3	42	29,06	12345,9	28,70	29,25		
4	37	28,89	9683,0	28,47	29,09		
5	40	28,71	10862,9	28,22	28,94		
6	35	28,55	9317,0	28,00	28,78		
7	38	28,38	10387,4	27,76	28,63		
8	43	28,19	12153,6	27,48	28,47		
9	43	27,99	12995,1	27,19	28,32		
10	39	27,82	11372,2	26,93	28,16		
11	34	27,67	9101,5	26,73	28,01		
12	0	27,67	0,0	26,73	27,85		
13	0	27,67	0,0	26,73	27,70		
14	21	27,58	5716,7	26,61	27,54		
15	43	27,39	13124,0	26,32	27,39		
16	34	27,24	9546,1	26,11	27,23		
17	38	27,08	11181,9	25,87	27,08		
18	34	26,93	10272,2	25,65	26,92		
19	61	26,67	18479,7	25,26	26,77		
20	25	26,57	7253,8	25,11	26,61		
21	43	26,39	13867,3	24,82	26,46		
22	41	26,22	11565,5	24,59	26,30		
23	56	25,99	17925,7	24,23	26,15		
24	42	25,81	12345,9	23,98	25,99		
25	37	25,66	9683,0	23,79	25,84		
26	40	25,50	10862,9	23,58	25,68		
27	35	25,36	9317,0	23,39	25,53		
28	38	25,21	10387,4	23,19	25,37		
29	43	25,04	12153,6	22,96	25,22		
30	43	24,86	12995,1	22,72	25,07		
31	39	24,71	11372,2	22,50	24,91		
32	34	24,58	9101,5	22,34	24,76		
33	0	24,58	0,0	22,34	24,60		
34	0	24,58	0,0	22,34	24,45		
35	21	24,50	5716,7	22,23	24,29		
36	43	24,33	13124,0	21,99	24,14		
37	34	24,20	9546,1	21,82	23,98		
38	38	24,05	11181,9	21,62	23,83		
39	34	23,92	10272,2	21,43	23,67		
40	61	23,69	18479,7	21,11	23,52		
41	25	23,60	7253,8	20,98	23,36		
42	43	23,44	13867,3	20,74	23,21		
43	41	23,29	11565,5	20,55	23,05		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
44	56	23,08	17925,7	20,24	22,90
45	42	22,93	12345,9	20,04	22,74
46	37	22,79	9683,0	19,88	22,59
47	40	22,65	10862,9	19,70	22,43
48	35	22,52	9317,0	19,55	22,28
49	38	22,39	10387,4	19,38	22,12
50	43	22,24	12153,6	19,19	21,97
51	43	22,09	12995,1	18,98	21,81
52	39	21,95	11372,2	18,80	21,66
53	34	21,83	9101,5	18,66	21,50
54	0	21,83	0,0	18,66	21,35
55	0	21,83	0,0	18,66	21,19
56	21	21,76	5716,7	18,58	21,04
57	43	21,61	13124,0	18,37	20,88
58	34	21,49	9546,1	18,23	20,73
59	38	21,36	11181,9	18,06	20,58
60	34	21,25	10272,2	17,91	20,42
61	61	21,04	18479,7	17,64	20,27
62	25	20,96	7253,8	17,53	20,11
63	43	20,82	13867,3	17,33	19,96
64	41	20,69	11565,5	17,17	19,80
65	56	20,50	17925,7	16,91	19,65
66	42	20,36	12345,9	16,74	19,49
67	37	20,25	9683,0	16,61	19,34
68	40	20,12	10862,9	16,46	19,18
69	35	20,01	9317,0	16,33	19,03
70	38	19,89	10387,4	16,19	18,87
71	43	19,75	12153,6	16,03	18,72
72	43	19,62	12995,1	15,86	18,56
73	39	19,49	11372,2	15,71	18,41
74	34	19,39	9101,5	15,59	18,25
75	0	19,39	0,0	15,59	18,10
76	0	19,39	0,0	15,59	17,94
77	21	19,33	5716,7	15,52	17,79
78	43	19,19	13124,0	15,35	17,63
79	34	19,09	9546,1	15,23	17,48
80	38	18,98	11181,9	15,09	17,32
81	34	18,87	10272,2	14,97	17,17
82	61	18,69	18479,7	14,74	17,01
83	25	18,62	7253,8	14,65	16,86
84	43	18,49	13867,3	14,48	16,70
85	41	18,37	11565,5	14,34	16,55
86	56	18,21	17925,7	14,13	16,39
87	42	18,09	12345,9	13,99	16,24
88	37	17,98	9683,0	13,88	16,09
89	40	17,87	10862,9	13,75	15,93
90	35	17,77	9317,0	13,65	15,78
91	38	17,66	10387,4	13,53	15,62

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (BR)
92	43	17,54	12153,6	13,40	15,47
93	43	17,42	12995,1	13,25	15,31
94	39	17,32	11372,2	13,13	15,16
95	34	17,22	9101,5	13,03	15,00
96	0	17,22	0,0	13,03	14,85
97	0	17,22	0,0	13,03	14,69
98	21	17,16	5716,7	12,97	14,54
99	43	17,05	13124,0	12,83	14,38
100	34	16,96	9546,1	12,73	14,23

#### A.7.1 Simulação de redução do volume do reservatório Vargem das Flores-MG



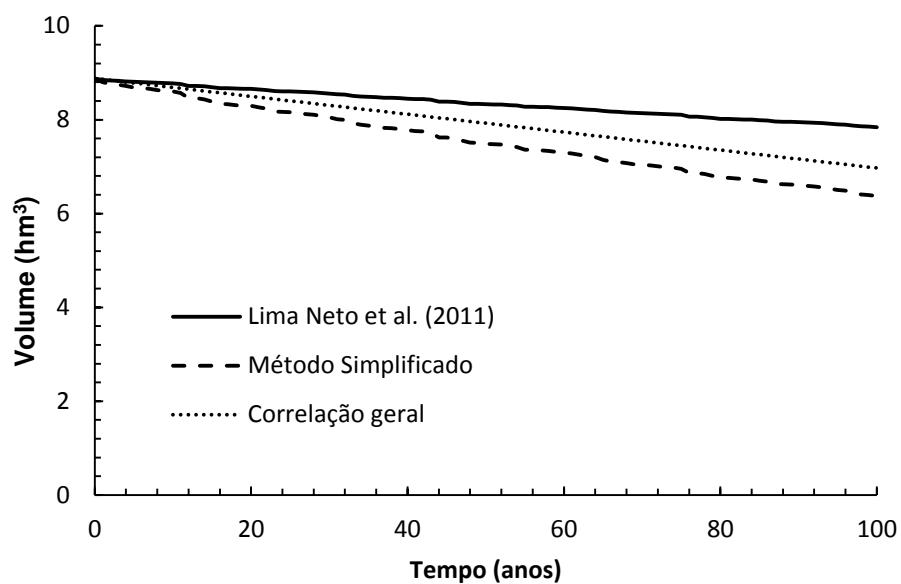
### A.8 Reservatório São Mateus-CE

ano	São Mateus	V ( $\phi$ )	R	V ( $\zeta$ )	V (CE)	Vo:	10,30
0	R'	8,80	R	8,88	8,88	Ass/ano:	0,01909hm <sup>3</sup> /ano
1	0,000092	8,80	11475,5	8,85	8,86		
2	0,000047	8,76	5933,6	8,84	8,84		
3	0,000024	8,74	3017,1	8,83	8,82		
4	0,000033	8,72	4153,5	8,82	8,80		
5	0,000039	8,69	4888,6	8,81	8,78		
6	0,000009	8,68	1124,5	8,80	8,77		
7	0,000025	8,66	3217,9	8,80	8,75		
8	0,000032	8,63	3947,2	8,79	8,73		
9	0,000025	8,61	3180,6	8,78	8,71		
10	0,000012	8,60	1578,4	8,77	8,69		
11	0,000036	8,57	4565,1	8,76	8,67		
12	0,000141	8,46	17365,7	8,72	8,65		
13	0,000000	8,46	0,0	8,72	8,63		
14	0,000034	8,43	4280,5	8,71	8,61		
15	0,000062	8,38	7741,1	8,69	8,59		
16	0,000058	8,34	7297,4	8,67	8,57		
17	0,000007	8,33	893,9	8,67	8,56		
18	0,000024	8,31	3003,6	8,66	8,54		
19	0,000017	8,30	2211,4	8,66	8,52		
20	0,000006	8,30	749,8	8,66	8,50		
21	0,000043	8,26	5406,8	8,64	8,48		
22	0,000037	8,23	4662,5	8,63	8,46		
23	0,000073	8,18	9103,9	8,61	8,44		
24	0,000014	8,17	1791,9	8,61	8,42		
25	0,000010	8,16	1255,2	8,60	8,40		
26	0,000015	8,15	1931,7	8,60	8,38		
27	0,000035	8,12	4396,7	8,59	8,36		
28	0,000022	8,10	2703,8	8,58	8,35		
29	0,000032	8,08	4063,6	8,57	8,33		
30	0,000039	8,05	4932,9	8,56	8,31		
31	0,000050	8,01	6276,3	8,54	8,29		
32	0,000016	8,00	2054,6	8,54	8,27		
33	0,000092	7,93	11475,5	8,51	8,25		
34	0,000047	7,89	5933,6	8,50	8,23		
35	0,000024	7,88	3017,1	8,49	8,21		
36	0,000033	7,85	4153,5	8,48	8,19		
37	0,000039	7,82	4888,6	8,47	8,17		
38	0,000009	7,82	1124,5	8,47	8,15		
39	0,000025	7,80	3217,9	8,46	8,14		
40	0,000032	7,78	3947,2	8,45	8,12		
41	0,000025	7,76	3180,6	8,44	8,10		
42	0,000012	7,75	1578,4	8,44	8,08		
43	0,000036	7,72	4565,1	8,43	8,06		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
44	0,000141	7,62	17365,7	8,39	8,04
45	0,000000	7,62	0,0	8,39	8,02
46	0,000034	7,60	4280,5	8,38	8,00
47	0,000062	7,55	7741,1	8,36	7,98
48	0,000058	7,51	7297,4	8,34	7,96
49	0,000007	7,51	893,9	8,34	7,94
50	0,000024	7,49	3003,6	8,33	7,93
51	0,000017	7,48	2211,4	8,33	7,91
52	0,000006	7,47	749,8	8,32	7,89
53	0,000043	7,44	5406,8	8,31	7,87
54	0,000037	7,42	4662,5	8,30	7,85
55	0,000073	7,36	9103,9	8,28	7,83
56	0,000014	7,36	1791,9	8,28	7,81
57	0,000010	7,35	1255,2	8,27	7,79
58	0,000015	7,34	1931,7	8,27	7,77
59	0,000035	7,31	4396,7	8,26	7,75
60	0,000022	7,30	2703,8	8,25	7,73
61	0,000032	7,28	4063,6	8,24	7,72
62	0,000039	7,25	4932,9	8,23	7,70
63	0,000050	7,22	6276,3	8,22	7,68
64	0,000016	7,21	2054,6	8,21	7,66
65	0,000092	7,14	11475,5	8,19	7,64
66	0,000047	7,11	5933,6	8,17	7,62
67	0,000024	7,10	3017,1	8,16	7,60
68	0,000033	7,07	4153,5	8,16	7,58
69	0,000039	7,05	4888,6	8,14	7,56
70	0,000009	7,04	1124,5	8,14	7,54
71	0,000025	7,02	3217,9	8,13	7,52
72	0,000032	7,00	3947,2	8,12	7,51
73	0,000025	6,99	3180,6	8,12	7,49
74	0,000012	6,98	1578,4	8,11	7,47
75	0,000036	6,96	4565,1	8,10	7,45
76	0,000141	6,86	17365,7	8,06	7,43
77	0,000000	6,86	0,0	8,06	7,41
78	0,000034	6,84	4280,5	8,05	7,39
79	0,000062	6,80	7741,1	8,04	7,37
80	0,000058	6,76	7297,4	8,02	7,35
81	0,000007	6,76	893,9	8,02	7,33
82	0,000024	6,75	3003,6	8,01	7,31
83	0,000017	6,73	2211,4	8,01	7,30
84	0,000006	6,73	749,8	8,01	7,28
85	0,000043	6,70	5406,8	7,99	7,26
86	0,000037	6,68	4662,5	7,98	7,24
87	0,000073	6,63	9103,9	7,96	7,22
88	0,000014	6,63	1791,9	7,96	7,20
89	0,000010	6,62	1255,2	7,96	7,18
90	0,000015	6,61	1931,7	7,95	7,16
91	0,000035	6,59	4396,7	7,94	7,14

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
92	0,000022	6,57	2703,8	7,94	7,12
93	0,000032	6,56	4063,6	7,93	7,10
94	0,000039	6,53	4932,9	7,92	7,09
95	0,000050	6,50	6276,3	7,90	7,07
96	0,000016	6,49	2054,6	7,90	7,05
97	0,000092	6,43	11475,5	7,87	7,03
98	0,000047	6,41	5933,6	7,86	7,01
99	0,000024	6,39	3017,1	7,85	6,99
100	0,000033	6,37	4153,5	7,84	6,97

#### A.8.1 Simulação de redução do volume do reservatório São Mateus-CE



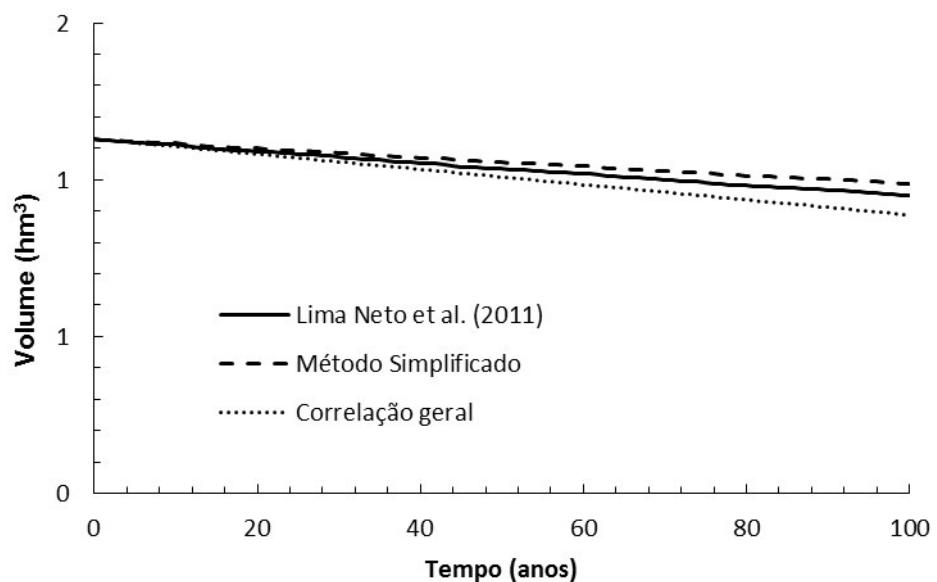
### A.9 Reservatório Canabrava-CE

ano	Canabrava	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)	Vo:	1,22
0	R'	1,13	R	1,13	1,13	Ass/ano:	0,00242hm <sup>3</sup> /ano
1	0,000025	1,13	12008,9	1,13	1,13		
2	0,000011	1,13	4454,9	1,12	1,13		
3	0,000015	1,12	5596,9	1,12	1,12		
4	0,000016	1,12	6574,4	1,12	1,12		
5	0,000018	1,12	7861,6	1,12	1,12		
6	0,000010	1,12	3987,3	1,12	1,12		
7	0,000016	1,12	7316,0	1,11	1,11		
8	0,000008	1,12	3902,8	1,11	1,11		
9	0,000007	1,12	2840,8	1,11	1,11		
10	0,000008	1,12	3403,8	1,11	1,11		
11	0,000020	1,11	10210,6	1,11	1,10		
12	0,000033	1,11	15080,6	1,10	1,10		
13	0,000021	1,11	9355,6	1,10	1,10		
14	0,000009	1,11	3577,7	1,10	1,10		
15	0,000016	1,11	6625,0	1,10	1,09		
16	0,000017	1,10	7052,9	1,10	1,09		
17	0,000011	1,10	4667,6	1,09	1,09		
18	0,000010	1,10	3918,3	1,09	1,09		
19	0,000012	1,10	5091,8	1,09	1,08		
20	0,000008	1,10	3284,6	1,09	1,08		
21	0,000008	1,10	2949,5	1,09	1,08		
22	0,000016	1,10	6335,3	1,09	1,08		
23	0,000019	1,10	7552,3	1,09	1,07		
24	0,000011	1,09	4438,9	1,08	1,07		
25	0,000010	1,09	4239,8	1,08	1,07		
26	0,000017	1,09	7069,5	1,08	1,07		
27	0,000013	1,09	4919,2	1,08	1,06		
28	0,000009	1,09	3716,9	1,08	1,06		
29	0,000010	1,09	4218,5	1,08	1,06		
30	0,000016	1,09	6877,8	1,07	1,06		
31	0,000029	1,08	14224,7	1,07	1,05		
32	0,000010	1,08	4003,2	1,07	1,05		
33	0,000025	1,08	12008,9	1,07	1,05		
34	0,000011	1,08	4454,9	1,06	1,05		
35	0,000015	1,08	5596,9	1,06	1,05		
36	0,000016	1,08	6574,4	1,06	1,04		
37	0,000018	1,07	7861,6	1,06	1,04		
38	0,000010	1,07	3987,3	1,06	1,04		
39	0,000016	1,07	7316,0	1,05	1,04		
40	0,000008	1,07	3902,8	1,05	1,03		
41	0,000007	1,07	2840,8	1,05	1,03		
42	0,000008	1,07	3403,8	1,05	1,03		
43	0,000020	1,07	10210,6	1,05	1,03		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
44	0,000033	1,06	15080,6	1,04	1,02
45	0,000021	1,06	9355,6	1,04	1,02
46	0,000009	1,06	3577,7	1,04	1,02
47	0,000016	1,06	6625,0	1,04	1,02
48	0,000017	1,06	7052,9	1,04	1,01
49	0,000011	1,06	4667,6	1,04	1,01
50	0,000010	1,06	3918,3	1,03	1,01
51	0,000012	1,05	5091,8	1,03	1,01
52	0,000008	1,05	3284,6	1,03	1,00
53	0,000008	1,05	2949,5	1,03	1,00
54	0,000016	1,05	6335,3	1,03	1,00
55	0,000019	1,05	7552,3	1,03	1,00
56	0,000011	1,05	4438,9	1,03	0,99
57	0,000010	1,05	4239,8	1,02	0,99
58	0,000017	1,05	7069,5	1,02	0,99
59	0,000013	1,04	4919,2	1,02	0,99
60	0,000009	1,04	3716,9	1,02	0,98
61	0,000010	1,04	4218,5	1,02	0,98
62	0,000016	1,04	6877,8	1,02	0,98
63	0,000029	1,04	14224,7	1,01	0,98
64	0,000010	1,04	4003,2	1,01	0,97
65	0,000025	1,03	12008,9	1,01	0,97
66	0,000011	1,03	4454,9	1,01	0,97
67	0,000015	1,03	5596,9	1,01	0,97
68	0,000016	1,03	6574,4	1,00	0,97
69	0,000018	1,03	7861,6	1,00	0,96
70	0,000010	1,03	3987,3	1,00	0,96
71	0,000016	1,03	7316,0	1,00	0,96
72	0,000008	1,03	3902,8	1,00	0,96
73	0,000007	1,02	2840,8	1,00	0,95
74	0,000008	1,02	3403,8	1,00	0,95
75	0,000020	1,02	10210,6	0,99	0,95
76	0,000033	1,02	15080,6	0,99	0,95
77	0,000021	1,02	9355,6	0,99	0,94
78	0,000009	1,02	3577,7	0,98	0,94
79	0,000016	1,01	6625,0	0,98	0,94
80	0,000017	1,01	7052,9	0,98	0,94
81	0,000011	1,01	4667,6	0,98	0,93
82	0,000010	1,01	3918,3	0,98	0,93
83	0,000012	1,01	5091,8	0,98	0,93
84	0,000008	1,01	3284,6	0,98	0,93
85	0,000008	1,01	2949,5	0,98	0,92
86	0,000016	1,01	6335,3	0,97	0,92
87	0,000019	1,00	7552,3	0,97	0,92
88	0,000011	1,00	4438,9	0,97	0,92
89	0,000010	1,00	4239,8	0,97	0,91
90	0,000017	1,00	7069,5	0,97	0,91
91	0,000013	1,00	4919,2	0,97	0,91

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
92	0,000009	1,00	3716,9	0,96	0,91
93	0,000010	1,00	4218,5	0,96	0,90
94	0,000016	1,00	6877,8	0,96	0,90
95	0,000029	0,99	14224,7	0,96	0,90
96	0,000010	0,99	4003,2	0,96	0,90
97	0,000025	0,99	12008,9	0,95	0,89
98	0,000011	0,99	4454,9	0,95	0,89
99	0,000015	0,99	5596,9	0,95	0,89
100	0,000016	0,99	6574,4	0,95	0,89

#### A.9.1 Simulação de redução do volume do reservatório Canabrava-CE



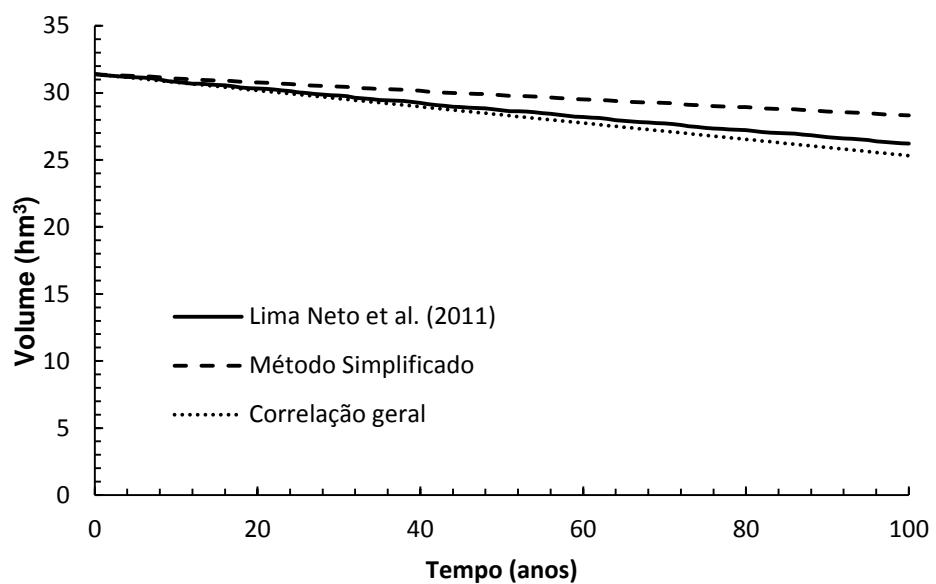
**A.10 Reservatório Acarape do Meio-CE**

ano	Acarape do Meio	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)	Vo:	34,10
0	R'	31,40	R	31,40	31,40	Ass/ano:	0,06079hm <sup>3</sup> /ano
1	0,000011	31,37	6590,8	31,34	31,34		
2	0,000010	31,34	5511,5	31,29	31,28		
3	0,000011	31,31	7219,4	31,23	31,22		
4	0,000005	31,29	3324,7	31,20	31,16		
5	0,000007	31,27	3956,4	31,17	31,10		
6	0,000005	31,26	2714,7	31,14	31,04		
7	0,000012	31,22	6893,0	31,08	30,97		
8	0,000019	31,17	10863,1	30,99	30,91		
9	0,000018	31,11	11091,5	30,89	30,85		
10	0,000011	31,08	6569,3	30,83	30,79		
11	0,000015	31,04	8520,0	30,76	30,73		
12	0,000014	30,99	7294,5	30,70	30,67		
13	0,000004	30,98	2428,1	30,68	30,61		
14	0,000009	30,95	5319,2	30,63	30,55		
15	0,000008	30,93	4868,5	30,59	30,49		
16	0,000002	30,93	1425,9	30,58	30,43		
17	0,000018	30,87	10413,9	30,49	30,37		
18	0,000015	30,83	8668,4	30,41	30,31		
19	0,000012	30,79	7182,4	30,35	30,25		
20	0,000004	30,78	2592,8	30,33	30,18		
21	0,000005	30,77	3046,0	30,30	30,12		
22	0,000009	30,74	4431,2	30,27	30,06		
23	0,000016	30,70	9449,5	30,19	30,00		
24	0,000010	30,67	6014,9	30,13	29,94		
25	0,000016	30,62	9482,1	30,05	29,88		
26	0,000014	30,58	7838,4	29,99	29,82		
27	0,000013	30,54	7699,3	29,92	29,76		
28	0,000009	30,52	4948,5	29,88	29,70		
29	0,000009	30,49	5386,0	29,84	29,64		
30	0,000008	30,47	4490,2	29,80	29,58		
31	0,000010	30,44	6314,2	29,75	29,52		
32	0,000021	30,38	13482,9	29,63	29,45		
33	0,000011	30,35	6590,8	29,58	29,39		
34	0,000010	30,32	5511,5	29,53	29,33		
35	0,000011	30,29	7219,4	29,47	29,27		
36	0,000005	30,27	3324,7	29,45	29,21		
37	0,000007	30,25	3956,4	29,41	29,15		
38	0,000005	30,24	2714,7	29,39	29,09		
39	0,000012	30,20	6893,0	29,33	29,03		
40	0,000019	30,15	10863,1	29,24	28,97		
41	0,000018	30,10	11091,5	29,15	28,91		
42	0,000011	30,07	6569,3	29,10	28,85		
43	0,000015	30,02	8520,0	29,03	28,79		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
44	0,000014	29,99	7294,5	28,97	28,73
45	0,000004	29,97	2428,1	28,95	28,66
46	0,000009	29,95	5319,2	28,91	28,60
47	0,000008	29,92	4868,5	28,87	28,54
48	0,000002	29,92	1425,9	28,86	28,48
49	0,000018	29,87	10413,9	28,77	28,42
50	0,000015	29,83	8668,4	28,70	28,36
51	0,000012	29,79	7182,4	28,64	28,30
52	0,000004	29,78	2592,8	28,62	28,24
53	0,000005	29,76	3046,0	28,60	28,18
54	0,000009	29,74	4431,2	28,56	28,12
55	0,000016	29,70	9449,5	28,49	28,06
56	0,000010	29,67	6014,9	28,44	28,00
57	0,000016	29,62	9482,1	28,36	27,94
58	0,000014	29,58	7838,4	28,30	27,87
59	0,000013	29,55	7699,3	28,24	27,81
60	0,000009	29,52	4948,5	28,20	27,75
61	0,000009	29,50	5386,0	28,16	27,69
62	0,000008	29,48	4490,2	28,12	27,63
63	0,000010	29,45	6314,2	28,07	27,57
64	0,000021	29,39	13482,9	27,97	27,51
65	0,000011	29,36	6590,8	27,91	27,45
66	0,000010	29,33	5511,5	27,87	27,39
67	0,000011	29,30	7219,4	27,81	27,33
68	0,000005	29,29	3324,7	27,79	27,27
69	0,000007	29,27	3956,4	27,76	27,21
70	0,000005	29,26	2714,7	27,74	27,14
71	0,000012	29,22	6893,0	27,68	27,08
72	0,000019	29,17	10863,1	27,60	27,02
73	0,000018	29,12	11091,5	27,51	26,96
74	0,000011	29,09	6569,3	27,46	26,90
75	0,000015	29,05	8520,0	27,40	26,84
76	0,000014	29,01	7294,5	27,34	26,78
77	0,000004	29,00	2428,1	27,32	26,72
78	0,000009	28,97	5319,2	27,28	26,66
79	0,000008	28,95	4868,5	27,24	26,60
80	0,000002	28,94	1425,9	27,23	26,54
81	0,000018	28,90	10413,9	27,15	26,48
82	0,000015	28,86	8668,4	27,09	26,42
83	0,000012	28,82	7182,4	27,03	26,35
84	0,000004	28,81	2592,8	27,01	26,29
85	0,000005	28,80	3046,0	26,99	26,23
86	0,000009	28,77	4431,2	26,96	26,17
87	0,000016	28,73	9449,5	26,88	26,11
88	0,000010	28,70	6014,9	26,84	26,05
89	0,000016	28,66	9482,1	26,77	25,99
90	0,000014	28,62	7838,4	26,71	25,93
91	0,000013	28,59	7699,3	26,65	25,87

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
92	0,000009	28,56	4948,5	26,61	25,81
93	0,000009	28,54	5386,0	26,57	25,75
94	0,000008	28,52	4490,2	26,54	25,69
95	0,000010	28,49	6314,2	26,49	25,63
96	0,000021	28,43	13482,9	26,39	25,56
97	0,000011	28,40	6590,8	26,34	25,50
98	0,000010	28,38	5511,5	26,30	25,44
99	0,000011	28,35	7219,4	26,25	25,38
100	0,000005	28,33	3324,7	26,23	25,32

#### A.10.1 Simulação de redução do volume do reservatório Acarape do Meio-CE



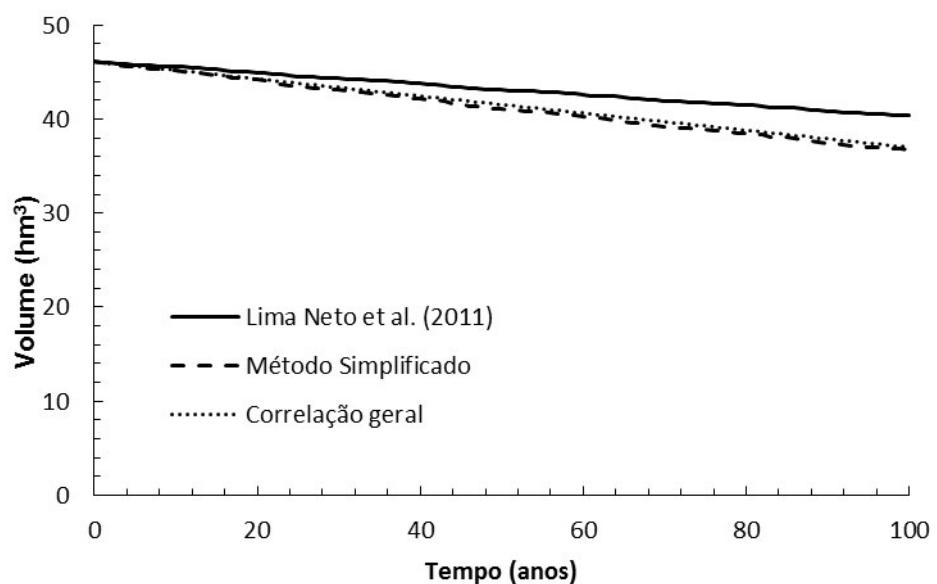
### A.11 Reservatório Várzea do Boi-CE

ano	Várzea do Boi	V ( $\phi$ )	R	V ( $\zeta$ )	V (CE)	Vo:	51,90
0	R'	46,10	R	46,10	46,10	Ass/ano:	0,09126hm <sup>3</sup> /ano
1	0,000023	46,00	4081,3	46,05	46,01		
2	0,000044	45,81	9094,6	45,93	45,92		
3	0,000018	45,73	3536,2	45,88	45,83		
4	0,000028	45,62	5256,4	45,82	45,73		
5	0,000022	45,52	4256,2	45,76	45,64		
6	0,000005	45,50	1396,1	45,74	45,55		
7	0,000033	45,36	5745,6	45,67	45,46		
8	0,000010	45,32	1961,2	45,64	45,37		
9	0,000022	45,22	4253,2	45,59	45,28		
10	0,000023	45,13	4207,5	45,54	45,19		
11	0,000006	45,10	1469,3	45,52	45,10		
12	0,000032	44,96	6409,1	45,44	45,00		
13	0,000023	44,87	3575,1	45,39	44,91		
14	0,000012	44,82	2273,0	45,36	44,82		
15	0,000030	44,69	5689,0	45,29	44,73		
16	0,000022	44,60	4072,0	45,24	44,64		
17	0,000053	44,37	11465,0	45,09	44,55		
18	0,000010	44,33	2002,2	45,07	44,46		
19	0,000020	44,25	3837,6	45,02	44,37		
20	0,000023	44,16	4383,2	44,96	44,27		
21	0,000033	44,02	6590,1	44,88	44,18		
22	0,000047	43,82	9674,2	44,76	44,09		
23	0,000023	43,73	4081,3	44,71	44,00		
24	0,000044	43,55	9094,6	44,59	43,91		
25	0,000018	43,48	3536,2	44,55	43,82		
26	0,000028	43,36	5256,4	44,48	43,73		
27	0,000022	43,27	4256,2	44,43	43,64		
28	0,000005	43,25	1396,1	44,41	43,54		
29	0,000033	43,12	5745,6	44,34	43,45		
30	0,000010	43,08	1961,2	44,31	43,36		
31	0,000022	42,99	4253,2	44,26	43,27		
32	0,000023	42,90	4207,5	44,21	43,18		
33	0,000006	42,87	1469,3	44,19	43,09		
34	0,000032	42,74	6409,1	44,11	43,00		
35	0,000023	42,65	3575,1	44,07	42,91		
36	0,000012	42,60	2273,0	44,04	42,81		
37	0,000030	42,48	5689,0	43,97	42,72		
38	0,000022	42,40	4072,0	43,92	42,63		
39	0,000053	42,18	11465,0	43,78	42,54		
40	0,000010	42,14	2002,2	43,75	42,45		
41	0,000020	42,06	3837,6	43,71	42,36		
42	0,000023	41,98	4383,2	43,65	42,27		
43	0,000033	41,84	6590,1	43,57	42,18		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
44	0,000047	41,66	9674,2	43,45	42,08
45	0,000023	41,57	4081,3	43,40	41,99
46	0,000044	41,40	9094,6	43,29	41,90
47	0,000018	41,33	3536,2	43,25	41,81
48	0,000028	41,22	5256,4	43,19	41,72
49	0,000022	41,14	4256,2	43,13	41,63
50	0,000005	41,12	1396,1	43,12	41,54
51	0,000033	40,99	5745,6	43,05	41,45
52	0,000010	40,95	1961,2	43,02	41,35
53	0,000022	40,87	4253,2	42,97	41,26
54	0,000023	40,78	4207,5	42,92	41,17
55	0,000006	40,76	1469,3	42,90	41,08
56	0,000032	40,63	6409,1	42,83	40,99
57	0,000023	40,55	3575,1	42,78	40,90
58	0,000012	40,50	2273,0	42,76	40,81
59	0,000030	40,39	5689,0	42,69	40,72
60	0,000022	40,30	4072,0	42,64	40,62
61	0,000053	40,10	11465,0	42,50	40,53
62	0,000010	40,06	2002,2	42,48	40,44
63	0,000020	39,99	3837,6	42,43	40,35
64	0,000023	39,90	4383,2	42,38	40,26
65	0,000033	39,78	6590,1	42,30	40,17
66	0,000047	39,60	9674,2	42,19	40,08
67	0,000023	39,52	4081,3	42,14	39,99
68	0,000044	39,35	9094,6	42,03	39,89
69	0,000018	39,29	3536,2	41,99	39,80
70	0,000028	39,19	5256,4	41,93	39,71
71	0,000022	39,11	4256,2	41,88	39,62
72	0,000005	39,09	1396,1	41,86	39,53
73	0,000033	38,96	5745,6	41,79	39,44
74	0,000010	38,93	1961,2	41,77	39,35
75	0,000022	38,85	4253,2	41,72	39,26
76	0,000023	38,77	4207,5	41,67	39,16
77	0,000006	38,74	1469,3	41,65	39,07
78	0,000032	38,63	6409,1	41,58	38,98
79	0,000023	38,54	3575,1	41,54	38,89
80	0,000012	38,50	2273,0	41,51	38,80
81	0,000030	38,39	5689,0	41,44	38,71
82	0,000022	38,31	4072,0	41,40	38,62
83	0,000053	38,12	11465,0	41,26	38,53
84	0,000010	38,08	2002,2	41,24	38,43
85	0,000020	38,01	3837,6	41,20	38,34
86	0,000023	37,93	4383,2	41,15	38,25
87	0,000033	37,81	6590,1	41,07	38,16
88	0,000047	37,65	9674,2	40,96	38,07
89	0,000023	37,57	4081,3	40,91	37,98
90	0,000044	37,41	9094,6	40,81	37,89
91	0,000018	37,35	3536,2	40,77	37,80

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
92	0,000028	37,25	5256,4	40,71	37,70
93	0,000022	37,18	4256,2	40,66	37,61
94	0,000005	37,16	1396,1	40,64	37,52
95	0,000033	37,04	5745,6	40,58	37,43
96	0,000010	37,01	1961,2	40,55	37,34
97	0,000022	36,93	4253,2	40,50	37,25
98	0,000023	36,85	4207,5	40,46	37,16
99	0,000006	36,83	1469,3	40,44	37,07
100	0,000032	36,72	6409,1	40,37	36,97

#### A.11.1 Simulação de redução do volume do reservatório Várzea do Boi-CE



**A.12 Reservatório Poço da Pedra-CE**

ano	Poço da Pedra	V ( $\phi$ )	R	V ( $\zeta$ )	V (CE)	Vo:	52,00
0	R'	43,10	R	43,10	43,10	Ass/ano:	0,09126hm <sup>3</sup> /ano
1	0,000076	42,79	9116,9	42,99	43,01		
2	0,000022	42,70	2773,9	42,96	42,92		
3	0,000038	42,55	4967,0	42,90	42,83		
4	0,000028	42,43	3092,1	42,86	42,73		
5	0,000025	42,33	2708,7	42,83	42,64		
6	0,000019	42,26	2099,7	42,80	42,55		
7	0,000033	42,13	3823,8	42,76	42,46		
8	0,000036	41,98	4864,4	42,70	42,37		
9	0,000024	41,89	2878,9	42,66	42,28		
10	0,000015	41,83	2028,6	42,64	42,19		
11	0,000040	41,67	4834,3	42,58	42,09		
12	0,000070	41,40	7667,2	42,49	42,00		
13	0,000040	41,24	4459,6	42,44	41,91		
14	0,000024	41,15	2881,1	42,40	41,82		
15	0,000051	40,95	5865,0	42,33	41,73		
16	0,000074	40,67	8545,5	42,23	41,64		
17	0,000023	40,58	2750,7	42,20	41,55		
18	0,000023	40,49	2899,1	42,16	41,45		
19	0,000034	40,36	4036,6	42,11	41,36		
20	0,000017	40,30	1854,2	42,09	41,27		
21	0,000024	40,21	2626,8	42,06	41,18		
22	0,000038	40,06	4160,1	42,01	41,09		
23	0,000031	39,95	3225,4	41,97	41,00		
24	0,000061	39,72	7372,5	41,89	40,91		
25	0,000017	39,65	2155,0	41,86	40,81		
26	0,000043	39,50	4743,5	41,81	40,72		
27	0,000034	39,37	3841,5	41,76	40,63		
28	0,000014	39,32	1693,2	41,74	40,54		
29	0,000009	39,29	1376,1	41,73	40,45		
30	0,000030	39,17	3642,2	41,68	40,36		
31	0,000093	38,83	13325,7	41,53	40,27		
32	0,000031	38,72	3473,0	41,49	40,17		
33	0,000076	38,44	9116,9	41,38	40,08		
34	0,000022	38,36	2773,9	41,35	39,99		
35	0,000038	38,22	4967,0	41,29	39,90		
36	0,000028	38,12	3092,1	41,25	39,81		
37	0,000025	38,03	2708,7	41,22	39,72		
38	0,000019	37,96	2099,7	41,20	39,63		
39	0,000033	37,84	3823,8	41,15	39,53		
40	0,000036	37,72	4864,4	41,10	39,44		
41	0,000024	37,63	2878,9	41,07	39,35		
42	0,000015	37,58	2028,6	41,04	39,26		
43	0,000040	37,44	4834,3	40,99	39,17		

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
44	0,000070	37,19	7667,2	40,90	39,08
45	0,000040	37,05	4459,6	40,85	38,99
46	0,000024	36,97	2881,1	40,81	38,89
47	0,000051	36,79	5865,0	40,75	38,80
48	0,000074	36,53	8545,5	40,65	38,71
49	0,000023	36,45	2750,7	40,62	38,62
50	0,000023	36,37	2899,1	40,58	38,53
51	0,000034	36,26	4036,6	40,54	38,44
52	0,000017	36,20	1854,2	40,52	38,35
53	0,000024	36,12	2626,8	40,49	38,25
54	0,000038	35,99	4160,1	40,44	38,16
55	0,000031	35,89	3225,4	40,40	38,07
56	0,000061	35,68	7372,5	40,32	37,98
57	0,000017	35,62	2155,0	40,30	37,89
58	0,000043	35,48	4743,5	40,24	37,80
59	0,000034	35,37	3841,5	40,20	37,71
60	0,000014	35,32	1693,2	40,18	37,61
61	0,000009	35,29	1376,1	40,16	37,52
62	0,000030	35,19	3642,2	40,12	37,43
63	0,000093	34,88	13325,7	39,97	37,34
64	0,000031	34,78	3473,0	39,93	37,25
65	0,000076	34,53	9116,9	39,83	37,16
66	0,000022	34,46	2773,9	39,80	37,07
67	0,000038	34,34	4967,0	39,74	36,97
68	0,000028	34,24	3092,1	39,71	36,88
69	0,000025	34,16	2708,7	39,68	36,79
70	0,000019	34,10	2099,7	39,66	36,70
71	0,000033	34,00	3823,8	39,61	36,61
72	0,000036	33,88	4864,4	39,56	36,52
73	0,000024	33,80	2878,9	39,53	36,43
74	0,000015	33,76	2028,6	39,51	36,33
75	0,000040	33,63	4834,3	39,45	36,24
76	0,000070	33,41	7667,2	39,37	36,15
77	0,000040	33,28	4459,6	39,32	36,06
78	0,000024	33,21	2881,1	39,29	35,97
79	0,000051	33,05	5865,0	39,22	35,88
80	0,000074	32,82	8545,5	39,13	35,79
81	0,000023	32,75	2750,7	39,10	35,69
82	0,000023	32,68	2899,1	39,06	35,60
83	0,000034	32,57	4036,6	39,02	35,51
84	0,000017	32,52	1854,2	39,00	35,42
85	0,000024	32,45	2626,8	38,97	35,33
86	0,000038	32,33	4160,1	38,93	35,24
87	0,000031	32,24	3225,4	38,89	35,15
88	0,000061	32,05	7372,5	38,81	35,05
89	0,000017	32,00	2155,0	38,79	34,96
90	0,000043	31,87	4743,5	38,74	34,87
91	0,000034	31,77	3841,5	38,69	34,78

ano	R'	V ( $\phi$ )	R	V ( $\xi$ )	V (CE)
92	0,000014	31,73	1693,2	38,68	34,69
93	0,000009	31,70	1376,1	38,66	34,60
94	0,000030	31,61	3642,2	38,62	34,51
95	0,000093	31,34	13325,7	38,48	34,41
96	0,000031	31,25	3473,0	38,44	34,32
97	0,000076	31,02	9116,9	38,34	34,23
98	0,000022	30,96	2773,9	38,31	34,14
99	0,000038	30,84	4967,0	38,26	34,05
100	0,000028	30,76	3092,1	38,22	33,96

#### A.12.1 Simulação de redução do volume do reservatório Poço da Pedra-CE

