

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO RECURSOS HÍDRICOS

THOMAS LÍVIO SANTOS COELHO

ESTUDO DA VARIAÇÃO DA ÁREA DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE DO RESERVATÓRIO ORÓS-CE ASSOCIADA ÀS
ALTERAÇÕES DO CÓDIGO FLORESTAL

FORTALEZA - CEARÁ

2015

Thomas Lívio Santos Coelho

**ESTUDO DA VARIAÇÃO DA ÁREA DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE DO RESERVATÓRIO ORÓS-CE ASSOCIADA ÀS
ALTERAÇÕES DO CÓDIGO FLORESTAL**

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

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. José Nilson Bezerra Campos.

FORTALEZA - CEARÁ

2015

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

C621e

Coelho, Thomas Lívio Santos.

Estudo da variação da área de preservação permanente do reservatório Orós-CE associada às alterações do código florestal / Thomas Lívio Santos Coelho. – 2016.
79 f. : il. color. , enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2016.

Área de Concentração: Recursos Hídricos.

Orientação: Prof. Dr. José Nilson Bezerra Campos.

1. Recursos hídricos. 2. Preservação e conservação. 3. Probabilidades - Distribuição. 4. Reservatórios – Legislação. I. Título.

THOMAS LÍVIO SANTOS COELHO

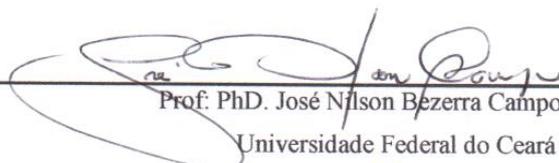
**ESTUDO DA VARIAÇÃO DA ÁREA DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE DO RESERVATÓRIO ORÓS-CE ASSOCIADA ÀS
ALTERAÇÕES DO CÓDIGO FLORESTAL**

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

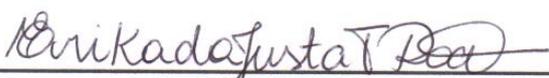
Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 18/02/2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. PhD. José Nilson Bezerra Campos (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. Ticianá Marinho de Carvalho Studart
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. Erika da Justa Teixeira Rocha
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

À minha querida avó:
Maria da Graça (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

À minha querida esposa Luciana Kamila que sempre está ao meu lado ajudando a construir nossa história, sempre prestativa, otimista, carinhosa, amorosa e com seu incansável bom humor.

À minha família.

À minha mãe que tanto apoiou e sempre me deu forças para enfrentar as dificuldades encontradas no caminho do crescimento pessoal, profissional e intelectual.

Ao meu pai e sua “voz da experiência”, fonte de resposta para as grandes adversidades encontradas no caminho que trilhei.

Ao meu sogro e sogra que também sempre estiveram apoiando e fortalecendo os laços familiares.

Aos meus cunhados, grandes companheiros, participativos, apoiadores do crescimento e da amizade.

Ao meu cunhado Fábio Eduardo, sua intelectualidade, sua perseverança, seu poder de convencimento e seu companheirismo, o faz grandioso.

Ao meu amigo irmão Emanuel Duarte, companheiro, cúmplice, prestativo, agradeço por todo apoio moral, intelectual e pelas alegrias que pudeste compartilhar.

Aos meus amigos que embora muitas vezes distantes geograficamente, sempre foram prestativos e atenciosos.

A Rosane Matos, que apoiou na construção deste trabalho.

Ao meu orientador José Nilson Campos, agradecerei sempre pela paciência e pela confiança que depositou em mim, sua calma e sua intelectualidade sempre serão inspiração para meu desenvolvimento.

A Prof^ª. Dr^ª. Ticiane Marinho de Carvalho Studart e a Prof^ª. Dr^ª. Erika da Justa Teixeira Rocha, pela presença na banca examinadora, o que engrandece este trabalho.

Ao CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

“Penso noventa e nove vezes e nada descobro; deixo de pensar, mergulho em profundo silêncio – e eis que a verdade se revelará.”

Albert Einstein

RESUMO

O estudo de variação de área de preservação permanente do reservatório Orós utilizou o software ArcGis 10.2 para a modelagem computacional, a delimitação foi realizada conforme os referenciais legais da atual legislação ambiental (Lei 12.651/2012) e da anterior (Lei 4.771/65) comparativamente, quanto a referência altimétrica estabelecida pela atual legislação, utilizou-se a cota máxima maximorum original do projeto de 1960, e uma cota máxima maximorum modelada estatisticamente a partir de dados pluviométricos atuais, quanto a referência altimétrica estabelecida pela legislação anterior modelou-se um *Buffer* de 100 metros medidos a partir da cota máxima operativa normal, assim comparando-se a restritividade ou a permissividade da legislação em vigor. A modelagem de atualização de cota máxima maximorum para determinação da área de preservação permanente do reservatório Orós se deu por meio de processos estatísticos, utilizando distribuições de probabilidade, dentre as quais oito tipos foram selecionadas: Weibull 3 Parâmetros, Menores Valores Extremos, Weibull, Logística, Normal, Gamma, LogNormal e Maiores Valores Extremos. O desempenho destas foram avaliados pelo nível de confiança, este estabelecido em 95% e quanto a aderência pelo método de Anderson Darling, destacando-se a distribuição do tipo Weibull 3 Parâmetros, a qual obteve o melhor desempenho global, modelando uma cota máxima maximorum de 208 metros, um metro a cima da estabelecida pelo projeto original. Estabelecido os referenciais, iniciou-se a modelagem computacional das APP's, identificou-se que a atual legislação, referenciada pela cota máxima maximorum do projeto original do DNOCS, é menos restritiva do que a legislação anterior, prever uma área 26% menor do que a delimitada pela legislação anterior, promovendo alterações quanto a definição territorial dos municípios contemplados pelo reservatório. Assim, foram observados ganhos de APP em alguns municípios e em outros, perda, processo este não ocorrendo de forma homogênea.

Palavras-chave: Área de Preservação Permanente. Distribuição de Probabilidade. Cota Máxima Maximorum. Novo Código Florestal.

ABSTRACT

The study of ranging permanent preservation areas of Orós reservoir, used the ArcGIS 10.2 software for computer modeling, the delimitation was carried out according to legal references of current environmental legislation, and the previous legislation, using altimetry reference established by current legislation, was used two altimetric elevations, the maximum maximum quota of original project 1960, and a maximum maximum quota statistically modeled from current rainfall data, using altimetry reference established by previous legislation was modeled one buffer of 100 meters measured from the maximum normal operating height, so it was possible to compare the restrictiveness or permissiveness of the legislation. Modeling maximum maximum quota update to determine the area of permanent preservation of Orós reservoir was through statistical process using probability distributions, among which eight types were selected: Weibull three parameters, Minor Values Extremes, Weibull, Logistics, Normal, Gamma, lognormal and Largest Values Extremes. The performance of these distributions were evaluated by confidence level, this posted at 95% and the adherence by Anderson Darling method, highlighting the type distribution Weibull three parameters, which obtained the best overall performance, modeling a maximum maximum quota of 208 meters, one meter above the established by the original project. Established the demarcation reference, began the computational modeling of the APPs, it was identified that the current legislation by reference to the maximum maximum quota of the original project of DNOCS, is less restrictive than the previous legislation establishes an area 26% smaller that established by previous legislation, promoting changes as the territorial definition of the municipalities covered by the reservoir. Thus, APP gains were observed in some municipalities and other municipalities was observed loss of APP, the process does not occur homogeneously.

Keywords: Permanent preservation area. Probability distribution. Maximum quota Maximorum. New Forest Code.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma	27
Figura 2 - Bacia do alto Jaguaribe e Açude Orós	28
Figura 3 - Vazões de vertimento de 1961 à 2014.	31
Figura 4 - Cotas máximas anuais 1974, 1978 à 2014.	44
Figura 5 - Aplicação estatística da função Normal.....	46
Figura 6 - Aplicação estatística da função Gamma.	48
Figura 7 - Aplicação estatística da função LogNormal.	49
Figura 8 - Aplicação estatística da função Valores Extremos Máximos.....	50
Figura 9 - Aplicação estatística da função Logística.....	51
Figura 10 - Aplicação estatística da função Menores Valores Extremos.....	52
Figura 11 - Aplicação estatística da função Weibull.....	53
Figura 12 – Weibull 3 Parâmetros.....	54
Figura 13 – Quadro comparativo, funções Weibull 3 Parâmetros, Weibull, Menores Valores Extremos e Logística.....	55
Figura 14 – Quadro comparativo Normal, Gamma, LogNormal e Maiores Valores Extremos.....	56
Figura 15 - Área de preservação permanente entre a cota 209-211.	62
Figura 16 - Área de preservação permanente entre a cota 209-212.	64
Figura 17 - Área de preservação permanente entre a cota 209-218.	65
Figura 18- Área de preservação permanente Buffer de 100 metros.....	67
Figura 19 - Manchas simuladas para os intervalos de cota 209-211; 209-212; 209-218 e pelo buffer de 100 m.....	68
Figura 20 – Mapa com os limites dos municípios.....	70
Figura 21 - APP no município de Iguatu-CE	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Código dos dados técnicos das articulações.	34
Tabela 2- Código dos dados técnicos das articulações.....	35
Tabela 3 - Cotas Máximas Anuais 1978 à 1981 e 1986 à 2014.	41
Tabela 4 - Cotas Máximas Anuais de 1974 e 1978 à 2014.	43
Tabela 5 - Valores dos parâmetros P-Valor e AD.	56
Tabela 6 – Cotas (m) máximas maximorum modeladas pelas distribuições de probabilidades.....	57
Tabela 7 - Cotas de referência para estudo.....	60
Tabela 8 - Área de preservação permanente entre a cota 209-211.....	61
Tabela 9- Área de preservação permanente entre a cota 209-212.	63
Tabela 10 - Área de preservação permanente entre a cota 209-218.....	65
Tabela 11 - Área de preservação permanente Buffer de 100 metros.....	66
Tabela 12 - Comparativo das áreas modeladas pela da atual legislação (Lei 12.651/2012) e pela legislação anterior (Lei 4.771/65).	69
Tabela 13 – Alteração da área de preservação permanente.....	71
Tabela 14 - APP no município de Iguatu-CE.....	72

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Revisão Bibliográfica.....	14
2.1. Definições e métodos para determinação de APP	14
2.2. Revisão de distribuições de probabilidade e testes de aderência.....	17
3. Metodologia	24
3.1. Caracterização da Região.....	28
3.2. Coleta dos dados	31
4. Elaboração Teórica – Estruturas de Análises.....	35
4.1. Proposta de modelo para atualização de cota máxima maximorum.....	35
4.2. Proposta de determinação de área de preservação permanente	37
5. Resultados e Discussão	40
5.1. Implementação dos Modelos	40
5.1.1. Formação da série histórica	40
5.1.2. Análise de adequação das distribuições à série histórica	45
5.1.3. Atualização de cota máxima maximorum	57
5.1.4. Cálculo e Determinação de APP - Referência Legislação Atual.....	60
5.1.4.1. Cota Máxima Maximorum Original DNOCS.....	60
5.1.4.2. Cota Máxima Maximorum Atualizada	62
5.1.5. Determinação de APP - Referência Legislação Anterior (Lei 4.771/65) .	65
5.2. Abordagem Legal.....	68
6. Considerações Finais.....	73
7. Referências Bibliográficas	76

1. Introdução

As áreas de preservação permanente - APP's são áreas instituídas e determinadas pela legislação brasileira com o intuito de preservar uma porção satisfatória do meio biótico natural que represente a biodiversidade local e seus recursos culturais aderidos. O entendimento ambiental das APP's deve incluir, além dos aspectos biológicos, também os aspectos socioeconômicos e culturais. Estes aspectos afetam a qualidade de vida humana em igual magnitude e expressividade, FISHER & SÁ, 2007.

As áreas de preservação permanente são hoje definidas pelo novo Código Florestal Brasileiro, Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, a qual altera e atualiza o antigo Código Florestal Brasileiro de 1965, apresentando as diretrizes para enquadramento e delimitação de áreas como as de preservação permanente, reserva Legal, exploração florestal, o controle dos produtos florestais, o controle e a prevenção dos incêndios florestais, Brasil, 2012. Dentre os tipos de APP's, neste estudo, serão abordadas com mais ênfase, as áreas localizadas nas margens dos reservatórios destinados a produção de energia e abastecimento público, área compreendida pela faixa entre a cota máxima operativa normal e cota máxima maximorum, tornando assim a delimitação das APP's específicas para cada reservatório, haja vista a utilização de referenciais intrínsecos de cada projeto.

A cota máxima maximorum do reservatório, que é definida no projeto executivo, é utilizada como um dos parâmetros para determinação das cotas altimétricas do barramento, sendo utilizada também no cálculo de segurança hidrológica dos reservatórios, porém em alguns casos, como o dos grandes reservatórios em que seus projetos executivos foram elaborados utilizando base de dados de baixa densidade, com baixa quantidade de pontos coletados, como por exemplo os estudos hidrológicos embasados em séries históricas de curto período de observação. Faz-se necessário realizar estudos hidrológicos de atualização da cota máxima maximorum, baseando-se nas condições operativas do reservatório e séries históricas hidrométricas.

Uma das ferramentas disponíveis que auxiliam na atualização de cota máxima maximorum são os processos estatísticos embasados na teoria da probabilidade. Tais processos utilizam distribuições específicas de probabilidade para modelar o comportamento de séries históricas e poder realizar extrapolação temporal do valor do parâmetro compilado na série. Para indicar a confiabilidade das distribuições em produzir valores extrapolados, pode-se utilizar o nível de confiança como parâmetro e para determinar a eficiência das distribuições em modelar a série histórica, pode-se utilizar os

testes de aderência. Desta maneira, as ferramentas estatísticas podem modelar e extrapolar temporalmente as cotas máximas medidas na operação do reservatório e assim, modelar uma cota decamilenar. Esse período de retorno é estabelecido para os grandes reservatórios como cota máxima maximorum.

Esse estudo de atualização de cota máxima maximorum além de incrementar a segurança hidrológica do barramento, agrega uma maior precisão na determinação das áreas de preservação permanente, as quais afetam diretamente as definições territoriais dos municípios contemplados pelo reservatório em estudo, haja vista a aplicação do novo código florestal de 2012, o qual utiliza como referência para a determinação da APP a cota máxima maximorum estabelecida no projeto executivo.

Na delimitação das Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal (RL), vários trabalhos acadêmicos vem sendo desenvolvidos, os quais em sua maioria fazem uso de imagens de satélites como também utilizam Sistema de Informações Geográficas (SIG), Costa et al., 1996; Ribeiro et al., 2005; Vestena e Thomaz, 2006; Oliveira et al., 2007; Silva et al., 2013; Castro et al., 2013. Porém, algumas áreas em determinadas regiões observam-se grandes carências de informações, principalmente quanto aos dados altimétricos do terreno, elevando o grau de dificuldade da determinação das APP's referenciadas por cotas, como por exemplo as áreas de preservação dos reservatórios destinados ao abastecimento e a geração de energia. Como alternativa, pode-se utilizar os Modelos Digitais de Elevação – MDE's para minimizar os problemas aderidos a escassez de dados, esses modelos são capazes de fornecer dados com precisão de *pixel's* de até 30x30 metros em algumas regiões, nesse caso, sendo capaz de modelar o relevo e as cotas da região, produzindo resultados satisfatórios em fases de pré-projeto e estudos preliminares.

O estudo pretende realizar a atualização da cota máxima maximorum do açude presidente Juscelino Kubitschek, Orós-CE, construído em 1960. A atualização se dará por meio de processos estatísticos, aplicando as distribuições de probabilidade mais utilizadas em estudos de eventos extremos, que serão identificadas na revisão bibliográfica desenvolvida a seguir. A atualização da cota máxima maximorum dará suporte para modelagem da área de preservação permanente, baseada no período operativo do reservatório. Serão calculadas as APP's, com o auxílio do software *ArcGis 10.2*, seguindo as diretrizes do novo código florestal, aplicando a cota máxima maximorum atualizada e não atualizada. Além disso, será calculada a APP seguindo as diretrizes do código

florestal anterior, assim, dando suporte para uma abordagem legal quanto a restritividade da atual legislação brasileira.

2. Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica que será desenvolvida a seguir tem como objetivo elencar as principais distribuições de probabilidade aplicadas no campo dos estudos de eventos extremos, e, ainda, identificar as distribuições que alcançaram os melhores desempenhos quanto ao nível de confiança e aderência. A revisão abordará um breve apanhado das legislações aplicáveis à determinação das áreas de preservação permanente, bem como os métodos mais eficientes de dimensionamento e delimitação.

2.1. Definições e métodos para determinação de APP

As áreas de preservação permanente são definidas na legislação brasileira, de forma a gerar e auxiliar os instrumentos de proteção ao meio ambiente para assim garantir a manutenção e o equilíbrio ecológico, propiciando às presentes e às futuras gerações uma sadia qualidade de vida.

O novo código florestal de 2012 define o conceito de área de preservação permanente, bem como estabelece os critérios de enquadramento e classificação, emergindo assim, a preocupação para com a manutenção da vegetação de determinadas áreas, convergindo com as premissas do desenvolvimento sustentável. As alterações na cobertura vegetal do território nacional afeta diretamente o interesse coletivo, e, portanto é de grande valia o estabelecimento de diretrizes para a manutenção dessas áreas e assim propiciar benefícios a toda sociedade, Skorupa, 2003.

A definição de área de preservação permanente no Brasil é estabelecida pela lei 12.651, de 25 de maio de 2012, intitulada de novo código florestal, onde resolve que:

Art. 2º - II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular

II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais;

III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais;

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes;

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°;

VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

VII - os manguezais, em toda a sua extensão;

VIII - as bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo;
IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°;

X - as áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros;

XI - em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal;

Art. 5º Na implantação de reservatório d'água artificial destinado a geração de energia ou abastecimento público, é obrigatória a aquisição, desapropriação ou instituição de servidão administrativa pelo empreendedor das Áreas de Preservação Permanente criadas em seu entorno, conforme estabelecido no licenciamento ambiental, observando-se a faixa mínima de 30 (trinta) metros e máxima de 100 (cem) metros em área rural, e a faixa mínima de 15 (quinze) metros e máxima de 30 (trinta) metros em área urbana. (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).

Art. 62. Para os reservatórios artificiais de água destinados a geração de energia ou abastecimento público que foram registrados ou tiveram seus contratos de concessão ou autorização assinados anteriormente à Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, a faixa da Área de Preservação Permanente será a distância entre o nível máximo operativo normal e a cota máxima maximorum.

Segundo Rosa 2012, as APP's são muito sensíveis às alterações, pois são responsáveis pela manutenção dos ecossistemas, portanto devem ser preservadas e mantidas com sua vegetação nativa. O papel dessas áreas de preservação é atenuar a erosão do solo e do assoreamento de rios e lagos, abastecimento de olhos d'água, etc. A partir do Código 1934, as APP's foram definidas como florestas protetoras e remanescentes, devido ao seu papel diferenciado dentro das demais áreas presentes na floresta, mas somente após o código florestal atual ela passou a ser definida como Área de Preservação Permanente - APP.

Segunda Skorupa 2003, as APP's tem importância física e é responsável por serviços ecológicos. O autor classifica como importância física o papel da vegetação nas encostas acentuadas, prevenindo movimentação de solo e evitando acidentes nas partes mais baixas dos morros. Na agricultura, a vegetação minimiza processos erosivos, preservando a camada superior do solo que contém muitos nutrientes e como quebra-vento nas áreas de cultivo; a vegetação também amortece a queda da chuva, mantendo o solo poroso para a infiltração de água e as raízes das plantas alimentam as nascentes e o lençol freático, bem como evita o carreamento da camada superior de solo e de possíveis poluentes. O papel da vegetação nos leitos dos rios e lagos é evitar o assoreamento dos mesmos, bem como fazer a manutenção de todo o ecossistema evitando que poluentes sejam carreados diretamente para os cursos d'água e evitando prejuízos futuros aos animais e aos humanos que se abastecem dessa água. Por último, é responsável por diminuir o fluxo superficial e evitar que a maior parte da água escorra e provoque enchentes a jusante. Os serviços ecológicos aderidos à manutenção de APP's podem auxiliar na minimização da atuação de pragas, funcionando como sítios onde as pragas

podem se alimentar evitando assim, que os cultivos sejam atacados; no abrigo e fonte de alimento para os animais responsáveis pela polinização das culturas; na conexão entre os espécimes silvestres com o auxílio de corredores entre APP's próximas ou entre reservas legais; na depuração de substâncias tóxicas oriundas da agricultura por microrganismos presentes nas raízes das plantas; na diminuição de pragas também no solo; na transformação dos nutrientes presentes no solo e fixação de carbono e outros elementos no solo, permitindo a manutenção da sua qualidade.

As APP's representam parcela importante para o desenvolvimento sustentável em longo prazo, tornando possível um desenvolvimento saudável e sustentável para o meio ambiente e para a população. A baixa disponibilidade de água é um exemplo claro dos efeitos negativos que a não preservação das APP's pode causar, o racionamento de água e energia, causado pelos baixos níveis dos reservatórios, em parte, pode ser advindo da não preservação das matas ciliares e das nascentes, Skorupa, 2003.

A legislação ambiental brasileira possui um grande índice de restritividade, porém, muitas vezes, a fiscalização do seu cumprimento não é efetiva, em função da grande extensão do país, escassez de informação a respeito das regiões estudadas e do custo e dispêndio de tempo para a realização de tais estudos, Nascimento et al., 2005. Nesse contexto, existem técnicas que podem auxiliar na demarcação de grandes áreas potenciais de preservação como, Sensoriamento Remoto (SR) e de Sistema de Informação Geográfica (SIG), essas ferramentas são capazes de delimitar com eficiência situações como: áreas críticas, áreas de preservação permanente, unidades potenciais de usos da terra, zonas de influências de algum parâmetro, dentre outros, Xavier-da-Silva, 2001. Para a manipulação e avaliação dos dados oriundos dos Sensores Remotos, atualmente, as ferramentas mais utilizadas são os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e os processadores digitais de imagens. Essas ferramentas permitem armazenar, analisar e identificar a localização espacial de dados que já foram tratados e estudados previamente.

Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas às análises ambientais têm se mostrado eficientes, e vários trabalhos consideram essa abordagem, Caldas, 2006; Salamene, 2007. No trabalho realizado por Gasparini et al., 2013, identificou que o uso de geotecnologias é bastante eficiente na gestão territorial do município quanto a classificação das áreas de preservação permanente previstas pelas leis brasileiras, bem como auxiliam na otimização do uso e a ocupação do solo do município.

Ressalta-se que melhores resultados podem ser gerados a partir da utilização de base de dados homogêneos e consistentes.

O presente trabalho busca também identificar e delimitar as regiões definidas pela nova legislação como áreas de preservação permanente, com auxílio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na região do açude Orós.

2.2. Revisão de distribuições de probabilidade e testes de aderência

As distribuições de probabilidade podem auxiliar o processo de previsão de eventos extremos. Neste trabalho serão identificadas as principais distribuições e serão selecionadas as que vêm obtendo os melhores resultados na modelagem desses eventos. Essas serão aplicadas ao estudo de atualização de cota máxima maximorum que é utilizada como referencial para determinação das APP's, seguindo as diretrizes da nova legislação brasileira.

Back, 2001, analisou a aderência de dados obtidos em 100 postos pluviométricos localizados no estado de Santa Catarina, Brasil, através do uso do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para as seguintes distribuições: Log-Normal com dois e três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III, distribuição de extremos tipo I e Gumbel-Chow. Os parâmetros das distribuições foram obtidos através dos métodos de verossimilhança e dos momentos. Gumbel-Chow foi a distribuição que se ajustou melhor a 60% dos postos estudados e a 93% dos postos com séries menores que 20 anos. A Log-Normal três parâmetros se ajustou melhor às séries com baixa assimetria e curtose enquanto que a Log-Pearson ajustou-se melhor as séries com alta assimetria e curtose, a segunda melhor distribuição para esse caso foi a Log-Normal dois parâmetros.

Yue, Ouarda e Bobée 2001, revisaram e elencaram as distribuições bivariadas Gama existentes na literatura, apontando suas vantagens e limitações bem como suas características principais e aplicabilidade de cada modelo. As distribuições Bigama, como são comumente chamadas, foram desenvolvidas a partir de marginais gama. Os autores observaram que variáveis simples não são capazes de modelar com precisão eventos hidrológicos múltiplos, pois esses eventos apresentam diversas variáveis correlacionadas. Estudos relacionados a gama bivariada têm sido muito úteis para engenheiros hídricos na avaliação de eventos hídricos. Identificou-se que os modelos: Izawa, Moram e SAT, podem ser utilizados para representar a distribuição de probabilidade conjunta de duas variáveis aleatórias correlacionadas positivamente com diferentes marginais gama. Outra

distribuição de bom desempenho que foi identificada foi a MGF que permite que suas marginais tenham diferentes tipos de distribuição. Também pode representar uma distribuição conjunta das duas variáveis aleatórias positivamente e negativamente correlacionadas, porém a MGF apresenta uma limitação, pois não é capaz de associar bem duas variáveis, isso pode dificultar sua aplicação e trazer resultados não tão precisos.

Silva et al., 2002, realizou um estudo no estado da Bahia, Brasil, utilizando dados de chuva de 19 estações pluviométricas com diferentes durações e períodos de retorno, visando ajustar modelos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas para estabelecer uma conexão entre intensidade, duração e frequência da precipitação. Os modelos utilizados nesse estudo foram Gumbel, Log-normal a dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III juntamente com o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Os modelos de distribuição que melhor se ajustaram às séries de intensidades máximas anuais foram Gumbel e Log-normal a dois parâmetros, sendo que o modelo de Gumbel comportou-se melhor em relação à maioria das combinações entre estações pluviométricas e durações estudadas. O modelo de Log-Pearson tipo III apresentou ajustes inadequados para a maioria das séries estudadas, os demais modelos apresentaram bons ajustes, porém em frequência inferior aos ajustes obtidos por Gumbel e Log-normal.

Silva e Clarke, 2004, analisaram estatisticamente os eventos de chuvas intensas para a bacia do rio São Francisco, que percorre seis estados brasileiros, tendo seu início em Minas Gerais na Serra da Canastra e sua foz entre os estados de Sergipe e Alagoas, Brasil. Foram coletados dados de 218 postos distribuídos ao longo da bacia, com séries de no mínimo 15 anos e máxima de 50. Para a obtenção da distribuição mais adequada para as séries históricas estudadas, utilizou-se o método de Hosking and Wallis que se baseia no método do Momentos-L. As distribuições aplicadas aos dados foram Gumbel e Generalizada de Valores Extremos (GEV) com três parâmetros. A partir da análise dos resultados, observou-se que, embora a distribuição de Gumbel seja comumente utilizada, ela não se ajustou bem aos dados da região estudada, já a GEV três parâmetros ajustaram-se bem a todas as situações a que foi aplicada. Identificou-se uma diminuição das chuvas para o período de retorno de 100 anos, que pode ser explicado pelo efeito orográfico causado pelas cadeias montanhosas que delimitam a bacia ou por diferenças nos climas das regiões que compõe a bacia.

Di Baldassarre, Castellarin e Brath, 2006, realizaram um estudo investigativo nas regiões administrativas de Emilia-Romagna e Marche, localizados ao norte da região central da Itália, das propriedades estatísticas das precipitações extremas através da

abordagem Momentos-L para identificar a relação entre as distribuições estatísticas e a precipitação média anual (MAP). Os dados foram obtidos junto ao Serviço Hidrológico Nacional da Itália (SIMN), oriundos de uma densa rede de pluviômetros, para o período de 1935 a 1989, as séries são referentes às precipitações anuais com durações de 15 minutos a um dia. Para reduzir o prejuízo causado pelas séries pequenas, utilizou-se o método do Momento L, pois ele se aplica muito bem a pequenas amostras. O modelo empírico regional que foi desenvolvido possibilita estimar chuva de projeto para qualquer ponto da região estudada. A aplicabilidade do modelo foi realizada a partir de experimentos Monte Carlo. Por fim, a interpolação de chuvas extremas ou MAP adotados neste estudo não são capazes de representar efeitos microclimáticos, embora seja muito aplicável a região, pois é um modelo simplificado.

Lyra et al., 2006, em seu estudo, realizado no Estado de Táchira, Venezuela, identificou e agrupou regiões homogêneas em relação a sazonalidade da precipitação pluvial mensal e verificou o ajuste das séries históricas da região estudada às distribuições de probabilidade de Gama, Gumbel, Normal, Log-normal a três parâmetros e Weibull. Os dados de 25 estações climatológicas foram obtidos junto aos órgãos, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) e Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN). O tamanho das séries variou entre 24 e 62 anos. Para o agrupamento das regiões similares, utilizou-se uma análise de agrupamento e o Método Hierárquico Aglomerativo de Ward. Para a verificação do ajuste das distribuições de probabilidade aos dados da região, foi utilizado um software desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), denominado de Estatística Aplicada a Climatologia (ECLima). Para o cálculo dos parâmetros das distribuições, foi utilizado o método da verossimilhança e para a verificação da aderência das distribuições aplicou-se o teste de aderência do Qui-Quadrado com nível de significância de 5%, pois se apresentou em estudos passados como mais conservador que o teste de Kolmogorov-Smirnov. Os autores identificaram que a região apresenta três períodos definidos como: seco, transição e úmido. Quatro das regiões homogêneas, identificadas na localidade, são similares no período seco e úmido, já no período de transição, apenas três. A distribuição recomendada para estimativas mensais durante o período seco foi a Exponencial, excluindo-se as regiões homogêneas com valores mais elevados de precipitação, sendo a Gama a que se ajustou melhor para esse caso. Para o período úmido, destacou-se a distribuição normal, apenas para o mês de agosto, a Gama predominou e, para os meses de transição, as distribuições com melhor desempenho foram Gama e Normal.

Araújo et al., 2008, estudou a distribuição espaço-temporal de chuvas intensas, com durações variando de um à cinco dias, para a região da bacia hidrográfica do rio Paraíba localizado no estado da Paraíba e verificaram a influência de eventos naturais na distribuição das chuvas ao longo da bacia e qual a contribuição que cada parte da bacia tem para o sistema de reservação. Os dados foram obtidos junto a Unidade Acadêmica de Ciências Atmosférica da Universidade Federal de Campina Grande (UACA), dos 84 municípios que compõe a bacia, 64 possuem postos pluviométricos, desses, foram escolhidos 33 postos com 30 anos de dados cada, referentes aos anos de 1974 a 2004. A distribuição estatística utilizada foi a de Gumbel que se ajustou bem aos valores máximos anuais de chuva, o ajuste foi verificado pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov que confirmou a aderência da distribuição aos dados. Os meses que mais contribuíram para as chuvas máximas foram os meses do primeiro quadrimestre do ano e os eventos climáticos que podem estar relacionados a isso são Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Sansigolo, 2008, realizou um estudo comparativo, em Piracicaba, São Paulo, Brasil, aplicando dados de eventos extremos anuais de temperatura máxima e mínima absoluta, precipitação máxima diária e velocidade instantânea do vento realizando a seleção das distribuições que melhor se ajustaram através dos teste de Kolmogorov-Smirnov e do Qui-Quadrado. Utilizou também o método da verossimilhança para determinar os parâmetros das distribuições e seus intervalos de confiança. As distribuições utilizadas foram Normal, Gumbel, Fréchet, Weibull, Log-Normal e Pearson-3. Para os valores de extremos de precipitação máxima diária e de temperaturas máximas absolutas, a de Gumbel apresentou melhor ajuste. Os valores de temperaturas mínimas absolutas foram satisfatoriamente modelados pela distribuição Normal devido a sua simetria. As velocidades instantâneas foram melhor ajustadas pela distribuição de Weibull. As demais distribuições não apresentaram resultados satisfatórios para nenhum dos casos estudados.

Rodrigues et al., 2008, realizou o ajuste de dados de dois postos pluviométricos localizados nos municípios de Pentecoste e Fortaleza, ambos no estado do Ceará, Brasil, à distribuição de probabilidade de Gumbel, para gerar a equação de intensidade-duração-frequência para as duas regiões. Os postos utilizados no estudo tinham séries de 30, para Pentecoste, e de 19 anos, para Fortaleza. O teste para verificação da aderência dos dados à distribuição foi o de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 20%. Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos junto ao Centro de Ciências Agrárias

(CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A série de dados de Fortaleza foi de 1970 a 1981 e a de Pentecoste foi de 1964 a 1981. Verificou-se que Gumbel se ajustou muito bem aos dados estudados, sendo que os melhores resultados foram para Pentecoste. Evidenciou-se a necessidade de equações que levem em consideração os diferentes postos pluviométricos, bem como os períodos de retorno, mostrando que a curva IDF gerada para cada período de retorno trouxe resultados mais satisfatórios do que a equação geral usada para a estimativa dos valores de intensidade máxima de precipitação. Os valores obtidos pelas equações geradas nesse estudo aproximaram-se do real mostrando, sua eficácia.

Santos et al., 2009, objetivou elaborar uma relação entre intensidade, duração e frequência de modo a gerar equações de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. Para tanto, utilizou dados de 109 estações pluviométrica coletados junto ao Sistema de Informação da Agência Nacional de Águas, foram selecionados apenas postos com no mínimo 15 anos de dados. Para verificar a aderência dos dados, o autor utilizou o teste de Kolmogorov-Smirnov e a distribuição utilizada para modelar os dados foi a distribuição de Gumbel. A equação de chuvas intensas obtida com o auxílio da distribuição de Gumbel apresentou bons ajustes.

Silva, 2009, realizou um estudo para determinação das equações de chuvas intensas para algumas regiões localizadas dentro do estado do Pernambuco, Brasil, com dados coletados de 12 pluviógrafos e 11 pluviômetros, obtendo assim, series de 8 a 14 anos e de 10 a 34 anos, respectivamente. Os modelos de distribuição de Gumbel e Weibull foram ajustados aos valores das séries com o auxílio dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e do Qui-Quadrado. A distribuição de Weibull foi a que apresentou melhores ajustes para os dois testes de aderência.

Souza et al., 2012, determinou a equação de chuvas intensas para o estado do Pará, Brasil, com o uso dos dados pluviométricos de 74 cidades localizadas no estado que foram coletados junto ao Sistema de Informação Hidrológica da Agência Nacional de Águas. Os valores de máximos anuais de precipitação diária foram ajustados a distribuição de Gumbel através do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Identificou-se a obtenção de valores diferenciados de intensidade de chuva para uma mesma duração em alguns dos municípios, 51,4 % dos postos estudados apresentaram intensidades um pouco maiores que 90 milímetros para o período de retorno de 15 anos e duração de meia hora.

Aragão et al., 2013, propôs uma equação de chuva intensas (IDF) para o estado de Sergipe, Brasil, utilizando dados de 48 postos pluviométricos, obtidos através do

HidroWeb - Sistema de Informação Hidrológica da Agência Nacional de Águas, juntamente com o auxílio das distribuições de probabilidade de Weibull e Gumbel, que foram utilizadas para projetar dados de precipitação em função da escassez de dados do estado. 44 dos postos utilizados no estudo ajustaram-se melhor à distribuição de Weibull, dessa forma, a distribuição pode ser utilizada para estudos de chuvas intensas sem prejuízo.

Watanabe, 2013, realizou uma análise teórica e comparativa, em sua dissertação de mestrado, entre as distribuições Log-normal II, Log-normal III, Pearson III, Log-Pearson III e Gumbel, com o objetivo de avaliar a validade do modelo de Gumbel em determinar vazões de dimensionamento de vertedouros. As séries de 5 fluviômetros foram aplicadas às distribuições para períodos de retorno de 2, 10, 20, 50, 100, 500, 1000 e 10000 e seus respectivos intervalos de confiança, em seguida, foram comparados entre si. Observou-se que as distribuições de dois parâmetros, como Gumbel e Log-Normal III são mais estáveis que as de três parâmetros, embora as de três parâmetros sejam distribuições capazes de obter resultados mais precisos.

Franco et al., 2014, identificou qual das distribuições estatísticas, Gumbel, Gama dois parâmetros e Generalizada de Valores Extremos (GEV) é a mais adequada para aplicação aos dados de precipitação máxima diária anual na região hidrográfica do rio Verde, localizado no sul de Minas Gerais, Brasil. Os métodos utilizados para a obtenção dos parâmetros das distribuições foram: Método dos Momentos, Momentos-L e Máxima Verossimilhança. Os autores utilizaram os seguintes testes de aderência: Kolmogorov-Smirnov, Qui-Quadrado, Anderson Darling e Filliben. Os dados foram coletados junto a Agência Nacional de Águas (ANA) onde foram selecionados os postos pluviométricos, com mais de 20 anos de dados, distribuídos ao longo da bacia e, esses dados foram ajustados aos parâmetros das distribuições citadas. Os parâmetros referentes a cada distribuição foram calculados de acordo com os três métodos e para a verificação da aderência foram utilizados os quatro testes. Pôde-se observar que uma mesma distribuição obteve-se variações nos ajustes dos parâmetros calculados pelos diferentes métodos de estimativa, observou-se, também, que para um mesmo método de estimativa de parâmetros houve variações nos ajustes entre distribuições distintas. Os testes de aderência mais restritivos foram os de Anderson Darling e de Filliben, dentre os ajustes obtidos, os considerados mais apropriados para estudos de probabilidade de precipitação máxima diária anual, foi a distribuição GEV juntamente com o modelo Momentos-L e a distribuição Gumbel pelo método da máxima Verossimilhança

Kist e Virgens Filho, 2015, realizaram um análise probabilísticas dos dados de chuva no estado do Paraná, Brasil, para obter a distribuição de probabilidade que modela melhor esses dados. Para o estudo, coletou-se dados de 29 localidades distribuídas no estado do Paraná, junto ao Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), com séries de trinta anos, referentes ao intervalo de tempo de 1980 a 2009. A partir dos testes de aderência de Anderson-Darling e do Qui-quadrado verificou-se, entres as distribuições de probabilidade, Exponencial, Gama, Weibull, Log-Normal, Pareto Generalizada e Exponencial Mista, a que melhor se ajustaria às series de dados. A distribuição que obteve melhor resultado para a amostra de dados, independente do teste de aderência usado, foi a Exponencial Mista, desconsiderando-se a Exponencial Mista, as duas melhores foram a Gama seguida da Weibull.

Beskow et al., 2015, realizou uma avaliação do desempenho de distribuições de probabilidade multiparâmetros, Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Kappa, em relação aos modelos estatísticos de dois parâmetros comumente usados em estudos de chuvas extremas, como Gumbel e Log-Normal, para o estado do Rio Grande do Sul, localizado no sul do Brasil, e definiram o modelo probabilístico mais apropriado, com base na análise feita através do teste de qualidade de ajuste, para a variável aleatória estudada. Os parâmetros das distribuições foram calculados pelo método dos Momentos-L, que representa um método muito aplicado em estudos hidrológicos, apresentando resultados comparáveis em termos de qualidade a métodos mais complexos como o da verossimilhança, embora seja um método mais simples de ser aplicado. Os dados usados para este estudo foram coletados junto a Agencia Nacional de Águas (ANA) através da plataforma HIDROWEB (Sistema de Informações Hidrológicas), foram utilizados 342 postos pluviométricos distribuídos ao longo do Rio Grande do Sul com séries de chuvas diárias de no mínimo dez anos. Os parâmetros das distribuições foram obtidos com o auxílio de um software, Sistema de Aquisição de Dados Hidrológicos e Análise (SYHDA), adaptado pelos autores em outro estudo. A qualidade do ajuste das funções densidade de probabilidade (distribuições de probabilidade) foram testadas com o auxílio dos seguintes testes de aderência: Kolmogorov-Smirnov (KS), Qui-quadrado (X^2), Anderson-Darling (AD) e teste de Filliben, considerando-se a hipótese inicial de que os dados sigam as distribuições de probabilidade em nível de significância de 5%, essa verificação também foi realizada com o auxílio do SYHDA. Identificou-se que o teste de aderência de Anderson-Darling foi o melhor por ser mais restritivo que os demais para as séries históricas estudadas, Kappa foi a distribuição mais aplicável, seguida pela GEV,

embora as demais também tenham obtidos resultados satisfatórios, as distribuições multiparâmetros se apresentaram mais precisas para a modelagem de vazões de pico, hidrogramas, curvas de Intensidade-Duração-Frequência entre outros, tornando-se uma ferramenta muito útil para a gestão de cheias em bacias hidrográficas.

Em um estudo, realizado por Caldeira et al., 2015, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, utilizou-se dados de 342 estações pluviométricas distribuídas espacialmente pelo estado, os dados foram coletados junto a Agência Nacional de Águas (ANA). Analisou-se o ajuste das séries de precipitação máxima diária anual aos modelos probabilísticos de Log-Normal a 2 e 3 parâmetros e Gumbel, através dos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado. Todas as distribuições probabilísticas obtiveram bons resultados, porém comparando-se os resultados entre as distribuições testadas a que obteve melhor ajuste foi a Log-Normal 3 parâmetros para os eventos extremos de precipitação da região estudada.

3. Metodologia

O presente estudo propõe aplicar uma metodologia sistemática que se desenvolverá em etapas sequenciais, com a finalidade de atualizar a cota máxima maximorum do reservatório Orós, por meio de processos estatísticos, essa cota estatisticamente atualizada será utilizada em uma das etapas de determinação das áreas de preservação permanente - APP do reservatório, a qual será estimada com base em diferentes referenciais. A determinação da APP se desenvolverá com base nas diretrizes da atual legislação ambiental, Lei 12.651/2012, e também com base nas diretrizes da legislação anterior, Lei 4.771/65. Essas áreas determinadas serão utilizadas para fins comparativos quanto ao nível de restritividade ou permissividade da atual legislação, será incorporada também ao estudo uma abordagem legal, apresentando os possíveis reflexos das alterações legais no território dos municípios.

Para desenvolver o referido processo, primeiramente uma revisão bibliográfica será realizada de modo a identificar as legislações brasileiras aplicáveis à determinação de áreas de preservação permanente de reservatórios, bem como realizar um breve panorama histórico, de modo a identificar a evolução legal da delimitação dessas áreas. Será realizada, ainda nesta revisão, a identificação de métodos e técnicas computacionais de delimitação de áreas, os quais possibilitem a implementação de bancos de dados altimétricos, e que sejam capazes de modelar as áreas de preservação permanente a partir de diversos referenciais.

Após a identificação das legislações que regem a delimitação das APP's, e com a definição das metodologias computacionais adequadas para realizar essa delimitação, faz-se necessário a identificação de modelos estatísticos dentro da teoria da probabilidade, que possibilitem a atualização da cota máxima *maximorum* dos reservatórios com bons níveis de confiança. Essa etapa visa identificar os melhores modelos de distribuições de probabilidade no campo da modelagem de eventos extremos, os quais deverão ser capazes de produzir uma atualização confiável da cota máxima *maximorum*, possibilitando assim, a delimitação da APP com grande validade estatística e esta possa contribuir com a análise comparativa das APP's delimitadas por outros referenciais.

A revisão bibliográfica dos modelos estatísticos de probabilidade, contempla também a revisão dos modelos de testes de aderência, estes medem a capacidade da distribuição de probabilidade de se ajustar e de modelar o comportamento da série histórica de referência, após a identificação do melhor teste de aderência e definição das distribuições de probabilidade, se iniciará o processo de cálculo de atualização e delimitação de APP, os quais serão descritos no capítulo 4 pela proposta de modelo para atualização de cota máxima *maximorum*, seção 4.1 e proposta de determinação de área de preservação permanente, seção 4.2.

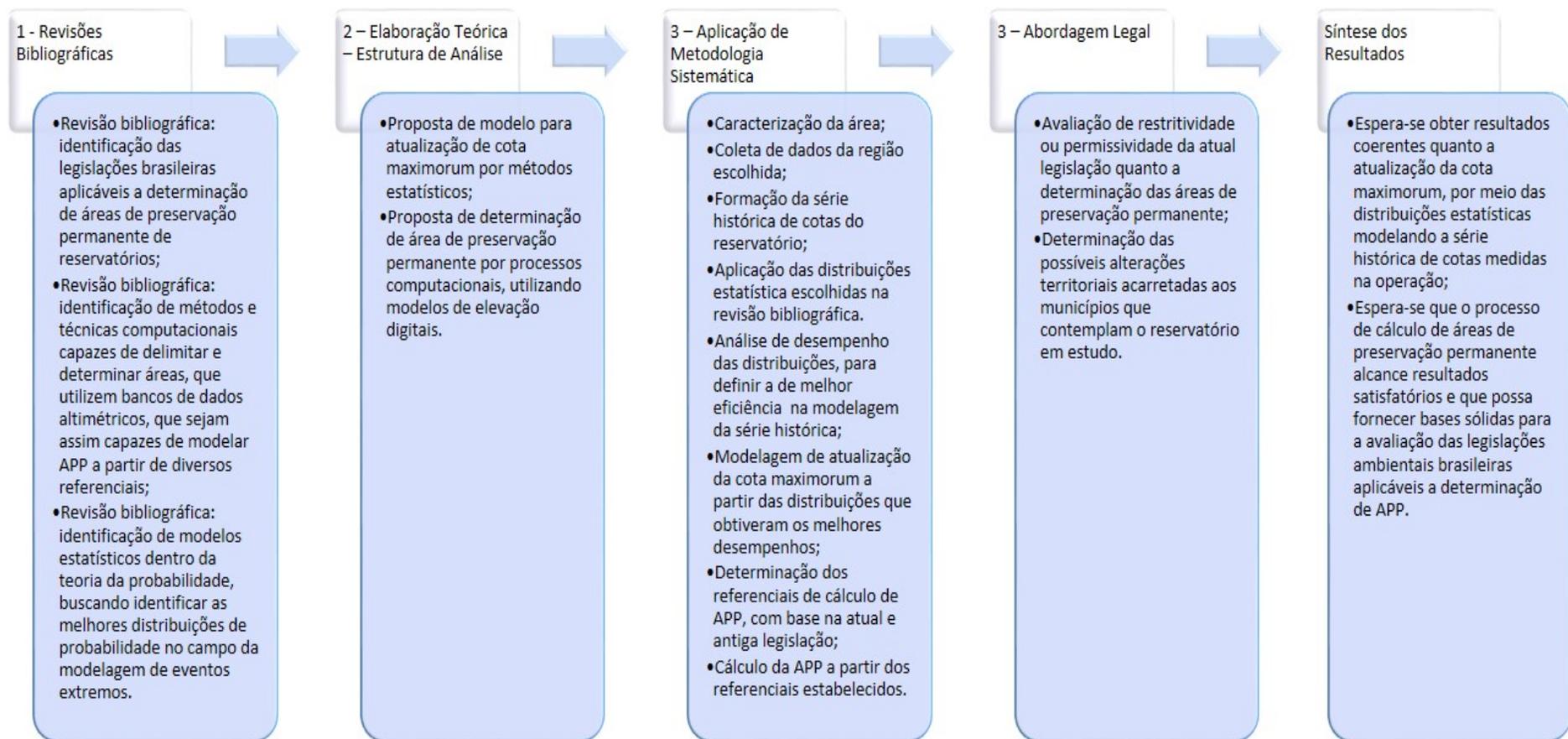
As cotas máximas *maximorum*, resultantes da implementação do modelo estatístico para atualização, serão selecionadas conforme o desempenho da distribuição que as modelou, sendo o nível de confiança e teste de aderência os parâmetros de análise de desempenho. As cotas máximas *maximorum* modeladas pelas distribuições que obtiverem os melhores resultados quanto aos critérios de análise, serão selecionadas e seguirão como dado entrada no processo de modelagem computacional de delimitação da área de preservação permanente.

A modelagem das APP's calculará a área plana e a área superficial com relevo, essa última deve ser calculada para que o estudo aproxime-se ao máximo da área real encontrada *in loco*, a modelagem utilizará o banco de dados de altimetria disponível para essa região para realizar incrementos de áreas provenientes das estruturas do relevo.

Serão modeladas as APP's com referenciais na atual legislação (Lei 12.651/2012) embasada na cota máxima *maximorum* original do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS e nas cotas *maximorum* atualizadas por este estudo, também será modelada para incrementar a análise, a APP com referencial na antiga legislação, Lei 4.771/65, assim fornecendo um embasar a abordagem legal que o estudo realizará na etapa final, essa abordagem terá como foco analisar a restritividade ou a

permissividade da atual legislação ambiental regente das diretrizes que delimitam as áreas de preservação permanente e seus reflexos nas definições territoriais dos municípios que contemplam o açude Orós. A figura 1, abaixo, apresenta o processo metodológico em estrutura de fluxograma.

Figura 1- Fluxograma



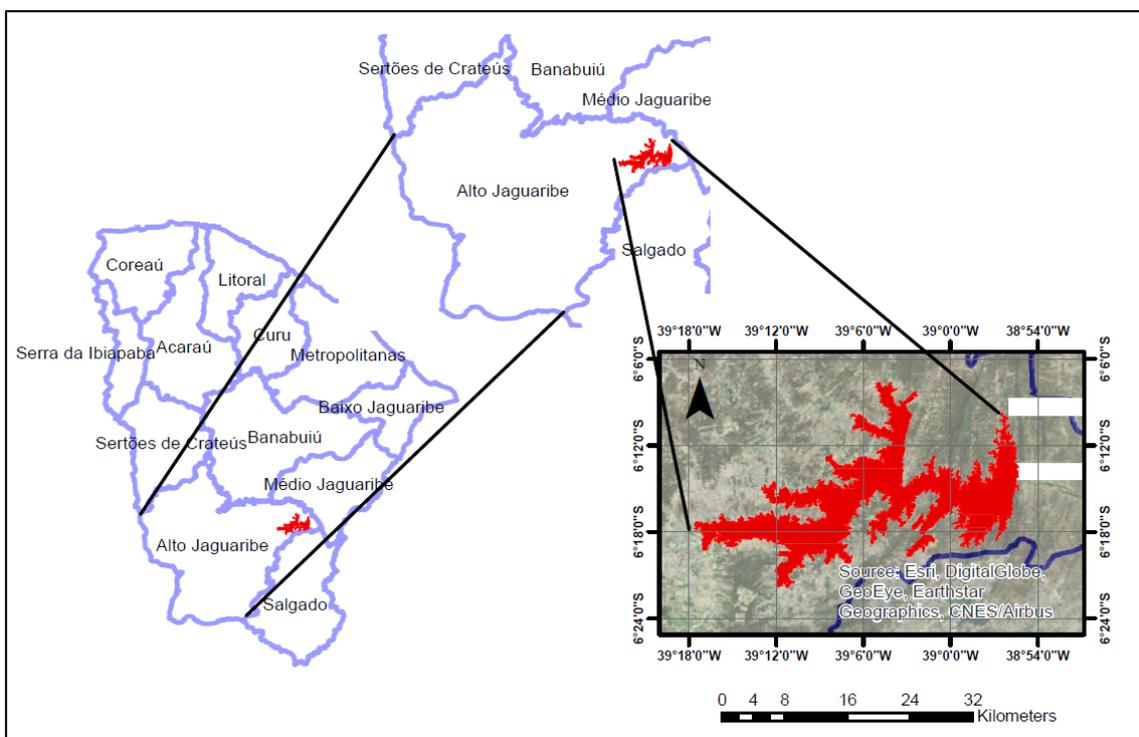
3.1. Caracterização da Região

A região hidrográfica da sub-bacia do Alto Jaguaribe é a primeira porção percorrida pelo rio Jaguaribe, localiza-se a sudoeste do Estado do Ceará, limitando-se a sul pelo estado de Pernambuco e a oeste pelo estado do Piauí. A bacia do rio Jaguaribe é composta por cinco sub-bacias, são elas: Salgado, Banabuiú, Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Baixo Jaguaribe, sendo a maior delas a do alto Jaguaribe que também é a maior do estado e seu principal reservatório é o Açude Orós, ilustrados pela figura 2, Ceará, 2009.

O Açude presidente Juscelino Kubitschek, chamado também de Açude Orós, abrange os municípios de Iguatu, Quixelô e Orós, encontra-se a uma distância, em linha reta, de 270 quilômetros de Fortaleza. A barragem foi construída pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, sua estrutura é do tipo terra zoneada. Seu projeto foi concluído em 1961 com capacidade de 1.940.000.000 m³ e vazão regularizada de 20,40 m³/s, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

O rio principal da sub-bacia, o Jaguaribe, possui 325 km da nascente até o exutório, onde localiza-se o açude Orós, seus principais afluentes neste trecho são Carrapateiras, Puiú, Trici, Cariús, Jucás, Trussu, riacho da Conceição e Condado, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

Figura 2 - Bacia do alto Jaguaribe e Açude Orós



A sub-bacia do Alto Jaguaribe apresenta uma heterogeneidade tanto em relação à distribuição espaço-temporal das chuvas quanto ao escoamento das águas para os diversos municípios, apresentando uma capacidade significativa de reservação em relação às águas superficiais no estado do Ceará, totalizando 4.604 reservatórios segundo a COGERH, 2008, apud GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011, sendo que, 537 deles apresentam área de 5 hectares, segundo a FUNCEME, 2008 apud GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011. Apesar da sub-bacia comporta o açude Orós, que é um açude de grande porte, sua contribuição como fonte de água é muito irrelevante, pois encontra-se na porção final da bacia, exutório, dessa forma torna-se mais importante para as sub-bacias do média e baixo Jaguaribe, perenizando o rio Jaguaribe até sua chegada ao açude Castanhão. Também é uma importante contribuição para o açude lima campos que se encontra na sub-bacia do Salgado, GOGERH, 2002 apud GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

Existem dois sistemas aquíferos presentes nesta sub-bacia, o das rochas sedimentares (cársticos, aluviais e porosos) e o das rochas sedimentares (fissurais). Em 2006, a COGERH realizou um levantamento de pontos de água cadastrados junto a CPRM, FUNCEME, SDR, SOHIDRA, DNOCS, empresas privadas e Funasa, chegando a um total de 2.662 pontos de água, destes, 306 eram poços amazonas, 2.304 eram poços tubulares e 52 fontes naturais, abrangendo tanto rochas cristalinas quanto sedimentares, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

O relevo moderadamente movimentado predomina na região sendo representado pelas unidades geomorfológicas dos maciços residuais e da depressão sertaneja, possuindo declividades em 80% do terreno entre 0° a 15°, com algumas áreas isoladas podendo chegar a declividades superiores a 30°, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

A região é representada pela depressão sertaneja apresentando processos de pediplanação, limitando-se a oeste em função do planalto da Ibiapaba e espalhando-se a norte e leste até alcançar a planície litorânea. Seu domínio é interrompido ao alcançar os níveis mais elevados dos planaltos residuais. As altitudes da região variam de 180 metros a 950 metros, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

Predominam os solos do tipo argissolos, latossolos luvisolos, neossolos e chernossolos onde a vegetação arbustiva característica da caatinga se desenvolve. Em termos geológicos as rochas do embasamento cristalino são predominantes, como granitos e gnaisses migmatítico que se associam a resíduos de supracrustais dando

origem a pequenas faixas preenchidas por metacalcários, quartizitos, anfibolitos e xistos. Podem também constituir manchas espaçadas, argilosos e arenosos de baixa espessura e aluviões e regiões com cobertura recente de sedimentos detríticos conglomeráticos, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

Em função da natureza geológica e geomorfológica da região, o potencial hídrico da superfície é bem mais relevante que o potencial hidrogeológico. O aproveitamento de reservas subsuperficiais é maior quando aliado a cobertura vegetal e nas regiões de planícies alveolares. No caso dos lençóis freáticos, a acumulação de água se torna possível apenas em solos profundos com granulometrias pequenas ou em fissuras geológicas, porém, no segundo caso, ocorre a contribuição salina advinda da rocha. Os aquíferos fissurais tem capacidade de acumulação imprecisa podendo ou não estar interligado com outro aquíferos, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

O clima da região pode ser definido como tropical quente semiárido, seu regime de chuvas é irregular e existe uma deficiência hídrica. Neste contexto, as ações antrópicas como, desmatamento, alteração do relevo, plantio de culturas, pequenas barragens e drenagens, entre outras, alteram a dinâmica das águas, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

A cobertura vegetal do entorno do açude é relativamente preservada, embora apresente alguns sinais de antropização devido a existência de algumas comunidades nas adjacências com, Jurema, Lagoa Grande, Iratinga, Vila Maracajá, Pitombeira, Serrote do Meio e Retiro. A vegetação nativa é predominante, com a presença de hiperxerófilas arbustivas e lenhosas, embora em função das ações antrópicas existam espécimes secundárias e invasoras, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

Em termos de fauna, predominam as aves, algumas delas são: Pitangussulphrates (bem-te-vi), *Crotophagaani* (anum preto), *Carduelisyrarelli* (pintassilgo), *Reinardasquamta* (andorinha), *Volaitinajacarina* (tiziú), *Molothrusbonariensis* (azulão), *Columbia talpacoti* (rolinha) e *Crypturellusnoctivagus* (zabelê). Entre os mamíferos destacam-se: *Euphartsussexinctus* (peba), *Mus musculus* (rato) e *Callithrixjacchus* (soim). Em relação aos répteis pode-se citar: *Tropidurustorquatus* (calango), *Cleriasp.* (Cobra-preta), *Tupinanbistequixin* (teju), *Bothropserytitrhmelas* (jararaca), *Oxybelissp.* (Cobra-de-cipó), *Iguana iguara*(camaleão), entre outros, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

Dentre os invertebrados, em que há predominância de insetos, destacam-se: Isópteros (cupins), Ortópteros (gafanhotos, grilos, baratas, louva-a-deus e bicho pau),

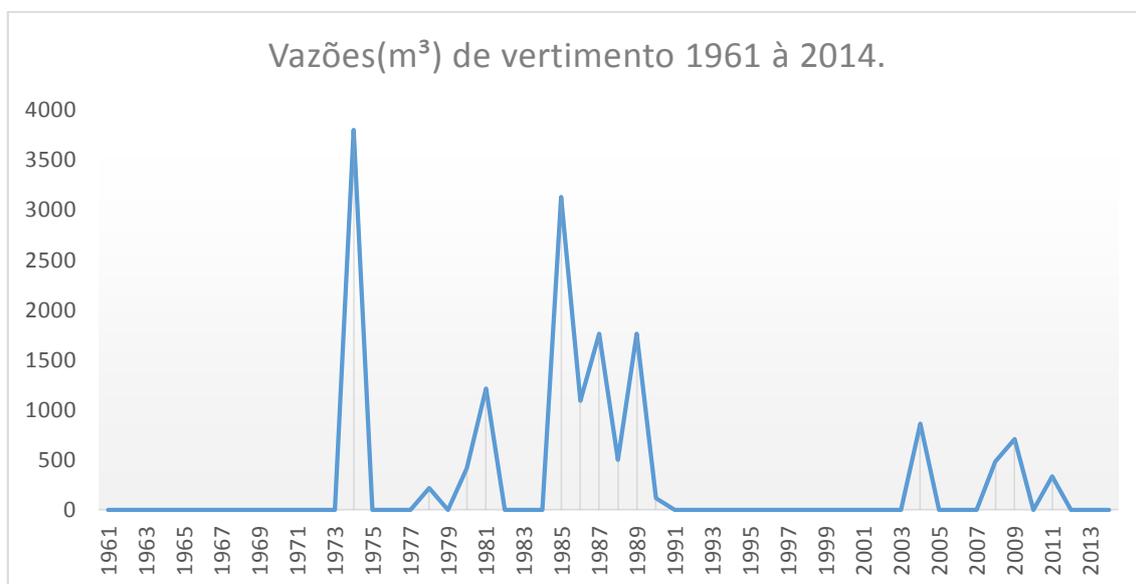
Lepdópteras (borboletas e mariposas), Coleóptera (besouros, brocas), Díptera (moscas), Hemíptera (percevejos), Odonatas (libélulas), Hymenoptera (formigas, abelhas e vespas) e Homoptera (cigarras e afídeos), GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011.

3.2. Coleta dos dados

Os dados foram coletados na Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Ceará - COGERH, a qual disponibilizou uma série histórica de nível d'água (Cota) e vazões medidas na operação. A série compreende o período de 1978 a 1981 e de 1986 a 2014, contendo valores dia a dia no decorrer deste período.

Foram coletados dados também no Departamento Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS, onde foi disponibilizada uma série de cotas máximas anuais e vazões, porém esta série apenas foi preenchida em eventos que promoviam vertimento, ou seja, caso o nível da água naquele ano estivesse alcançado um patamar acima da cota da soleira do vertedouro, a série era preenchida com a maior cota atingida pelo reservatório, portanto é uma série de valores de cotas máximas anuais de anos com vertimento, essa compreende o período de 1961 a 2014. A figura 3 apresenta as vazões de vertimento deste período. O DNOCS também forneceu dados de nível máximo anual atingido pelo reservatório para os anos de 1979, 1982, 1983 e 1984, anos que não houve vertimentos.

Figura 3 - Vazões de vertimento de 1961 à 2014.



Além do fornecimento desses dados de cotas, o DNOCS possui em sua biblioteca o projeto original do Açude Orós, em que detalha desde o cálculo estrutural de ancoragem

da barragem, até os estudos hidrológicos, as anotações dos técnicos com suas impressões de campo. Abriga também o relatório detalhado do modelo reduzido, projetado pelo escritório Saturnino de Brito. O departamento disponibiliza estes documentos como consulta local, dados de grande valia para este estudo, dando suporte para o entendimento e compreensão do projeto de uma forma global. O projeto original e seus apêndices fornecem também informações detalhadas de algumas características intrínsecas, como no caso do parecer nº01/DIPRO/H - C.I.Nº101 - DIBRA/B de 12/12/1980, que expõe as impressões de campo dos técnicos, este aponta por exemplo, que as cotas altimétricas de projeto para serem utilizadas necessitam ser corrigidas com referência no marco do IBGE, existe uma diferença de +4,24 metros entre as cotas citadas no projeto original e o marco de referência do IBGE instalado no açude Orós, ou seja, é necessário acrescentar 4,24 metros em cada cota apresentada no projeto fornecido pelo DNOCS, por exemplo, se a cota da soleira do vertedouro é 199,5 metros, a cota real será 203,74 metros. Estas informações têm uma importância fundamental para o cálculo de APP's deste estudo, pois as cotas são utilizadas como um dado de entrada no dimensionamento, e, portanto, sem a devida correção o cálculo poderá divergir significativamente do valor real.

O parecer citado acima, apêndice do projeto do Açude Orós, fornece ao estudo também outros dados essenciais para a aplicação e desenvolvimento dos modelos de determinação de APP's, como a determinação do maior nível atingido pelo reservatório em sua operação, alcançou uma altura de lâmina de vertimento de 5,45 metros em 1974, esse patamar não foi ultrapassado até os dias atuais, este evento hidrológico extremo provocou grandes inundações, inclusive grandes prejuízos sendo enfatizados pelo documento, aproximadamente 50% da cidade de Iguatu-CE ficou submersa. Diante da magnitude deste evento, ficou estabelecida como a cota máxima normal operativa do reservatório, a soma cota da soleira do vertedouro 199,5 com a lâmina máxima vertida em 1974 de 5,45 metros, obtendo-se aproximadamente uma cota de 205 metros (cotas não retificadas pelo marco do IBGE).

As cota máxima maximorum de reservatórios destinados a abastecimento público ou geração de energia, como é o caso do Açude Orós, são requeridas pela nova legislação ambiental brasileira para referenciar a delimitação das áreas de preservação permanente, assim, cada projeto de reservatório possui sua própria referência para o cálculo de APP. Analisando o projeto do Açude Orós, disponibilizado pelo DNOCS, identificou-se que a cota máxima maximorum, neste caso, com período de retorno decamilenar, está estabelecida em 207 metros, bem como a cota da soleira do vertedouro

está na 199,5 metros e a crista da barragem na cota 209 metros, essas cotas também não retificadas pelo marco do IBGE. Finaliza-se assim a coleta de todos os dados ligados diretamente ao projeto original, seus comentários e apêndices.

Como dito no capítulo 4, o referencial inferior para determinação das áreas de preservação permanente tanto da legislação atual quanto anterior, é uma cota altimétrica, cota máxima operativa normal, portanto, faz-se necessária à coleta de dados de altimetria para região do açude Orós.

A base de dados altimétricos, utilizada na geração do modelo digital de elevação - MDE, que possibilitará a delimitação das faixas de APP e o computo de suas áreas, neste estudo é proveniente da *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*, que teve como missão, mapear o relevo da área continental da Terra com interferometria de radar de abertura sintética (InSAR). Os princípios da InSAR foram desenvolvidos no início dos anos 1980, Zebker e Goldstein, 1986. A altitude de um ponto na superfície terrestre pode ser determinada a partir da diferença de fase entre reflexões de um mesmo sinal de radar captado por dois receptores distantes um do outro, Rabus et al., 2003. No caso da SRTM, os canais principais de transmissão e recepção para as bandas C e X foram posicionados na área de carga do ônibus espacial Endeavour, enquanto que as antenas secundárias (apenas recepção) foram colocadas na extremidade de um mastro de 60 m de comprimento.

O produto utilizado consiste em arquivos *raster* obtidos por interferometria de radar de abertura sintética - InSAR, entre 60° de latitude norte e 54° de latitude sul, compreendendo 80% de todas as terras emersas do planeta, os dados foram obtidos através da parceria entre a agência espacial norte-americana (National Aeronautics and Space Administration - NASA), a National Geospatial-Intelligence Agency - NGA, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos - DoD e as agências espaciais alemã (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt - DLG) e italiana (Agenzia Spaziale Italiana - ASI), o sistema americano (NASA) operou na banda C e derivou as imagens SRTM já conhecidas de 90 m de resolução, já o sistema ítalo-germânico trabalhou na banda X e resultou nos modelos SRTM de 30 m de resolução (1 segundo de arco, aproximadamente 30 m no equador), posteriormente os dados foram amostrados novamente e georreferenciados ao datum WGS84 em coordenadas geográficas decimais, os quais são distribuídos em articulações e disponibilizados para download na aplicação web Earth Explorer pelo Serviço Geológico dos Estado Unidos - USGS, nas tabelas 1 e 2

apresentadas logo abaixo é possível observar o código, bem como demais dados técnicos das duas articulações utilizadas.

É importante destacar que os dados gerados pela missão SRTM são, atualmente, uma das fontes de dados altimétricos mais abrangentes disponíveis a comunidade científica, sendo aplicados em inúmeros estudos de comportamento do relevo com diversas finalidades.

Tabela 1 – Código dos dados técnicos das articulações.

Data Set Attribute	Attribute Value
Entity ID	SRTM1S07W040V3
Acquisition Date	11-FEB-00
Publication Date	23-SEP-14
Resolution	1-ARC
Date Updated	
NW Corner Lat	6°00'00.00"S
NW Corner Long	40°00'00.00"W
NE Corner Lat	6°00'00.00"S
NE Corner Long	39°00'00.00"W
SE Corner Lat	7°00'00.00"S
SE Corner Long	39°00'00.00"W
SW Corner Lat	7°00'00.00"S
SW Corner Long	40°00'00.00"W
NW Corner Lat dec	-6
NW Corner Long dec	-40
NE Corner Lat dec	-6
NE Corner Long dec	-39
SE Corner Lat dec	-7
SE Corner Long dec	-39
SW Corner Lat dec	-7
SW Corner Long dec	-40

Tabela 2- Código dos dados técnicos das articulações.

Data Set Attribute	Attribute Value
Entity ID	SRTM1S07W039V3
Acquisition Date	11-FEB-00
Publication Date	23-SEP-14
Resolution	1-ARC
Date Updated	
NW Corner Lat	6°00'00.00"S
NW Corner Long	39°00'00.00"W
NE Corner Lat	6°00'00.00"S
NE Corner Long	38°00'00.00"W
SE Corner Lat	7°00'00.00"S
SE Corner Long	38°00'00.00"W
SW Corner Lat	7°00'00.00"S
SW Corner Long	39°00'00.00"W
NW Corner Lat dec	-6
NW Corner Long dec	-39
NE Corner Lat dec	-6
NE Corner Long dec	-38
SE Corner Lat dec	-7
SE Corner Long dec	-38
SW Corner Lat dec	-7
SW Corner Long dec	-39

4. Elaboração Teórica – Estruturas de Análises

4.1. Proposta de modelo para atualização de cota máxima maximorum

Como apresentado anteriormente no capítulo 2, para casos de reservatórios projetados e construídos em décadas passadas, por terem suas séries históricas hidrológicas desatualizadas ou de baixa consistência, ou em alguns casos apresentam também defasagem metodológicas, faz-se necessária a atualização da cota máxima maximorum. Essa atualização também pode incrementar ao projeto novas técnicas e

metodologias de cálculo advindas dos grandes avanços científicos e tecnológicos alcançados nas últimas décadas em dimensionamento de reservatórios.

A proposta deste trabalho de atualizar a cota máxima maximorum consiste em compilar as cotas do nível d'água medidos pelo operador do reservatório dia a dia, formando um banco de dados, em seguida será realizada uma filtragem desses dados, com o auxílio do software Microsoft Excel®, com a finalidade de determinar o nível mais elevado que o reservatório atingiu ano a ano de operação, realizando também o descarte de dados incoerentes ou inconsistentes.

Os dados de níveis máximo atingidos serão tabelados compondo uma série histórica a qual modelará o comportamento do reservatório e suas respostas a eventos extremos medidos em sua operação, portanto a atualização do nível máximo que o reservatório poderá atingir em um evento hidrológico extremo decamilenar se dará pela projeção, extrapolação temporal, a partir dos dados desta referida série, a qual compila as cotas de nível d'água mediadas no reservatório.

Para projetar um nível futuro que o reservatório atingiria, como por exemplo um nível decamilenar, serão utilizadas funções estatísticas de distribuição de probabilidade identificadas na seção 2.2, na revisão bibliográfica, as quais a partir de dados medidos (séries históricas) possibilitam prever um cenário futuro com uma certa confiança. Existem diversas curvas de distribuição de probabilidade, neste estudo serão aplicadas as distribuições com os melhores desempenhos e mais empregadas no campo da modelagem hidrológica extrema, observadas na revisão bibliográfica do capítulo 2, são elas Weibull 3 Parâmetros, Menores Valores Extremos, Weibull, Logística, Normal, Gamma, LogNormal e Maiores Valores Extremos. Quanto a verificação de melhor desempenho das curvas em modelar a série de dados medidos, será utilizado o teste de aderência proposto por Anderson T.W. & Darling D.A., 1952, com um nível de confiança de 95%. A distribuição que apresentar o maior "P-Valor" superior a 0,05 e subsequente o menor valor para o teste de aderência de Anderson Darling, será a distribuição mais indicada para modelar a cota decamilenar.

Definidas as curvas de distribuição de probabilidade que melhor se ajustam aos dados da série histórica, serão gerados em seguida dez mil valores randômicos modelados com os parâmetros de cada distribuição selecionada, este rol de valores representa as possíveis cotas máximas anuais atingidas pelo reservatório em dez mil anos de operação, dentre estes valores de cota, será selecionado o maior valor, o qual representará a maior cota que o reservatório poderá atingir em dez mil anos, ou seja a cota máxima

maximorum. Toda a estatística do processo de atualização de cota máxima maximorum será realizada com o auxílio do software Minitab17®.

Sintetizando o modelo proposto para atualização de cota máxima maximorum, o processo inicia-se com a coleta de dados de nível d'água (Cota) do reservatório a ser estudado, aplica-se um filtro o qual selecionará os maiores valores de cotas anuais durante o período de operação, esses valores serão tabulados para a formação de uma série histórica de valores máximos de cotas anuais medidas, finalizado o processo de coleta de dados e formação da série, iniciará o processo estatístico de projeção de valores utilizando a teoria estatística de distribuição de probabilidade, em que a avaliação da projeção se dará pela aplicação do teste de aderência. O resultado dessa aplicação definirá a distribuição que melhor modelará a cota máxima que o reservatório poderá atingir em período decamilenar, com o determinado nível de confiança, cota esta denominada de cota máxima maximorum.

4.2. Proposta de determinação de área de preservação permanente

Como apresentado no capítulo 2, as áreas de preservação permanentes no Brasil eram determinadas para reservatórios de abastecimento público em zona rural como a área delimitada por uma faixa de 100 metros horizontais medida a partir da cota máxima operativa normal, porém com o novo código florestal essas áreas passaram a ser determinadas pela faixa formada entre a cota máxima operativa normal e a cota máxima maximorum.

Esse capítulo de determinação de áreas de preservação permanente terá como produtos: Cálculo da área de preservação permanente determinada pelas diretrizes da nova legislação correlacionada com a cota máxima maximorum do projeto original do DNOCS; Cálculo da área de preservação permanente determinada pelas diretrizes da nova legislação correlacionada com a cota máxima maximorum atualizada pelo processo descrito no item 4.1, e, por fim, Cálculo das áreas de preservação permanente determinada pelas diretrizes da antiga legislação. Para calcular estas áreas, aplicaremos a seguinte metodologia:

Para cálculo de determinação de APP's seguindo as diretrizes tanto da atual legislação (Lei 12.651/2012) quanto da legislação anterior (Lei 4.771/65), a primeira referência requerida é a cota máxima operativa normal, a qual é tomada como base para

definir o limite altimétrico inferior do cálculo de determinação, assim é requerido para o desenvolvimento deste estudo um banco de dados de altimetria da região do açude Orós.

Considerando a escassez de bases de dados altimétricos de alta precisão, atualizadas e em escala compatível aos estudos a serem realizados, para a região do açude Orós e suas adjacências, optou-se pela utilização de modelos digitais de elevação - MDE's oriundos da *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*, obtidos por interferometria de radar com sensores remotos, esse banco de dados é capaz de fornecer dados de altimetria em *pixel's* de 90 x 90 metros, em alguns casos, pode-se obter também dados de altimetria em *pixel's* de 30 x 30 metros nativos. Esse modelo possui uma grande multiplicidade de aplicações, como em análise geoespacial com aplicações em estudos integrados de avaliação de impacto ambiental, estudos de áreas inundáveis, dentre outros, seu uso é de grande praticidade e sua aplicação vem obtendo bons resultados pela comunidade acadêmica nos últimos anos, com a utilização desses dados para delimitação preliminar de áreas de preservação permanente, em áreas com carência de dados topográficos, destaca-se a disponibilidade de dados SRTM com resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m) para a região estudada.

É importante destacar que apesar das inúmeras vantagens na utilização de MDE's derivados dos produtos SRTM, os mesmos não apresentam resolução espacial e acurácia necessária a delimitação de pequenas áreas de APP, sendo recomendável sua aplicação em modelagens com finalidade científica de análise do comportamento espacial do terreno e em determinações preliminares ou em pré-projetos que necessitem delimitações de áreas de preservação permanente aplicados a grandes porções territoriais.

Diante das vantagens, desvantagens e disponibilidade de dados expostas anteriormente, optou-se por utilizar os dados STRM de resolução 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m), como base para construção de um modelo digital de elevação, com abrangência a toda área de inundação do açude Orós, essa construção do MDE em questão servirá de base para determinação das áreas compreendidas entre os diversos intervalos de cotas delimitadoras das áreas de preservação permanente.

Os dados SRTM, inicialmente processados pela *National Aeronautics and Space Administration - NASA* e *United States Geological Survey - USGS*, receberão pós-processamento na *suíte* de softwares *ArcGis 10.2*, onde primeiramente serão reprojitados com referência geográfica para WGS 1984, UTM Zone 24 S (esta é a projeção plana da

região do Orós-CE, área de aplicação do estudo), então, após esse ajuste se procederá com a elaboração de um mosaico com a finalidade de junção das articulações utilizadas para composição do MDE, utilizando a ferramenta “*Add Rasters To Mosaic Dataset*” que adiciona conjuntos de dados *raster* de diversas fontes em um mosaico de dados, posteriormente a esse passo, será realizado um agrupamento dos dados do *raster* em classes com valores de 0 e 1, com o objetivo de se obter as áreas compreendidas entre os intervalos de cotas estudados, entre a cota máxima operativa normal e as cotas maximorum atualizadas e não atualizadas, dentre o conjunto de ferramentas da extensão “*Spatial Analyst Tools*”, será utilizada a ferramenta “*Map Algebra*” que cria e executa expressões algébricas, essa utiliza a sintaxe do *Python* em uma interface do tipo calculadora, que realiza as operações algébricas com os dados contidos em um *raster*, com o intuito de separar em intervalos especificados, selecionando esses dados para posterior reclassificação. O produto obtido nessa etapa do processamento nos permitirá utilizar a ferramenta “*Reclassify*” para separar as células compreendidos em uma altitude pré-estabelecida das demais, isso é possível, pois durante a reclassificação, as células com valores 0, obtidas pelo processamento algébrico podem ser descartadas, mantendo-se apenas as células classificadas com valor de 1 (células do intervalo desejado), por fim, o *raster* obtido após a reclassificação é convertido em polígono (vetor) e sua área plana pode ser obtida por integração utilizando a calculadora espacial da *suite*.

Esse processamento descrito anteriormente nos permite delimitar e calcular áreas para qualquer intervalo de cotas desejado, desde que estas estejam compreendidas no gradiente do *raster* utilizado como base, desse modo, é possível criar polígonos representativos das áreas de preservação permanentes previstas na atual legislação ambiental, do mesmo modo, é possível gerar um polígono com distância pré-estabelecida a partir da borda de qualquer cota de referência, já vetorizada no processamento anterior, utilizando para isso a ferramenta “*buffer*”, esta nos permite obter a área plana projetada compreendida entre qualquer distância informada e a borda da cota de referência, nos permitindo comparar os valores obtidos tendo como referencial o limite inferior e superior previstos nas diretrizes da legislação ambiental anterior.

Além da área plana projetada, esse estudo também contempla a análise da área de preservação permanente considerando o relevo, ou seja, calcula a área real a qual além da área projetada em planta, inclui os incrementos de áreas promovidos pelas estruturas do relevo. Esse cálculo dará ao estudo resultados de modelagem mais próximos da

realidade e também dará suporte para análises comparativas quanto a representatividade do relevo no cálculo de áreas.

Para obtenção da área da superfície do terreno (relevo) compreendida entre os intervalos de cotas desejados foram utilizadas as ferramentas da extensão "*3D Analyst Tools*", o processo de determinação será iniciado com a geração de um TIN (*Triangulated Irregular Network*), que consiste em um processo de triangulação matemática de valores altimétricas do pixel, obtendo-se uma superfície 3D da região em análise, o qual será aplicado para todos os intervalos de cota desejados, tendo como base recortes feitos no mosaico original, para realizar esses recortes serão aplicadas as ferramenta de extração e, posteriormente, a de conversão de *raster* para TIN. Após obtidos os resultados do TIN, será utilizada a ferramenta "*Interpolate Polygon to Multipatch*" que fornece características de superfície a um polígono tendo como base os resultados obtidos pela geração do TIN previamente criado e assim calcula-se a área superficial das estruturas do relevo.

Os produtos resultantes das etapas de processamento supracitadas serão desenvolvidos e analisados posteriormente nesse estudo, seções 5.3.4 e 5.3.5, bem como serão descritas a origem e as especificações técnicas das bases de dados utilizadas.

5. Resultados e Discussão

Neste capítulo serão aplicadas as ferramentas e técnicas apresentadas na elaboração teórica, capítulo 4, realizando um detalhamento do processo de obtenção de resultados, esta seção será segmentada da seguinte maneira: caracterização da região em estudo, coleta de dados para o cálculo de atualização da cota máxima *maximorum* e para o cálculo de área de preservação permanente, implementação dos modelos, em que será exposto como se deu a transformação dos dados coletados em resultados e, por fim ,será realizada uma discursão quanto a abordagem legal da determinação das APP's.

5.1. Implementação dos Modelos

5.1.1. Formação da série histórica

A implementação do modelo de atualização de cota máxima *maximorum* inicia-se com a formação e o tratamento das séries históricas de níveis d'água do reservatório, para tanto, foi aplicado um filtro nos dados da série de valores diários de cotas, fornecidos pela COGERH, que compreende os anos de 1978 a 1981 e 1986 a 2014, este filtro foi

aplicado com o auxílio do software Microsoft Excel®, com a finalidade de se obter uma série histórica de valores de cota máxima atingida em cada ano do período em referência, os dados já filtrados são apresentados logo abaixo pela tabela 3. Esta série incrementada com os dados extraídos das informações obtidas junto ao DNOCS, e assim formará a série histórica final de cotas máximas anuais do açude Orós, série essa que fundamentará o cálculo do processo estatístico de estimativa de nível d'água decamilenar, denominado de atualização de cota máxima maximorum.

Tabela 3 - Cotas Máximas Anuais 1978 à 1981 e 1986 à 2014.

Cotas Máximas Anuais - Açude Orós, Período: 1978 à 1981 e 1986 à 2014.				
Mês/Ano	Cota (m)		Mês/Ano	Cota (m)
mai/78	200,31		mai/99	192,92
mai/79	199,02		mai/00	193,68
mar/80	200,74		jan/01	189,86
abr/81	202,04		mai/02	186,51
abr/86	201,87		mai/03	189,45
abr/87	200,78		fev/04	201,52
abr/88	200,91		jan/05	197,87
abr/89	202,76		mai/06	197,53
jan/90	200,03		mai/07	197,34
mai/91	197,53		abr/08	200,88
abr/92	196,48		mai/09	201,27
jan/93	193,08		mai/10	198,37
jul/94	188,12		mai/11	200,58
jun/95	194,42		abr/12	199,08
jun/96	196,39		jan/13	196,42
mai/97	199,15		mai/14	195,16
abr/98	196,76			

Os dados coletados junto ao Departamento Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS, possibilitaram a ampliação da série e principalmente propiciaram a formação de uma série histórica contínua de 1978 a 2014. Outro dado de grande valor para o estudo foi a identificação da maior cheia registrada no período de operação, ocorrida em 1974, portanto, prezou-se neste estudo a inserção desta cota na série histórica tabulada, a qual será utilizada no cálculo de atualização de cota máxima maximorum desenvolvido mais à frente.

Foi produzida uma série contínua de 37 anos, porém para inserir a cota máxima do ano de 1974 sem quebrar a continuidade, seria necessário inserir as cotas máximas dos anos de 1975, 1976 e 1977. Buscou-se estas informações em diversos órgãos, mas não se obteve sucesso na coleta dos dados de cotas desses anos. Haja vista a grande importância do valor da cota máxima do ano de 1974 em específico, sua exclusão poderia afetar negativamente o processo estatístico de atualização de cota máxima maximorum deste reservatório, assim optou-se por inseri-la mesmo quebrando, por três anos, a continuidade da série.

Para avaliar possíveis prejuízos em não inserir na série as cotas dos três anos faltantes, 1975, 1976 e 1977, analisou-se os valores das cotas e vazões máximas anuais da série histórica fornecida pelo DNOCS, a qual continha apenas anos com vertimento, para verificar se em algum desses três anos faltantes ocorreu algum evento hidrológico extremo. Foi observado que entre o ano de 1974 e o ano de 1978, não houve nenhum vertimento, assim, os valores de cotas desses três anos não representam valores extremos para a série, portanto, o fato desses valores não estarem contidos na série não provocam alterações negativas ou subdimensionam a modelagem estatística de atualização de cota máxima maximorum.

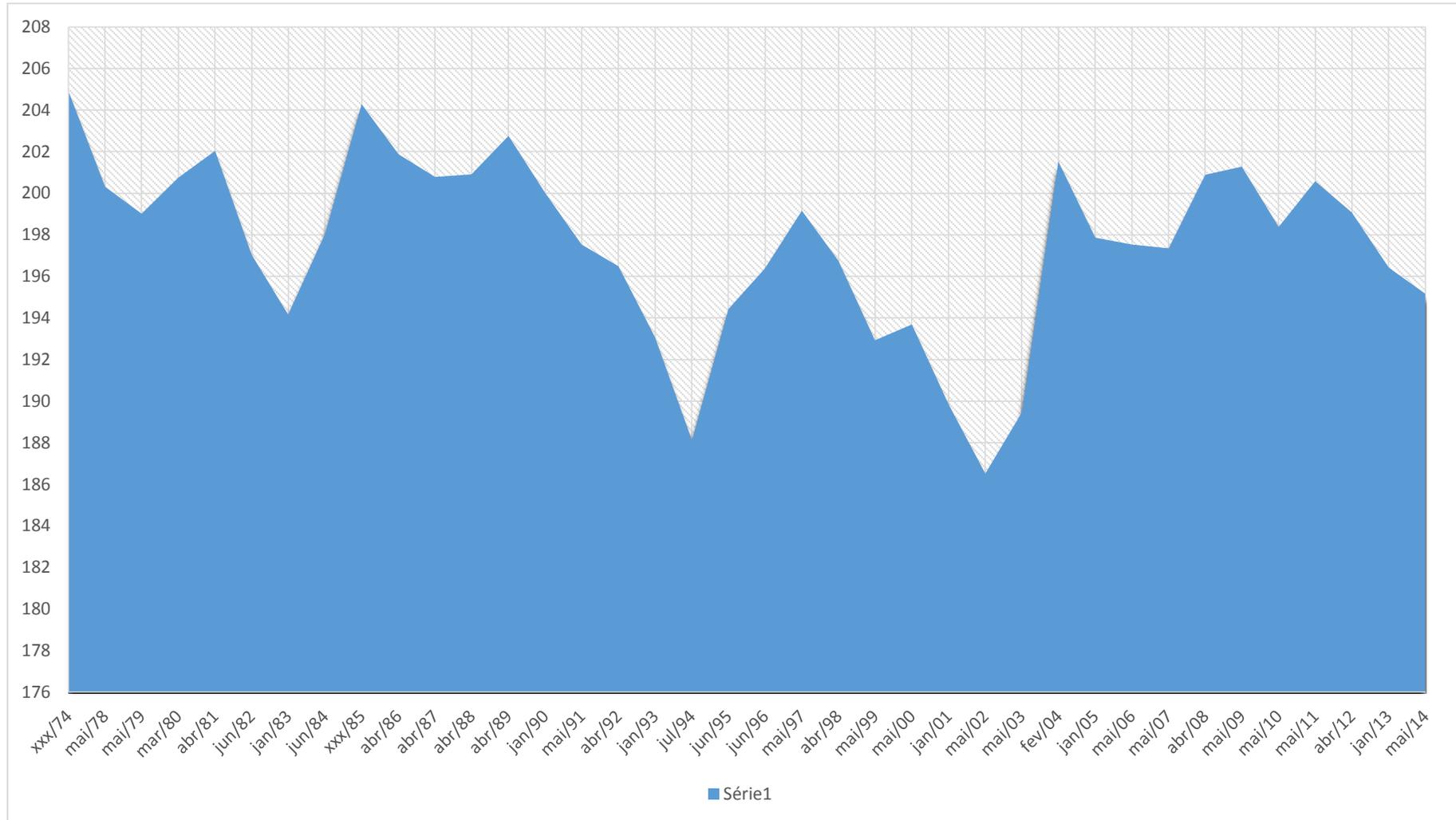
Pode-se observar também, na figura 4, que a não inserção dos valores de cotas máximas de 1975, 1976 e 1977, não provocam alterações na curva comportamental das cotas máximas anuais ao longo da operação do reservatório, o decaimento da curva neste período modela bem a realidade, evidenciando que entre 1974 e 1978 não houve nenhum evento hidrológico extremo, portanto, a tendência da curva, ainda que os três anos estivessem presentes, seria de decaimento, estando assim em concordância com a série de valores de cotas máximas anuais de anos com vertimento do DNOCS.

Com a inserção do valor da cota máxima de 1974, conclui-se a formação da série histórica de 38 anos, apresentada logo a baixo na tabela 4, a qual compreende o ano de 1974 e o período contínuo entre os anos de 1978 a 2014. A série obtida é a base fundamental para o processo estatístico de modelagem de cotas que se baseia na teoria da probabilidade, a qual possibilitará prever com uma determinada confiança a cota máxima maximorum do Açude Orós, o cálculo é proposto pelo modelo de atualização de cotas detalhado no capítulo 4, seção 4.1, em que a aplicação deste modelo e seus resultados serão desenvolvidos nas etapas subsequentes.

Tabela 4 - Cotas Máximas Anuais de 1974 e 1978 à 2014.

Cotas Máximas Anuais - Açude Orós, Período: 1974 e 1978 à 2014.				
Mês/Ano	Cota (m)		Mês/Ano	Cota (m)
xxx/74	204,94		jun/96	196,39
mai/78	200,31		mai/97	199,15
mai/79	199,02		abr/98	196,76
mar/80	200,74		mai/99	192,92
abr/81	202,04		mai/00	193,68
jun/82	197,03		jan/01	189,86
jan/83	194,15		mai/02	186,51
jun/84	198,05		mai/03	189,45
xxx/85	204,28		fev/04	201,52
abr/86	201,87		jan/05	197,87
abr/87	200,78		mai/06	197,53
abr/88	200,91		mai/07	197,34
abr/89	202,76		abr/08	200,88
jan/90	200,03		mai/09	201,27
mai/91	197,53		mai/10	198,37
abr/92	196,48		mai/11	200,58
jan/93	193,08		abr/12	199,08
jul/94	188,12		jan/13	196,42
jun/95	194,42		mai/14	195,16

Figura 4 - Cotas máximas anuais 1974, 1978 à 2014.



Então como proposto na seção 4.1, a próxima etapa do modelo de atualização de cotas após a formação da série histórica é a aplicação da teoria da probabilidade, em que funções de distribuições probabilísticas pré-selecionadas são utilizadas na tentativa de modelar valores futuros de cotas com base em uma série histórica compilada, com um nível de confiança estabelecido. Neste estudo, foram selecionadas as distribuições Weibull 3 Parâmetros, Menores Valores Extremos, Weibull, Logística, Normal, Gamma, LogNormal e Maiores Valores Extremos.

Nesta etapa, utilizou-se o software Minitab17® que demonstrou ser uma poderosa ferramenta para cálculos estatísticos, otimizando o processamento dos dados, principalmente no âmbito da geração de produtos como gráficos, estabelecimento de parâmetros e precisão na realização dos testes de aderência, observou-se grande fluidez, com tempos de respostas bastantes reduzidos. Foram produzidos oito gráficos, cada um derivado de uma distribuição de probabilidade específica com seus parâmetros ajustados à série histórica, no eixo horizontal desses gráficos ficam dispostos os valores da série histórica de cotas máximas do Açude Orós, a qual foi denominada de “Máximas Medidas”, ao lado direito encontra-se um quadro resumo com os parâmetros da distribuição de probabilidade específica aplicada no gráfico, bem como o valor referente ao teste de aderência de Anderson Darling (AD) e o P-Valor (P-Value).

Com os parâmetros de ajuste à série histórica de cada curva de probabilidade calculados, foi possível gerar, ainda com o Minitab17® dez mil valores randômicos para todas as oito distribuições aplicadas neste estudo, cada rol de dez mil valores produzidos a partir dos parâmetros de uma distribuição específica, representam a modelagem dos possíveis valores das dez mil cotas máximas anuais atingidas pelo reservatório, assim, o maior valor apresentado dentro de cada um destes róis de dez mil cotas, representará a cota decamilenar (Máxima Maximorum), estimada com um nível de confiança de 95%.

5.1.2. Análise de adequação das distribuições à série histórica

Nesta seção, serão analisadas as adequações das distribuições de probabilidade em modelar o comportamento da série histórica de valores de níveis d'água (cota) do açude Orós com um nível de confiança de 95%.

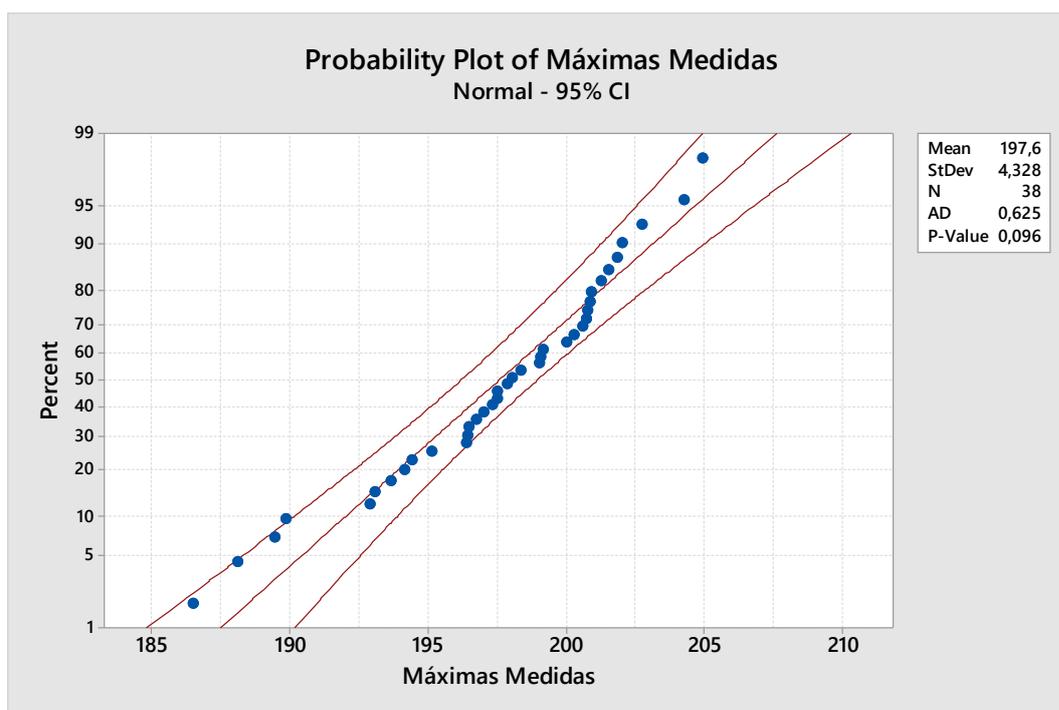
Com o auxílio do Minitab17®, aplicou-se as funções de distribuição de probabilidade selecionadas na revisão bibliográfica, como resultados foram produzidos gráficos de plotagem dos dados da série histórica por porcentagem de ocorrência, bem

como uma tabela para cada curva de distribuição que resume informações como: coeficientes das curvas de probabilidade ajustadas, o valor atribuído ao teste de aderência de Anderson Darling e o P-Valor referente a cada distribuição específica.

A aplicação estatística de ajuste com a função de distribuição Normal produziu resultados, os quais estão dispostos logo abaixo na figura 5, onde P-Valor = 0,096, o qual superou o valor de 0,05 indicando que os valores estimados por essa distribuição encontra-se dentro do intervalo de confiança estabelecido, este mostra que a série histórica de cotas máximas anuais do açude passou no teste de normalidade, assim caso um determinado valor de cota seja modelado por esta distribuição Normal ajustada e este valor venha ser descartado, tem-se uma probabilidade maior do que 5% de estar cometendo um erro, ou seja, uma probabilidade maior do que 5% de descartar um valor válido.

Após identificar que a distribuição Normal de probabilidade obteve resultado satisfatório quanto ao nível de confiança, analisou-se o resultado de aderência por Anderson Darling, o qual apresentou um valor de baixa magnitude, $AD = 0,625$, dando a distribuição uma boa qualificação estatística quanto a capacidade de se ajustar à série histórica medida.

Figura 5 - Aplicação estatística da função Normal.



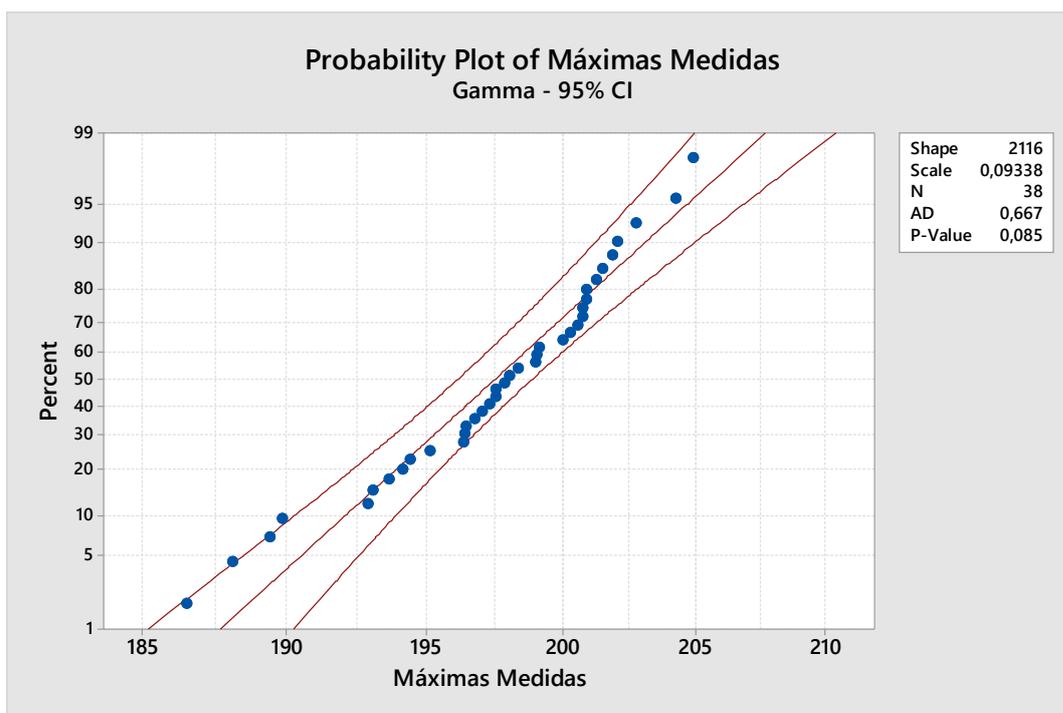
Segundo Lyra et al 2006 e Sansigolo 2008, a distribuição Normal apresenta bom ajuste à séries hidrológicas históricas utilizadas em estudo de eventos extremos como este

em desenvolvimento, o qual projeta cotas máximas atingidas pelo reservatório Orós, pode-se observar que a aplicação da distribuição Normal como uma ferramenta estatística para realizar estimativas corroboram com os resultados encontrados pelos autores em referência.

A Figura 6, mostra de forma compilada os resultados encontrados a partir da aplicação da função de distribuição de probabilidade do tipo Gamma, a qual foi ajustada à série histórica em estudo. Apesar de apresentar valores similares ao da distribuição Normal, a distribuição Gamma demonstrou desempenho inferior, obtendo menor P-Valor com magnitude de 0,085, mas ainda assim acima de 0,05, deixando os valores projetados por essa distribuição dentro do nível de confiança de 95%. O teste de aderência também apresentou desempenho um pouco inferior ao da distribuição Normal, obteve um valor um pouco superior, $AD = 0,667$, contudo esse valor ainda é considerado satisfatório para uma modelagem de eventos extremos.

Apesar da distribuição Gamma ser amplamente aplicada em modelagens hidrológicas de eventos extremos, como os eventos de precipitações máximas ou de intensidades máximas de chuvas, neste trabalho o qual se estuda as cotas máximas anuais do reservatório Orós, essa distribuição não conseguiu obter melhores resultados do que a distribuição normal, este fato pode ser atribuído ao teste de aderência aplicado (Anderson Darling), que além de ser um método bastante restritivo, atribui um peso maior aos valores caudais, fato este, também referenciado pelos autores Franco et al., 2014 e Beskow et al., 2015, citados no capítulo 2 de revisão bibliográfica.

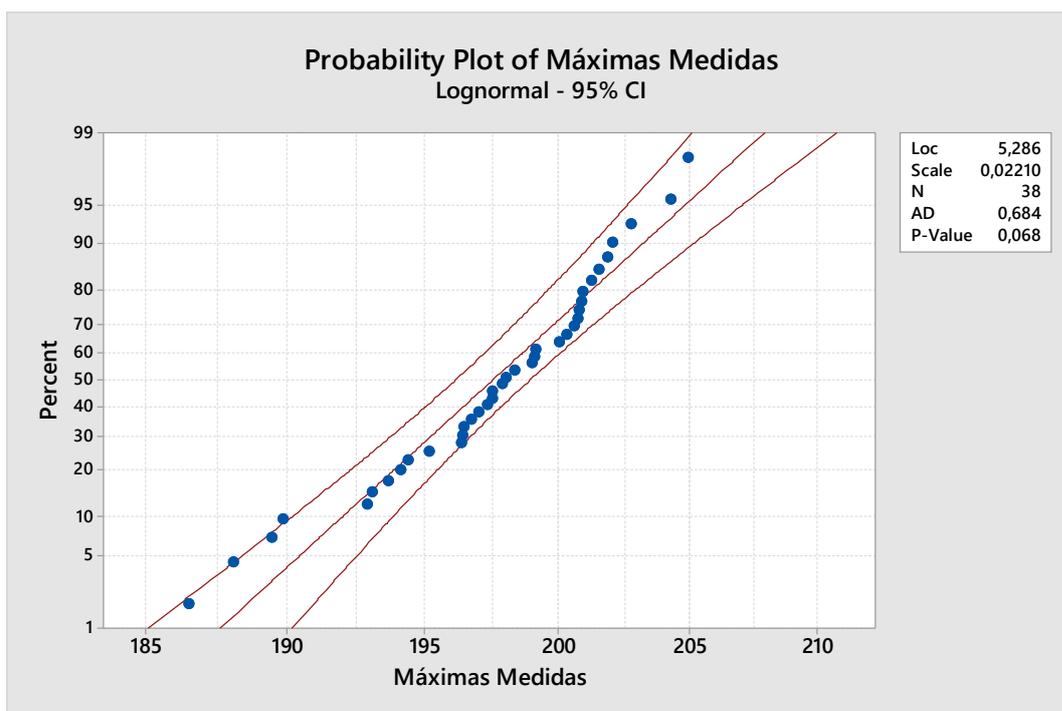
Figura 6 - Aplicação estatística da função Gamma.



A Figura 7 mostra em resumo os resultados gerados a partir da aplicação da função de distribuição de probabilidade do tipo LogNormal aos valores da série histórica em questão. Com o ajuste, obteve-se um P-Valor de 0,068, que embora tenha ultrapassado o valor requerido para enquadrar-se dentro da faixa de confiança, 0,05, observou-se uma notória diferença do valor alcançado pela distribuição Normal (0,096) e ainda assim abaixo do valor da distribuição Gamma, P-Valor = 0,085. Os valores alcançados pela função LogNormal ajustada, propiciou a essa distribuição uma menor confiança em projetar valores de cota do que as duas outras distribuições (Normal e Gamma) apresentadas anteriormente.

Quanto ao teste de aderência, a função de distribuição de probabilidade LogNormal também obteve um valor menos satisfatório do que as distribuições Normal e Gamma, seu AD foi de 0,684, o qual demonstra uma menor capacidade relativa de se ajustar a série histórica de cotas máximas anais do Açude Orós.

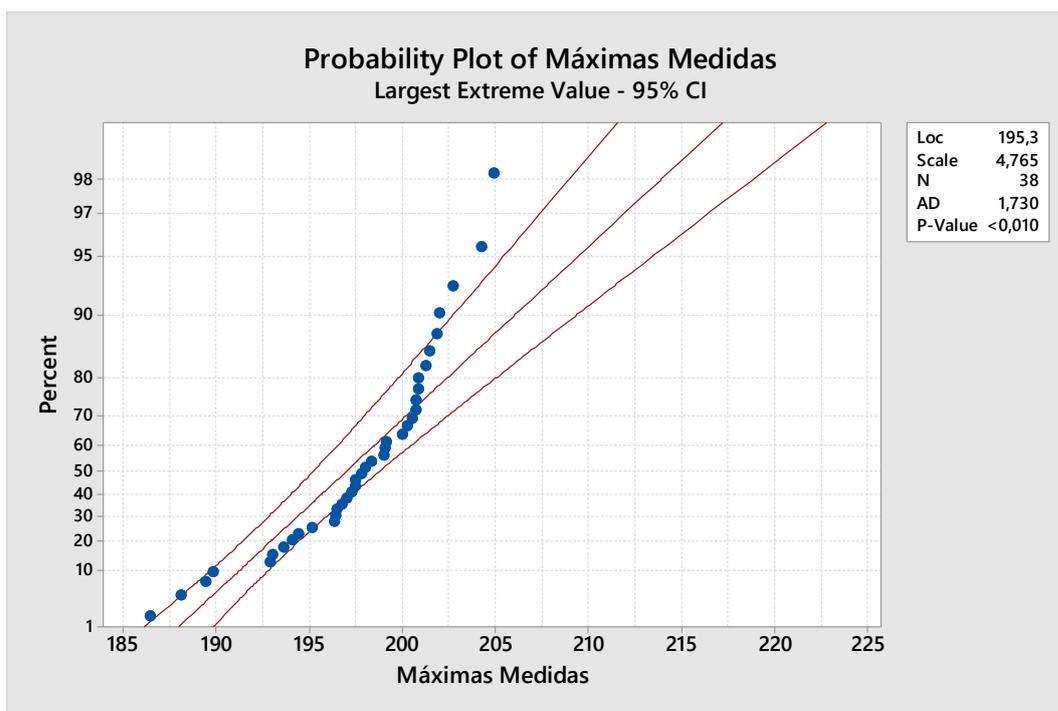
Figura 7 - Aplicação estatística da função LogNormal.



A figura 8 apresenta logo abaixo, os resultados encontrados a partir da aplicação estatística de ajuste da função de probabilidade do tipo Valores Extremos Máximos à série histórica de cotas máximas anuais em referência. Pode-se observar junto a tabela de coeficientes, que diferentemente das distribuições anteriores analisadas, essa atingiu um P-Valor insatisfatório de 0,01, este bem abaixo do valor mínimo requerido para enquadrar-se dentro do nível de confiança estabelecido de 95%.

Com a falha da distribuição Valores Extremos Máximos em modelar valores dentro do nível de confiança, e sendo este um teste que caso seu resultado não seja favorável, inviabiliza prosseguir a análise de modelagem. Além de um resultado insatisfatório quanto a confiança, pode-se observar que o valor atribuído ao teste de aderência, foi extremamente alto $AD = 1,730$, demonstrando um baixíssimo poder da distribuição em se ajustar a série histórica, fato esse evidenciado pela dispersão dos pontos entre as três linhas do gráfico contido na figura 8.

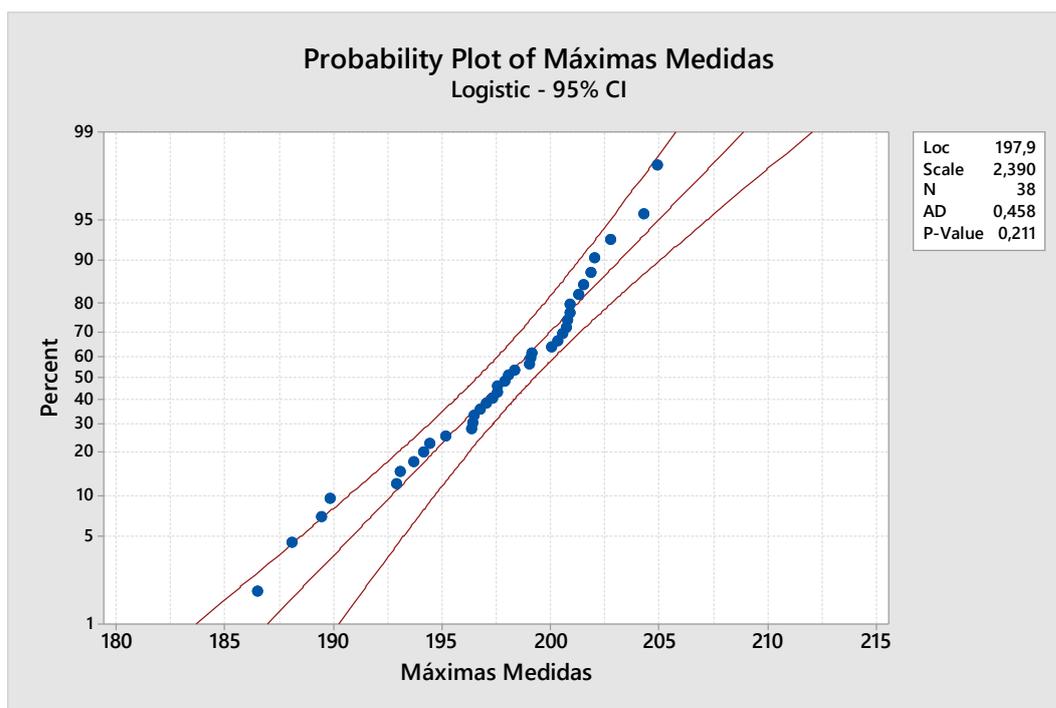
Figura 8 - Aplicação estatística da função Valores Extremos Máximos



A figura 9 mostra os resultados obtidos pela aplicação estatística de ajuste da função de probabilidade do tipo Logística à série histórica de cotas máximas em estudo. Essa apresentou P-Valor de 0,211, o qual foi muito superior à 0,05 requerido para enquadrar-se dentro do nível de confiança estabelecido, comparativamente, a distribuição Logística se destacou frente as outras distribuições apresentadas anteriormente, que também obtiveram bons resultados de P-Valor, maiores que 0,05, portanto, essa distribuição ajustada modela valores com maior confiança do que as distribuições de probabilidade Norma, Gamma e LogNormal ajustadas à série histórica.

Vale ressaltar que a aplicação estatística realizada com a função Logística apresentou valor para o teste de aderência de Anderson Darling de 0,458, esse de magnitude relativamente baixa, indicando que a função Logística foi capaz de se ajustar e modelar muito bem os dados da série de cotas máximas. Com a obtenção de valores muito favoráveis quanto aos dois parâmetros de análise, pode-se inferir que essa função é estatisticamente bastante confiável para realizar a modelagem da série histórica em estudo.

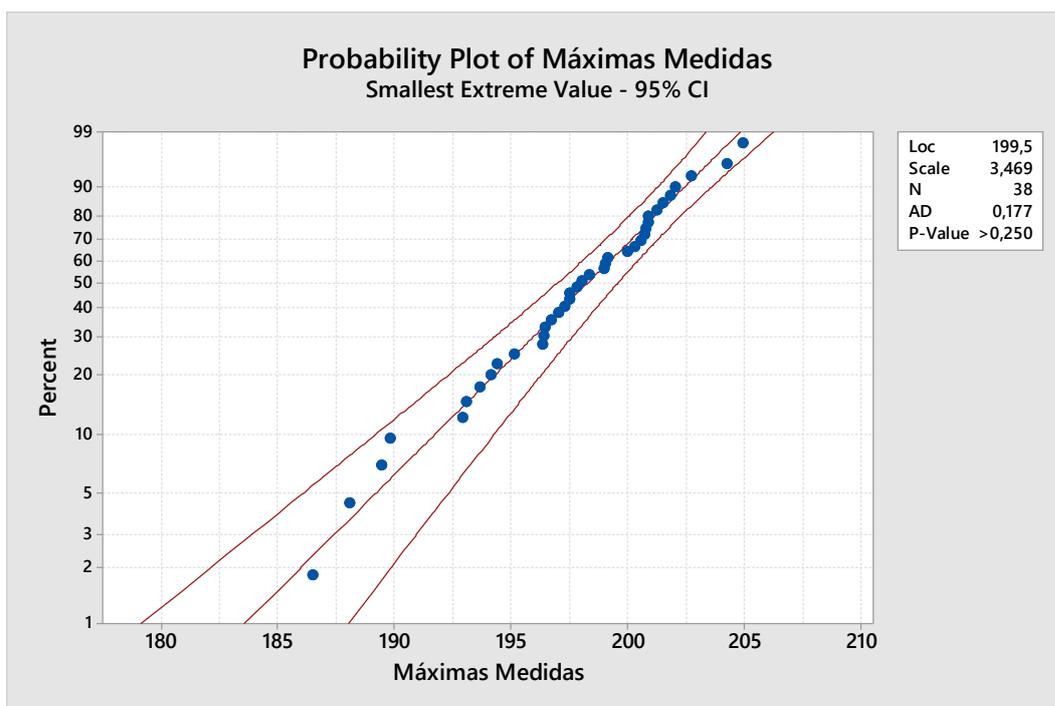
Figura 9 - Aplicação estatística da função Logística.



O ajuste da função de distribuição de probabilidade do tipo Menores Valores Extremos (Gumbel) à série histórica de cotas máximas anuais do açude Orós, é mostrado logo abaixo na figura 10, apresentando um gráfico de porcentagem de ocorrência e os resultados dos parâmetro de análise como P-Valor que alcançou uma magnitude de 0,250, este ultrapassando o valor mínimo requerido de 0,05, o qual comparativamente à distribuição Logística (0,211), alcançou um resultado mais satisfatório quanto ao nível de confiança, embora que por uma pequena diferença.

Quanto ao teste de aderência, a distribuição Menores Valores Extremos obteve um valor de $AD = 0,177$, este por sua vez de baixa magnitude, evidenciando a grande capacidade dessa função de distribuição de se ajustar e modelar os dados compilados na série histórica em referência, fato evidenciado pela grande concentração de pontos nas proximidades do eixo central do gráfico da figura 10. Apresentou também expressivo distanciamento, tendendo a valores menores, em relação a aderência alcançada pela distribuição Logística e em relação as distribuições Normal, Gamma e LogNormal, as quais comparativamente obtiveram menor desempenho quanto ao ajuste.

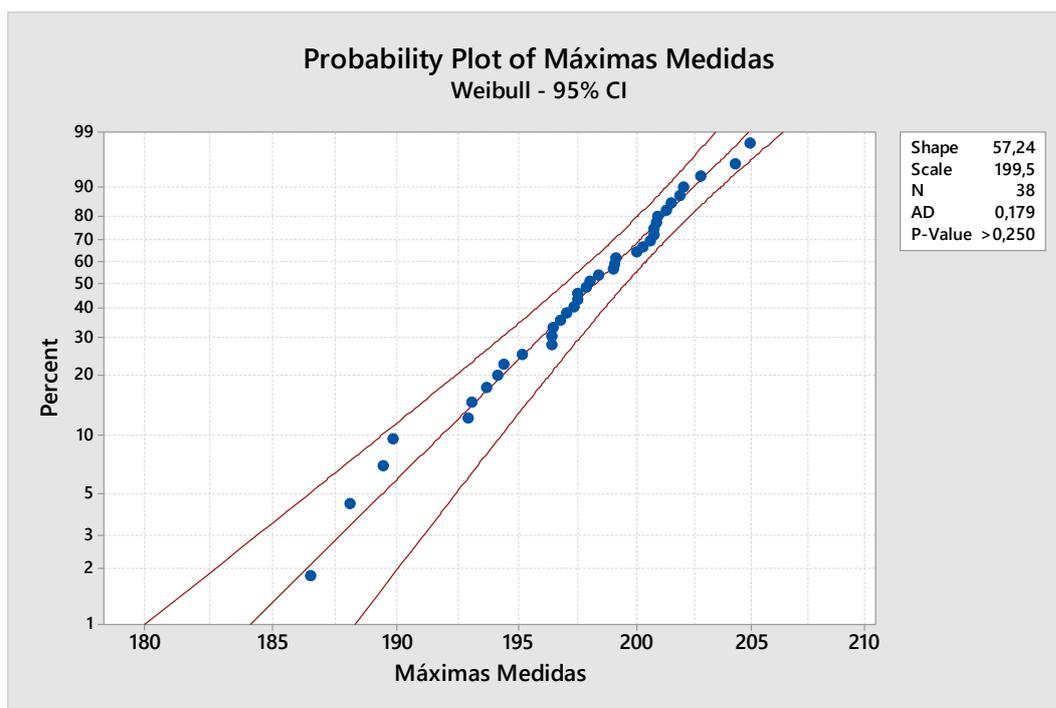
Figura 10 - Aplicação estatística da função Menores Valores Extremos.



A figura 11 apresenta logo abaixo os resultados do ajuste da função de distribuição de probabilidade do tipo Weibull à série histórica de cotas máximas anuais em referência, essa apresentou P-Valor de 0,250, de igual magnitude encontrado na aplicação da função do tipo Menores Valores Extremos, este atingindo os valores requerido para se enquadrarem na faixa de valores aceitáveis para o nível de confiança estabelecido.

A aplicação do teste de aderência de Anderson Darling produziu também resultado bastante satisfatório, apresentando um valor de baixa magnitude, $AD = 0,179$, embora um pouco superior ao encontrado pelo ajuste da função do tipo Menores Valores Extremos, mas ainda baixo o suficientemente para caracterizar a função como estatisticamente confiável para modelar o comportamento da série de cotas máximas em estudo.

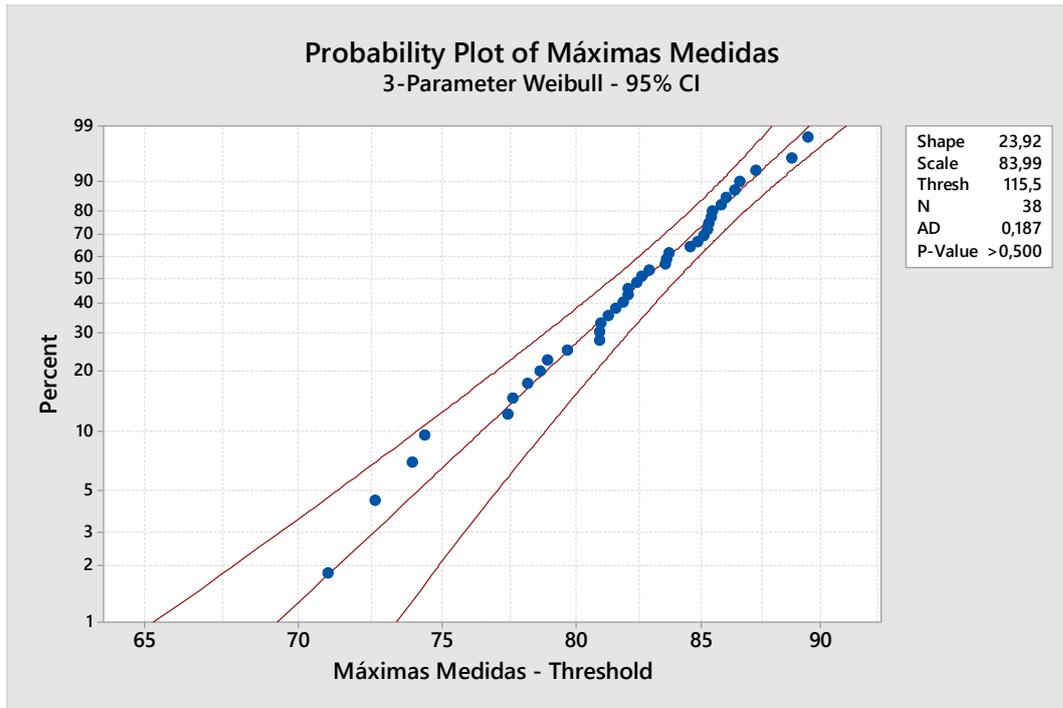
Figura 11 - Aplicação estatística da função Weibull.



Apesar da distribuição Weibull apresentada anteriormente ter obtido resultados estatísticos satisfatórios, optou-se por realizar a aplicação estatística de ajuste para a distribuição do tipo Weibull 3 parâmetros. Os resultados encontrados estão dispostos na figura 12, onde o parâmetro P-Valor atingido foi de 0,500, este sendo o maior valor global desse estudo, distanciando-se para um patamar superior ao de todas as outras distribuições apresentadas anteriormente e, portanto, adotado como limite superior de classificação das funções de distribuições de probabilidade estudadas quanto ao parâmetro confiabilidade.

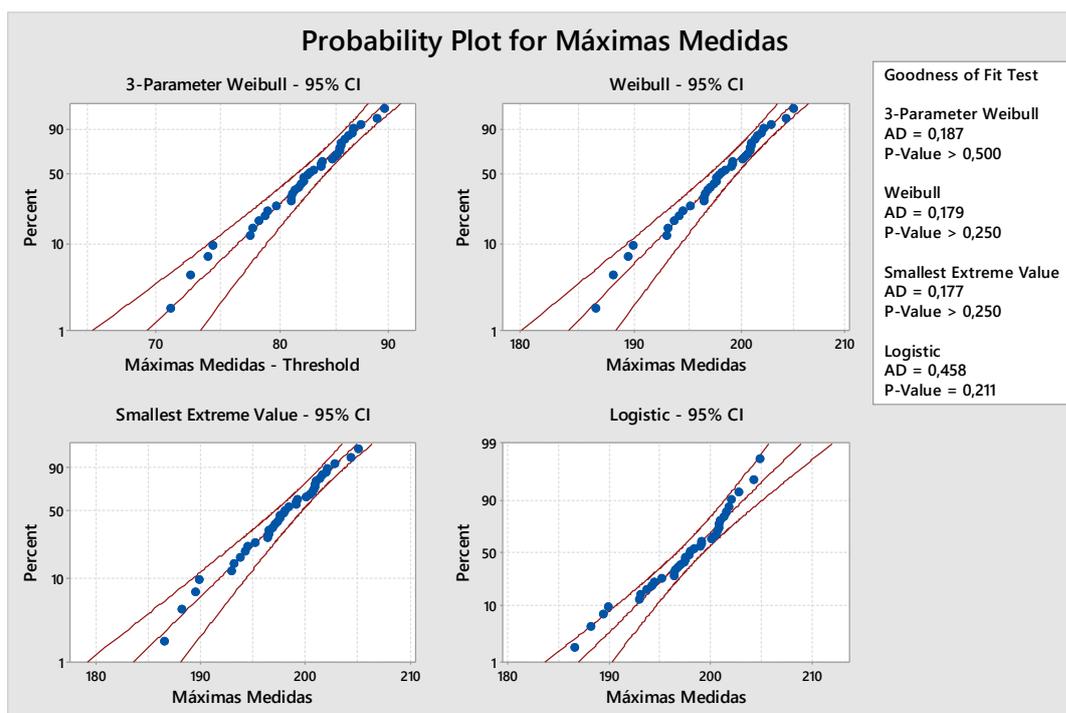
Apesar de obter o maior patamar quanto ao nível de confiança, a função do tipo Weibull 3 parâmetros não obteve o mesmo posto quanto ao parâmetro aderência, atingindo um valor de $AD = 0,187$, superior ao encontrado no ajuste com a função Weibull e Menores valores extremos, porém este valor de teste de aderência ainda confere a essa distribuição um valor estatístico satisfatoriamente baixo, indicando que a função é capaz de se ajustar e modelar bem o comportamento da série histórica em referência.

Figura 12 – Weibull 3 Parâmetros.



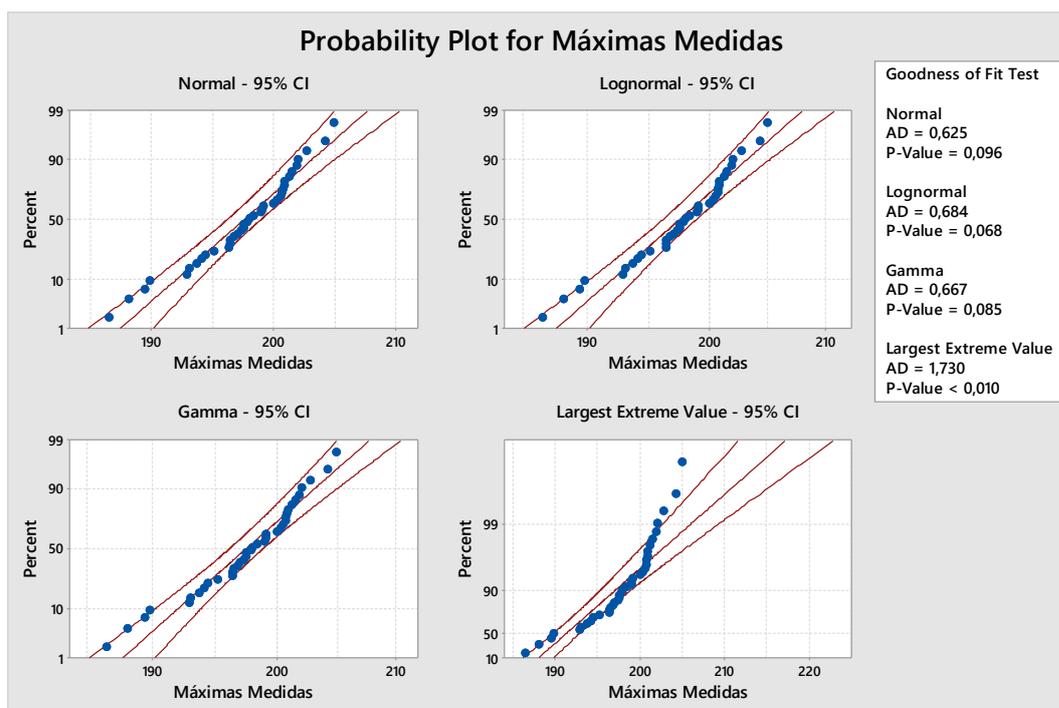
Apresenta-se logo abaixo a figura 13, a qual compila os resultados (gráficos e tabela de parâmetros) das quatro melhores funções de distribuição de probabilidade, quanto a análise do primeiro parâmetro, nível de confiança, em que Weibull 3 parâmetros, Weibull, Menores Valores Extremos e Logística, dispostas nessa ordem, foram classificadas de forma decrescente, do maior ao menor desempenho. Observou-se em todos os quatro gráficos, que os pontos amostrais estão dentro dos intervalos em torno da reta estimada, destacando-se para a distribuição Weibull 3 parâmetros a qual possui uma grande concentração de pontos entorno do eixo central.

Figura 13 – Quadro comparativo, funções Weibull 3 Parâmetros, Weibull, Menores Valores Extremos e Logística.



A figura 14, apresentada logo abaixo, compila os resultados (gráficos e tabela de parâmetros) das quatro últimas funções de distribuições de probabilidade ajustadas à série histórica de cotas máximas, essas obtiveram resultados inferiores às funções apresentadas anteriormente, quanto ao parâmetro P-Valor, que indica a confiança atribuída a função em estimar valores, embora tenham obtido menores desempenhos estatísticos, a única função reprovada quanto a este parâmetro foi a do tipo Maiores Valores Extremos, fato este evidenciado pelo gráfico “*Largest Extreme Value*” da figura 8, onde observa-se uma grande dispersão dos pontos nas proximidades dos intervalos estabelecidos para a reta estimada, salienta-se ainda que alguns valores estão plotados fora desse intervalo. Pode-se classificar em ordem decrescente de desempenho a função Normal, Gamma e LogNormal sucessivamente, estas ainda que não tenham alcançado os melhores valores globais apresentaram resultados estatisticamente satisfatórios, tanto para o parâmetro de nível de confiança quanto para aderência de Anderson Darling.

Figura 14 – Quadro comparativo Normal, Gamma, LogNormal e Maiores Valores Extremos.



A tabela 5 compila todos os valores dos parâmetros analisados (P-Valor e AD) pela aplicação estatística de ajuste das funções de distribuição de probabilidade utilizadas neste trabalho, para verificar o melhor desempenho de ajuste e modelagem aos dados da série histórica de cotas máximas anuais do açude Orós. A tabela classifica as funções em ordem decrescente quanto ao desempenho alcançado na avaliação do primeiro parâmetro, nível de confiança, onde o primeiro lugar é ocupado pela função do tipo Weibull 3 parâmetros que obteve o melhor desempenho global e o último lugar ocupado pela função do tipo Maiores Valores Extremos que não alcançou valor satisfatório para enquadrar-se dentro do nível de confiança estabelecido.

Tabela 5 - Valores dos parâmetros P-Valor e AD.

Distribuição	P-Valor	AD
1° Weibull 3 Parâmetros	0,500	0,187
2° Menores Valores Extremos	0,250	0,177
3° Weibull	0,250	0,179
4° Logística	0,211	0,458
5° Normal	0,096	0,625
6° Gamma	0,085	0,667
7° LogNormal	0,068	0,684
8° Maiores Valores Extremos	0,01	1,730

5.1.3. Atualização de cota máxima maximorum

Com todas as funções de probabilidade ajustadas e seus parâmetros determinados, foi possível produzir os dez mil valores randômicos com os coeficientes específicos de cada função. Para as oito distribuições utilizadas neste estudo, foram formados oito róis de valores, em cada rol foi selecionado o valor máximo, assim o maior valor de cada rol representa a cota máxima maximorum modelada pela distribuição específica do rol a qual o gerou.

Na tabela 6 são apresentados os valores das cotas máximas maximorum, referentes a cada distribuição específica, esses valores são as possíveis cotas máximas que o açude Orós alcaçaria em um evento extremo de dez mil anos. Essa tabela apresenta a estimativa de cotas em ordem decrescente de desempenho das funções de probabilidade, quanto aos valores encontrados na aplicação do teste de nível de confiança, na mesma ordem apresentada na tabela 5 da seção 5.3.2.

Tabela 6 – Cotas (m) máximas maximorum modeladas pelas distribuições de probabilidades.

Distribuição	Cota máxima maximorum (m)
Weibull 3 Parâmetros	208
Menores Valores Extremos	207,3
Weibull	207,2
Logística	219,1
Normal	213,3
Gamma	214,2
LogNormal	214,4
Maiores Valores Extremos	249,2

A função do tipo Weibull 3 Parâmetros obteve o melhor desempenho global quanto ao nível de confiança, produziu uma cota máxima maximorum estimada em 208 metros, as funções do tipo Menores Valores Extremos e Weibull, as quais obtiveram resultados estatísticos bem próximos a Weibull 3 Parâmetros, produziram cotas maximorum de 207,3 e 207,2 respectivamente.

Ressalta-se ainda que as funções do tipo Menores Valores Extremos (Gumbel) e Weibull produziram valores que se aproximam ainda mais do valor de cota máxima maximorum estabelecida pelo projeto original do açude Orós do DNOCS do que a distribuição Weibull 3 Parâmetros. Apesar dessas duas distribuições de probabilidade não terem obtido o melhor resultado global, elas alcançaram valores estatisticamente muito satisfatórios, estando também aptas para modelar a série histórica em questão, por serem capazes de produzir bons resultados, pode-se reforçar ainda mais a solidez e a confiabilidade da modelagem realizada pelo escritório de projetos Saturnino de Brito na década de 60, autor do projeto original do açude Orós fornecido pelo DNOCS.

Já a função de probabilidade do tipo Logística, apesar de ter obtido resultados estatisticamente bastantes confiáveis, na seção 5.3.2, para modelar a série histórica, essa veio a produzir valores incoerentes, cota máxima maximorum de 219,1 metros, quanto a altimetria da bacia de inundação do reservatório, essa incoerência pode ter ocorrido pelo fato da projeção aplicar uma extrapolação de valores muito grande, para períodos de retornos altos, 10.000 anos, e assim por uma característica intrínseca da função Logística modelou-se um valor bastante elevado, o suficiente para gerar uma incompatibilidade e incoerência com as características locais.

Foi constatada uma incoerência similar na modelagem realizada com a função do tipo Maiores Valores Extremos, a qual produziu uma cota máxima maximorum de 249,2 metros, aproximadamente 40 metros acima da cota da crista do barramento, porém esse resultado é justificado pelo fato dessa distribuição não se enquadrar dentro do nível de confiança estabelecido e assim gerar valores incoerentes com as características locais e do projeto.

Pode-se observar também que na seção 5.3.2, as distribuições Normal, Gamma e LogNormal não apresentaram os melhores desempenhos, porém atingiram parâmetros estatisticamente satisfatórios, os quais enquadram-se dentro do nível de confiança e alcançaram também valores relativamente baixos de aderência, elevando assim a relevância estatística dessas distribuições.

A produção de valores estatisticamente válidos pelas três distribuições (Normal, Gamma e LogNormal) e o fato de produzirem valores próximos de parâmetros de ajuste, fizeram com que na modelagem de cotas maximorum fossem gerados valores similares, gerando as cotas 213,3; 214,2 e 214,4 pelas funções do tipo Normal, Gamma e LogNormal, respectivamente. Esses resultados são superiores a cota máxima maximorum estabelecida pelo projeto original do açude Orós (207 metros), em parte são incoerentes

quanto ao aspecto construtivo, pois esses valores são superiores a cota da crista do barramento, aproximadamente 5 metros, então caso o nível da água atingisse estes patamares modelados por essas distribuições, o fluxo de vertimento se daria em uma cota superior a cota da crista do barramento, provavelmente ocasionando a destruição das estruturas, no entanto, os valores encontrados por essas funções possuem validade estatística, produzindo valores plausíveis, não extrapolando demasiadamente as cotas de inundação, e portanto em se tratando de um estudo de modelagem de eventos extremos com período de retorno decamilenar, optou-se por utilizar essas estimativas para cálculo de APP.

Com a identificação da melhor distribuição para modelar a cota máxima maximorum, a Weibull 3 parâmetros, a qual produziu um valor bastante coerente com as condições locais (208 metros), essa cota encontra-se um metro a cima da cota máxima maximorum estabelecida pelo projeto original fornecido pelo DNOCS, mas ainda assim um metro abaixo da cota da crista da barragem, dando a esta função de probabilidade uma boa aplicação prática para o caso em estudo, podendo contribuir quanto a segurança operativa do reservatório.

Diante da coerência do valor encontrado, a cota estimada pela distribuição Weibull 3 parâmetros será utilizada como o valor da cota máxima maximorum atualizada para o dimensionamento da área de preservação permanente seguindo as diretrizes da atual legislação ambiental, essa área será calculada posteriormente, na seção 5.3.4.2, tendo como referencial inferior a cota máxima operativa do reservatório (205 metros) e como referencial superior cota de 208 metros modelada pela referida função de probabilidade ajustada à série histórica de cotas máximas anuais do açude Orós.

Para o cálculo de área de preservação permanente seguindo as diretrizes da atual legislação, serão utilizadas também como referencial superior as cotas máximas maximorum modeladas pelas funções de distribuição de probabilidade do tipo Normal, Gamma e LogNormal, pois como visto anteriormente essas produziram cotas maximorum atualizadas com validade estatística, as quais também pode contribuir para este estudo de eventos extremos.

Como essas funções de probabilidade modelaram valores de cotas maximorum bem próximos sendo 213,3; 214,2 e 214,4 respectivamente, optou-se por realizar uma média dessas cotas, obtendo um valor de 213,96, o qual foi aproximado para 214 metros, este sendo usado como um segundo valor para o referencial superior de cota máxima maximorum atualizada.

A tabela 7, abaixo, apresenta todas as cotas de referência que serão utilizadas como base para determinação da área de preservação permanente – APP, a qual será desenvolvida na seção subsequente, essa tabela contempla também as cotas de referência ajustadas de acordo com o parecer nº01/DIPRO/H - C.I.Nº101 - DIBRA/B de 12/12/1980, para que as mesmas estejam em conformidade com os dados altimétricos do IBGE.

Tabela 7 - Cotas de referência para estudo.

Cota de Referência p/ APP	Referencial DNOCS	Referencial IBGE
Cota Máxima Operativa	Projeto Original - 205	IBGE - 209,24 (209)
Cota Máxima Maximorum Original - DNOCS	Projeto Original - 207	IBGE - 211,24 (211)
Cota Máxima Maximorum Weibull-3 Parâmetros	Projeto Original - 208	IBGE - 212,24 (212)
Cota Máxima Maximorum (Log Normal-Gamma-Normal)	Projeto Original - 214	IBGE - 218,24 (218)

5.1.4. Cálculo e Determinação de APP - Referência Legislação Atual

Nesta seção serão calculadas e determinadas as áreas de preservação permanente seguindo as diretrizes da atual legislação ambiental (Lei 12.651/2012), a qual estabelece que a APP é compreendida entre a cota máxima operativa normal e a cota máxima maximorum, para tanto, são apresentadas na tabela 7 as cotas de referência requeridas para o cálculo que será desenvolvido nas subseções 5.3.4.1 e 5.3.4.2, com referência nas cotas maximorum Original DNOCS e atualizadas respectivamente. Salienta-se que todas as cotas utilizadas no processo de cálculo de APP foram retificadas conforme referencial IBGE.

5.1.4.1. Cota Máxima Maximorum Original DNOCS

Primeiramente será calculada a área de preservação permanente com o referencial superior estabelecido na cota máxima maximorum original do DNOCS, ou seja, cota máxima maximorum original apresentada no projeto do DNOCS, a determinação dessa área será utilizada como linha de base para comparação em termos de incremento ou decréscimo em relação a área calculada pelas cotas atualizadas estabelecidas na seção

5.3.4.2 e pela área calculada com referência nas diretrizes da legislação anterior, desenvolvida na seção 5.3.5.

Para o intervalo de cotas 209 (máxima operativa normal) – 211(maximorum Original DNOCS) obteve-se um valor de área plana de 4.458 ha após o processo de extração e cálculo das áreas dos *pixel's* utilizando as ferramentas do “*Map Algebra*”.

O processo de geração de superfície 3D para computo da área superficial, a qual se obtém incremento de valores de áreas provenientes das estruturas do relevo, não obteve aproveitamento de todos os *pixel's* para o cálculo, devido a limitações metodológicas do software, assim não aplicando o processo em 44% da área plana original, portanto, o processo de cálculo de área considerando o relevo aplicou-se em apenas 2514 ha (56% da área plana), na qual obteve-se um incremento de área de 0,14%, resultando em uma área final de 2518 ha.

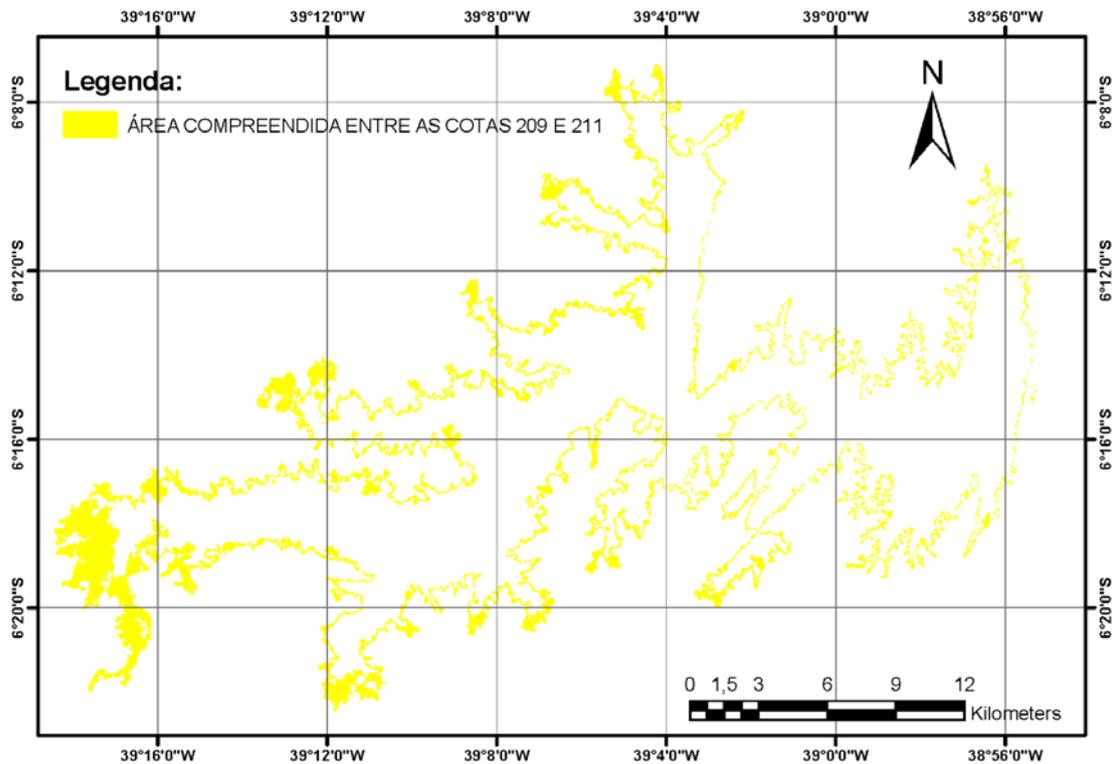
A área de preservação permanente ente a cota 209-211 real estimada, corresponde a soma da área de 2518 ha, já processada pelo TIN (processou o relevo em 56% da área plana), com a área plana não processada pelo TIN (1944 ha) 44% da área plana total, sendo igual a um total de 4462 ha.

A tabela 8, abaixo, apresenta as informações obtidas pelo software de forma compilada, em que a área de preservação permanente plana (desconsiderando o relevo) encontrada para o referido intervalo de cota foi de 4458 ha, a área a qual o software foi capaz de processar para aplicar o relevo foi de 2514 ha, valor este que representa 44% da área total plana, após o processamento realizado com a ferramenta TIN obteve-se uma área de 2518 ha, em que o percentual de ganho de área, após considerar o relevo, foi de 0,14%.

Tabela 8 - Área de preservação permanente entre a cota 209-211.

ÁREA PLANA (ha)	ÁREA PLANA PÓS PROCESSADA PARA GERAÇÃO DO TIN (ha)	ÁREA SUPERFICIAL (ha)	PERCENTUAL DE PERDA EM RELAÇÃO A ÁREA NÃO TRATADA PARA O TIN (%)	VARIAÇÃO ENTRE ÁREA PLANA E ÁREA SUPERFICIAL OBTIDA PELO TIN (%)
4458	2514	2518	44	0,14

Figura 15 - Área de preservação permanente entre a cota 209-211.



Na figura 15 é possível observar a mancha simulada para o intervalo de cotas 209-211, representando a área de preservação permanente do açude Orós.

5.1.4.2. Cota Máxima Maximorum Atualizada

A seguir será desenvolvido o cálculo de determinação de área de preservação permanente que tem como fundamentação as diretrizes da atual legislação ambiental, esta define como referencial superior para a determinação da APP a cota máxima maximorum do projeto, porém o cálculo a seguir utilizará a cota máxima maximorum atualizada na seção 5.3.3. Na referida seção foram identificadas as cotas retificadas de 212 e 218 metros, como os resultados de melhores desempenhos estatísticos e, portanto, serão utilizados como referencial no cálculo subsequente.

Para o intervalo de cotas 209-2012, após o processo de extração e cálculo das áreas dos *pixel's* utilizando as ferramentas do “*map álgebra*”, obtivemos um valor de área de preservação permanente plana de 6398 ha, no entanto o processo de geração de superfície 3D, aplicando a ferramenta TIN, apenas foi possível processar 55% da área plana total, devido às limitações metodológicas da ferramenta empregada, não possível gerar uma superfície considerando o relevo para toda a região da área plana, o software

apenas foi capaz de processar 3551 ha (55% de 6398), gerando uma superfície com incremento de área de 0,12% (4 ha) proveniente das áreas adicionadas pelas estruturas do relevo. Os dados que não puderam ser aproveitados para o cálculo devido a metodologia empregada pelo software representaram uma área de 2847 ha (45% da área total plana), esta somada a área já processada pelo TIN (3555 ha), formam uma área de preservação permanente de 6402 ha modelada utilizando como referencial superior a cota máxima maximorum atualizada 212m.

A tabela 9 abaixo, apresenta de forma compilada os resultados encontrados para o cálculo da APP compreendida entre as cotas máximas maximorum 209 a 212, a partir da utilização do software e processamento de informações altimétricas.

Tabela 9- Área de preservação permanente entre a cota 209-212.

ÁREA PLANA (ha)	ÁREA PLANA PÓS PROCESSADA PARA GERAÇÃO DO TIN (ha)	ÁREA SUPERFICIAL (ha)	PERCENTUAL DE PERDA EM RELAÇÃO A ÁREA NÃO TRATADA PARA O TIN (%)	VARIAÇÃO ENTRE ÁREA PLANA E ÁREA SUPERFICIAL OBTIDA PELO TIN (%)
6398	3551	3555	45	0,12

Observou-se que utilizando a cota máxima maximorum atualizada (212), em que foi acrescido apenas um metro em relação a cota máxima maximorum original do projeto fornecido pelo DNOCS (211), a área de preservação permanente obteve um acréscimo bastante considerável de aproximadamente 44% (1940 ha).

Na figura 16 é possível observar a mancha simulada para o intervalo de cotas 209-212, a qual representa a área de preservação permanente tendo como referencial a cota máxima maximorum atualizada.

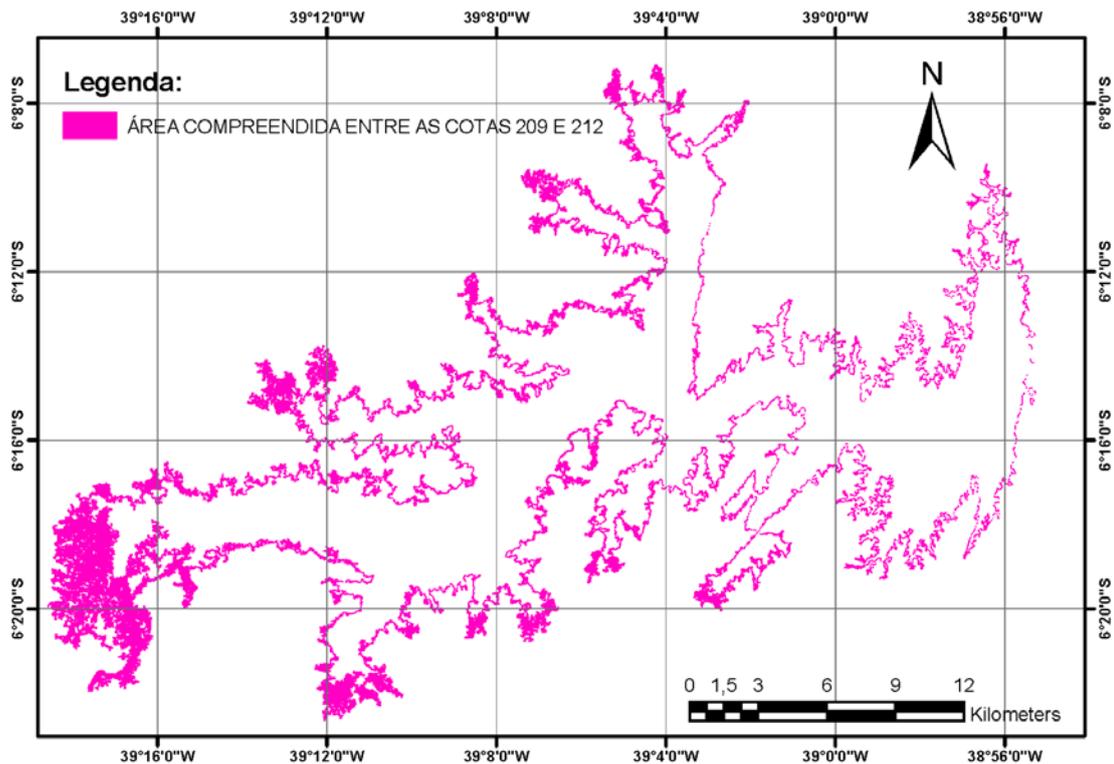


Figura 16 - Área de preservação permanente entre a cota 209-212.

Subsequente ao cálculo de determinação de APP para faixa compreendida entre as cotas 209 e 212, foi realizada a determinação da APP utilizando como referencial superior a cota máxima maximorum de 218 metros.

Para o intervalo de cotas 209-218, obtivemos um valor de área plana de 26195 ha, para tanto, foi utilizado o processo de extração e cálculo das áreas dos *pixel's* aplicando as ferramentas do “*Map Algebra*”. Em seguida, iniciou-se o processo de geração de superfície 3D para computo da área superficial incrementada pelas estruturas do relevo, diferentemente dos outros dois cálculos de APP anteriores, faixas de 209 a 211 e 209 a 212, este processo resultou em uma perda de apenas 13% da área original, portanto, o TIN foi capaz de processar 22769 ha, o qual computou um incremento de área de 0,19% (44 ha).

Os dados que não puderam ser aproveitados para o cálculo do TIN (13%) devido as limitações da metodologia empregada pelo software, somados com a área já processada pelo TIN (22813 ha), formam uma área de preservação permanente de 26239 ha, expressivamente superior as APP determinadas pelas cotas maximorum não atualizadas e atualizada de 212 metros, as quais medem 4462 ha e 6402 há, respectivamente.

A tabela 10 abaixo, apresenta de forma compilada os resultados encontrados para o cálculo da APP compreendida entre as cotas 209 a 2018, a partir da utilização do software e processamento de informações altimétricas.

Tabela 10 - Área de preservação permanente entre a cota 209-218.

ÁREA PLANA (ha)	ÁREA PLANA PÓS PROCESSADA PARA GERAÇÃO DO TIN (ha)	ÁREA SUPERFICIAL (ha)	PERCENTUAL DE PERDA EM RELAÇÃO A ÁREA NÃO TRATADA PARA O TIN (%)	VARIAÇÃO ENTRE ÁREA PLANA E ÁREA SUPERFICIAL OBTIDA PELO TIN (%)
26195	22769	22813	13	0,19

Na figura 17 é possível observar a mancha simulada para o intervalo de cotas 209-218, a qual representa a área de preservação permanente tendo como referencial a cota máxima maximorum atualizada de 218 metros.

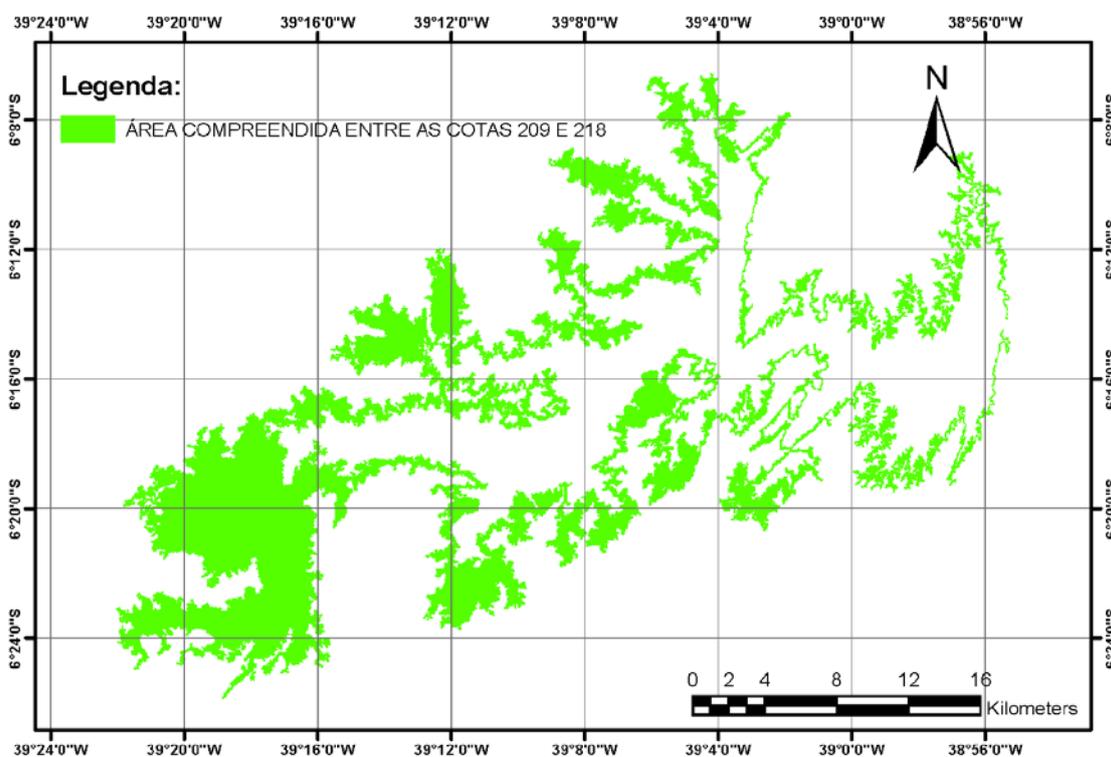


Figura 17 - Área de preservação permanente entre a cota 209-218.

5.1.5. Determinação de APP - Referência Legislação Anterior (Lei 4.771/65)

A seguir será desenvolvido o cálculo de determinação de área de preservação permanente, o qual tem como fundamentação as diretrizes da legislação ambiental anterior (Lei 4.771/65), essa estabelecia como referencial inferior a cota máxima operativa normal e como delimitador superior da APP uma faixa horizontal de 100 metros. Para este desenvolvimento são utilizados os dados da tabela 7, as cotas de referência requeridas para o cálculo que será desenvolvido logo abaixo. Salienta-se que todas as cotas utilizadas no processo de cálculo de APP foram retificadas conforme referencial IBGE.

Para a simulação envolvendo a geração de um buffer de 100 m a partir da cota 209, obtivemos um valor de área plana de 5988 ha após o processo de extração e cálculo das áreas dos *pixel's* utilizando as ferramentas do “*Map álgebra*”. O processo de geração de superfície 3D para computo da área superficial resultou em uma perda de 36% da área plana inicialmente calculada, sendo este percentual da área não computado os incrementos provenientes das áreas das estruturas do relevo, portanto a ferramenta TIN foi capaz de processar 3835 ha, a qual promoveu um incremento de 0,58% (22 ha) da área processada.

Somando a área que não pode ser aproveitada para o cálculo do TIN (2153 ha), devido a limitações da metodologia empregada pelo software, com a área já processada pelo TIN (3857 ha), forma-se uma área de preservação permanente de 6010 ha.

A tabela 11 abaixo, apresenta de forma compilada os resultados encontrados para o cálculo da APP compreendida entre a cota máxima operativa normal 209 e o *Buffer* de 100 metros.

Tabela 11 - Área de preservação permanente Buffer de 100 metros.

ÁREA PLANA (ha)	ÁREA PLANA PÓS PROCESSADA PARA GERAÇÃO DO TIN (ha)	ÁREA SUPERFICIAL (ha)	PERCENTUAL DE PERDA EM RELAÇÃO A ÁREA NÃO TRATADA PARA O TIN (%)	VARIAÇÃO ENTRE ÁREA PLANA E ÁREA SUPERFICIAL OBTIDA PELO TIN (%)
5988	3835	3857	36	0,58

Na figura 18 é possível observar a mancha simulada para o *Buffer* de 100 metros, o qual representa a área de preservação permanente seguindo as diretrizes da legislação anterior.

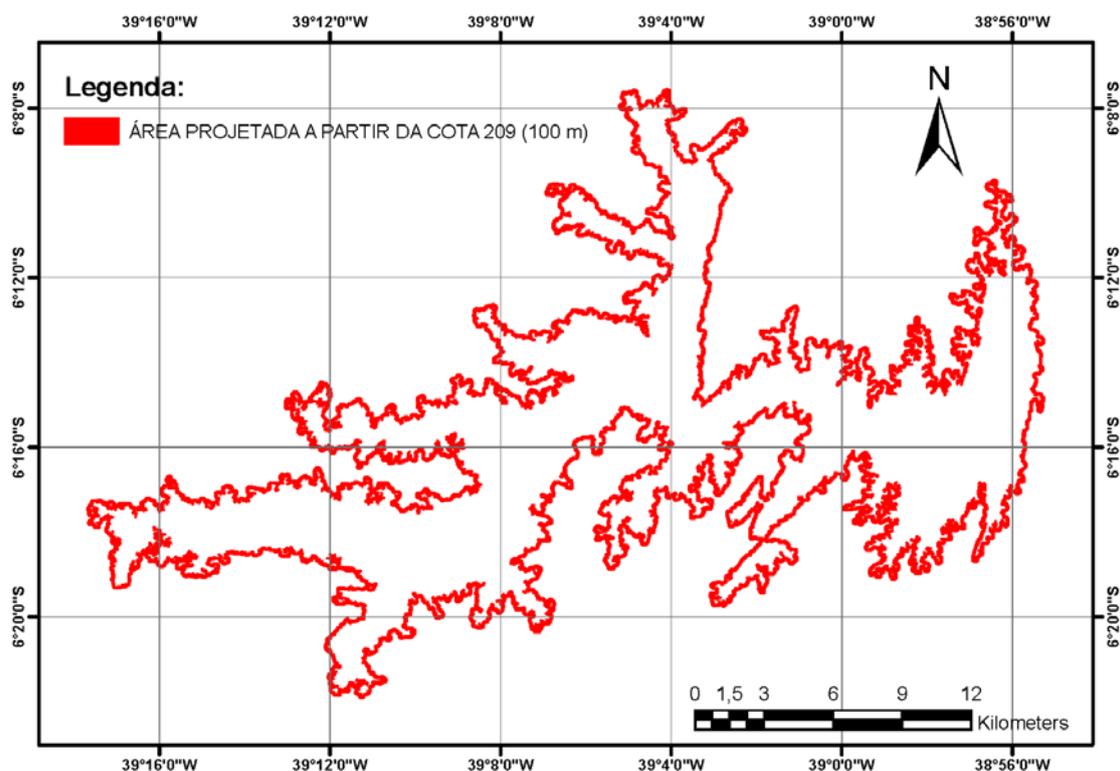


Figura 18- Área de preservação permanente Buffer de 100 metros.

O processamento dos dados para elaboração de modelo 3D, com a finalidade de cálculo da área superficial do terreno, onde essa sofre incrementos provenientes das áreas das estruturas do relevo, resultou no descarte de grande quantidade de pixels, 44%, 45%, 13% e 36% da área plana calculada pela ferramenta “*Map algebra*”, este descarte atribuiu-se a incapacidade do software em triangular (geração de TIN) as informações altimétricas de alguns conjuntos de *pixel's*, sendo esses não computados para receberem os incrementos.

Foi possível constatar que o ganho de área atribuída ao relevo foi de baixa magnitude, 0,14%; 0,12%; 0,19% e 0,58%, para as APP calculadas pelos intervalos de cota 209 – 211; 209-212; 209-218 e pelo *buffer* de 100 metros respectivamente, embora os aproveitamentos tenham sido de 56%, 55%, 87% e 64%, respectivamente para os referidos intervalos de cotas, porém não se pode afirmar que haveria um incremento substancial na área, caso o software fosse capaz de realizar a triangulação (TIN) dos *pixel's* excluídos.

Na figura 19, apresentada logo abaixo, é possível observar as manchas simuladas para os intervalos de cota 209-211; 209-212; 209-218 e pelo *buffer* de 100 m, as quais representam as áreas de preservação permanente conforme as diretrizes da atual legislação ambiental com referencial superior a cota máxima maximorum original do DNOCS (Mancha amarela), atualizada em 212 metros (Mancha rosa), atualizada em 218 metros (Mancha verde) e conforme a legislação anterior - Lei 4.771/65 (Mancha vermelha), respectivamente.

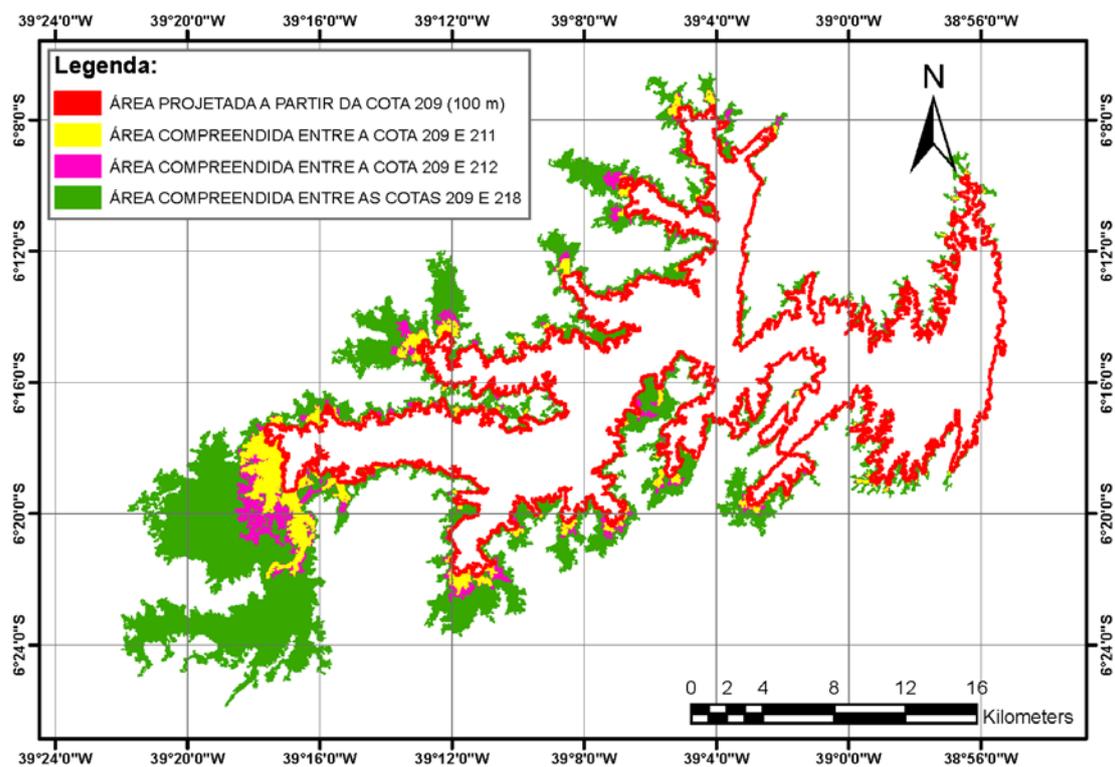


Figura 19 - Manchas simuladas para os intervalos de cota 209-211; 209-212; 209-218 e pelo *buffer* de 100 m

5.2. Abordagem Legal.

O cálculo de determinação de áreas de preservação permanente compreendidas entre os diversos referenciais, possibilitou ao estudo, bases para uma análise comparativa quanto ao aspecto legal e aos níveis de exigência atribuído a essas legislações que fornecem diretrizes para a delimitação das APP's nos reservatórios públicos de abastecimento humano.

A tabela 12 apresenta a mensuração das áreas de preservação permanente entre os referenciais da atual legislação (Lei 12.651/2012) e da legislação anterior (Lei 4.771/65).

Tabela 12 - Comparativo das áreas modeladas pela da atual legislação (Lei 12.651/2012) e pela legislação anterior (Lei 4.771/65).

Área (ha) entre as cotas 209-211. Lei 12.651/2012, referência cota original DNOCS	Área (ha) entre as cotas 209-212. Lei 12.651/2012, referência cota atualizada 212	Área (ha) entre as cotas 209-218. Lei 12.651/2012, referência cota atualizada 214	Área (ha) para o Buffer de 100 metros. Lei 4.771/65
4462	6402	26239	6010

Na atual conjuntura legal e de valores de cotas estabelecidas no projeto do açude Orós pelo DNOCS, o cálculo de determinação de APP por modelagem computacional, realizado entre a cota máxima operativa normal e a cota máxima maximorum do referido projeto, estimou uma área de 4462 ha, essa comparativamente a área de preservação permanente determinada pelo mesmo processamento de cálculo, com referencial na legislação ambiental anterior (Lei 4.771/65), *Buffer* de 100 metros, estimou uma área de 6010 ha. Pode-se observar que APP modelada com referência na atual legislação obteve uma magnitude consideravelmente inferior, aproximadamente 1548 ha, 26% menor do a estabelecida pela legislação de 1965, assim pode-se inferir que a atual legislação, é mais permissiva para o reservatório do Orós, quanto a determinação das áreas de preservação permanente, em relação a legislação anterior (Lei 4.771/65), essa determinava uma maior área de preservação permanente, a partir da aplicação metodológica de cálculo utilizando uma faixa (*Buffer*) de 100 metros.

Apesar da atual legislação prever uma menor área de preservação, em específico para o açude Orós, no entanto se o projeto atualizar sua cota máxima maximorum, elevando em apenas um metro, de 211 para 212, como proposto na seção 5.3.3, a atual legislação delimitaria uma APP de tamanho um pouco superior à legislação anterior (Lei 4.771/65), podendo ser tomada como de igual magnitude, essa atualização possui grande validade estatística, a qual foi modelada com base em uma série de 38 anos de cotas máximas anuais medidas na operação do reservatório.

A determinação de APP com referência na atual legislação ambiental, além de provocar alterações quanto ao tamanho da APP, promoveu também alterações quanto a classificação territorial de algumas regiões dos municípios, pois como pode ser observado na figura 20, o limite superior da área de preservação permanente segundo a legislação vigente, cota 211, ultrapassou em algumas regiões o limite superior da APP determinada pela legislação anterior (Lei 4.771/65), *buffer* de 100 metros, e recuou em outras regiões

de pontos distintos. Este fenômeno ocorreu de forma não homogênea nos territórios dos municípios, ou seja, em alguns municípios se observou ganho de áreas de preservação permanente, como o de Iguatu-CE, e em outros se observou perda de APP, como o município de Orós.

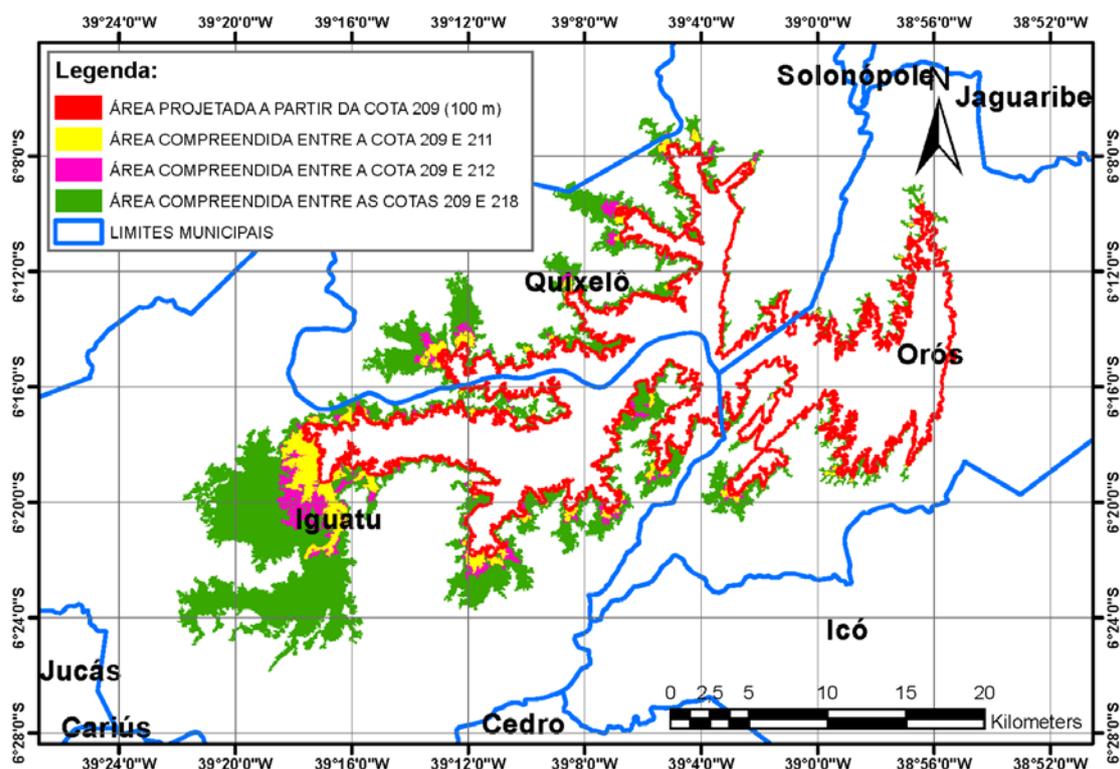


Figura 20 – Mapa com os limites dos municípios.

Como pode ser observado na tabela 13 abaixo, o município de Iguatu-CE, com a adoção da atual legislação, passou de uma área de preservação permanente de 2130 ha, para 2665 ha, um aumento de 535 ha, caso a cota máxima maximorum fosse atualizada para 212 metros, a área passaria para 3809 ha, havendo assim um incremento substancial na APP. Já o município de Orós-CE, passou de uma área de preservação de 2226 ha, para 617 ha, diferentemente de Iguatu, houve uma perda de APP, caso a cota máxima maximorum fosse atualizada para 212 como na proposição anterior, a APP passaria a medir 884 ha, essa por sua vez, ainda menor do que a área prevista pela legislação anterior com *buffer* de 100 metros.

Essas mudanças de definição territorial para os municípios podem gerar alguns conflitos, como por exemplo, uma área de grande potencial produtivo anterior ao ano de 2012 não se caracterizava como APP e após esta data, seguindo a atual legislação, passou a ser uma área de preservação permanente, assim não podendo mais ser explorada e, portanto, do ponto de vista econômico o município pode caracterizar a mudança como

um ônus. Já para o caso onde houve perda territorial de APP, uma determinada área com um alto grau de preservação ambiental, a qual antes do ano de 2012 era protegida por lei, agora pode ser explorada e provocar uma grande perda ambiental para o município.

Tabela 13 – Alteração da área de preservação permanente.

MUNICÍPIO	ÁREA MUNICIPAL (ha)	ÁREA COTA 218 (ha)	ÁREA COTA 212 (ha)	ÁREA COTA 211 (ha)	ÁREA BUFFER 100 m (ha)
IGUATU	102821	16432	3809	2665	2130
QUIXELO	55932	6368	1699	1174	1653
ORÓS	57581	3257	884	617	2206
ACOPIARA	226370	137	5,2	2,9	0

Um outro resultado que pode ser observado com a modelagem computacional das áreas de preservação permanente, é a abrangência de faixas de APP em zonas urbanizadas, essa observação é encontrada com maior expressividade no município de Iguatu, a figura 21 apresentada logo abaixo, mostra a mancha em amarelo como a faixa compreendida entre cota 209-211, que representa a APP seguindo as diretrizes da atual legislação, pode-se observar que parte dessa mancha encontra-se sobre uma zona do município caracterizada como urbana.

Observa-se também outras manchas como a verde e a rosa, as quais representam a área atingida pela possível inundação do açude Orós caso atingisse as cotas máximas máximum de 218 e 212 metros respectivamente, a mancha rosa é causada pela inundação promovida pela cota máxima máximum atualizada em apenas um metro a cima da cota original (212), essa abrange uma expressiva área urbanizada.

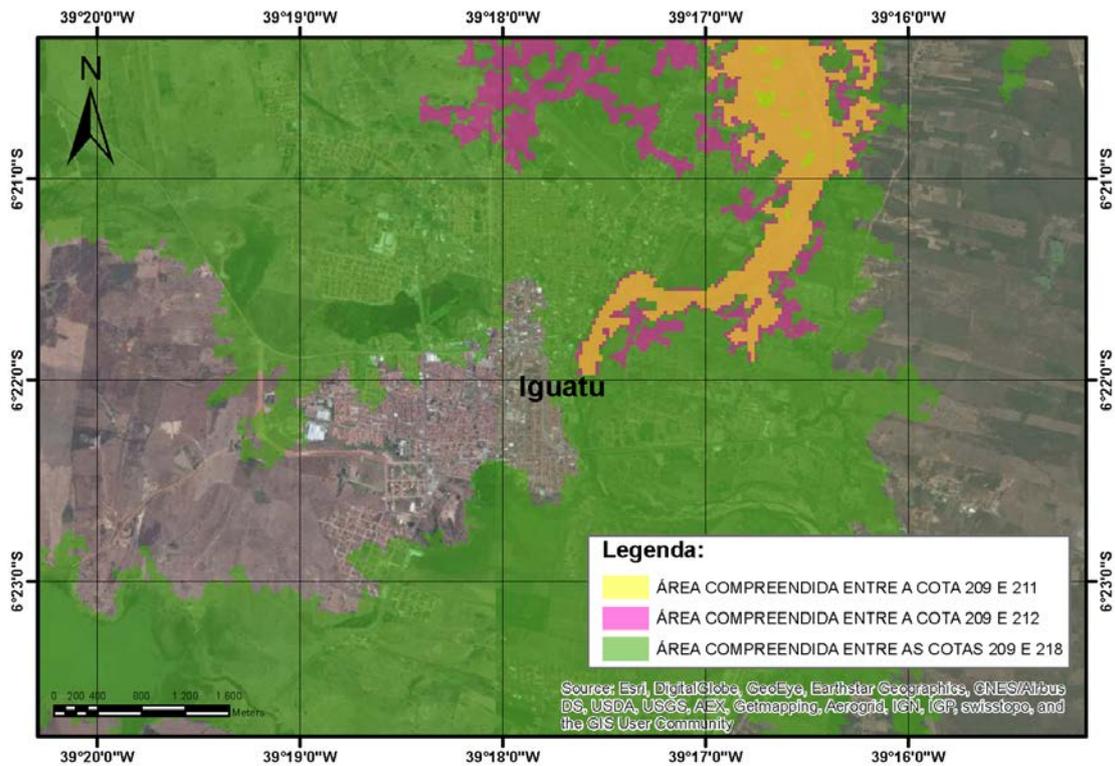


Figura 21 - APP no município de Iguatu-CE

A tabela 14 apresenta de forma compilada todos os valores de áreas urbanizadas, da cidade de Iguatu, atingidas pelo nível d'água nas diferentes cotas, as quais configuram-se APP, essas áreas foram determinadas a partir da modelagem computacional, fornecendo também de forma aproximada seus percentuais urbanos afetados pelas manchas, sendo 72%, 3,4% e 0,2% para as cotas 218, 212 e 211 metros, respectivamente.

Tabela 14 - APP no município de Iguatu-CE

ÁREA URBANIZADA IGUATU (ha)	ÁREA AFETADA COTA <u>218</u> (ha)	PERCENTUAL AFETADO (%)
1166	841	72
	ÁREA AFETADA COTA <u>212</u> (ha)	
	39	3,4
	ÁREA AFETADA COTA <u>211</u> (ha)	
	2	0,2

Apesar da modelagem prever que ao atingir a cota 211 metros, o reservatório promoveria uma inundação de apenas 0,2% da cidade de Iguatu, o parecer de 1980, apêndice do projeto original do Orós, informa que, no evento hidrológico extremo ocorrido em 1974, o açude alcançou a cota de 209 metros, inundando cerca de 50% da cidade de Iguatu-CE, essa inundação pode ter se amplificado por conta dos efeitos da precipitação na área urbana da cidade, com poucas estruturas de drenagem, além dos efeitos de resposta às grandes precipitações ocorridas neste período na bacia hidrográfica em sua porção a montante, esse conjunto de fatores podem ter acarretado efeitos de inundações bem superior ao da modelagem proposta para a cota de 211 metros. Além desses efeitos de inundação descritos no parecer de 1980, o projeto original previa que a cidade de Iguatu-CE poderia sofrer efeitos de inundação promovidos pelo remanso do barramento, caso atingisse a cota 208 metros.

6. Considerações Finais

O presente estudo propôs atualizar a cota máxima maximorum do reservatório Orós – Presidente Juscelino Kubitschek, utilizando ferramentas estatísticas aplicadas em uma série histórica de dados de cotas medidas durante a operação do reservatório. A atualização da cota, trouxe ao estudo uma base de comparação, pois este trabalho também tem como objetivo a determinação das áreas de preservação permanente do reservatório, as quais possui como referência para delimitação superior a cota máxima maximorum, esse referencial é previsto nas diretrizes da atual legislação ambiental, assim o estudo pode comparar as áreas calculadas com a cota atualizada estatisticamente, referenciada por uma série de 38 anos, com as áreas determinadas com base na cota máxima maximorum original do projeto e ainda comparou-se com a magnitude da APP calculada seguindo a legislação anterior (Lei 4.771/65), a qual é delimitada pela faixa de 100 metros traçada a partir da cota máxima operativa normal.

O estudo identificou que a distribuição de probabilidade Weibull 3 Parâmetros obteve o melhor desempenho global quanto ao nível de confiança, bem como foi capaz de se ajustar e modelar muito bem o comportamento da série histórica em estudo. Identificou que as distribuições Menores Valores Extremos e Weibull, obtiveram desempenho estatístico similar a Weibull 3 Parâmetros, isso pode ser percebido também na etapa de modelagem de cotas maximorum, em que as três distribuições alcançaram valores muito próximos.

A análise de ajuste de distribuições identificou também que as distribuições Normal, Gamma e LogNormal, alcançaram desempenhos estatisticamente satisfatórios, porém a modelagem de atualização de cota máxima maximorum utilizando os parâmetros dessas distribuições produziram valores de cotas um pouco a cima da cota da crista da barragem, dando a modelagem uma incoerência quanto ao aspecto construtivo, porém optou-se por não descartar esses valores, pois o estudo trabalha com análise de eventos extremos e esses valores de cotas podem corresponder a eventos com probabilidades estatísticas de ocorrências plausíveis.

O estudo de atualização de cota máxima maximorum identificou que a distribuição Weibull 3 Parâmetros, já constatada como a melhor distribuição estatística para a modelagem, produziu uma cota decamilenar atualizada de um metro superior a cota estabelecida pelo projeto original do DNOCS e inferior em um metro a cota da crista do barramento. A APP modelada computacionalmente com delimitação superior estabelecida na cota produzida pela Weibull 3 Parâmetros alcançou magnitude similar a área de preservação permanente modelada com referência na legislação anterior calculada pelo Buffer de 100 metros, observou-se também que a APP modelada pela distribuição Weibull 3 Parâmetros alcançou magnitude muito superior a APP calculada pela cota máxima maximorum original vigente no projeto do DNOCS.

Constatou-se que a nova legislação ambiental é menos restritiva do que a Lei 4.771/65, em específico para o reservatório Orós, quanto a delimitação das áreas de preservação permanente. Foi observado que caso a cota máxima maximorum fosse atualizada como proposto pela metodologia de atualização de cotas utilizando a distribuição Weibull 3 Parâmetros, a qual produziu valores estatisticamente validados, obtendo os melhores resultados globais dentro desse estudo, a APP passaria de um valor inferior ao da legislação anterior, para um patamar de mesmo nível. Assim, propõe-se ao órgão responsável pelo projeto – DNOCS, uma atualização da cota máxima maximorum, ampliando, dessa forma, as áreas de preservação permanente para o mesmo patamar da legislação anterior, de forma a garantir uma melhor capacidade suporte para o desenvolvimento ambiental da área ao entorno do reservatório.

Ainda quanto a abordagem legal, foi identificado que diversas áreas urbanas poderiam ser consideradas como APP perante a atual legislação, destacando-se o município de Iguatu-CE, além de áreas urbanizadas, identificou-se que a mudança da legislação provocou grandes alterações de caracterização territorial para os municípios, as APP's não apenas mudaram de tamanho, mas também de posicionamento, além da

alteração quanto ao tamanho global da área de preservação permanente do reservatório, os municípios que contemplam o Açude Orós sofreram ganhos e perdas de APP, esse processo não ocorrendo de forma homogênea. Propõe-se que estudos mais aprofundados e focados na questão territorial sejam desenvolvidos, para avaliar, mensurar e propor medidas compensatórias e atenuantes para essas alterações territoriais dos municípios, pois diante dos poucos resultados encontrados quanto a este tema, no presente estudo pode-se perceber que existem ônus e bônus aderidos aos municípios de forma não homogênea.

Na determinação das áreas de preservação permanente, observou-se uma limitação metodológica ao determinar as APP com incrementos de áreas proveniente das estruturas do relevo. A metodologia empregada foi capaz de realizar o processamento em média em 75% das áreas planas, com aproveitamentos que variaram entre 87% e 55% das áreas planas calculadas pelas diferentes faixas estabelecidas. Embora se tenha alcançado processar grandes percentuais de áreas, os incrementos advindos do relevo foram de baixa magnitude, não se pode afirmar que caso o processamento fosse capaz de abranger 100% das áreas planas, haveriam maiores incremento de áreas. Portanto, propõe-se que novos estudos sejam realizados aplicando outras metodologias de incremento de áreas provenientes de relevo, com a finalidade de confirmar a reduzida ampliação das áreas ao se considerar as estruturas do relevo, a altimetria do terreno.

O estudo alcançou bons resultados quanto aos ajustes de distribuições de probabilidade, as quais promoveram resultados coerentes quanto a atualização da cota máxima maximorum, obteve-se uma excelente modelagem das áreas de preservação permanente, as quais foram determinadas conforme diversos referenciais, incorporando ao estudo bases comparativas principalmente quanto a abordagem legal das APP, incrementando também o estudo com novas observações de cunho territorial e socioambientais.

7. Referências Bibliográficas

- ANDERSON, T.W., DARLING, D.A., 1952. **Asymptotic theory of certain goodness-of-fit criteria based on stochastic processes.** *Annals of Mathematical Statistics*, 23, 193–212.
- ARAGÃO, R., SANTANA, G.R., COSTA, C.E.F.F., CRUZ, M.A.S., Figueiredo, E.E., Srinivasan, V.S., 2013. **Chuvvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária.** *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental* 17 (3), 243–252.
- ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P. C. **Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n.2, p. 162-169, 2008.
- BACK, A.J., 2001. **Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina.** *Revista Brasileira Meteorol.* 16 (2), 211–222.
- BESKOW S., CALDEIRA T. L., DE MELLO C. R., FARIA L. C., GUEDES H. A. S. **Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil.** *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 123, 2015.
- BRASIL. Lei 12.651 de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 25 de maio de 2012.
- CALDAS A.J.F.S. **Geoprocessamento e análise ambiental para determinação de corredores de habitat na Serra da Concórdia, Vale do Paraíba – RJ** [dissertação] *Seropédica: Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*; 2006.
- CALDEIRA, T.L., Beskow, S., Mello, C.R., Faria, L.C., Souza, M.R., Guedes, H.A.S., 2015. **Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul.** *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 19 (3), 197-203.
- CASTRO, F. S.; OLIVEIRA, F. B.; SANTOS, A. R.; BRAGANÇA, R.; MOREIRA, A. A.; PENA, F. E. R.; SOUZA, J. M.; OLIVEIRA, C. H. R. **Avaliação de Áreas de Preservação Permanente (APP's) na microbacia do Córrego Santa Barbara / ES, através do uso de Modelos Digitais de Elevação.** In: XVI *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, 2013. Anais. p. 282–288, 2013.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Alto Jaguaribe / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos.** Eudoro Walter de Santana (Coordenador). *INESP*. Fortaleza, Ceará, 2009. 119 p. v. 5.
- COSTA, T.C.C.; SOUZA, M.G.; BRITES, R.S. **Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 20, n.1, p. 129-135, 1996.
- DI BALDASSARRE, G., A.; CASTELLARIN, A.; BRATH. 2006, **Relationships between statistics of rainfall extremes and mean annual precipitation: An application for design storm in northern central Italy,** *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10, 589 – 601.

GASPARINI, Kaio Allan Cruz et al. FISHER, L.R.C.; SÁ, J.D.M. **Estatuto da cidade e a resolução Conama n. 369/2006. In: seminário sobre o tratamento de áreas de preservação permanente em meio urbano e restrições ambientais o parcelamento do solo**, 2007, São Paulo, SP. Anais: *FAUUSP*, 2007.

FRANCO, C.S.; MARQUES, R.F.P.V.; OLIVEIRA, A.S.; OLIVEIRA, L.F.C., **Distribuição de probabilidades para precipitação diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais.** *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 18 (7), 735–741, 2014.

Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na identificação de conflitos do uso da terra em Seropédica-RJ. *Floresta Ambient.* [Online]. 2013, vol.20, n.3, pp. 296-306. Epub Sep 27, 2013. ISSN 2179-8087.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos; Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. *Inventário Ambiental Açude Orós.* Fortaleza, Ceará, 2011. 125 p.

KIST, A.; VIRGENS FILLHO, J. S. **Análise probabilística da distribuição de dados diários de chuva no estado do Paraná.** *Revista Ambiente Água*, Taubaté, vol. 10 n. 1, p. 172-181, 2015.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. S.; SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C. **Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela.** *Revista Agropecuária Brasileira*, v.41, n.2, p.205-215, 2006.

NASCIMENTO C.M.; SOARES V.P., RIBEIRO C.A.A.S.; SILVA E. **Delimitação automática de Áreas de Preservação Permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Alegre.** In: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*; 2005; Goiânia. INPE; 2005. p. 2289-2296.

OLIVEIRA, M. Z.; VERONEZ, M. R.; THUM, A. B.; REINHARDT, A. O.; BARETTA, L.; VALLES, T. H. A.; ZARDO, D.; SILVEIRA, L. K. **Delimitação de Áreas de Preservação Permanente: um estudo de caso através de imagem de satélite de alta resolução associada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG).** In: *Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*, 13. (SBSR). 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4119-4128. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.21.53>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

PIROLI EL, Becker ELS, Bolfe EL. **Análise do uso da terra na micro bacia do Arroio do Meio – Santa Maria RS, por sistema de informações geográficas e imagens de satélite.** *Ciência Rural* 2002; 32(3): 407-413. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000300007>.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R. 2003. **The Shuttle Radar Topography Mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar.** *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v.57, p.241-262.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M. **O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente.** *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.29, n.2, p.203 - 212, 2005.

- RODRIGUES, J. O. et al. **Equações de Intensidade – Duração – Frequência de Chuvas para as Localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará.** *Scientia Agraria*, p. 511-520, 2008.
- ROSA, M. D. **A relevância ambiental das áreas de preservação permanente e sua fundamentação jurídica à luz do Código Florestal.** In: *Âmbito Jurídico, Rio Grande*, XV, n. 104, set. 2012.
- SALAMENE S. **Estratificação e Caracterização Ambiental da Área de Preservação Permanente do rio Guandu, RJ** [dissertação]. Seropédica: *Instituto de Florestas*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2007.
- SANSIGOLO, C.A. **Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917–2006).** *Rev. Bras. Meteorol.* 23 (3), 341–346, 2008.
- SANTOS, G.G., FIGUEIREDO, C.C., OLIVEIRA, L.F.C., GRIEBELER, N.P., 2009. **Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado Mato Grosso do Sul.** *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 13 (Supl.), 899–905.
- SILVA, B. M., 2009. **Chuvas intensas em localidades do estado de Pernambuco.** Dissertação de mestrado do *Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco*, na área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Recife, PE.
- SILVA, B.C., Clarke, R.T. **Análise estatística de chuvas intensas na Bacia do Rio São Francisco.** *Rev. Bras. Meteorol.* 19 (3), 265–272, 2004.
- SILVA, D.D., GOMES FILHO, R.R., PRUSKI, F.F., PEREIRA, S.B., NOVAES, L.F., 2002. **Chuvas intensas no Estado da Bahia.** *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 6 (2), 362–367.
- SILVA, R. D.; DEBASTIANI, A. B.; SOUZA, M.; BOTELHO, M. F. **Análise multitemporal do uso e cobertura do solo e Áreas de Preservação Permanente (APP) de Dois Vizinhos-PR com dados Landsat-5/TM.** In: *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, 2013. Anais. p. 7679–7686, 2013.
- SKORUPA, L. A. 2003. **Área de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável.** *Embrapa/ Meio Ambiente*.
- SOUZA, R.O.R.; SCARAMUSSA, P.H.M., AMARAL, M.A.C.M., PEREIRA NETO, J.A., PANTOJA, A.V., SADECK, L.W.R., 2012. **Equação de chuvas intensas para o Estado do Pará.** *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 16 (9), 999–1005.
- VESTENA, L. R., THOMAZ, E. L. **Avaliação de conflitos entre áreas de preservação permanente associadas aos cursos fluviais e uso da terra na bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-PR.** *Ambiência*, Paraná, v.2, n.1, p.73-85, 2006.
- WATANABE, F. M., 2013. **Análise do Método de Gumbel para cálculo de vazões de dimensionamento de vertedouros.** Trabalho de conclusão de curso para obtenção de título de Engenheiro Eletricista. *Universidade de São Paulo – USP*. São Carlos, SP.
- XAVIER da Silva J. **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro: *Ed. Jorge Xavier da Silva*; 2001.

YUE, S., T. B. M. J. Ouarda, and B. Bobeé, 2001. **A review of bivariate gamma distribution for hydrological application.** *J. Hydrol.*, 246, 1 – 18.

ZEBKER, H.A. & GOLDSTEIN, R.M. 1986. **Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations.** *Journal of Geophysical Research*, v.91, p.4993-4999.