

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade / Organizador Luis Miguel Schiebelbein. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.
– (Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade; v.1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-024-7

DOI 10.22533/at.ed.247190901

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Política ambiental – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Schiebelbein, Luis Miguel. II. Título. III. Série.

CDD 343.81

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade” aborda uma série de artigos e resultados de pesquisa, em seu Volume I, contemplando em seus 21 capítulos, os novos conhecimentos científicos e tecnológicos para as áreas em questão.

Estrategicamente agrupados na grande área temática de GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, ne nas seções de Meteorologia, Modelagem, Conceitos Aplicados & Estudos de Caso, traz à tona informações de extrema relevância para a área dos Recursos Hídricos, assim como da Sustentabilidade.

Os capítulos buscam de maneira complementar, abordar as diferentes áreas além de concentrar informações envolvendo não só os resultados aplicados, mas também as metodologias propostas para cada tipo de estudo realizado.

Pela grande diversidade de locais e instituições envolvidas, na realização das pesquisas ora publicadas, apresenta uma grande abrangência de condições e permite, dessa forma, que se conheça um pouco mais do que se tem de mais recente nas diferentes áreas de abordagem.

A todos os pesquisadores envolvidos, autores dos capítulos inclusos neste Volume I, e, pela qualidade e relevância de suas pesquisas e de seus resultados, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Ressalta-se ainda e indica-se a consulta ao Volume II, o qual aborda as grandes áreas temáticas de QUALIDADE DA ÁGUA, RECURSOS HÍDRICOS NO ABASTECIMENTO, UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DOS RECURSOS HÍDRICOS & SUSTENTABILIDADE.

Complementarmente, espera-se que esta obra possa ser de grande valia para aqueles que buscam ampliar seus conhecimentos nessa magnífica área da Gestão de Recursos Hídricos, associada à Sustentabilidade. Que este seja não só um material de apoio, mas um material base para o estímulo a novas pesquisas e a conquista de resultados inovadores.

Luis Miguel Schiebelbein

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A FLORESTA E A DINÂMICA HIDROLÓGICA DE NASCENTES	
Jéssica Fernandez Metedieri	
Mariana Santos Leal	
Kelly Cristina Tonello	
DOI 10.22533/at.ed.2471909011	
CAPÍTULO 2	17
REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL: CONCEITOS E CASOS DE ESTUDO	
Aline Pires Veról	
Bruna Peres Battemarco	
Matheus Martins de Sousa	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909012	
CAPÍTULO 3	34
ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE BASE NA PROPAGAÇÃO DA ONDA DIFUSA EM UM RIO	
Maria Patricia Sales Castro	
Patrícia Freire Chagas	
Karyna Oliveira Chaves de Lucena	
Raimundo Oliveira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2471909013	
CAPÍTULO 4	43
PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PARA OS ASSENTAMENTOS DOS MUNICÍPIOS DE DELMIRO GOUVEIA E ÁGUA BRANCA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO	
Eduardo Jorge de Oliveira Motta	
DOI 10.22533/at.ed.2471909014	
CAPÍTULO 5	53
ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE RELEVANTES PARA A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELOSO (SUB-BACIA DO RIO PARAPEBA), MINAS GERAIS, BRASIL	
Joselaine Aparecida Ribeiro	
Thiago Vieira da Silva Matos	
Antônio Pereira Magalhães Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.2471909015	
CAPÍTULO 6	65
PROJETO DA PAISAGEM NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA - CASO DA BACIA DO RIO JOANA	
Isadora Tebaldi	
Ianic Bigate Lourenço	
Aline Pires Veról	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909016	

CAPÍTULO 7	82
GESTÃO DA DRENAGEM URBANA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ AÇU	
Fabiane Andressa Tasca	
Roberto Fabris Goerl	
Jakcemara Caprário	
Aline Schuck Rech	
Alexandra Rodrigues Finotti	
DOI 10.22533/at.ed.2471909017	
CAPÍTULO 8	92
ANÁLISE AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESPAÇO URBANO DE CAMPO GRANDE/MS	
Eva Faustino da Fonseca de Moura Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.2471909018	
CAPÍTULO 9	108
APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO A BARRAGENS DO ESTADO DE MINAS GERAIS	
Carlos Eugenio Pereira	
Maria Teresa Viseu	
Marcio Ricardo Salla	
Kevin Reiny Rocha Mota	
DOI 10.22533/at.ed.2471909019	
CAPÍTULO 10	117
INFLUÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS NO MUNICÍPIO DE IPOJUCA - PE	
Fernanda Soares de Miranda Torres	
Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima	
Margarida Regueira da Costa	
Alexandre Luiz Souza Borba	
Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff	
Roberto Quental Coutinho	
DOI 10.22533/at.ed.24719090110	
CAPÍTULO 11	125
CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS JUROCRETÁCEOS DO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL	
Guilherme Vargas Teixeira	
Antonio Pedro Viero	
Romelito Regginato	
DOI 10.22533/at.ed.24719090111	
CAPÍTULO 12	134
AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO TOCANTINS	
Fernán Enrique Vergara	
Viviane Basso Chiesa	
Cecília Amélia Miranda Costa	
DOI 10.22533/at.ed.24719090112	

CAPÍTULO 13 143

ATENUAÇÃO DE ONDAS EM MARGENS DE RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS PELA PRESENÇA DE VEGETAÇÃO NO FUNDO – ANÁLISE NUMÉRICA ATRAVÉS DO MODELO SWAN-VEG

Adriana Silveira Vieira
Germano de Oliveira Mattosinho
Geraldo de Freitas Maciel

DOI 10.22533/at.ed.24719090113

CAPÍTULO 14 153

MODELO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE TOMADA DE DECISÃO PARA CONTROLE DE CHEIAS NA ÁREA URBANA DE ITAQUI-RS

Francisco Lorenzini Neto
Marcelo Jorge de Oliveira
Nájila Souza da Rocha
Raul Todeschini
Rafael Cabral Cruz

DOI 10.22533/at.ed.24719090114

CAPÍTULO 15 163

PREVISÃO DE VAZÃO DE CHEIA EM UM TRECHO DA BACIA DO RIO POTENGI

Patrícia Freire Chagas
Maria Patricia Sales Castro
Fernando José Araújo da Silva
Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho
Raimundo Oliveira de Souza

DOI 10.22533/at.ed.24719090115

CAPÍTULO 16 173

SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO MODELO SWAT EM UMA BACIA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: BACIA DO RIO MACHADINHO/RO

Vinicius Alexandre Sikora de Souza
Marcos Leandro Alves Nunes
Otto Corrêa Rotunno Filho
Claudia Daza Andrade
Vitor Paiva Alcoforado Rebello

DOI 10.22533/at.ed.24719090116

CAPÍTULO 17 183

ABASTECIMENTO HUMANO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEARÁ MIRIM RN

Vera Lucia Rodrigues Cirilo
João Abner Guimarães Junior
Lara Luana Cirilo Silva
Priscila Gosson Cavalcanti

DOI 10.22533/at.ed.24719090117

CAPÍTULO 18	191
ELABORAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE TUCURUÍ- PARÁ	
Alcione Batista da Silva	
Laysse Alves Ferreira	
Lucas Rodrigues do Nascimento	
Andressa Magalhães Gonçalves	
Rafael Oliveira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.24719090118	
CAPÍTULO 19	200
ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DE DADOS DIÁRIOS OU MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA COM O MODELO MGB-IPH	
Bibiana Rodrigues Colossi	
Daniela Santini Adamatti	
Fernando Mainardi Fan	
Paulo Rógenes Monteiro Pontes	
DOI 10.22533/at.ed.24719090119	
CAPÍTULO 20	211
MÉTODOS NUMÉRICOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADOS À DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM DADOS HIDROLÓGICOS	
Alana Renata Ribeiro	
Mariana Kleina	
DOI 10.22533/at.ed.24719090120	
CAPÍTULO 21	220
CONCEPÇÃO SISTÊMICA PARA SOLUÇÕES DE CONTROLE DE CHEIAS URBANAS EM VILA VELHA, ES	
Paulo Canedo de Magalhães	
Matheus Martins de Sousa	
Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira	
Osvaldo Moura Rezende	
Victor Augusto Almeida Fernandes de Souza	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.24719090121	
SOBRE O ORGANIZADOR	236

A FLORESTA E A DINÂMICA HIDROLÓGICA DE NASCENTES

Jéssica Fernandez Metedieri

Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR),
Depto. de Ciências Ambientais, Sorocaba - SP.

Mariana Santos Leal

Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR),
Programa de Pós Graduação em Planejamento e
Uso dos Recursos Renováveis, Sorocaba - SP.

Kelly Cristina Tonello

Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR),
Depto. De Ciências Ambientais – Bolsista
Produtividade em Pesquisa (CNPq).

RESUMO: As nascentes são as grandes fontes de água, mas para que disponibilizem água em quantidade e qualidade desejadas, precisam estar protegidas, sendo de fundamental importância a presença da floresta nativa e um adequado manejo de solo em sua área de contribuição. Um estudo realizado em duas nascentes com diferentes estágios de conservação na microbacia do Córrego Ipaneminha, Sorocaba/SP em termos de fluxo e qualidade da água indicou diferença entre a nascente com vegetação e a sem vegetação. Para tanto, a vazão das nascentes, a precipitação e o escoamento pelo tronco foram monitorados, assim como os seguintes parâmetros de qualidade da água: pH, temperatura, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos, cloreto de sódio e

resistividade. A nascente degradada apresentou fluxo intermitente enquanto que a nascente perturbada apresentou fluxo perene, indicando benefícios hidrológicos da floresta na produção de água, mesmo em fase inicial de recuperação. Porém, os parâmetros relacionados à qualidade de água não apresentaram diferença significativa.

PALAVRAS-CHAVE: hidrologia florestal, bacias hidrográficas, precipitação.

FOREST AND HYDROLOGICAL DYNAMICS OF SPRINGS

ABSTRACT: Springs are the greatest water sources, but for them available water in good quantity and quality them need to be protected, is important the native forest presence and adequate soil management. A study carried out in two springs with different stages of conservation in the Ipaneminha watershed in Sorocaba/SP showed a difference between the spring with vegetation and the one with no vegetation. For this, the flow of springs, precipitation and trunk flow were monitored as also some quality parameters: pH, temperature, conductivity, total dissolved solids, sodium chloride and resistivity. The degraded spring was considered intermittent while the perturbed spring was perennial, that suggest hydrological

benefits from forest even in the initial recuperation. However, the parameters related to water quality did not present a significant difference.

KEYWORDS: forest hydrology, rainfall, watershed management.

1 | APONTAMENTOS SOBRE A HIDROLOGIA FLORESTAL

A partir de crenças enraizadas na cultura popular, muitas pessoas associam a presença de água nos rios e reservatórios à bondade de São Pedro, conhecido popularmente como o regente das chuvas. Mas seria mesmo simples assim? Será que o aumento e a diminuição da quantidade de água disponível na superfície terrestre estariam unicamente associados aos índices pluviométricos?

As dúvidas em torno da origem e conservação da água das nascentes e dos rios já preocupavam os filósofos gregos, que devotaram muito tempo no estabelecimento de hipóteses para explicar o fenômeno. Aristóteles e Vitruvius (382 a.C.) acreditavam que a água subterrânea derivava, em sua maior parte, da infiltração da água da chuva no solo. Esses filósofos diziam que as montanhas seriam os lugares ideais para a preservação das águas. Isso porque já que recebem grande quantidade de chuva e neve e não permitem grandes perdas por evaporação, pois a presença da cobertura florestal diminui a entrada dos raios solares no interior da mesma, e assim, a água da superfície e a cobertura de neve permanece por mais tempo em função da floresta densa (TONELLO; DIAS, 2018).

No entanto, as explicações não eram unânimes e continuaram envoltas a muita controvérsia ao passar dos anos. Antes do final do século XVII, por exemplo, acreditava-se que a água das nascentes não poderia ser originada das chuvas porque se julgava que os volumes não seriam suficientes e que a terra era demasiadamente impermeável para possibilitar a infiltração e a percolação da água das chuvas.

Ao longo dos séculos XVIII e XIX, como o conhecimento científico ainda não dava conta de responder satisfatoriamente aos questionamentos sobre a origem e conservação da água na superfície terrestre, órgãos governamentais - baseados em especulações e opiniões pessoais - começaram a criar “florestas de proteção”, considerando que as florestas estavam sendo derrubadas para dar lugar à agricultura e já havia quem defendesse, seguindo o exemplo dos filósofos gregos, a importância das reservas naturais na manutenção dos recursos hídricos.

Com o objetivo de embasar cientificamente a opinião daqueles que defendiam o papel protagonista das florestas na origem e conservação das águas, na década de 1930, em Wagon-Wheel Gap, Estado do Colorado (EUA), duas microbacias, adjacentes e florestadas, foram instrumentadas para a medição precisa da chuva e da produção de água (deflúvio). Durante um período inicial, em que ambas as microbacias permaneceram com sua cobertura florestal inalterada, estes dois processos hidrológicos foram monitorados, a fim de se obter uma equação de calibração de uma microbacia em função da outra. Ao término do período de calibração, uma das

áreas sofreu o corte raso da floresta, enquanto a outra permaneceu inalterada. Após o tratamento experimental, as medições se prolongaram em ambas as bacias por mais um determinado número de anos. Com o corte da floresta, houve a diminuição da perda de água pelo processo de transpiração, afinal de contas, as florestas também consomem água. Contudo, o solo exposto e sem proteção, tornou-se pobre e compactado, dificultando a infiltração de água da chuva no seu interior.

A partir desta experiência, ficou mais evidente o papel das florestas na conservação dos recursos hídricos já que em um sistema em equilíbrio, com a preservação da cobertura florestal, a retirada e a reposição da água acontecem de modo sintonizado e todas as perdas são compensadas. Com a preservação das florestas – que abrem canais naturais pelo crescimento de suas raízes e interação com microrganismos do solo – o solo permanece em condições ideais para a retenção da água nos volumes necessários para a conservação das nascentes.

Por volta de 1950, todas as unidades do Serviço Florestal Americano possuíam um setor de microbacias experimentais. À época, havia nos Estados Unidos, mais de 150 microbacias florestadas experimentais instaladas e até 1970 haviam sido publicados mais de 2000 trabalhos sobre estas pesquisas. Das certezas: de todas as influências diretas da floresta, a sua influência sobre os rios e sobre a regularidade de seus escoamentos é das mais significativas para a economia humana.

2 | NASCENTES: SOMENTE RECUPERÁ-LAS GARANTE A PRODUÇÃO DE ÁGUA?

Uma nascente consiste em um afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água (BRASIL, 2012).

Uma nascente que fornece água de maneira abundante, de boa qualidade e com boa distribuição no tempo é considerada uma nascente ideal, a que todos nós queremos, pois desta maneira a produção de água é contínua, não havendo prejuízos para nenhuma atividade, seja ela biológica ou econômica.

No entanto, para que a nascente tenha fluxo de água constante e a variação da vazão tenha um mínimo adequado ao longo do ano é indispensável que ocorra a infiltração de água no solo e o seu armazenamento no lençol freático (CALHEIROS et al., 2009). Esses processos hidrológicos por sua vez são influenciados por diversos fatores como clima, cobertura vegetal, geologia, topografia, além do uso e manejo do solo (PINTO et al., 2004).

A dinâmica hidrológica das nascentes pode ser alterada por diversos impactos ambientais negativos provocados no ambiente, como o pisoteio, impermeabilização e compactação do solo, alterações no volume de água subterrânea, presença de espécies exóticas e invasoras, emissão de resíduos líquidos e sólidos provocados em qualquer ponto da bacia hidrográfica. Com isso, o ciclo hidrológico pode se alterar

e formar uma nova dinâmica da área, que por sua vez, afeta o regime dos cursos d'água.

Tem se constatado cada vez mais ações que promovam a degradação de nascentes, principalmente devido ao aumento da exploração dos recursos naturais e dos impactos ambientais, onde muitas vezes soma-se a ausência de ações de conservação. Algumas ocorrências assim podem ser vistas em estudos realizados por Pinto et al. (2004) em Lavras/MG, Gomes et al. (2005) em Uberlândia, Santos (2009) em Sergipe, Pinheiro et al. em Sorocaba/SP (2011), Leal et al. em Capão Bonito/SP (2017), onde a maioria das nascentes analisadas se encontrava degradada ou perturbada.

Tanto a qualidade como a quantidade de água são muito influenciadas por atividades sem sustentabilidade praticadas na bacia, como por exemplo, a exploração desordenada dos recursos naturais, o desmatamento e o uso indiscriminado de produtos químicos e tóxicos (PINTO et al., 2004). Essas ações podem ainda promover a descaracterização, redução da vazão, migração para jusante ou até mesmo o desaparecimento das nascentes (FELIPPE; MAGALHÃES JUNIOR, 2012).

As nascentes são ambientes tão importantes que sua proteção está assegurada pela Lei federal nº. 12.651/12, a qual prevê a existência de cobertura vegetal no entorno de cada nascente e cursos d'água, definida como Área de Preservação Permanente (BRASIL, 2012).

Dessa forma, a Mata Ciliar presente no entorno das nascentes e cursos d'água contribui com a infiltração da água no solo e com a diminuição do escoamento superficial e dos processos erosivos, exercendo assim influência direta sobre a hidrologia da bacia, na conservação da qualidade e quantidade de água (LIMA, 1989 e ZAKIA, 1998).

Entretanto grande parte das matas ciliares encontra-se degradada ou até mesmo ausente. Dessa forma, a restauração dessas áreas e a implantação de florestas são de vital importância para a manutenção de um ambiente equilibrado.

No entanto, Felipe e Magalhães Junior (2012) lembram que a proteção não deve se restringir às áreas circundantes às nascentes, mas que também é necessária a ocupação de toda a bacia de maneira adequada, principalmente com a presença de florestas, visto que a manutenção do equilíbrio hidrológico consiste no resultado de uma dinâmica complexa composta por vários processos superficiais e subsuperficiais presentes na bacia.

Como vimos, uma vez que as florestas exercem um papel importante na conservação do solo e conseqüentemente na melhoria da infiltração da água e diminuição do escoamento superficial e arraste de sedimentos e outros materiais para as nascentes e cursos d'água, elas devem estar presentes não só nas áreas de preservação permanente como em toda a bacia.

3 | PROCESSOS HIDROLÓGICOS NA FLORESTA

Toda água proveniente do meio atmosférico, em qualquer estado físico, que atinge a superfície terrestre é definida como precipitação, sendo a chuva o tipo de precipitação mais importante para o estudo hidrológico. E a precipitação pode então ser interceptada por diversos tipos de barreiras, pela folhagem da vegetação, ser retida pelas irregularidades da superfície, infiltrada no solo ou pode escoar diretamente pela superfície, sendo a cobertura florestal a barreira de maior importância.

Analisando o ciclo hidrológico pode-se perceber que a cobertura florestal possui uma grande importância dentro do ciclo de uma bacia hidrográfica uma vez que ela pode interferir no movimento da água em vários compartimentos, de acordo com o seu tipo de vegetação, extensão, forma, área foliar, estrutura da casca (BIELENKI JÚNIOR; BARBASSA, 2012).

Deste modo, uma das primeiras influências da floresta já ocorre no recebimento da água da chuva pelas copas das árvores, quando se dá o início do fracionamento da água (Figura 1).

A água interceptada (I) pela cobertura florestal fica temporariamente retida nas folhas podendo em seguida evaporar ou escoar lentamente e infiltrar no solo (KLASSEN et al., 1996).

Além da interceptação o dossel florestal também diminui a velocidade da água que precipita no interior da floresta, a Precipitação Interna (P_i), ou seja, a fração da chuva que atravessa o dossel das florestas, que inclui as gotas que passam diretamente pelas aberturas entre as copas das árvores e as gotas que respingam do dossel (ARCOVA et al, 2003 e OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005).

Após a saturação das copas das árvores, isto é, quando é atingida a capacidade máxima de retenção de água, inicia-se o processo de Escoamento pelo tronco (E_t), onde a água escoar pelos galhos e troncos em direção ao solo.

E, por conseguinte, em um evento de chuva, toda a água que não pertence à Precipitação Efetiva ($P_e = P_i + E_t$) e que fica retida nas copas, é contabilizada como interceptação. Assim sendo, a Precipitação Efetiva e a Interceptação assumem um importante papel no estudo dos processos de infiltração, percolação, absorção, transpiração e ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais (LEOPOLDO; CONTE, 1985).

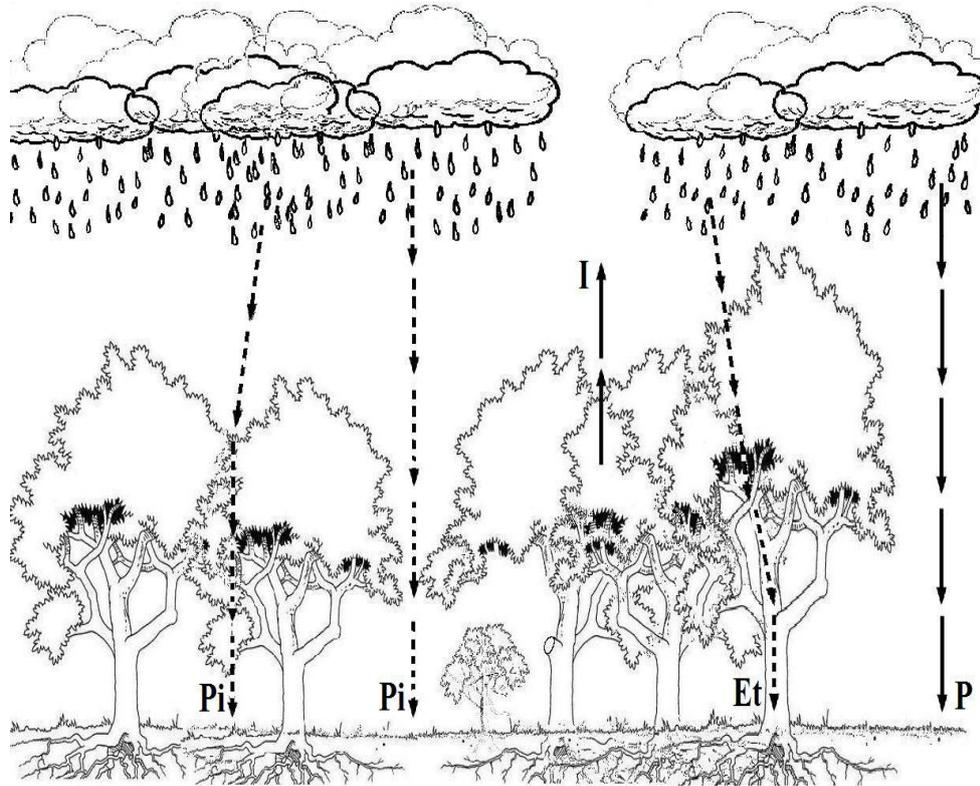


Figura 1. Processos hidrológicos em um fragmento florestal: I= interceptação; Pi= precipitação interna; Et= escoamento pelo tronco e P= precipitação total. (Autor: Esthevan A.G.Gasparoto).

A melhoria das condições edáficas do solo promovida pelas raízes das árvores e a menor velocidade com que a água chega ao piso florestal facilitam o processo de infiltração da água. A parcela infiltrada no solo pode então retornar por evapotranspiração à atmosfera, por escoamento subsuperficial aos canais ou pode percolar pelo solo alimentando os lençóis de água subterrâneos (BIELENKI JÚNIOR; BARBASSA, 2012).

Assim, a água armazenada vai sendo cedida aos poucos aos cursos d'água através das nascentes, mantendo sua vazão, sobretudo durante os períodos de seca (PINHEIRO et al., 2011).

Por isso é que algumas nascentes podem secar definitiva ou temporariamente em situações de déficit hídrico, quando, por exemplo, a água precipitada é menor que a evapotranspirada, e, assim, a recarga de água subterrânea diminui ou exaure. Assim, uma nascente pode ser perene, com fluxo de água contínuo, ao longo de todo o ano ou pode ser intermitente, com fluxo de água temporário, somente em época chuvosa. Também existem nascentes efêmeras que, devido a um evento de chuva produzem água durante um curto período, sendo esse de algumas horas até poucos dias após o evento de chuva.

E finalmente, parte da água da chuva que atinge o solo e não infiltra, dá origem ao escoamento superficial, que caminha de acordo com a declividade da bacia até desaguar nos corpos d'água. Em regiões com elevada pluviosidade, sem vegetação ou que apresentem o solo muito impermeabilizado o escoamento superficial pode dar origem à enchentes e provocar alagamentos.

Deste modo, o manejo de toda a bacia hidrográfica deve ser feito de tal forma que a água infiltre no solo e abasteça o lençol freático e, por conseguinte, a bacia consiga produzir água. Desse modo, o processo de escoamento superficial fica reduzido, diminuindo também os processos erosivos e de assoreamento dos cursos d'água (VALENTE; DIAS, 2001).

Como vimos, a relação Floresta e Água é íntima. A floresta, além de promover a estabilidade das comunidades florísticas e faunísticas, exerce um papel de fundamental importância na proteção e conservação da quantidade e da qualidade da água. Por isso, o reconhecimento do papel das florestas sobre os diversos compartimentos do ciclo hidrológico é de grande valor para a elaboração de práticas de manejo florestal com a finalidade de manutenção e conservação hidrológica das bacias hidrográficas (LIMA, 2008).

A presença de cobertura vegetal possui uma estreita relação com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. Ela desempenha uma importante função reguladora no contexto do balanço hídrico promovendo a captação e distribuição da água da chuva dentro dos compartimentos do sistema, auxiliando na regulação do escoamento de água pelo solo, bem como no processo de suprimento de água para a recarga de aquíferos e nascentes (ARCOVA; CICCIO, 1997; ARCOVA et. al., 2003; PORPORATO; RODRIGUEZ-ITURBE, 2002 e TONELLO; DIAS, 2018).

4 | A DINÂMICA DAS NASCENTES DO CÓRREGO IPANEMINHA

Para exemplificar o conteúdo abordado, apresentamos um estudo que teve como objetivo a caracterização da dinâmica de duas nascentes, uma degradada e outra perturbada em uma mesma microbacia hidrográfica, em termos de persistência de fluxo e qualidade da água.

Buscou-se ainda caracterizar os processos hidrológicos no interior do fragmento florestal ao redor da nascente perturbada, uma vez que estudar esses processos é de fundamental importância para o entendimento dos efeitos dos ecossistemas sobre a água e a manutenção dos recursos hídricos, principalmente em áreas de florestas. A microbacia do Córrego Ipaneminha está localizada no município de Sorocaba, sudeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 23°34'47"S e 47°31'33"O. De acordo com a classificação climática de Köppen, predomina na região o clima *Cwa* na depressão periférica e *Cwb* nas áreas mais elevadas. Originalmente a cobertura vegetal caracterizava-se como uma transição entre as formações florestais Floresta Estacional Semidecidual e Savana Florestada. Na atualidade predominam as pastagens e, observa-se a presença de alguns remanescentes altamente antropizados (faxinais, cerrados, capoeirões e matas ciliares) (PINHEIRO et al., 2011).

Nessa microbacia, foram monitoradas duas nascentes próximas, uma degradada (nascente 1, sem cobertura florestal no raio de 50 m) e outra perturbada (nascente

2 esta com vegetação em estágio inicial de recuperação) (Figura 2). A classificação das nascentes foi realizada de acordo com a metodologia utilizada por Pinto et al. (2004) e Tonello et al. (2009).



Figura 2. (a) Vazão da nascente 1 (canalizada) e (b) vazão da nascente 2 (natural), durante a estação chuvosa.

A produção de água foi monitorada por meio da medição da vazão da água de ambas as nascentes, realizado semanalmente, ao longo de setembro de 2011 a julho de 2013. As medições foram efetuadas pelo método direto, com auxílio de um balde graduado.

O monitoramento da Precipitação interna (P_i) e do Escoamento pelo tronco (E_t) foi realizado somente na nascente 2, já que apenas esta se encontrava com cobertura florestal, mesmo que em estágio inicial. As coletas foram realizadas, sempre que possível, após cada evento de chuva, durante os meses de julho de 2012 a junho de 2013.

Para quantificar a precipitação interna foram instalados aleatoriamente dez pluviômetros no interior do fragmento florestal, preferencialmente equidistantes entre as árvores, e também a céu aberto. O valor de P_i , em milímetros, foi calculado pela média aritmética entre os valores de cada pluviômetro, obtido pela fórmula $P_i = (V/A)$, onde V = volume de cada pluviômetro (litros) e A = área de captação de cada pluviômetro (m^2).

Também foram instalados dez coletores para quantificar o escoamento pelo tronco (E_t). Os coletores, em forma de calhas em espiral, foram alocados nos troncos das árvores que apresentavam $CAP \geq 15$ cm. A água escoada era direcionada para galões plásticos e medida posteriormente com o uso de um recipiente graduado. O escoamento pelo tronco também foi calculado através da média aritmética dos coletores, a partir da seguinte equação: $E_t = (V/A)$, sendo V = volume do coletor (litros) e A = área estimada da copa (m^2), calculada conforme metodologia de Moura et al. (2009). A precipitação efetiva (P_e) foi obtida pela soma do valor de E_t e P_i .

Com o intuito de verificar a influência da distribuição de chuva no fragmento florestal da nascente 2, os respectivos valores de vazão e precipitação efetiva foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, utilizando programa Minitab 14.0.

Também foi realizado o monitoramento da qualidade da água, nos meses de setembro de 2011 a julho de 2013. Seis parâmetros foram avaliados: pH, temperatura, condutividade elétrica (μS), total de sólidos dissolvidos (TDS), quantidade de cloreto de sódio dissolvido (NaCl) e a resistividade ($\text{k}\Omega$), todos aferidos por meio do equipamento portátil multiparâmetros Oakton PCD650. Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com auxílio do programa Minitab 14.0.

4.1 Análise dos processos hidrológicos

Os dados obtidos pelos pluviômetros instalados a céu aberto (P) na microbacia foram confrontados com os valores de vazão, de modo a possibilitar um melhor entendimento da resposta hidrológica e dinâmica das nascentes em questão.

A nascente 1 apresentava-se canalizada e em sua área de recarga predomina construções e estradas vicinais. Seu fluxo é intermitente, com oscilações entre as estações chuvosas e secas (Figura 3a). A degradação dessa nascente pode ter influenciado a sua desregularização, uma vez que o solo encontra-se parcialmente impermeabilizado, o que responde diretamente aos eventos de chuva.

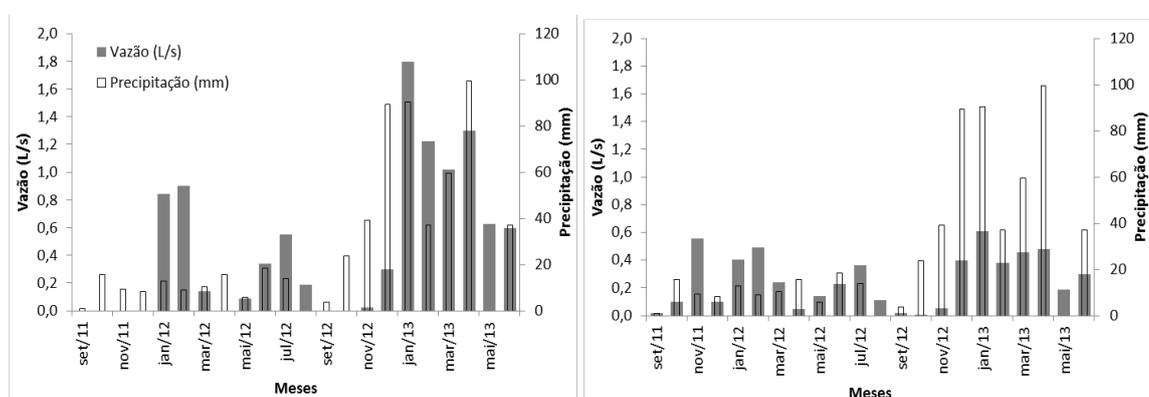


Figura 3. Valores referentes à precipitação (P) e vazão médias da nascente 1 (a) e da nascente 2 (b).

Com o leito do córrego revestido por materiais impermeáveis, a água não infiltra no solo e, conseqüentemente, não abastece o lençol freático. Sem infiltrar, mais água é acumulada na superfície, podendo provocar inundações nas áreas mais baixas. Nos meses de fevereiro/2012, julho a agosto/2012, janeiro a março/2013 e maio/2013 a vazão foi superior à precipitação. Nesse caso, a intensa precipitação ocorrida nos meses precedentes a esses pode ser uma conseqüência de abastecimento do lençol nos meses anteriores, suficiente para manter uma vazão mínima.

A nascente 2 foi considerada perene, com vazão contínua ao longo de todo o ano (Figura 3b), com variações entre as estações mais secas e as mais chuvosas. Esse fato sugere que, mesmo a nascente estando perturbada, observa-se um efeito positivo da vegetação nos processos hidrológicos, como já visto anteriormente, ainda que em fase de recuperação. A retirada da vegetação pode provocar então a descaracterização da nascente, redução da vazão, como observado na nascente 1, e até mesmo o seu desaparecimento (FELIPPE e MAGALHÃES JUNIOR, 2008).

No fragmento florestal da nascente 2, a precipitação efetiva (33 mm) correspondeu a 81,7% da precipitação total a céu aberto (40,4 mm). A precipitação interna (32,7 mm) contribuiu com 81% da precipitação total. De acordo com a análise de regressão aproximadamente 97,4% dos dados de precipitação interna pôde ser explicado pela precipitação total (Figura 4a).

Lorenzon et al. (2013) ao estudarem a precipitação interna na Zona da Mata de Minas Gerais obtiveram um valor de 84,39% da P_i em relação a P . Além disso, apresentou um coeficiente de determinação de 99,16%, indicando, também uma expressiva relação entre a precipitação interna e a precipitação total. Arcova et al. (2003) e Oliveira Júnior e Dias (2005) encontraram valores semelhantes de 81% e 80%, respectivamente. De acordo com Moura et al. (2011) estudos realizados em áreas diferentes produzem resultados diferentes, tanto pela não uniformidade da estrutura vegetal, quanto pelas condições climáticas de cada região. A precipitação interna pode variar também em função de fatores como intensidade de chuvas, diversidade e frequência de espécies e até de características inerentes a cada espécie.

A relação entre o fluxo de água da nascente 2 e a precipitação efetiva foi positiva e apresentou 72% ($pvalue=0,02$) de correlação. Essa análise indica haver benefício da floresta no regime hidrológico da nascente, mesmo essa estando em fase de recuperação, o que pode justificar a perenidade de seu fluxo, como observado na Figura 3b. Ainda com o intuito de reforçar esse comportamento, procedeu-se com a análise estatística entre vazão da nascente 2 e a precipitação, onde foi constatado a correlação de apenas 55% ($pvalue=0,008$).

O escoamento pelo tronco (0,3 mm) correspondeu a 0,7% do total precipitado, valor esse próximo ao de Lorenzon et al. (2013), o qual obteve 0,69%. De acordo com Oliveira Júnior e Dias (2005), esses valores devem ser considerados de extrema importância, visto que a baixa velocidade da água que chega ao solo facilita a infiltração. Estudo realizado por Shinzato et al. (2011) na Floresta Nacional de Ipanema obteve na condição de volume máximo escoado o valor de 1% da precipitação total, semelhante a Lima e Leopoldo (1999) que observaram um valor de 1,1%.

Por meio da análise do gráfico de regressão linear (Figura 4b), estimou-se que o escoamento pelo tronco, em média, só ocorrerá a partir de uma precipitação a céu aberto superior a 5,7 mm. Arcova et al. (2003) encontrou o valor de 7,0 mm para

um fragmento secundário de Mata Atlântica, enquanto o escoamento pelo tronco para Shinzato et al. (2011) na Floresta Estacional Semidecidual em Iperó-SP tornou-se presente após precipitações iguais ou superiores a 11 mm. Essas diferenças corroboram a ideia de que a peculiaridade de cada local, o tipo de vegetação, características climatológicas, no que diz respeito principalmente à intensidade e intervalo entre as precipitações, além do grau de umidade da cobertura interferem diretamente no volume escoado pelo tronco (LORENZON et al., 2013).

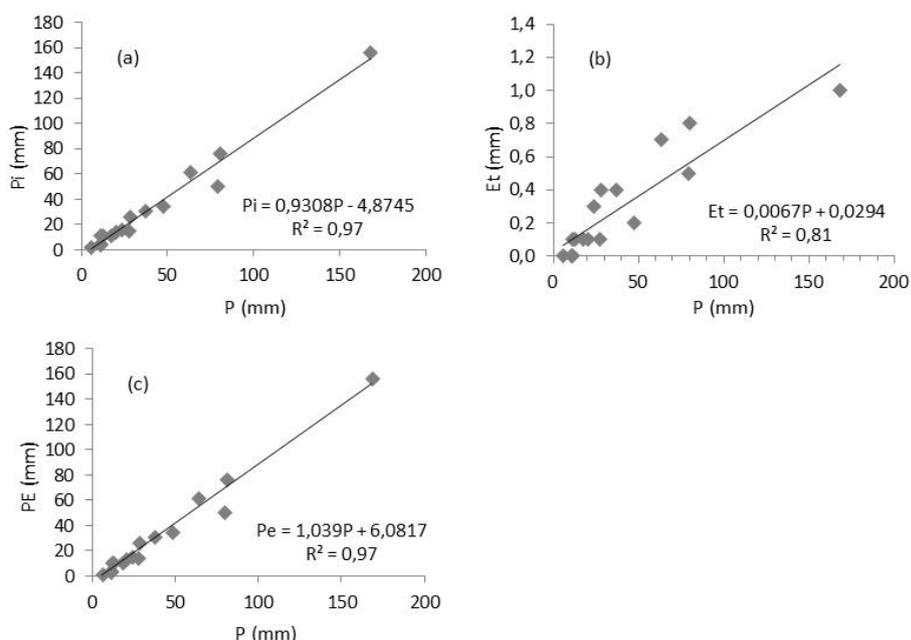


Figura 4. Relação entre (a) precipitação interna (Pi), (b) escoamento pelo tronco (Et) e (c) precipitação efetiva (PE) em função da precipitação total (P).

Também foi possível notar que a precipitação efetiva, interna e o escoamento pelo tronco apresentaram expressiva correlação com a precipitação total (Figura 4), conforme indicação do coeficiente de determinação (R^2), de 97%, 97% e 81%, respectivamente.

No primeiro ano de monitoramento os valores de pH estiveram próximos a 6,0 e, nos meses subsequentes esses valores aumentaram para um valor próximo a 7,0 (Figura 5a). De acordo com a Resolução CONAMA n.º. 357 (BRASIL, 2005) o pH adequado para água doce deve estar entre 6,0 e 9,0. Entretanto, como as primeiras medições indicaram valores abaixo do estabelecido pela resolução, seria necessário um período de estudo maior a fim de verificar se essas características encontradas se perpetuarão ao longo dos próximos anos.

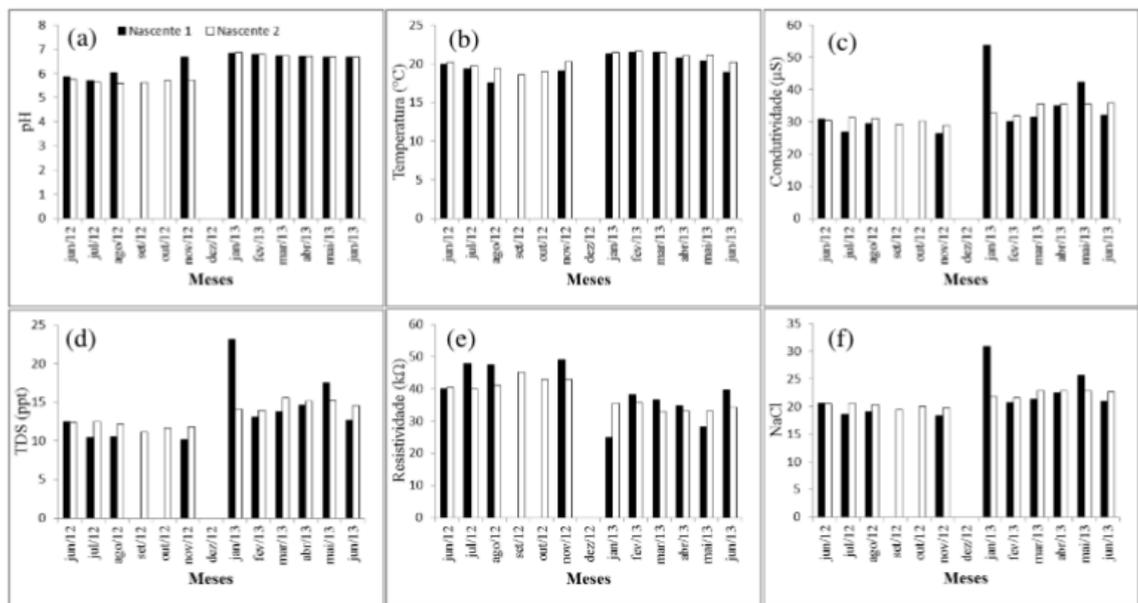


Figura 5. Resultados dos parâmetros analisados referentes a qualidade da água

Observou-se que a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) da água das nascentes teve influência da época do ano, visto que ambas as nascentes apresentaram menor temperatura na época mais fria e aumento nos valores da estação mais quente (Figura 5b). No entanto, a nascente 2 apresentou menor amplitude térmica, o que pode estar relacionado com a cobertura vegetal presente ao redor da nascente, corroborando com o estudo desenvolvido por Pinto et al (2012).

A condutividade elétrica indica as modificações na composição da água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes (CETESB, 2005).

A condutividade elétrica pode informar a concentração iônica e as diferenças geoquímicas de uma bacia hidrográfica assim como auxiliar a detectar fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos. A remoção da cobertura vegetal e a implantação de uma agricultura sem controle da erosão pode favorecer o aumento do escoamento superficial, carregando solo (íons, poluentes) que, ao longo do tempo, promovem o assoreamento dos rios e, conseqüentemente, podem elevar os valores de condutividade elétrica (FRANCO; HERNANDEZ, 2009). Os valores encontrados para nascente 1 oscilaram mais que os valores da nascente 2, sendo estes mais constantes durante todo o período do monitoramento (Figura. 5c).

Verificou-se uma semelhança no padrão de variação entre a condutividade elétrica e o total de sólidos dissolvidos para as duas nascentes (Figura 5c, 5d). Este resultado vai ao encontro do princípio de que a dissociação em ânions e cátions intensifica a passagem de corrente elétrica. Segundo Prado (2004), valores de pH menores que 5,0 e maiores que 9,0 interferem na condutividade devido a presença de poucos íons, como H^+ e OH^- . Todavia, como nesse trabalho não foram registrados esses valores, a condutividade foi influenciada pelos íons provenientes da dissolução de matéria orgânica, assim como macro e micronutrientes.

Resistividade elétrica é a forma com que uma solução resiste à condução de corrente elétrica, portanto os valores encontrados para esse parâmetro apresentam comportamento inversamente proporcional à condutividade elétrica, como pode ser observado na Figura 5 (c, e). Para Gallas et al. (2005), quanto menor for o valor registrado para esse parâmetro, mais a água está sujeita a possuir contaminantes, uma vez que esses locais estão enriquecidos em íons, provocando a diminuição da qualidade da água.

A concentração de NaCl (ppm) e a condutividade elétrica, para ambas as nascentes, também apresentaram o mesmo padrão de variação, em virtude da dissociação do cloreto de sódio em íons (Figura 5 f). O conhecimento do teor de cloreto de sódio tem por finalidade obter o grau de mineralização ou indício de poluição, como efluentes domésticos e industriais (MANARA; CLEMENTE, 2011).

Não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas dos parâmetros de qualidade de água entre as duas nascentes.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi visto a cobertura florestal tem importância no balanço hídrico de um determinado local por alterar, por meio dos processos de interceptação, precipitação efetiva, escoamento superficial, transpiração, infiltração e percolação, a movimentação da água da chuva no solo e em direção aos rios e lagos.

Quanto ao estudo apresentado a persistência de fluxo de água entre as nascentes apresentou-se intermitente para a nascente degradada e perene para a nascente perturbada. Em termos de qualidade de água, as nascentes apresentaram características semelhantes e não diferiram estatisticamente.

Na nascente perturbada a caracterização da distribuição de chuva no interior de seu fragmento florestal, mesmo em estágio inicial de recuperação, indicou haver benefício da floresta no regime hidrológico da nascente.

Esse monitoramento pode atuar como ferramenta de sustentação para políticas de planejamento de gestão de recursos hídricos, fornecendo informações para futuras tomadas de decisão visando atenuar os impactos causados no meio ambiente.

6 | AGRADECIMENTO

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

REFERÊNCIAS

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. **Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no laboratório de hidrologia florestal Walter Emmench, Cunha - SP**. Revista do Instituto Florestal de São Paulo, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 153-70, 1997.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V.; ROCHA, A.B. **Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – SP.** Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.

BIELENKI JÚNIOR, C.; BARBASSA, A.P. **Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas.** São Carlos: EdUFSCAR, 2012. 257 p.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 20 agosto 2018.

BRASIL. Lei federal n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 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 n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 23 agosto 2018.

CALHEIROS, R.O. et al. **Cadernos da Mata Ciliar n.1: Preservação e Recuperação das nascentes, de água e vida.** São Paulo: SMA, 2009. 35 p.

CETESB – Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidades das águas interiores do estado de São Paulo 2004/CETESB.** São Paulo: CETESB, 2005. 297 p.

FELIPPE, M.F. **Gênese e dinâmica de nascentes: contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical.** 2013. 254f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2013.

FELIPPE, M.F.; MAGALHÃES JUNIOR, A.P. **Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte – MG.** 2008. Disponível em: <<http://www.abep.nepo.unicamp.br/docs/anais/outros/6EncNacSobreMigracoes/ST5/FelippeMagalhaes.pdf>>.

FELIPPE, M.F.; MAGALHÃES JUNIOR, A.P. **Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte - MG.** Geografias, Belo Horizonte-MG, v. 8, n. 2, p. 8–23, 2012.

FRANCO, R.A.M.; HERNANDEZ, F.B.T. **Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n. 6, p.772–780, 2009.

GALLAS, J.D.F.; TAIOLI F.; SILVA, S.M.C.P.; COELHO, O.G.W.; PAIM, P.S.G. **Contaminação por chorume e sua detecção por resistividade.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, n.1, p. 51-59, 2005.

GOMES, P.M.; MELO, C.; VALE, V.S. **Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 17, n. 32, p. 103–120, 2005.

KLASSEN, W.; LANKREIJER, H.J.M.; VEEN, A.W.L. **Rainfall interception near a forest edge.** Journal of Hydrology, n. 185, p. 349-361, 1996.

LEAL, M.S.; TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; MINGOTI, R. **Caracterização hidroambiental de nascentes.** Rev. Ambient. Água, v. 12, n. 1, p. 146-155, 2017.

LEOPOLDO, P.R.; CONTE, M.L. **Repartição da água de chuva em cobertura vegetal com características de cerradão.** In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos e Simpósio

Internacional de Recursos Hídricos em regiões metropolitanas, 6, 1985, São Paulo. Anais... São Paulo: ABRH, 1985. v. 3. p. 212-220.

LIMA, W. P. A função hidrológica da mata ciliar. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1989. p. 25-42.

LIMA, P.R.A.; LEOPOLDO, P.R. **Interceptação de chuva por mata ciliar na região central do Estado de São Paulo. Energia na Agricultura**, v. 14, n. 3, p. 25-33, 1999.

LIMA, W.P. **Hidrologia Florestal aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba/SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, 2008. 245 p.

LORENZON, A.S.; DIAS, H.C.T.; LEITE, H.G. **Precipitação efetiva e interceptação da chuva em um fragmento florestal com diferentes estágios de regeneração**. Revista *Árvore*, v. 37, n. 4, p. 619-627, 2013.

MANARA, A.L.G., CLEMENTE, A.R. **Qualidade d’água de microbacia urbana, córrego lavapés na cidade de Mogi Mirim - SP**. Scientia Plena, v. 7, n. 8, p. 1-15, 2011.

MOURA, A.E.S. et al. **Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE**. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v. 33, n. 3, p. 461-469, 2009.

MOURA, A.E.S.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; OLIVEIRA, L.M.M.; MOURA, G.S.S.; SANTOS, P.T.S.; ALMEIDA, A.M.P. **Avaliação da precipitação interna em diferentes períodos na Bacia do Rio Tapacurá**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió - AL, Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

OLIVEIRA JÚNIOR, J.C.; DIAS, H.C.T. **Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica**. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v. 29, n. 1, p. 9-15, 2005.

PINHEIRO, R.C.; TONELLO, K.C.; VALENTE, R.O.A.; MINGOTI, R.; SANTOS, I.P. **Ocupação e Caracterização Hidrológica da Microbacia do Córrego Ipaneminha, Sorocaba-SP**. Irriga, v. 16, n. 3, p. 234-245, 2011.

PINTO, L.V.A.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FERREIRA, E. **Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG**. SCIENTIA FORESTALIS, v. 65, p. 197-206, 2004.

PINTO, L.V.A., ROMA, T.N., BALIEIRO, K.R.C. **Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno**. Cerne, Lavras, v. 18, n. 3, p. 495-505, 2012.

PORPORATO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. **Ecohydrology — A challenging multidisciplinary research perspective**. J. Hydrol. Sci., v. 47, p. 811–821, 2002.

PRADO, R.B. (2004). **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004. 197f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

RESENDE, H.C. MENDES, D.R.; MENDES, J.E.G.; BERNARDES, W.A. **Diagnóstico e ações de conservação e recuperação para as nascentes do Córrego-Feio, Patrocínio, MG**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 25, n. 5, p. 112–119, 2009.

SANTOS, T.I.S. **Estado de conservação e aspectos da vegetação de nascentes do riacho Grilo-SE**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009.

SHINZATO, E.T.; TONELLO, K.C.; GASPAROTO, E.A.G.; VALENTE, R.O.A. **Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil.** Scientia Forestalis (IPEF), v. 39, p. 395-402, 2011.

TONELLO, K. C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. **Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v. 4, n. 8, p. 156-168, 2006.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; FIRME, D.J.; LEITE, F.P. **Diagnóstico hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, município de Guanhães, MG, Brasil.** Ambi-água, v. 4, n.1, p. 156-168, 2009.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T. **Does Exists Some Relationship between Restoration and Hydrology of Forests Ecosystems?** Agri Res & Tech: Open Access, v. 13, n. 4, p.1-2, 2018.

VALENTE, O.F.; DIAS, H.C.T. **A bacia hidrográfica como unidade básica de produção de água.** Revista Ação Ambiental, Viçosa, n. 20, p. 8-9, 2001.

ZAKIA, M.J.B. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma bacia hidrográfica experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas.** 1998. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade Paulista, São Carlos, 1998.

REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL: CONCEITOS E CASOS DE ESTUDO

Aline Pires Veról

Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
COPPE
Rio de Janeiro - RJ

Bruna Peres Battemarco

Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
COPPE
Rio de Janeiro - RJ

Matheus Martins de Sousa

AquaFluxus Consultoria Ambiental em Recursos
Hídricos
Rio de Janeiro - RJ

Marcelo Gomes Miguez

Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
COPPE
Rio de Janeiro - RJ

RESUMO: A requalificação fluvial é uma prática que busca recuperar características naturais dos corpos hídricos, partindo do princípio de não piorar a situação atual seguido de quatro objetivos pré-definidos: a melhoria da qualidade da água; a diminuição do risco hidráulico; a recuperação geomorfológica e a melhoria dos ecossistemas fluviais, além de procurar satisfazer também objetivos socioeconômicos. O conceito surge como um

contraponto à artificialização dos rios, como obras de defesa e canalização. Esta prática vem ganhando destaque ao longo das últimas décadas, tendo sido implantada com sucesso em várias cidades europeias e americanas. A avaliação de experiências diversas nessa área mostra uma gama de termos utilizados para caracterizar ações de mesmo significado, assim como atuações diversas classificadas sob uma mesma bandeira. Esse capítulo apresenta uma pesquisa e análise das definições de termos comumente utilizados por distintos autores, nacionais e internacionais, em projetos de manejo de rios degradados, como forma de esclarecer as metas e intensidades de cada intervenção citada. Adicionalmente, também apresenta a compilação de uma pesquisa de vários estudos de caso, em âmbito nacional e internacional, proporcionando aprendizado com as experiências desenvolvidas. De forma geral, percebe-se que a maioria dos casos brasileiros tende a ter um foco maior no controle de cheias, diferentemente dos casos internacionais, que, em uma visão mais abrangente, se preocupam com a melhoria do estado ecológico do rio como um todo.

PALAVRAS-CHAVE: requalificação fluvial, conceitos, casos de estudo

ABSTRACT: River restoration is a practice that intends to recover the natural characteristics of

the water resources. The idea is based on the principle of not worsening the current situation and on satisfying four pre-defined objectives: the water quality improvement; the hydraulic risk decrease; the geomorphological recovery and the fluvial ecosystems improvement, in addition, to try to meet socioeconomic objectives. The concept appears as a counterpoint to rivers artificialization, such as defense and canalization works. This practice has been highlighted over the past decades and was successfully implemented in many European and American cities. The evaluation of several experiences in this area shows a range of different terms used to characterize the same actions, as well as different actions being classified by the same expression. This chapter presents a research and an analysis of the terms commonly used by several national and international authors in projects of degraded rivers in order to clarify the goals and intervention intensities of each. Additionally, it also presents a collection of several national and international case studies providing a lesson from those experiences. In general, it can be noticed that the majority of Brazilian case studies tends to have a greater focus on flood control, unlike international case studies, which, in a broader view, focus on the improvement of the river ecological status.

KEYWORDS: river restoration, concepts, case studies

1 | INTRODUÇÃO

O processo de constituição das cidades se relaciona intimamente com a degradação do meio natural, implicando em impactos sobre as águas urbanas e acarretando inúmeros danos ambientais e sociais. Com a necessidade de obtenção de áreas para agricultura, urbanizações, construção de rodovias e ferrovias e a minimização do efeito local das cheias, a retificação dos rios foi muito empregada no passado. Frente a esse quadro, é crescente o reconhecimento da importância de se preservar os sistemas naturais remanescentes e de restaurar os ambientes degradados (CARDOSO e BAPTISTA, 2013).

Há alguns anos o conceito de recuperação de rios vem ganhando força. De acordo com GONZÁLEZ DEL TÁNAGO e GARCÍA DE JALÓN (2007), os primeiros trabalhos nessa área datam da década de 1960, com as políticas de melhora da qualidade das águas. Nas décadas seguintes, houve uma melhor compreensão sobre os efeitos negativos do desenvolvimento sobre os ecossistemas (GREGORY, 2006). Assim, o foco recaiu em estudos sobre os efeitos das vazões e das canalizações e da importância de recuperar o regime de vazões, a conectividade do rio com suas margens e o intercâmbio entre as águas superficiais e subterrâneas para manter a produtividade e a diversidade dos corredores fluviais (WARD, 1989). A partir da década de 1990 se generaliza o reconhecimento da necessidade de aproveitamento dos recursos naturais de forma sustentável e a proteção da biodiversidade, e se estende o interesse da restauração e conservação de rios de forma mais notável em âmbito científico e tecnológico. Em 1992 o National Research Council – NRC, dos

Estados Unidos, publicou um tratado sobre restauração de ecossistemas aquáticos que inclui numerosos exemplos práticos e é uma referência internacional (NRC, 1992). Na Austrália, têm destaque os programas de avaliação das funções ripárias e seu estado ecológico, de integração de usos agrícolas, de técnicas de restauração e de reabilitação, cujos princípios e muitas de suas metodologias são aplicáveis a outros âmbitos geográficos (GONZÁLEZ DEL TÁNAGO e GARCÍA DE JALÓN, 2007). Outros trabalhos de destaque foram publicados na Alemanha (LARSEN, 1994) e em outros países europeus, como Reino Unido e Holanda (BOON et al., 1992). No Brasil, o tema ainda é relativamente novo, embora já existissem publicações na área desde o final dos anos 90.

A preocupação com o conceito de requalificação fluvial, de modo geral, e coletivamente para as suas variações possíveis, tem origem na percepção de que praticamente todos os rios sofreram algum tipo de antropização, sendo quase impossível encontrar rios em condições naturais (HOUGH, 2004; RILEY, 1998), e que esse processo veio acompanhado da verificação de que rios que tiveram diminuição de diversidade ecossistêmica apresentam algum tipo de degradação ou desequilíbrio, afetam o ambiente construído e as atividades econômicas que se desenvolvem em seu entorno e demandam obras de proteção, em volumes crescentes. A perda de naturalidade e a redução da qualidade do ambiente fluvial parecem vir acompanhadas, quase sempre, de maiores custos de manutenção e de maiores prejuízos, especialmente com as cheias.

A requalificação fluvial (CIRF, 2006; VERÓL, 2013; MIGUEZ et al, 2015; MIGUEZ et al., 2017) surge como uma proposta de, tanto quanto possível, recuperar a qualidade ambiental dos ecossistemas fluviais, buscando resgatar valores naturais, articulando esse processo com as comunidades que vivem em torno do rio e com as atividades econômicas ali desenvolvidas, de uma forma harmônica e sistêmica. Propõe-se que rios mais naturais demandem menos intervenções e sejam também economicamente mais viáveis, além de proverem soluções mais sustentáveis, ao longo do tempo, para importantes problemas das bacias hidrográficas, como o controle de cheias e a redução do risco hidráulico (VERÓL, 2013). Assim, seus resultados podem aumentar a quantidade e a qualidade dos recursos fluviais e seu uso potencial para a população ribeirinha (GONZÁLEZ DEL TÁNAGO e GARCÍA DE JALÓN, 2007). Desta forma, com o reconhecimento da importância de melhorar o estado ecológico de rios degradados, bem como de estabelecer uma aproximação entre a população e o ambiente fluvial, foram criados diversos projetos, no Brasil e no Mundo. Entretanto, cabe ressaltar que, enquanto a Europa, à luz da Diretiva Quadro da Água (CE, 2000), prega a necessidade de recuperar o bom estado ecológico dos rios, tendo introduzido a questão ambiental de forma significativa nas discussões de requalificação de rios, no Brasil, a maior parte dos estudos relacionados com o tema passa pelo controle de cheias, muitas vezes em áreas urbanas, com ações que não necessariamente recuperam o estado ecológico dos rios.

Sabendo que a estruturação de uma terminologia, que especifique os termos e conceitos, é essencial para a metodologia científica e que o uso de termos apropriados contribui para a melhor compreensão da realidade observada (LAKATOS e MARCONI, 2007), este capítulo tem como objetivo a desambiguação dos vários termos empregados na caracterização de programas ou projetos de manejo de rios degradados. Além disso, visa apresentar casos de requalificação fluvial no Brasil e em outros países, como Estados Unidos e integrantes da Comunidade Europeia, realizando uma compilação e estabelecendo uma comparação entre eles, aprendendo com as experiências desenvolvidas.

2 | REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL: CONCEITOS BÁSICOS

Quando se fala de recuperação de rios, é comum que se imagine projetos de restauração, reparação, renaturalização e tantas outras definições mais. De forma comum a todas essas definições está o reconhecimento da degradação dos rios e que é necessária e conveniente a melhora de seu funcionamento, tratando de recuperar um estado mais natural, conforme tiveram em tempos passados (VERÓL, 2013; MIGUEZ et al, 2015). A recente atenção à melhoria dos rios, com uma notável gama de abordagens e aplicações, produziu uma variedade de neologismos. Somente no Brasil, foram encontrados termos como revitalização, renaturalização, recuperação e restauração, por exemplo. Em outros países, mais outros termos foram encontrados. Em 1998, a publicação desenvolvida no âmbito do Projeto Planágua-SEMADS/GTZ (BINDER, 1998) apresentava o termo “renaturalização”. A publicação posterior, da mesma coleção (SELLES *et al.*, 2001) já defendia o termo “revitalização”. A seguir, a publicação de COSTA e TEUBER (2001), também da mesma série, mas que tratava especificamente a questão de cheias no estado do Rio de Janeiro admitia que a engenharia de recursos hídricos ainda não havia estabelecido um termo técnico que pudesse ser adotado para caracterizar esse tipo de intervenção, embora “revitalização” fosse a palavra mais empregada. Atualmente, muitas vezes se vê o conceito de “revitalização” associado a projetos de valorização urbana. É relativamente comum associar o termo “revitalização fluvial” ao uso dos rios como elementos de referência para a revitalização urbana, através de parques, áreas de lazer e pistas de caminhada, não englobando, necessariamente, aumento do valor ambiental do próprio rio. Entretanto, no Brasil, o termo “revitalização” foi utilizado como sinônimo de “renaturalização”.

Foi realizada uma pesquisa dos diferentes termos utilizados na caracterização de projetos de manejo de rios em diversas publicações, nacionais e internacionais, seguida de uma compilação, bem como posterior comparação e reflexão entre as diferentes definições obtidas, reproduzida na Tabela 1. Foram conservados os termos em inglês, em parênteses, para facilitar a correlação entre as definições

em português e aquelas usadas em âmbito internacional. É possível perceber que muitos dos termos não possuem um significado unívoco, outros possuem pontos em comum e, por vezes, se confundem, mostrando a complexidade que envolve o seu enquadramento quanto aos objetivos e propostas de intervenção. Apesar desta variedade, há uma mesma ideia base que, em maior ou menor escala, permeia esses conceitos, apontando para uma melhora ambiental, seja em direção a um sistema mais natural, seja a um sistema alterado, mas com melhor qualidade. Assim, pode-se observar, por exemplo, que além de “restauração” e “renaturalização” serem utilizadas como sinônimos, remetendo ao retorno do rio às condições originais, “reabilitação” e “recuperação” também o podem. Isso porque possuem uma mesma linha de raciocínio, pois sugerem melhorias ao ambiente fluvial no caminho da restauração/renaturalização, chegando o mais próximo quanto possível deste estágio.

Termo	Definição
Restauração/Restauração (Restoration)	Tem como objetivo recuperar os rios e córregos de modo a regenerar o mais próximo possível a biota natural, através de manejo regular ou de programas de renaturalização, preservar as áreas naturais de inundação e impedir quaisquer usos que inviabilizem tal função. Binder (1998).
	Consiste no retorno do rio às condições originais a partir do alcance de cinco objetivos pré-definidos: o restabelecimento do nível natural da qualidade da água; o restabelecimento da dinâmica sedimentar e do regime de fluxo natural; o restabelecimento da geometria natural do canal e da sua estabilidade; o restabelecimento da comunidade de plantas ribeirinhas naturais e o restabelecimento das plantas e animais aquáticos nativos (se não houver colonização/repovoamento espontâneos). Rutherford <i>et al.</i> (2000).
	Consiste no restabelecimento das funções aquáticas e das características físicas, químicas e biológicas próximas às existentes antes do distúrbio; é um processo holístico que não é alcançado através da manipulação de elementos individuais. Frequentemente, a restauração requer um ou mais dos seguintes processos: reconstrução das condições físicas, hidrológicas e morfológicas antecedentes; ajuste químico do solo e da água; manipulação biológica, incluindo revegetação e reintrodução de espécies nativas ausentes ou daquelas que se tornaram inviáveis pelos distúrbios ecológicos. Nesta forma de manejo, os danos ecológicos aos recursos são reparados, a estrutura e as funções do ecossistema são recriadas, constituindo-se no ato de retornar o ecossistema a uma condição mais próxima daquela anterior ao distúrbio. NRC (1992).
	Retorno, a partir de uma condição perturbada ou totalmente alterada, para uma condição natural ou modificada por alguma ação humana previamente existente; ou seja, a restauração refere-se ao retorno a uma condição pré-existente, não havendo a necessidade de ter completo conhecimento de como esta condição era, nem de que o sistema retorne a um perfeito estado. Por exemplo: quando uma zona úmida alterada e posteriormente danificada retornar à sua anterior condição de alteração, é considerada uma restauração. Lewis e Roy (1989).
	Consiste no completo retorno do rio ao estado estrutural e funcional existente antes do distúrbio (Restauração Total). Brookes <i>et al.</i> (1996).
	O retorno completo da estrutura e funcionamento do rio ao estado prévio a sua perturbação. Cairns (1991).
	Tem a finalidade de recuperar o funcionamento ecológico do rio e suas margens, alcançando uma estrutura mais natural. CE (2000).
	Promover a recuperação, estabelecendo o retorno do ecossistema a um estado que se assemelha aos sistemas adjacentes não perturbados. Gore (1985).
	O processo de reparação do dano causado pelo homem à diversidade e dinâmica dos ecossistemas primitivos. Jordan <i>et al.</i> (1987).
	Pretende-se alcançar um estado do rio próximo ao natural e que entendemos como um bom estado ecológico, onde só se admitem baixos níveis de distorção por atividades humanas, dando ênfase no resultado final que se conhece ou se define baseado em referências concretas. Objetivos particulares: Recuperar os processos fluviais para que o rio possa reconstruir sua dinâmica e um funcionamento mais próximo do natural ou de referência; Fazer com que o rio aumente sua resiliência diante das perturbações naturais e antrópicas; Criar uma estrutura sustentável e compatível com os usos do território e dos recursos fluviais; Recuperar a beleza dos rios e suas margens, assim como a relação afetiva do homem com seu território e paisagem natural; Cumprir com os requisitos da Diretiva Marco da Água. González Del Tánago E García De Jalón (2007).
Requalificação	O processo de assistência à recuperação de um ecossistema que foi degradado ou destruído. SER (2002).
	Conjunto integrado e sinérgico de ações e técnicas, de tipo muito variado (do jurídico-administrativo-financeiro, até o estrutural), que permite que tanto o curso d'água quanto o seu território mais estreitamente conectado ('sistema fluvial'), volte a possuir um estado mais natural possível, capaz de desempenhar suas características funcionais ecossistêmicas (geomorfológicas, físico-químicas e biológicas), dotado de maior valor ambiental, procurando satisfazer até mesmo os objetivos socioeconômicos. CIRF (2006).

Reabilitação (<i>Rehabilitation</i>)	Consiste em melhorar os aspectos mais importantes do ambiente do rio, tomando como referência as condições degradadas. Trata-se de uma ação para retornar, artificialmente, as características dos elementos fundamentais do corpo hídrico original, por intervenção direta ou acelerando-se o processo de recuperação. Rutherford <i>et al.</i> (2000).
	É empregado primariamente no sentido de devolver boas condições ou o funcionamento de um corpo hídrico; na sua aplicação mais elementar, destina-se à obtenção de melhorias de natureza visual de um recurso natural. NRC (1992).
	É o retorno parcial do rio à estrutura ou função anterior ao distúrbio. Brookes <i>et al.</i> (1996).
	Retorno a uma condição saudável ou a uma condição melhor. Pode ser: por método passivo - nele o distúrbio é reduzido ou removido e opta-se por não fazer nada, ou seja, deixa-se o curso de água auto curar-se; por método ativo - se dá através da aplicação de procedimentos específicos de reparo, sendo separados em duas categorias: modificações no canal e modificações estruturais dentro do canal, as quais visam restaurar a diversidade do habitat físico no curso de água que tenha sido modificado ou degradado. Gordon <i>et al.</i> (1992).
	Implica na recuperação de um funcionamento mais natural do rio, com a tendência de conseguir que o rio reabilitado vá ficando cada vez mais similar ao rio que era antes de sua degradação, reconhecendo nele certas limitações impostas pelas pressões existentes. González Del Tánago E García De Jalón (2007).
Revitalização (<i>Revitalization</i>)	Recuperação, melhoria dos atributos estruturais ou funcionais eventualmente não presentes no sistema natural. CIRF (2006).
	Consiste em melhorar a situação ecológica do rio com um conjunto de medidas envolvendo: o desenvolvimento de um curso mais natural para o rio; a recuperação de uma morfologia mais natural; o manejo da mata ciliar; a eliminação dos impactos ao ambiente fluvial; educação ambiental; saneamento básico; valorização e aproveitamento da paisagem fluvial. Selles <i>et al.</i> (2001).
Recuperação	Processo destinado a adaptar um recurso «selvagem» ou «natural» para servir a propósito utilitário humano, dispondo um recurso natural para um novo uso ou um uso modificado. Frequentemente, é empregado para referir-se a processos que destroem ecossistemas nativos e os convertem para uso urbano ou agrícola. NRC (1992).
	Conceitua como o manejo de um rio ou do ecossistema fluvial que implica no retorno deste às condições anteriores ao distúrbio, consistindo na estabilização do desenvolvimento de habitat e colonização a uma taxa mais rápida que a dos processos naturais físicos e biológicos. A recuperação considera aspectos hidrológico e ecológico, qualidade da água, estética, além de uma visão integradora do projeto sustentável de recuperação. Cunha (2003).
Preservação	É a manutenção de um ecossistema aquático, envolvendo mais do que a prevenção de alterações explícitas. Também implica em gerenciamento do ecossistema aquático para manter suas funções e características naturais. NRC (1992).
Prevenção	A primeira regra da reabilitação é para evitar o dano. É fácil, rápido e barato danificar rios naturais. Porém, é difícil, lento e caro devolvê-los ao seu original estado. Por esta razão, a mais alta prioridade para os reabilitadores é evitar mais danos aos córregos, especialmente córregos que permanecem em boas condições. Rutherford <i>et al.</i> (2000).
Adequação	O condicionamento dos rios implica em um enfoque destinado a potenciar um determinado uso do rio, sendo muito frequente neste sentido a adequação recreativa das margens ou o condicionamento do canal para melhorar seu acesso aos diferentes usos, entre eles o banho, a pesca, a canoagem, a prática de esportes, etc. González Del Tánago E García De Jalón (2007).
Criação (<i>Creation</i>)	Refere-se à criação de um ecossistema que não existia previamente no local. NRC (1992).
	Conversão ou mudança de uma condição para outra diferente, aplicada, no caso desde estudo, a conversão de uma área alagada não permanente em uma área alagada permanente, através de alguma atividade humana. Lewis e Roy (1989).
	Compreende o desenvolvimento de um recurso que não existia previamente no local. Brookes <i>et al.</i> (1996).

Melhoria / Melhora	Aumento em um ou mais valores relativos a alguma característica ambiental de toda ou de parte de uma área alagada existente, em decorrência das atividades humanas. A alteração intencional de uma área alagada existente para prover condições que previamente não existiam, ao aumentar um ou mais valores destas características (variáveis) é considerada melhora. Lewis e Roy (1989).
	É definido como sendo qualquer melhora na qualidade ambiental do rio. Brookes et al. (1996).
	Significa um aumento do valor do rio, não necessariamente de acordo com a recuperação de seu funcionamento ecológico, mas sim focado na melhora de seu aspecto estético, no aumento de sua estrutura ou diversidade física, sem que os elementos melhorados desta estrutura sejam uma consequência do funcionamento do próprio rio. González Del Tánago e García De Jalón (2007).
Mitigação	Ações tomadas para evitar, reduzir ou compensar os efeitos dos danos ambientais. Entre as ações possíveis, são aquelas que restauram, melhoram, criam ou substituem ecossistemas danificados. NRC (1992).
	Realiza-se no âmbito da restauração ecológica e representa a moderação ou diminuição da intensidade dos efeitos que se consideram nocivos para os ecossistemas e que são causados por determinadas ações humanas. A mitigação de tais efeitos implica muitas vezes na substituição de um ecossistema por outro, o que significa a criação ou promoção de um ecossistema equivalente, mas distinto, que substitui o primitivo aceitando que este último já não poderá se manter ou alcançar com as atividades humanas existentes. González Del Tánago e García De Jalón (2007).
Remediação (<i>Remediation</i>)	É o tratamento nos casos em que mudanças irreparáveis no fluxo de água tornam impossível a sua reabilitação, e sendo o estado original não mais um objetivo apropriado. Esta forma de manejo visa melhorar as condições ecológicas do fluxo de água, mas ao final esta melhora não se assemelhará necessariamente ao estado original do rio. A aplicação desta forma de manejo reconhece que o rio mudou tanto que a condição original não é mais relevante, mesmo assim ela visa uma condição inteiramente nova. Rutherford <i>et al.</i> (2000).
	Remediação significa a aplicação de um «remédio» para a melhora da situação atual (de um rio muito doente) e que se emprega com maior frequência em casos em que se parte de um nível de degradação muito intenso, quando se reconhece que se inicia o processo de recuperação com poucas possibilidades de ganhos em curto prazo, dando uma maior importância ao processo em si (ou seja ao fato de se desejar caminhar em direção a uma recuperação), mais que aos resultados que se vão alcançando paulatinamente, que são incertos e não permitem prever o estado futuro, que é desconhecido. González Del Tánago e García De Jalón (2007).

Tabela 1: Definições pesquisadas no contexto da requalificação fluvial (VERÓL, 2013).

Através da comparação entre estas e outras diversas definições apresentadas na Tabela 1 e de discussões sobre a melhor forma de se caracterizar cada termo empregado, foi elaborada a Tabela 2. Tal tabela representa a conclusão dos autores sobre os objetivos e metas que definem cada ação de mitigação citada e, então, a sugestão para uniformização do entendimento dos conceitos explicitados neste artigo.

Termo	Definição
Restauração/ Renaturalização	Consiste no retorno do rio às condições originais buscando alcançar cinco objetivos pré-definidos: o restabelecimento dos níveis naturais da qualidade da água; o restabelecimento da dinâmica sedimentar e do regime de fluxo natural; o restabelecimento da geometria natural do canal e da sua estabilidade; o restabelecimento da mata ciliar e o restabelecimento da biota aquática (se não houver colonização/repopoamento espontâneos). Rutherford <i>et al.</i> (2000)
Requalificação	Conjunto integrado e sinérgico de ações e técnicas, de tipo muito variado (do jurídico-administrativo-financeiro, até o estrutural), que permite que tanto o curso d'água quanto o seu território mais estreitamente conectado ('sistema fluvial'), volte a possuir um estado mais natural possível, capaz de desempenhar suas características funcionais ecossistêmicas (geomorfológicas, físico-químicas e biológicas), dotado de maior valor ambiental, procurando satisfazer até mesmo os objetivos socioeconômicos. CIRF (2006).

Reabilitação/ Recuperação	Implica na recuperação de um funcionamento mais natural do rio, com a tendência de conseguir que o rio reabilitado vá ficando cada vez mais similar ao rio que era antes de sua degradação, reconhecendo nele certas limitações impostas pelas pressões existentes. González Del Tánago e García De Jalón (2007).
Revitalização	Valorização da paisagem fluvial em um contexto urbano, não englobando, necessariamente, aumento dos valores do rio.
Preservação	Além da prevenção, envolve o gerenciamento do ecossistema aquático e ribeirinho para manter suas funções e características naturais. NRC (1992).
Prevenção	Evitar mais danos e modificações nas características do rio, especialmente nos que já permanecem em boas condições. Rutherford <i>et al.</i> (2000).
Adequação	Melhora na situação ecológica do rio, visando potencializar um determinado uso/valor. González Del Tánago e García De Jalón (2007)
Criação	Sendo inviável o retorno às condições originais do rio, propõe-se a criação de um ecossistema que não existia previamente no local, assim como de um novo equilíbrio da geometria e morfologia do canal. NRC (1992).
Melhoria	É definido como sendo qualquer melhora na qualidade ambiental do rio. Brookes <i>et al.</i> (1996).
Mitigação	Ações tomadas para reduzir ou compensar os efeitos dos danos ambientais. NRC (1992).
Remediação	Surge como uma tentativa de desenvolvimento de uma condição de equilíbrio nova, a partir do momento que se reconhece que o rio mudou tanto que a condição original não é mais relevante. Ou seja, visa melhorar as condições ecológicas do fluxo de água, mas ao final esta melhora não se assemelhará necessariamente ao estado original do rio. Selles <i>et al.</i> (2001).

Tabela 2: Definições adequadas aos termos empregados, propostas pelos autores.

Com base nas definições expostas na Tabela 2 e adaptado de Rutherford *et al.* (2000), foi elaborado o esquema apresentado na Figura 1. Neste esquema estão sintetizadas as definições de reabilitação, restauração e remediação, ampliando-a para englobar os conceitos de melhoria, revitalização, remediação e, também, destacar o conceito de requalificação fluvial. Pode-se perceber, a partir da figura, que seu conceito é amplo e procura satisfazer diversos objetivos, por vezes conflitantes entre si, além de englobar diferentes intensidades de intervenção.

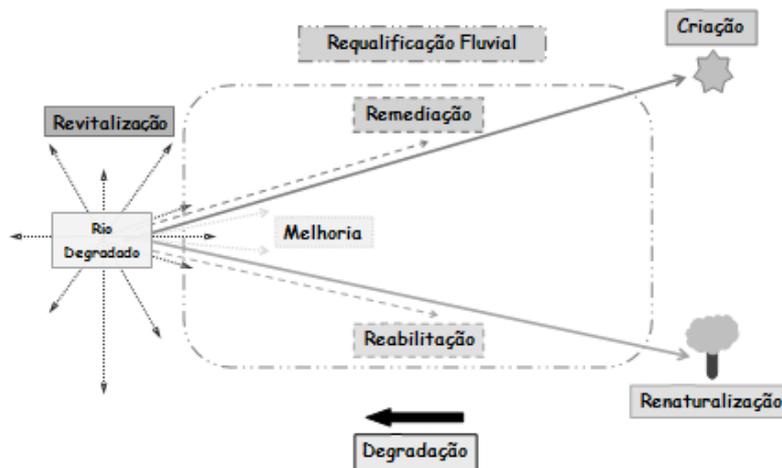


Figura 1: Definição de requalificação fluvial. (Adaptado de Rutherford *et al.*, 2000)

Nesse sentido, estabelece-se que a requalificação fluvial está articulada com a hidrologia e a avaliação do comportamento hidráulico do canal, a morfologia, a qualidade da água e a presença de ecossistemas fluviais saudáveis, sendo estes últimos, uma consequência dos outros itens. Com isso, podem ser fixados quatro pilares fundamentais que sustentam sua lógica, os quais se apresentam na Figura 2.

Para que os projetos de requalificação fluvial possam ser colocados em prática, é preciso ter em mente quais ações podem ser realizadas. Basicamente, é possível dividi-las em dois grupos: ações estruturais e ações não estruturais. Tal classificação guarda semelhança com a lógica da drenagem sustentável (MIGUEZ et al, 2015). A seguir, com base em NARDINI (2011) e SELLES *et al.* (2001), são apresentadas na Tabela 3 possibilidades de ação em cada uma dessas tipologias.



Figura 2: Proposta da requalificação fluvial. (VERÓL, 2013)

Ações estruturais	Ações não estruturais
Remoção de elementos de risco Restauração da vegetação Melhora do regime hídrico Melhora da qualidade da água Facilitar o acesso da população à água e às margens para efeito de lazer e recreação Buscar a morfologia mais natural dos rios. Restabelecer a continuidade dos cursos d'água para a fauna migratória Restabelecer locais para a desova e biótipos aquáticos	Desenvolvimento de cultura fluvial (conhecimento, sensibilidade, consciência, valores, <i>know-how</i>) Educação ambiental participativa Planejamento e processos decisoriais compartilhados Normas/Regulamentação Incentivos/Desincentivos Informação/Monitoramento

Tabela 3: Atuação na Requalificação Fluvial (Adaptado de Nardini, 2011 e Selles et al. (2001))

3 | BREVE PANORAMA DA REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL NO BRASIL E NO MUNDO

Há casos de requalificação fluviais bem-sucedidos em diversos países. Com o objetivo de entender melhor cada projeto, foram pesquisados e analisados diversos

casos de intervenções fluviais em âmbito nacional e internacional. Foram considerados os objetivos principais da requalificação fluvial, apresentados anteriormente, e as ações em diferentes dimensões possíveis. Como resultado desta avaliação, foram confeccionadas as tabelas 4 a 6. Além do objetivo comum da melhora do estado ecológico dos rios, existem ações que remetem a objetivos específicos, podendo ser englobadas nos diferentes pilares da requalificação fluvial. Assim, a Tabela 4 sintetiza tais objetivos e as respectivas atuações na requalificação fluvial empregadas nos diversos casos estudados. As Tabelas 5 e 6, por sua vez, correlacionam estes objetivos aos casos estudados, em âmbito nacional e internacional.

Objetivos da RF	Atuações na RF	
(a) Melhoria da qualidade da água	(1)	Medidas relacionadas ao tratamento da água do rio
	(2)	Medidas relacionadas ao tratamento e coleta de esgoto
	(3)	Reciclagem e industrialização dos resíduos sólidos
	(4)	Controle da poluição
	(5)	Criação de reservatórios
	(6)	Monitoramento da qualidade da água
(b) Recuperação geomorfológica	(7)	Remoção de singularidades
	(8)	Estabilização das margens e do fundo
	(9)	Restauração da vegetação ribeirinha
	(10)	Uso de biomantas
	(11)	Uso de geotêxteis
	(12)	Escavação do curso natural e/ou recriação de meandros
	(13)	Implantação de parque fluvial
(c) Diminuição do risco hidráulico	(14)	Medidas que melhorem o manejo de águas pluviais
	(15)	Implantação de parques urbanos
	(16)	Controle da ocupação humana
	(17)	Criação de bacias de detenção e retenção
	(18)	Áreas de retenção de sedimentos
	(19)	Criação e ampliação de áreas de proteção ambiental
	(20)	Monitoramento dos níveis de água
	(21)	Recuperação de diques de contenção de marés
	(22)	Elevação das margens para evitar extravasamento
	(23)	Instalação de <i>rip-raps</i> enterrados
(d) Melhoria dos ecossistemas fluviais	(24)	Recomposição da vegetação
	(25)	Criação e ampliação de áreas que protejam os habitats existentes
	(26)	Interligação de áreas verdes às áreas de lazer
	(27)	Estudo de variáveis para possível recriação de habitats
	(28)	Implantação de parque fluvial
	(29)	Recriação de deltas e meandros
	(30)	Habilitação de barragens para passagem de peixes

Tabela 4: Atuações na Requalificação Fluvial (RF)

Rio	Projeto	Localização	Dimensões da RF	Atuações na Requalificação Fluvial
Piracicaba	Projeto Beira-Rio	Piracicaba (SP)	(a), (b), (c), (d)	(2), (3), (15), (24)
Córrego do Bananal	Plano da Bacia do rio Cabuçu de Baixo	São Paulo (SP)	(a), (b), (c), (d)	(2), (4), (8), (9), (14), (17), (18), (26)
Guamá	Parque Mangal das Garças	Belém (PA)	(d)	(24)
Iguaçu-Sarapuí	Projeto Iguaçu	Baixada Fluminense (RJ)	(a), (b), (c), (d)	(1), (7), (9), (13), (14), (15), (16), (19), (25), (28)
Das Velhas	Projeto Manuelzão	MG	(a), (b), (d)	(2), (8), (9), (25), (27)
Das Velhas	Programa DRENURBS	MG	(a), (b), (c), (d)	(2), (8), (9), (14), (17), (25)
Tijuco Preto	Projeto Pró-Tijuco	SP	(a), (b), (c), (d)	(2), (10), (14), (24)
Barnabé	Parque Ecológico de Indaiatuba	SP	(a), (b), (c), (d)	(2), (8), (14), (24)
João Mendes	Projeto de Renaturalização do rio João Mendes	RJ	(c)	(15)
Los Angeles	Plano de Revitalização do Rio Los Angeles	Califórnia (EUA)	(a), (b), (c), (d)	(2), (7), (14), (24), (7)
Anacostia	Plano de Recuperação da Orla do Rio Anacostia	Washington D.C. (EUA)	(a), (b), (c), (d)	(1), (2), (12), (14), (21), (24)
Don	Plano de Recuperação do Rio Don	Toronto (Canadá)	(a), (b), (c), (d)	(1), (5), (12), (14), (24), (29)
Isar	Plano do Isar	Munique (Alemanha)	(a), (b), (c), (d)	(2), (7), (8), (14), (27)
Besòs	Projeto de Restauração Fluvial do Rio Besòs	Região da Catalunha (Espanha)	(a), (b), (c), (d)	(2), (8), (9), (22), (23), (24), (29)
Manzanares	Projeto Madri Rio	Madri (Espanha)	(a), (c), (d)	(2), (5), (14), (17), (24), (30)
Brenta	Projeto do Parque do Rio Brenta (Parque Tokyngton)	Londres (Inglaterra)	(b), (c), (d)	(8), (12), (14), (27)
Orge	-	Yvelines e Essone (França)	(a), (b), (c), (d)	(2), (6), (8), (9), (12), (16), (17), (21), (24)
Aurino	-	Tirol do Sul (Itália)	(b), (c), (d)	(8), (12), (14), (24)
Tagliamento	-	Região de Friuli-Venezia Giulia (Itália)	(a), (b), (c), (d)	(2), (15), (17), (30)
Skjern	Projeto de Restauração do Rio Skjern	Jutlândia (Dinamarca)	(b), (d)	(7), (9), (12), (24), (27)
Cheonggyecheon	Projeto de Restauração do Rio Cheonggyecheon	Seul (Coreia do Sul)	(b), (c), (d)	(13), (14), (15), (24)

Tabela 5: Estudos de casos de Requalificação Fluvial

Com base nos dados observados, é possível perceber que em alguns exemplos

brasileiros, são utilizadas técnicas mais tradicionais de engenharia, o que demonstra uma fase preliminar de desenvolvimento do conceito de requalificação fluvial ou, então, que este ainda não é bem compreendido por parte dos gestores. Ainda, da análise da tabela, depreende-se que a maioria dos casos brasileiros tende a ter um foco maior no controle de cheias em vez de uma visão mais abrangente, como as bases do conceito de requalificação fluvial indicam. É possível que, no Brasil, as medidas aplicadas busquem soluções mais imediatas, provavelmente por conta justamente da criticidade do problema de inundações em alguns rios e suas bacias. Percebe-se, assim, que o processo de requalificação dos rios brasileiros precisa caminhar em paralelo com a conscientização ambiental de gestores e população e combinar-se com projetos primários, como o de drenagem pluvial, e, considerando também os aspectos de degradação usualmente encontrados, com projetos para ampliar a rede de esgoto sanitário e seu tratamento.

Cabe, neste ponto, um paralelo com o caso do Rio Cheonggyecheon, em Seul, que propunha sua restauração (e conseguiu uma grande repercussão internacional), mas que, na verdade, trabalhou no sentido de realizar uma grande revitalização urbana, usando o rio como elemento estruturador da paisagem. Houve certamente uma melhora ambiental, uma vez que o rio era poluído e enterrado. Porém, a configuração final tende mais apropriadamente a um parque urbano, com valor para a cidade e limitada melhoria dos ecossistemas fluviais. Ou seja, em uma situação de degradação muito crítica, o processo de restauração adaptou-se e buscou atender e compatibilizar-se com necessidades mais imediatas.

A maioria dos projetos internacionais pesquisados, porém, possui uma visão mais ampla e se preocupa mais com a melhoria do estado ecológico do rio como um todo, tornando-o também uma opção de lazer à população, como resultado complementar. Um exemplo é o Projeto do Parque do Rio Brenta, que de acordo com ENVIRONMENT AGENCY (2006), na Fase 1 restaurou duas seções deste rio por meio da “re-meandrização” do canal, antes retificado, ao longo de seu percurso original, naturalizando as suas margens. A Fase 2 se articulou com o trabalho de requalificação anterior, para melhorar todo o parque.

Outra observação que se pode fazer, a partir da análise das tabelas, se refere aos termos utilizados na caracterização de alguns dos projetos citados. Percebe-se a utilização dos termos “renaturalização” e “restauração”, ainda que o real objetivo do projeto não tivesse como foco principal o resgate do ecossistema. Apesar do uso impróprio dos termos, e da realização parcial de um projeto de requalificação, destaca-se a importância de tais projetos, dado que proporcionaram melhor qualidade de vida do que o que se tinha antes.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual estado de degradação dos rios tem levado a inúmeras discussões e proposições de intervenções que recuperem seus aspectos morfológicos, seu regime de vazões, a qualidade de suas águas e também o ecossistema local. Dentre tantas proposições consultadas, depara-se com o uso de termos como reabilitação, requalificação, renaturalização, restauração, recuperação, entre outros. Embora todos esses conceitos tenham em comum a busca por melhorias na condição degradada dos corpos d'água, cada um possui um objetivo específico e uma intensidade de intervenção associada. Procurou-se então, neste capítulo, explicitar as diferentes terminologias empregadas para tratar a questão e discutir sobre as reais metas e ações associadas a cada uma delas, visto a necessidade de esclarecer o que se pretende alcançar com os diferentes tipos de intervenção.

Reconhece-se que o conceito de requalificação fluvial é o mais adequado para utilização nos casos apresentados, pois busca atender a diferentes objetivos e incorpora várias ações e intervenções de diferentes intensidades. A requalificação fluvial é uma questão que vem como uma necessidade para enfrentar a progressiva deterioração dos ecossistemas de rios em todo o mundo. Seu objetivo global é obter um curso d'água que seja mais natural. Isto implica, antes de tudo, evitar o agravamento do estado atual e, em seguida, tentar melhorá-lo, tanto quanto possível. Em síntese, deve estar claro que a requalificação não deve ser a restauração das condições naturais, mas sim um movimento no sentido de se atingir condições desejáveis, possivelmente mais próximas àquelas pré-existentes. Sendo assim, requalificar caracteriza-se como um objetivo ambiental, no senso que busca recuperar características naturais dos corpos hídricos a partir da obtenção de seus objetivos pré-definidos, que abordam não só a melhoria do seu estado ecológico (melhoria na qualidade da água e dos ecossistemas fluviais e a recuperação geomorfológica), permitindo a preservação da natureza e da biodiversidade, como também a diminuição do risco hidráulico, procurando satisfazer objetivos socioeconômicos e assim, proporcionando benefícios para uso recreativo ou lazer, aspectos que agregam valor para a sociedade.

O reconhecimento da importância de melhorar o estado ecológico de rios degradados, bem como de estabelecer uma aproximação entre a população e o ambiente fluvial fez com que fossem criados diversos projetos, no Brasil e no Mundo. A partir da compilação de estudos de caso de interesse e da posterior comparação entre os mesmos, pode-se concluir que há diferenças significativas entre os projetos nacionais e os internacionais no que diz respeito aos seus objetivos. Enquanto no Brasil os projetos têm seu foco no controle de cheias, em sua maioria, os casos internacionais pesquisados possuem uma maior preocupação com a recuperação de valores quantitativos e qualitativos dos rios, ou seja, buscam de fato uma melhora ecológica do ambiente fluvial.

A partir de toda a discussão apresentada, conclui-se que a requalificação fluvial possui um conceito amplo, com diferentes dimensões, relacionadas a cada um dos quatro objetivos principais, e diversas formas de atuação para alcançá-las. Desta forma, reconhece-se a importância de difundir a sua ideia, principalmente no Brasil, a fim de fazer com que projetos nacionais possuam uma vertente mais sustentável, buscando agregar valores ao estado ecológico do rio, além da abordagem da diminuição do risco hidráulico.

REFERÊNCIAS

BATTEMARCO, B. P. (2012). **Panorama comparativo sobre a requalificação de rios no Brasil e no mundo**. In: XXXIV JORNADA GIULIO MASSARANI DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA, ARTÍSTICA E CULTURAL DA UFRJ, 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2012.

BATTEMARCO, B. P.; VERÓL, A.P.; SOUSA, M. M.; MIGUEZ, M.G. (2015). **Requalificação Fluvial: Desambiguação e Uniformização de Termos e Conceitos**. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2015, Brasília/DF. **Anais...** Brasília: ABRH, 2015. 8p.

BINDER, W. **Rios e Córregos, Preservar – Conservar – Renaturalizar. A Recuperação de Rios, Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: SEMADS, 41p., 1998.

BOON, P. J.; WILKINSON, J.; MARTIN, J. The application of SERCON (System for Evaluating Rivers for Conservation) to a selection of rivers in Britain. **Aquatic Conservation**, 8, p. 597-616, 1998

BROOKES, A.; KNIGHT, S.S.; SHIELDS, F.D. Habitat Enhancement. In: Brookers, a.; Shields, F.D. (eds.), **River Channel Restoration: Guiding Principles for Sustainable Projects**. Chichester: John Wiley & Sons. p. 149 – 179, 1996.

CAIRNS, J. The status of the theoretical and applied science of restoration ecology. **The Environmental Professional**, v. 13, p. 186-194, 1991.

CARDOSO, A. S. **Proposta de metodologia para orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água em áreas urbanas**. 2012. 331f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CARDOSO, A. S.; BAPTISTA, M. B. Metodologia multicriterial para orientação de processos decisórios relativos a intervenções em cursos de água em áreas urbanas. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 10, n. 1, p. 51-67, 2013.

CE – COMUNIDAD EUROPE. **Directiva 2000/60/CE**, de 23 de octubre de 2000. Establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2000.

CIRF – Centro Italiano per la Riquilificazione Fluviale. **La riquilificazione fluviale in Italia: linee guida, strumenti Ed esperienze per gestire i corsi d’a acqua e Il territorio**. 1ª Ed. Nardini, A. & Sansoni, G. (Org.). Venezia: Mazzanti, 2006.

COSTA, H.; TEUBER, W. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro – Uma Abordagem Geral**. Rio de Janeiro: SEMADS. 160p.: il. 2001.

CUNHA, S.B. Geomorfologia Fluvial. In: Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. (Org.). **Geomorfologia – uma**

atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.211-252, 2003.

ENVIRONMENT AGENCY **Bringing your rivers back to life. A strategy for restoring rivers in North London.** UK: Environment Agency, 2006.

GONZÁLEZ DEL TÁNAGO, M. & GARCÍA DE JALÓN, D. **Restauración de rios. Guía metodológica para la elaboración de proyectos.** Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente, 2007.

GORDON, N.D.; MCMAHON, T.A.; FINLAYSON, B.L. **Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists.** Centre for Environmental Applied Hydrology – University of Melbourne. John Wiley & Sons, p. 447-473, 1992.

GORE, J.A. Introduction. Eric J. A. Gore (ed.). **The Restoration of Rivers and Streams**, vii-xi. Boston: Butterworth Publishers, 1985.

GREGORY, K.J. The human role in changing river channels. **Geomorphology**, v.79, n.3-4, p. 172-191, 2006.

HOUGH, M. **Cities and Natural Process: A basis for sustainability.** 2nd edition. London and New York: Routledge, 2004.

JORDAN, W.R.; GILPIN, M.E.; ABER, J.D. Restoration ecology: Ecological Restoration as a technique for basic research. **Restoration Ecology**, W.R. Jordan, M.E. Gilpin & J.D. Aber (eds.): 3-21, Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** 6. ed. 5. reimp. São Paulo: Atlas, 2007.

LARSEN, P. Restoration of River Corridors: German experiences. In: P. Calow; G.E. Petts (eds.), **The Rivers Handbook**, vol 2, p. 419-440, Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994.

LEWIS, R.; ROY III. Wetlands Restoration/Creation/Enhancement Terminology: Suggestions for Standardization. In: **Wetland Creation and Restoration: The Status of Science.** Vol. II: Perspectives. Jon A. Kusler. Ed. US Environmental Protection Agency. 1989. p. 1-3. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov>>. Acesso em 10 Fev. 2013.

MIGUEZ, M.G.; VERÓL, A.P.; REZENDE, O.M. **Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MIGUEZ, M.G.; DI GREGÓRIO, L. T.; VERÓL, A.P. **Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

NARDINI, A. **Recuperación fluvial: conceptos segun CIRF.** Apresentação realizada na UFRJ em 30 de janeiro de 2011.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Restoration of Aquatic Ecosystems: science, technology, and public policy.** Washington, USA: National Academy Press. USA, 1992.

RICO, E. A. M. **Metodologia para priorização de intervenções em trechos de cursos de água: estudo de caso torrentes Bolonia e Yomasa, Bogotá – Colômbia.** 2013. 156 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2013.

RILEY, A. L. **Restoring Streams in Cities, a Guide for Planners, Policymakers, and Citizens.** Washington D.C., USA: Island Press, 1998.

RUTHERFURD, I.D.; JERIE, K.; MARSH, N. **A Rehabilitation Manual for Australian Streams Volume I**. Canberra: Land and Water Resources Research and Development Corporation, 2000.

SELLES, I.M.; VARGAS, A.V.; RIKER, F.; BAHIANSE, G.; PAES RIOS, J.; CUNHA, L.; CAMPAGNANI, S.; MATTA, V.; BINDER, W.; ARAÚJO, Z. **Revitalização de rios – orientação técnica**. Rio de Janeiro: SEMADS. 78p, 2001.

SER – Society for Ecological Restoration. **The SER Primer on Ecological Restoration**. Science & Policy Working Group, 2002, 9. Disponível em: < https://nau.edu/uploadedFiles/Centers-Institutes/ERI/_Forms/Resources/ser-primer.pdf>. Acesso em: 20 Ago. 2018.

VERÓL, A.P. **Requalificação Fluvial Integrada ao Manejo de Águas Urbanas para Cidades mais Resilientes**. 2013. 367 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

VERÓL, A.P.; BATTEMARCO, B. P.; SOUSA, M. M.; MIGUEZ, M.G. **Requalificação Fluvial: Compilação, Análise e Paralelos Entre Casos de Estudo Nacionais e Internacionais**. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2015, Brasília/DF. **Anais...** Brasília: ABRH, 2015. 8p.

WARD, J. V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. **J. North Am. Benthol. Soc.**, v.8, p.2-8, 1989.

ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE BASE NA PROPAGAÇÃO DA ONDA DIFUSA EM UM RIO

Maria Patricia Sales Castro

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza – CE

Patrícia Freire Chagas

Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande
do Norte
Natal - RN

Karyna Oliveira Chaves de Lucena

Instituto Federal do Ceará – Campus Quixadá
Quixadá - CE

Raimundo Oliveira de Souza

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE

RESUMO: O estudo da propagação de cheias é fundamental para análise e previsão em áreas susceptíveis a enchentes. Esta pesquisa tem como objetivo analisar a variabilidade temporal de base na propagação de uma onda difusa em um rio, verificando de que forma estes podem influir nos riscos de enchentes. Baseado nas equações da hidrodinâmica formulou-se um modelo matemático, capaz de identificar a influência dos parâmetros de declividade no tempo de base para a equação da onda difusiva. Para encontrar a solução das equações diferenciais parciais contidas no modelo, foi utilizado o Método das Diferenças Finitas, usando um esquema implícito e elaborando um programa computacional para sua solução

matemática. A partir dos resultados gerados se observa que a declividade exerce influência no tempo de base da propagação da onda no tempo, tornando este modelo uma ferramenta viável para previsão de enchentes em áreas susceptíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Enchentes, Equação da Onda difusa, propagação da onda.

ABSTRACT: The study of the flood routing is essential for analysis and forecasting in areas susceptible to flooding. This research aims to analyze the temporal variability of base diffuse wave routing in a river, checking how these can influence the risk of flooding. Based on the hydrodynamic equations was formulated a mathematical model capable of identifying the influence of slope bed parameters in the time base for the diffusive wave equation. To find the solution of partial differential equations contained in the model, it was used the Finite Difference Method, using an implicit scheme and developing a computer program for mathematical solution. From results generated can be observed that the slope influences the time base of wave propagation in time, making this model a viable tool for forecasting flooding in susceptible areas.

KEYWORDS: Flooding, Diffusive wave equation, Flood routing.

1 | INTRODUÇÃO

Os problemas de cheias em uma região susceptível a este evento são agravados pelo impacto humano no ambiente e, portanto, não podendo evitar que aconteça. A aplicação de modelos hidrodinâmicos para propagação de cheias em rios é uma atividade necessária no contexto de sistemas de previsão de enchentes.

Segundo Chow (1959), o movimento da cheia pode ser tratado simplesmente como um escoamento uniforme progressivo se o canal é regular, a resistência é baixa e a onda permanece inalterada. Se, entretanto, o canal é irregular e a resistência é alta, a configuração da onda será apreciavelmente modificada com a sua movimentação através do canal. A determinação desta modificação do escoamento é chamada de propagação de cheias.

Os modelos hidrológicos e hidráulicos espacialmente distribuídos para determinação das zonas inundáveis são uma ferramenta importante que permite a oportunidade de um bom planejamento e gestão da análise de risco. A representação da superfície do terreno é um fator crítico na modelação hidrológica e hidráulica de inundações, pois, como dado de entrada do modelo, condiciona a vazão de entrada e a extensão da inundação (Horritt e Bates, 2001).

Lal (2005) declarou que estudos mostram que os modelos de onda difusa podem ser utilizados com sucesso para simular uma variedade de condições de fluxo natural. Uma aproximação da onda difusa foi aplicada para área de inundação e vazão de fluxo em um sistema de canal em loop. (Luo, 2007).

Segundo Moussa and Bocquillon (2008) a equação da onda difusa também tem sido usada para modelar eventos extremos de inundação, onde os fluxos de canal e as áreas de inundação são roteados.

A propagação de onda de cheias é descrita pelo sistema de equações de Saint-Venant. As simplificações das equações de Saint-Venant até a equação da onda difusa é um método comumente utilizado para este tipo de aplicação. A equação da onda difusa pode ser resolvida pelo método das diferenças finitas implícito. Para solução de suas respectivas equações diferenciais parciais foi desenvolvido um programa em linguagem FORTRAN que permitiu simulações para diversos cenários a fim de avaliar o comportamento da onda difusa para diferentes tempos de base e declividades.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Porto (2006) as leis básicas que servem base para os estudos relativos aos transitórios hidráulicos em escoamentos livres, são a equação da continuidade (conservação da massa) e a equação dinâmica (equação da quantidade de movimento).

2.1 Equação da Continuidade

A primeira equação fundamental do escoamento em rios e canais é a equação da continuidade. (Andrade, 2006). Considerando um volume de controle na seção transversal de comprimento Δx muito pequeno, conforme figura 1, temos que as vazões Q_1 e Q_2 não são necessariamente as mesmas, diferem na quantidade.

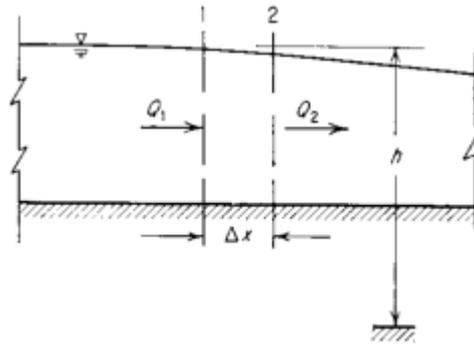


Figura 1 – Esboço para a definição da equação da continuidade

Sendo h a altura da superfície da água do volume de controle e o volume entre as seções 1 e 2 estão aumentando a uma taxa de $B \frac{\partial h}{\partial t} \Delta x$, onde B é a largura da superfície da água. Temos, a equação da continuidade é dada na sua forma diferencial por (Henderson, 1966):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

2.2 Equação da Quantidade do Movimento

O enunciado da equação da quantidade de movimento diz que o somatório das forças atuantes sobre um volume de controle é igual a soma da taxa da variação do momentum dentro do volume de controle e a taxa de efluxo de momentum resultante através da superfície de controle. (Henderson, 1966). Logo, a equação da quantidade de movimento é dada na sua forma diferencial por:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Onde: Q é a vazão (m^3/s); x é o comprimento longitudinal (m); t é o tempo (s); A é a área da seção transversal do fluxo (m^2); y é a profundidade da água no canal (m); S_0 é a declividade de fundo do canal (m/m); S_f é a declividade de linha de energia; e g é a aceleração da gravidade (m^2/s).

2.3 Equação da Onda Difusa

Segundo Cunge *et. al.*(1980) o sistema formado pelas equações da continuidade

(equação 1) e da quantidade de movimento (equação 2) é conhecido como equações de Saint-Venant, nome este dado ao seu formulador. Se os termos de inercia na equação de Saint-Venant são desprezíveis, a equação será convertida em equação da onda difusiva, dada pela equação:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \dots\dots\dots(3)$$

Onde: x (m) é a distância a jusante, t (s) de tempo, C (m.s⁻¹) e D (m².s⁻¹) são funções não lineares do descarga Q (x, t) (m³.s⁻¹) e são geralmente conhecido como celeridade e difusividade, respectivamente.

2.4 METODOLOGIA

Para o cálculo da equação da onda difusiva foi utilizado o Método das Diferenças Finitas Implícitos. Mais especificamente, o Método de Crank-Nicolson, pelo fato deste método dispor de um tipo de discretização que garante a estabilidade numérica no processo de solução (Anderson et. al.,1984).

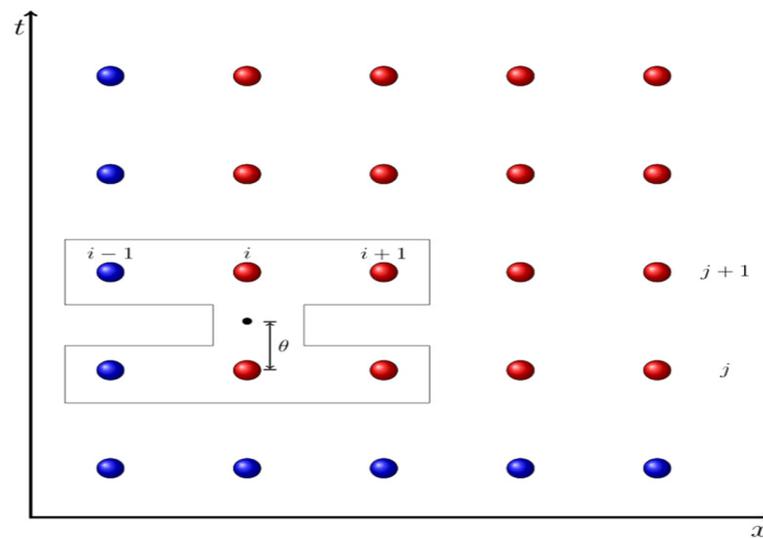


Figura 2 – Malha de discretização Método das Diferenças Implícitos
Método Crank-Nicolson

De acordo com a Figura 2, os pontos em vermelhos são os valores desconhecidos e os pontos em azuis são os valores conhecidos. As linhas são representadas pelo índice i e as colunas representadas pelo índice j. De acordo com Gomes (2006) as derivadas discretizadas no tempo e no espaço são dadas:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{Q[i, j+1] - Q[i, j]}{\Delta t} \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{1}{2} \left[\frac{Q[i+1, j+1] - Q[i-1, j+1]}{2\Delta x} + \frac{Q[i+1, j] - Q[i-1, j]}{2\Delta x} \right] \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \approx \frac{1}{2} \left[\frac{Q[i+1, j+1] - 2Q[i, j+1] + Q[i-1, j+1]}{\Delta x^2} + \frac{Q[i+1, j] - 2Q[i, j] + Q[i-1, j]}{\Delta x^2} \right] \dots\dots\dots(6)$$

Com o intuito, de resolver as equações diferenciais envolvidas no modelo matemático de propagação da onda difusiva, foi desenvolvido um programa computacional em linguagem FORTRAN 90. Assim, sendo possível calcular as variáveis pertinentes ao controle de escoamento de um fluido em um rio.

Para cada declividade do leito foi realizada uma simulação onde se variou o tempo de base da onda, com o intuito de estudar o comportamento do campo de escoamento, ou seja, onde a variabilidade afeta os parâmetros hidráulicos como vazão e profundidade do mesmo.

Para cada simulação foi considerado como dados de entrada: um canal natural de seção retangular, comprimento igual a 50 km, largura de 50 m, número de Manning (n) de 0,01 e uma vazão inicial uniforme (Q_0) de 50 m³/s. A variação temporal da vazão é expressa pela função senoidal (CHAPRA, 1997):

$$Q = Q_0 \left(1 + k \cdot \text{sen} \frac{\pi t}{T} \right), \text{ para } 0 \leq t \leq T \dots\dots\dots(7)$$

e,

$$Q = Q_0, \text{ para } t \geq T \dots\dots\dots(8)$$

Para este trabalho as variáveis determinadas foram vazão e a profundidade da superfície livre da água no rio.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira simulação foi realizada para o canal natural conforme descrito no item anterior. Para este cenário, a declividade foi de $S_0=0,001$ m/m e os tempos de base foram de 3600 s, 7200 s, 10800 s e 14400 s. Assim é possível, entender como a vazão e a profundidade da onda difusa se comporta ao longo do tempo de passagem no canal para os diferentes tempos de base.

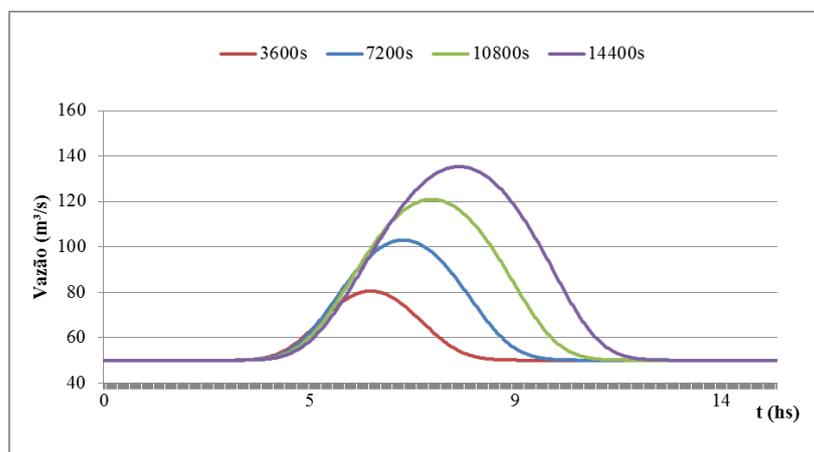


Figura 3 - Hidrograma para onda difusiva, na seção 30 km e declividade $S_0=0,001$ m/m, em função do tempo de base

Na Figura 3 é possível verificar, para os diferentes tempos de base, o amortecimento da onda difusiva ao longo do tempo. A figura indica que o parâmetro tempo de base influencia na propagação da onda difusiva. Quanto maior o tempo de base da onda difusiva maior é pico de vazão dessa onda. Isto é, após decorrer certo tempo do início da precipitação, a vazão começa a elevar-se, até atingir seu valor máximo.

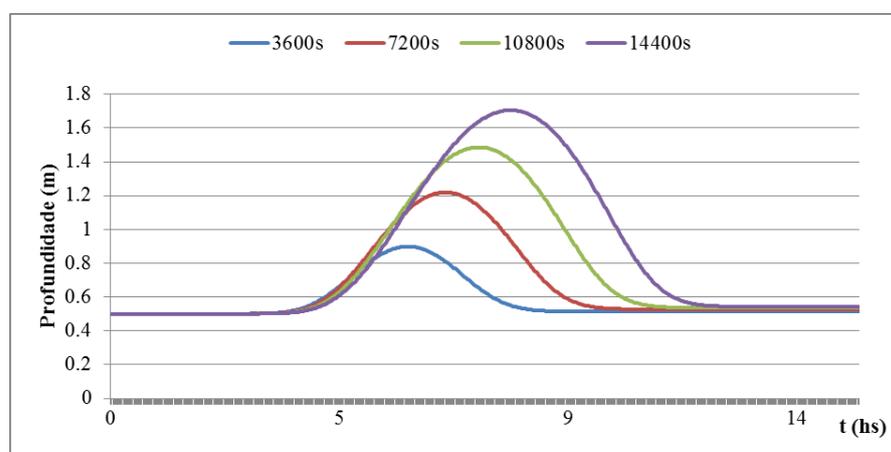


Figura 4 – Comportamento da profundidade, na seção 30 km e declividade $S_0=0,001$ m/m, em função do tempo de base

O mesmo ocorre para a profundidade (Figura 4), onde o tempo de início da elevação do nível de água é o mesmo para os diferentes valores de tempo de base, até chegar ao seu nível máximo. Como a vazão é muito grande e a velocidade não aumenta na mesma proporção, a profundidade da linha d'água tende a aumentar.

As simulações a seguir foram feitas para o mesmo canal natural, variando apenas as declividades, conforme pode ser verificado nas Figuras 5 a 8.

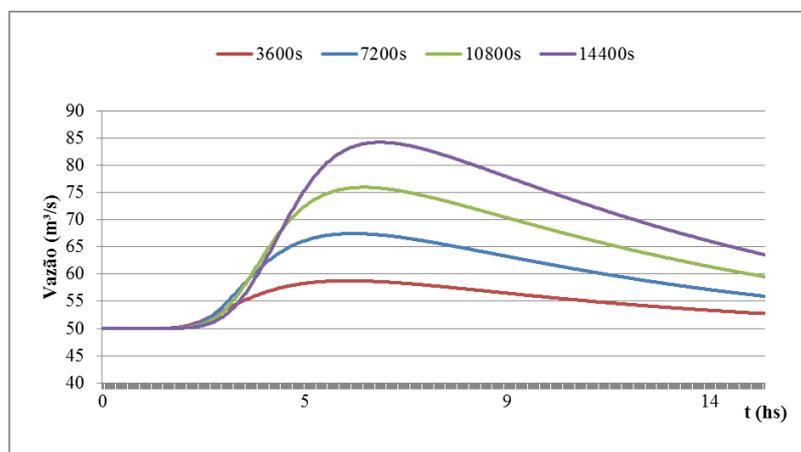


Figura 5 - Hidrograma para onda difusiva, na seção 30 km e declividade $S_0=0,0001$ m/m, em função do tempo de base

A Figura 5 ilustra o comportamento da vazão de escoamento da onda difusiva, para quatro valores de tempo de base e uma declividade fixa. Comparando a Figura 5 com a Figura 3, temos um maior tempo de passagem pela extensão do rio e uma menor vazão, caracterizando que a onda difusiva é sensível ao parâmetro declividade.

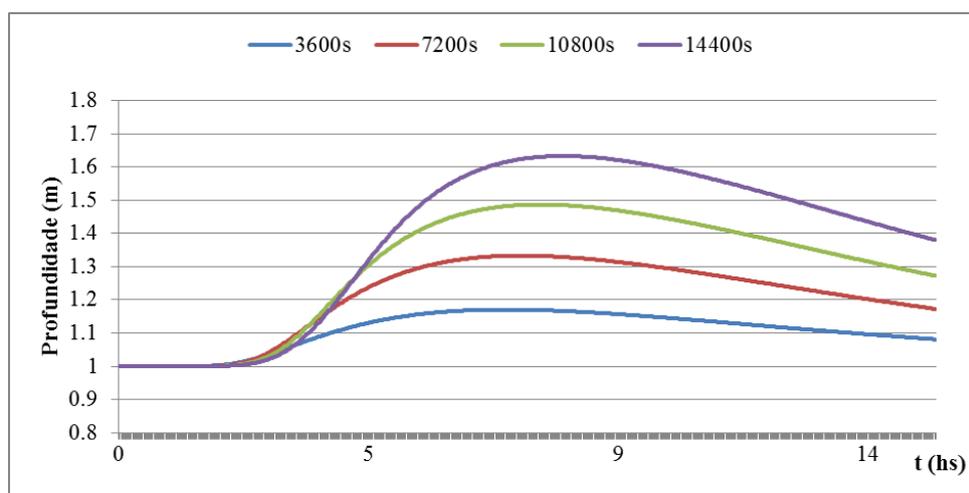


Figura 6 – Comportamento da profundidade, na seção 30 km e declividade $S_0=0,0001$ m/m, em função do tempo de base

Na Figura 6, é possível averiguar o amortecimento no pico da onda para um valor de declividade menor. Devido ao efeito difusivo da onda difusiva temos que a onda de cheia se distribui ao longo do canal, reduzindo o impacto concentrado em uma única seção.

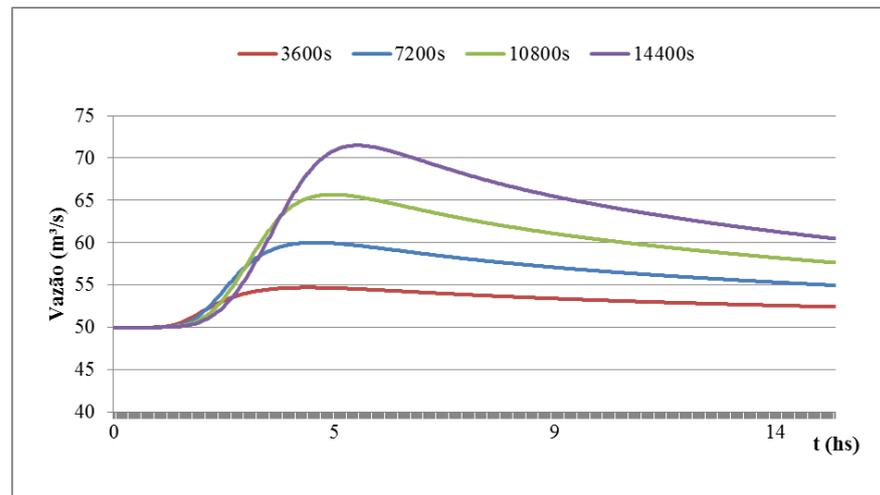


Figura 7 - Hidrograma para onda difusiva, na seção 30 km e declividade $S_0=0,00005$ m/m, em função do tempo de base

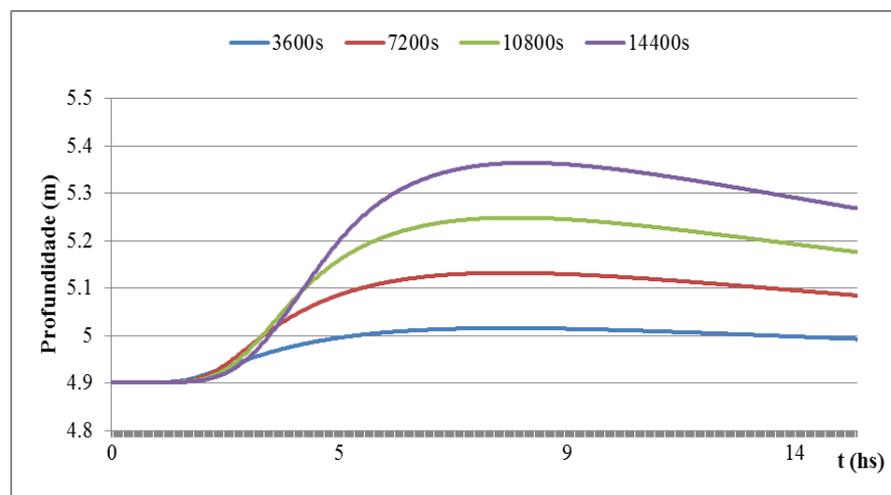


Figura 8 – Comportamento da profundidade, na seção 30 km e declividade $S_0=0,00005$ m/m, em função do tempo de base

Na Figura 8 verifica-se que o pico de profundidade para uma declividade $S_0 = 0,00005$ é igual a 5,3 m enquanto que na Figura 6 com declividade $S_0 = 0,0001$ o pico da profundidade tem valor igual a 1,75 m. Assim, quanto maior a declividade menor será o nível da cota de água ao longo do canal. Isto ocorre devido às forças gravitacionais do escoamento atuam de forma mais intensa.

4 | CONCLUSÕES

Os resultados apresentaram que a declividade apresenta papel importante na propagação da onda difusiva. Os mesmos mostram que quanto menor o valor da declividade maior será a dispersão da onda ao longo da extensão do rio, já que quanto menor a declividade do leito do rio maior será tempo de passagem da onda, aumentando os riscos de enchentes.

O programa computacional desenvolvido para resolver equações difusivas,

responde com eficiência aos objetivos da pesquisa, apresentando excelentes resultados para as mais diversas situações práticas encontradas no seu campo de trabalho.

5 | AGRADECIMENTOS

Registra-se aqui o agradecimento ao CNPq pela concessão da Bolsa de Pesquisa que muito tem auxiliado a realizar nossas pesquisas. E em especial, ao professor Raimundo Oliveira de Souza, por todo incentivo, apoio e orientação prestado que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

REFERENCIAS

ANDRADE, C. F. **Estudo de planícies de inundação através da análise dos parâmetros hidráulicos do canal principal e sua influência na avaliação do risco fuzzy de enchentes**. Tese – Universidade Federal do Ceará, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2006, pp 56-66.

ANDERSON, D. A.; TANNEHILL, J. C.; PLETCHER, R. H. **Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer**. Hemisphere Publishing Corporation, 3, 1984, pp.63-65.

CUNGE, J. A., HOLLY, F.M.JR, AND VERWEY,A. **Practical Aspects of Computational River Hydraulics**. Pitman Publishing Ltd., London, UK. ISBN: 0273084429, 1, pp 7-23.1980.

CHAPRA, S.C., **Surface Water-Quality Modeling**, McGraw-Hill, New York, N.Y., 1997

CHOW, Ven Te. **Open Channel Hydraulics**. 1st Ed., McGraw -Hill Book Co,New York, N.Y.,1959. 680p.

GOMES, V. U. **Estudo comparativo dos modelos da onda cinemática e da onda difusiva na análise de propagação de cheias, em função dos parâmetros hidráulicos da bacia**. Dissertação – Universidade Federal do Ceará, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2006, pp.47-49.

HENDERSON, F. M. **Open Channel Hydraulics**. 1st Ed., Mcmillan Publishing Co. Inc.,New York, N.Y.,1966. pp 4-7.

HORRITT, M. S.; BATES, P.D. Predicting floodplain inundation: raster-based modelling versus the finite-element approach. **Hydrological Processes**, 15, pp. 825-842. 2001.

LAL, A. M. W. Performance Comparisons of Overland Flow Algorithms, South Florida Water Management District, Office of Modeling, “Regional Simulation Model (RSM)”, **Theory Manual**, May 16, West Palm Beach, Florida 3340. 2005.

LUO, Q. A distributed surface flow model for watersheds with large water bodies and channel loops. **Journal of Hydrology** 337, 172–186. 2007.

MOUSSA, R., BOCQUILLON, C. On the use of the diffusive wave for modeling extreme flood events with overbank flow in the floodplain. **Journal of Hydrology** 374, 116–135. 2008.

PORTO, R. M. **Hidráulica** Básica. Publicação EESC – USP,4º ed., p. 473. 2006.

PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PARA OS ASSENTAMENTOS DOS MUNICÍPIOS DE DELMIRO GOUVEIA E ÁGUA BRANCA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO

Eduardo Jorge de Oliveira Motta

RESUMO: A região do Alto Sertão Alagoano, onde estão inseridos os municípios de Água Branca e Delmiro Gouveia, nos quais se encontram os 17 assentamentos que fazem parte do diagnóstico participativo aqui apresentado, elaborado em conjunto com 710 famílias que neles residem, caracteriza-se por pertencer ao bioma Caatinga, com índices médios de precipitação pluviométrica inferiores a 500 mm/ano, não permitindo assim, a expansão de forma sustentável de atividades agropecuárias nessas comunidades rurais difusas. Contudo, a partir de março de 2013, com a entrada em operação de cerca de 65 km do Canal do Sertão Alagoano, dos 250 km previstos quando concluído, esse cenário mudou. Nessa perspectiva, a intervenção do poder público de forma participativa quanto ao beneficiamento dessas comunidades, por meio de sistemas simplificados de abastecimento de água tanto para consumo humano quanto para inclusão produtiva, que venha garantir condições mínimas necessárias para o desenvolvimento sustentável desses assentamentos, passa a ser imperativo. Portanto, o Plano apresentado pela Codevasf é um desafio a ser cumprido, justificando assim, os investimentos que estão sendo aplicados pelos governos federal e

estadual na construção do canal.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento regional sustentável, assentamentos, acesso à água.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT PLAN FOR THE SETTLEMENT FROM THE MUNICIPALITIES OF DELMIRO GOUVEIA AND ÁGUA BRANCA IN THE AREA OF INFLUENCE OF THE SERTÃO ALAGOANO CHANNEL

ABSTRACT: The municipalities of Agua Branca and Delmiro Gouveia are part of the Alto Sertão region, in the state of Alagoas, and encompass the 17 settlements that are part of the participatory diagnosis presented here, prepared in conjunction with the 710 resident families. The region is characterized by the Caatinga biome and has an average annual precipitation below 500 millimetres, which does not allow for the sustainable expansion of agricultural activities in the rural communities included in this diagnosis. In March 2013, 65 km out of the projected 250 km of the Sertão Alagoano Canal began operating, which changed the that scenario. With that in mind, participatory government intervention is essential to benefit those communities through simplified water supply systems that cover the needs of both

human consumption and productive inclusion, all in order to ensure minimal conditions for the sustainable development of the settlements covered in this study. Therefore, the Development Plan presented by Codevasf, is a challenge that must be achieved in order to justify federal and state investments in the construction of the Canal.

KEYWORDS: Sustainable regional development, settlements, access to water.

1 | INTRODUÇÃO

A abordagem de um novo modelo de desenvolvimento vem sendo discutido, tendo como princípio central o conceito de sustentabilidade. Os estados brasileiros passam a discutir e redefinir seu arcabouço jurídico e institucional sobre recursos hídricos, os quais se fundamentam nos princípios da gestão descentralizada, integrada e participativa, tendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão, e a água como um bem público e econômico.

No que diz respeito ao uso das águas, um importante marco na legislação brasileira foi à sanção da Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Entre os seus principais objetivos estão assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados, e promover uma utilização racional e integrada dos recursos hídricos. BRASIL (1997).

Esta nova Lei das Águas definiu as bacias hidrográficas como unidades de planejamento para a gestão das águas, e estabeleceu os comitês de bacias hidrográficas como instâncias responsáveis pela busca de melhores soluções para suas realidades, bem como pela resolução de possíveis conflitos pelo uso da água em cada região. Os comitês contam com a participação de usuários da sociedade civil organizada, prefeituras municipais e representantes de governos federal, estaduais e Distrito Federal.

Muitos estados da federação avançaram na implementação dessa lei, efetivando o funcionamento de conselhos estaduais de recursos hídricos, elaborando e colocando em funcionamento órgãos gestores desses recursos, criando comitês de bacias hidrográficas, assim como implementando outorgas, fiscalizações e outros instrumentos de gestão. CAISAN (2009).

Nessa perspectiva, o maior desafio das ações de acesso à água para o consumo humano é o monitoramento da quantidade e qualidade da água disponível às famílias e a constante capacitação destas no que tange aos cuidados com a água para evitar sua escassez e garantir sua potabilidade.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco apresenta uma vasta variedade do ponto de vista social, cultural, ambiental e climático. No entanto, a presença de uma grande quantidade de água na região semiárida, onde a maioria das bacias é intermitente, nos traz a falsa ideia de que a região semiárida de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe não sofre os efeitos das secas.

A região semiárida do estado de Alagoas, inserida na bacia do São Francisco, onde foi realizado esse trabalho, apresenta índices médios de precipitação pluviométrica inferiores a 500 mm/ano, possui no estado uma área de aproximadamente 14.631 km². A maioria e os mais importantes afluentes do rio São Francisco ali existentes se caracterizam por serem intermitentes, não permitindo com isso, a expansão de forma sustentável de culturas agrícolas permanentes e temporárias. Portanto, o desenvolvimento da agricultura na região, depende fundamentalmente da irrigação, em razão de frequentes e severas estiagens. Neste sentido, o Canal do Sertão Alagoano, cujo traçado projetado vai de Delmiro Gouveia a Arapiraca, com aproximadamente 250 km de extensão e capacidade de vazão de até 32 m³/s, vem sendo construído para proporcionar alternativas sustentáveis de desenvolvimento regional, sendo destinado a múltiplos usos, que atenderá, quando finalizado, 42 municípios do agreste e sertão alagoano. Motta et al (2013).

2 | OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o levantamento social e produtivo dos assentamentos localizados nos municípios de Água Branca e Delmiro Gouveia, situados na área de influência do Canal do Sertão Alagoano, visando à implantação do Plano da Codevasf para o desenvolvimento regional de forma sustentável, que prevê, também, o acesso à água por meio de sistemas simplificados de abastecimento para consumo humano, dessedentação animal e irrigação de quintais produtivos.

3 | METODOLOGIA

Primeiramente a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf) realizou o levantamento cartográfico/aerofotográfico, reconhecimento pedológico, classificação de terras para irrigação e aptidão agrícola, além de estudos de viabilidade para o aproveitamento integrado dos recursos hídricos na área de abrangência do Canal do Sertão Alagoano, visando criar segurança hídrica e alternativa de desenvolvimento econômico à região do semiárido e agreste alagoano.

No segundo momento ocorreu a realização do diagnóstico participativo, onde foi apresentado o Plano da Codevasf de Desenvolvimento Sustentável do Sertão Alagoano em cada assentamento, que na ocasião, foram eleitas e formadas comissões comunitárias que representam a sociedade organizada na execução do Plano. A partir disso foram realizados os cadastramentos das famílias, por meio da aplicação de questionários, dos quais foram obtidos dados qualitativos e quantitativos, resultando no conhecimento do nível da qualidade de vida, vocação,

aspectos sociais e produtivos e, principalmente, da limitação do acesso a água para a sobrevivência e inclusão produtiva, como também da quantidade de famílias e habitantes existentes por assentamento. Foram feitos também registros fotográficos e georreferenciamentos das residências e quintais potencialmente produtivos. Em seguida, os moradores de cada assentamento participaram de reuniões com a equipe social da Codevasf para elaboração do diagnóstico participativo, promovendo a socialização e a obtenção de informações sobre a realidade local, espelhando a situação do assentamento relativo ao acesso à saúde, educação, organização social, meio ambiente, condição fundiária, produtiva e fonte hídrica, além do histórico do assentamento. Após a elaboração do relatório, a equipe se reuniu em cada comunidade para a homologação e validação dos dados pelas comissões comunitárias, como também pelas famílias dos respectivos assentamentos, resultando em um relatório que reflete as experiências vivenciadas, os anseios e as expectativas locais.



Figura 1 – Constituição de comissão comunitária



Figura 2 - Diagnóstico participativo

A Presidência da República lançou na cidade de Arapiraca em Alagoas, no dia 26 de julho de 2011, por meio do Decreto Nº 7.535, o Programa Água Para Todos, visando à universalização do acesso à água em áreas rurais para consumo humano e para a produção agrícola, destinado ao pleno desenvolvimento humano e a segurança alimentar e nutricional de famílias em situação de vulnerabilidade social.

Para tanto, a Codevasf realizou uma grande mobilização social que resultou na participação de todos os beneficiários em oficinas de capacitação em Gestão da Água, além de impulsionar de maneira espontânea a formação de comitês gestores municipais, constituídos pelas lideranças das principais organizações da sociedade civil e poderes públicos municipais, como também a constituição de comissões comunitárias em cada povoado beneficiado, cujas organizações representaram e deram legitimidade ao Programa, criando assim, uma rede soberana e de participação popular, tendo como resultado o fortalecimento das organizações sociais em torno do Programa Água Para Todos.

da adutora da Companhia de Saneamento de Alagoas - Casal, em outras possuem cisternas de placa e de polietileno, com capacidade de armazenamento de até 16 mil litros, que no período de estiagem são abastecidas por meio de caminhão pipa.

Como exemplo, dentre outros, há o Assentamento Maria Cristina (Agrovilas I, II e III), onde os quintais produtivos possuem fruteiras e outras culturas agrícolas que são molhadas com água tratada para consumo humano, proveniente da rede da Casal, gerando uma insegurança no abastecimento humano e, conseqüentemente, insuficiência de água para atender todos os usos da população da região em estudo.

Portanto, perante a vocação de produção agropecuária das famílias dessa comunidade, faz-se necessário o reforço hídrico para o suprimento da demanda, visando, prioritariamente, a parte produtiva, uma vez que, essa carência sendo superada, teoricamente sobraria água da Casal para o atendimento exclusivo do consumo humano de todos os habitantes residentes nas três agrovilas. A partir da contratação pela Codevasf de projetos executivos, visando o abastecimento d'água para as comunidades difusas na área de abrangência do Canal do Sertão Alagoano, incluindo o referido assentamento e os demais, espera-se que se garanta o acesso à água para consumo humano e produtivo, eliminando-se dessa forma, a carência hídrica hoje predominante, conforme modelo projetado apresentado nos croquis abaixo.

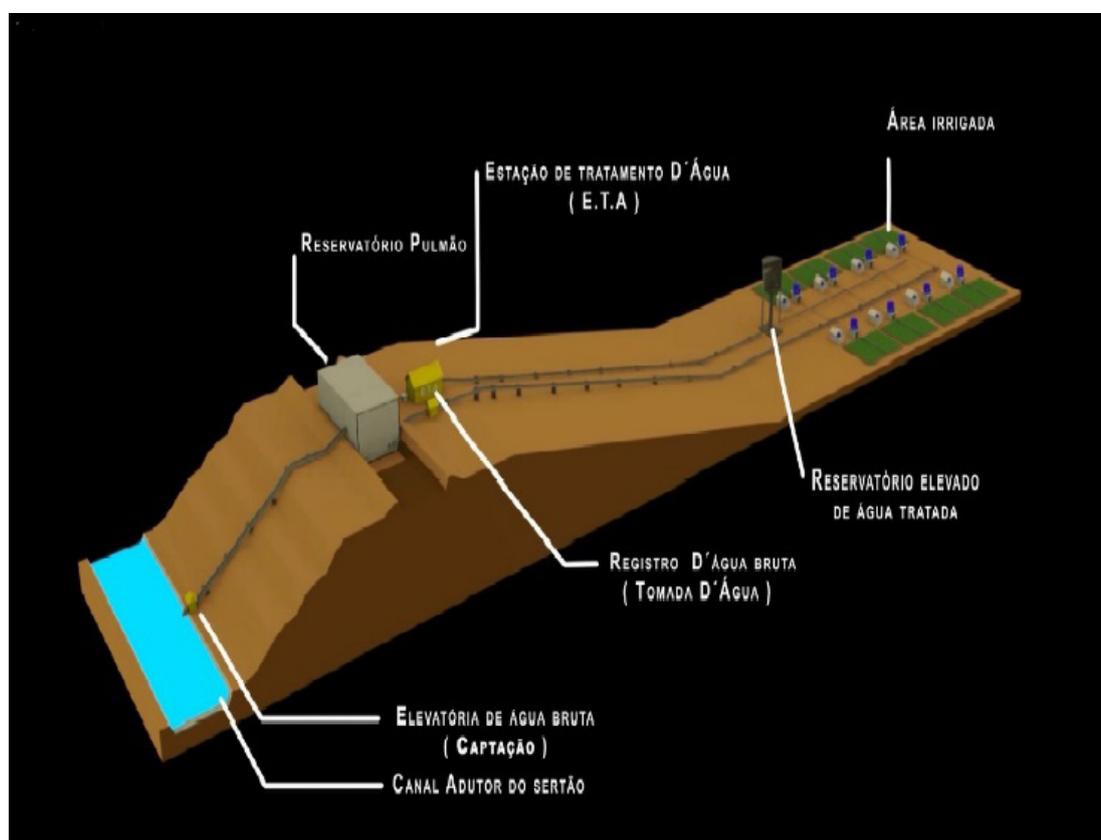


Figura 4 – Projeto de adução de água para irrigação comunitária

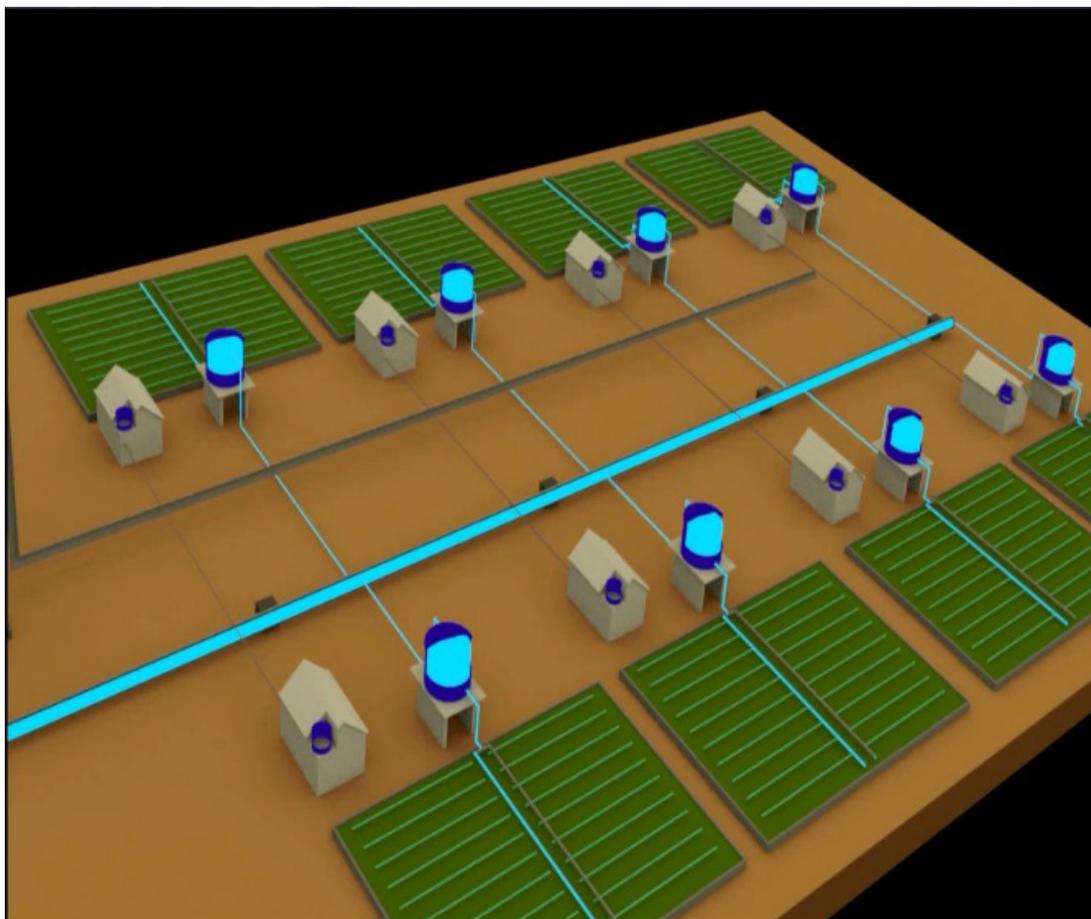


Figura 5 – Projeto de irrigação de quintais produtivos por gotejamento

Constata-se na sua maioria a vocação das famílias assentadas para a produção agropecuária. Alguns assentamentos que ficam próximo ao canal já aproveitam água do canal para irrigação, através da união de esforços familiares para tornar essas terras produtivas. Por iniciativa própria instalaram tubulações para irrigação, onde produzem, com água proveniente do canal, abóbora, feijão, milho, batata, inhame, mandioca, amendoim, melão, melancia, maracujá, alface, couve-flor, berinjela, cebola, tomate, pimentão, salsa, morango, cuja produção é vendida nas feiras livres das cidades de Delmiro Gouveia e Água Branca.

Além disso, a Codevasf implementou ações de apicultura e cajucultura, por meio do Plano Brasil Sem Miséria, ocasião em que foram realizadas capacitações para produtores de acordo com os critérios estabelecidos pelo referido Plano e, conseqüentemente, foram distribuídos kits de apicultura e mudas de caju precoce, com a finalidade de dar início à atividade de produção de mel e de polpa e castanha de caju, como alternativa de incremento à renda familiar.

Verificou-se ainda nesses assentamentos o potencial turístico, através da formação do reservatório de Xingó para o aproveitamento hidrelétrico, com 65 km de extensão, encaixado no cânion do rio São Francisco, que elevou o nível da água do rio em 139 metros, proporcionando aos municípios de Delmiro Gouveia, Olho D'Água do Casado e Piranhas em Alagoas; Paulo Afonso na Bahia e Canindé do São Francisco no estado de Sergipe, condições especiais para o desenvolvimento do turismo. Nessa

perspectiva, os governos municipais e estaduais, como também a iniciativa privada, vêm realizando investimentos no setor, transformando, dessa forma, a região em um importante destino turístico do ponto de vista regional, nacional e internacional. Os assentamentos da reforma agrária, localizados às margens do cânion poderão ser inseridos nesse segmento, haja vista possuírem atrativos cênicos, geográficos, ambientais, geológicos, culturais e rurais significativos para a visitação.

Durante o trabalho de diagnóstico, verificou-se também, a existência de organizações comunitárias em todos os assentamentos, que geralmente é realizada através da formação em cada localidade de um conselho administrativo, composto por três membros e conselho fiscal, composto por 10 membros, com eleições a cada dois anos. Os membros reúnem-se para discutirem assuntos de interesse da comunidade, sendo essas reuniões registradas em atas.

Há nas comunidades uma grande expectativa para que a água do Canal do Sertão Alagoano chegue por meio de adução às residências e seus respectivos quintais produtivos, tanto para consumo humano e dessedentação animal, quanto para a produção agropecuária, tornando assim os assentamentos estruturados e consolidados para o pleno desenvolvimento sustentável, assegurando com isso a melhoria da qualidade de vida da população beneficiária. Ressalta-se, todavia, que no município de Água Branca não foi realizado o diagnóstico em todos os assentamentos ali existentes, uma vez que alguns deles estão localizados em altitude elevada, antieconômica para o bombeamento de água e/ou fora da área de abrangência do Canal do Sertão.

Os parâmetros estabelecidos para incluir a comunidade a ser trabalhada e beneficiária pelo Plano da Codevasf é que a mesma esteja situada em torno de 15 quilômetros de distância do eixo do canal e numa altitude inferior a 100 metros, tomando como referência o canal. Vale ressaltar que este limite é mais rigoroso em função da altitude, tendo em vista os aspectos de viabilidade econômica, no caso de adução de água bruta para produção agropecuária.

5 | CONCLUSÕES

Diante dos dados do diagnóstico participativo realizado nos assentamentos na área de abrangência do Canal do Sertão Alagoano, no âmbito dos municípios de Água Branca e Delmiro Gouveia, foi constatado que há vocação cultural das famílias para a produção agropecuária, onde se observa que existe uma grande dedicação e esforços familiares para obter seu sustento através de atividades agropastoris.

Verifica-se, tanto nos assentamentos no município de Água Branca, quanto no de Delmiro Gouveia, a presença de solos aptos para a produção agrícola, com relevo suavemente ondulado a plano, presença de afloramento de rochas em alguns locais e com razoável profundidade, o que limita o uso indiscriminado da irrigação sem os

devidos cuidados na sua drenagem, em função da possibilidade de salinização dos solos, além da necessidade de adoção de práticas conservacionistas de manejo.

A principal carência identificada, que se torna a mais importante reivindicação dos assentados é a falta de acesso a uma fonte hídrica permanente em quantidade e qualidade suficiente, que permita água para o consumo humano, dessententação animal e para instalação de sistemas simplificados de irrigação, que venha atender as expectativas dessas famílias que desejam produzir e ter a garantia da colheita de produtos para consumo e para o mercado.

Apesar dessa limitação, existem produtores nessas comunidades que estão gerando alimentos, oriundos da atividade agropecuária que garantem a sobrevivência da família e que geram excedentes que são vendidos nos mercados municipais, proporcionando uma melhoria na qualidade de vida dessa população.

Neste sentido, considera-se de fundamental importância a intervenção do poder público quanto ao beneficiamento dessas comunidades, com sistemas de abastecimento d'água tanto para consumo humano quanto produtivo, que venha garantir as condições mínimas necessárias para o desenvolvimento sustentado desses assentamentos.

A falta de apoio mais efetivo dos órgãos responsáveis pela política de reforma agrária, tanto na parte de infraestrutura hídrica quanto de assistência técnica, tem gerado dificuldades para que a exploração dos lotes pelos assentados no curto e médio prazo, que possa alcançar resultados satisfatórios relativos à atividade agropecuária. Além disso, há também conflitos em relação à regularização fundiária, onde se observa situações pendentes, notadamente nos assentamentos Juá e Moxotó das Areias, cujas famílias vivem em situação indefinida há quase duas décadas. Contata-se, ainda, que em alguns assentamentos não há residências construídas, por razões diversas.

Observa-se que os assentados do Alto Sertão Alagoano aos poucos vêm ampliando seus espaços de conquistas e construindo cidadania. No que diz respeito à atividade produtiva que realizam, estão obtendo em nível local e regional cada vez mais repercussão sob o ponto de vista organizacional, social e econômico.

Tomando como premissa que a conquista da terra no sertão, apesar de essencial, é apenas o primeiro avanço, sendo imprescindível prover o acesso à água de forma consolidada, que venha garantir um sistema produtivo sustentável, ornando assim os assentamentos como uma célula coletiva exitosa, eliminando, conseqüentemente, os conflitos gerados, principalmente pela falta do elemento vital para a sobrevivência, que é a água.

Contudo, faz-se necessário também capacitar os produtores quanto ao processo de utilização dos recursos naturais e do uso adequado da água, tomando como referência as demandas de conservação ambiental, entendendo que os recursos naturais e a biodiversidade são ferramentas que viabilizam a produção com bases agroecológicas. Para tanto, é preciso resgatar as práticas produtivas tradicionais,

voltadas para a segurança alimentar e a manutenção da biodiversidade do bioma Caatinga.

É importante ainda ressaltar a necessidade de incentivar o turismo e a produção artesanal, visando gerar alternativas de incremento de renda e de desenvolvimento regional. É nesse contexto que algumas experiências inovadoras apontam caminhos promissores, podendo contribuir para a reflexão, assim como para a efetivação de processos duradouros e sustentáveis. Os desafios são grandes, embora, em termos produtivos, já existem alternativas para o desenvolvimento de tecnologias apropriadas à agricultura familiar em regiões semiáridas. Um dos maiores desafios também reside no processo de capacitação e formação de agricultores, em especial junto aos jovens. Nesse sentido, faz-se necessário ampliar seus horizontes, adotando métodos adequados de planejamento da produção e de gestão do empreendimento que garanta o acesso aos mercados de forma ampla, organizada e competitiva.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Decreto Nº 7.535 de 2011**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7535.htm. Acessado em: 16 mai. 2015.

BRASIL. **Lei Nº 9.433. Política nacional de recursos hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos**, Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1997.

CAISAN. **Subsídio para Balanço das Ações Governamentais de Segurança Alimentar e Nutricional e da Implantação do Sistema Nacional**: *Documento elaborado para o Encontro*: III Conferência Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional + 2 anos. Brasília: MDS, 2009.

MOTTA, E.J.O. et al. Programa Água Para Todos: Diagnóstico para o aproveitamento hidroagrícola das comunidades rurais difusas na área de influência do Canal do Sertão Alagoano. *In Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves-RS, Nov. 2013.

SEINFRA. Secretaria de Estado de Infraestrutura. Canal do Sertão avança por 123 Km em Alagoas. Disponível em: <http://www.infraestrutura.al.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/2014/01-jan/canal-do-sertao-avanca-por-123-km-em-alagoas>. Acesso em: 18 de maio de 2015.

ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE RELEVANTES PARA A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELOSO (SUB-BACIA DO RIO PARAPEBA), MINAS GERAIS, BRASIL

Joselaine Aparecida Ribeiro

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências
Belo Horizonte – MG

Thiago Vieira da Silva Matos

Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia

Antônio Pereira Magalhães Júnior

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências

RESUMO: Entender a distribuição espacial dos corpos de água e a sua dinâmica nos territórios é imprescindível para a implantação de ações de gerenciamento dos recursos hídricos. Dessa maneira, é relevante a identificação de elementos cuja forma, posição e processos afetam as condições de qualidade e de quantidade dos recursos hídricos. O trabalho propõe uma metodologia de zoneamento de áreas relevantes à conservação hídrica, com vistas à manutenção da qualidade e da quantidade das águas. Esse zoneamento, destinado ao planejamento e à tomada de decisão, objetiva a identificação e definição de áreas prioritárias para o manejo de bacias hidrográficas, a fim de assegurar as condições de uso dos recursos hídricos. A metodologia foi aplicada na bacia do rio Veloso, integrante da bacia do rio Paraopeba-MG. Os resultados

mostram que a metodologia é adequadamente aplicável a pequenas bacias, cujo zoneamento constitui uma ferramenta relevante para a gestão territorial de bacias hidrográficas.

PALAVRAS-CHAVE: gestão de recursos hídricos; zoneamento; manejo de bacias.

ABSTRACT: Understanding the water distribution and their dynamics in geographic space is essential for management actions of water resources. Thus, it is important to identify elements whose shape, position and processes affect the quality conditions and quantity of water resources. Within this context, the paper presents a proposal of watershed zoning applied to water conservation, aiming at maintaining the quality and quantity of water. This zoning, for the planning and decision making, aims to identify and define priority areas for river basin management to ensure the conditions of use of water resources. The proposal was applied in the case of the Rio Veloso basin, integrating the Rio Paraopeba basin, central area of Minas Gerais. The results show that the method is achievable for small basins whose zoning is a relevant tool for watershed management.

KEYWORDS: water resources management; zoning; watershed management.

1 | INTRODUÇÃO

O zoneamento de áreas para a conservação de recursos hídricos é necessário para o adequado planejamento e manejo de bacias hidrográficas. Importante destacar que a Lei das Águas, que institui a política nacional que trata das diretrizes e instrumentos a serem adotados na gestão de recursos hídricos, traz no seu escopo a “*criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos*” (BRASIL, 1997), a serem apontadas nos planos diretores de bacias hidrográficas.

Para tanto, é importante a identificação de elementos cuja forma, função e relações espaciais afetam a disponibilidade hídrica, do ponto de vista de qualidade e quantidade. O mapeamento desses elementos e sua categorização espacial em zonas, valendo-se de critérios pré-definidos, cujas variáveis são agrupadas por similaridade da estrutura e funcionamento, é uma estratégia que contribui para o melhor ordenamento do uso e ocupação do terreno, bem como para a adoção de medidas mais efetivas voltadas à conservação dos recursos hídricos. É importante também enfatizar o processo sociopolítico que deve envolver a proposição de zonas, para que o zoneamento reflita os anseios da sociedade na administração e proteção dos valores naturais e culturais e seja um instrumento de gestão efetivo (SANTOS 2004).

O presente trabalho objetiva apresentar uma proposta de zoneamento voltada à proteção dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, abarcando tanto áreas legalmente protegidas por restrições de uso, quanto áreas relevantes do ponto de vista da dinâmica hidroambiental.

Dessa maneira, a proposta busca definir zonas homogêneas quanto aos aspectos de potencialidade, fragilidade, conformidade ou conflito, com base na conservação hídrica. metodológica que abarca tanto áreas legalmente caracterizadas pela restrição de uso e pela proteção, quanto áreas naturalmente relevantes, do ponto de vista da estrutura e do funcionamento, para a manutenção dos recursos hídricos em uma bacia.

A literatura apresenta diferentes abordagens metodológicas para a definição de zonas ou unidades territoriais. Nesse estudo adota-se a análise espacial por meio de sistema de informações geográficas (SIG) como base de trabalho. A crescente facilidade no acesso e no uso dos SIGs torna essas ferramentas viáveis de serem adotadas no planejamento pelas esferas públicas. Silva e Pruski (2005) afirmam que o uso do SIG permite agregar, em um único pacote, a capacidade de mapear características e de associá-las a um banco de dados, o que permite análises espaciais refinadas em um curto espaço de tempo.

A proposta foi aplicada ao zoneamento da bacia hidrográfica do rio Veloso, pertencente à bacia do rio Paraopeba – MG, com vistas à conservação de mananciais, aqui entendidos como as fontes de água doce superficial e subterrânea, usadas para

o abastecimento público (SABESP, s/d).

2 | PROPOSTA METODOLÓGICA

Baseado no método espacial de sobreposição de temas associado à abordagem qualitativa, a proposta metodológica envolve dois aspectos:

1) identificação de categorias analíticas espaciais, definidas sob os pontos de vista físico e legal, que apresentam interface com a conservação das águas e consideradas importantes para o manejo de bacia; e

2) utilização de SIG e técnicas de sensoriamento remoto para identificação e mapeamento das categorias definidas.

A seguir são esclarecidos e discutidos os dois aspectos da abordagem metodológica.

2.1 Definição das categorias espaciais analíticas: discussão e proposição

Partindo do pressuposto de que há ambientes e elementos da paisagem cuja estrutura e função possuem relação direta com a dinâmica das águas por afetar as suas condições, propôs-se à identificação de categorias espaciais altamente relevantes para a conservação dos recursos hídricos, do ponto de vista qualitativo. Entende-se que essas categorias são uma referência, podendo ser alteradas, com inclusão ou exclusão de categorias, conforme as especificidades da bacia e a relevância da categoria para a área em estudo. Assim, foram determinadas as seguintes categorias espaciais de análise, apresentadas na tabela 1:

CATEGORIAS ANALÍTICAS	JUSTIFICATIVA	EXEMPLO
Área de preservação permanente (APP)	De acordo com o Código Florestal Brasileiro, as Áreas de Preservação Permanente (APP) são áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de proteger os recursos hídricos, a estabilidade geológica, a biodiversidade, a fauna, a flora e os solos, bem como assegurar o bem-estar humano.	- Áreas de encostas acentuadas; - Matas ciliares em áreas marginais de córregos, rios e reservatórios; - Áreas próximas às nascentes.
Área de recarga direta de água subterrânea	Segundo Matus (2009) as áreas de recarga direta subterrânea correspondem a áreas planas ou côncavas permeáveis, onde o fluxo vertical de infiltração é significativo; este é alimentado formando os aquíferos. Um aspecto importante nessa questão do zoneamento é a conexão entre os aquíferos e a recarga externa.	- Áreas planas cobertas por vegetação; - Afloramentos rochosos fissurados.
Área úmida	As áreas úmidas existem em todos os tipos de ecossistemas e são importantes para a manutenção da biodiversidade. São ecossistemas complexos, com aspectos hidrológicos, pedológicos e vegetacionais específicos.	- Brejos; Várzeas; Pântanos; Manguezais; Áreas inundáveis, entre outros. Obs.: existem 42 áreas úmidas classificadas.

Área de contribuição de mananciais	De acordo o Ministério do Meio Ambiente as áreas de mananciais são as fontes de água doce, superficiais ou subterrâneas, utilizadas para consumo humano ou desenvolvimento de atividades econômicas. As áreas contendo os mananciais devem ser alvo de atenção específica, contemplando aspectos legais e gerenciais.	Fontes de abastecimento: Rios; Lagos; Represas; Poços subterrâneos.
Área urbana	Tucci (2008) afirma que a população e o meio ambiente têm sofrido impactos por práticas insustentáveis de desenvolvimento urbano, que inicia pelo uso do solo e segue na limitada capacidade de gestão estratégica das cidades para resolver os problemas relacionados com a gestão das águas urbanas. Desta forma, a área urbana foi classificada como uma das zonas de fragilidade de extrema importância para conservação da bacia hidrográfica.	Lançamento de efluentes; Resíduos sólidos; Águas pluviais urbanas.

Tabela 1: Categorias espaciais analíticas para zoneamento de áreas de conservação hídrica.

As **áreas de preservação permanente** (APPs) estão em uma categoria criada legalmente pelo Código Florestal brasileiro e sua destinação é restrita a proteção ambiental, o que significa que são áreas que não podem ser ocupadas por atividades que alterem suas características e funções ambientais, como “*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*” (BRASIL, 2012). Assim, considerando a conservação hídrica, as APP são definidas pelas faixas marginais de cursos naturais permanentes de água, tanto na área urbana quanto rural, estabelecidas de acordo com a largura dos cursos de água, bem como pela faixa de entorno de lagos e lagoas, variando de acordo com a área do espelho de água.

Outra categoria analítica a ser considerada são as **áreas de recarga direta de água subterrânea**, relevantes para a manutenção da perenidade dos cursos de água. De modo geral, a recarga de aquíferos é definida como um processo no qual o fluxo de água infiltrado atinge um aquífero, constituindo um incremento ao reservatório de água subterrânea (DE VRIES, SIMMERS et al., 2002, citado por BARRETO, 2006). Embora a identificação com maior refinamento dessas áreas exijam alguns estudos hidrogeológicos, nesse trabalho foram consideradas como áreas de recarga direta aquelas favoráveis à infiltração das águas pluviais e à percolação da água infiltrada.

Outra categoria espacial altamente relevante para a conservação das águas envolve as **áreas úmidas**. Nesse estudo, foram consideradas como áreas úmidas todas as várzeas, brejos e outras áreas inundáveis que se mantêm úmidas a maior parte do ano. As várzeas são definidas como “*uma feição deposicional do vale do rio associada com um regime climático ou hidrológico particular da bacia de drenagem*” (ROCHA, 2011). Nestas áreas ocorrem processos físicos, químicos e bióticos de grande importância para as condições de qualidade e o regime hídrico. Do ponto

de vista socioambiental, as áreas úmidas atuam no amortecimento de inundações (zonas “tampão”) e na manutenção da qualidade das águas fluviais. Essas áreas também contribuem para manter o *modus vivendi* de comunidades tradicionais, que dependem, tanto material quanto culturalmente, desses ambientes para a sobrevivência.

A categoria denominada **área de contribuição de mananciais** é igualmente relevante para a proteção dos aspectos quantitativos e qualitativos das águas em bacias hidrográficas. Os mananciais “*são reservas hídricas ou fontes utilizadas para o abastecimento público de água*” (Sabesp, s/d). A partir da localização, no manancial, do ponto de captação de água superficial, foi delimitada a área de contribuição a montante, cujo manejo é relevante para a manutenção das condições de qualidade e de quantidade dessa água para essa finalidade específica.

Finalmente a categoria **área urbanizada** foi avaliada considerando o seu grau de adensamento, as características da destinação dos resíduos sólidos, do sistema de esgotamento sanitário e da drenagem urbana pluvial. É fato o baixo índice de saneamento básico nas cidades brasileiras, situação da qual não se furta as cidades e núcleos populacionais existentes na bacia hidrográfica do rio Veloso. Nas bacias mais urbanizadas, especialmente nos países em desenvolvimento, o uso urbano costuma ser o principal responsável pela poluição orgânica dos rios, devido ao lançamento constante de efluentes sanitários de residências e empresas, praticamente sem tratamento (VARGAS, 1999).

2.2 Mapeamento das categorias de análise

Adotou-se a análise espacial por sobreposição, associada à abordagem qualitativa de identificação visual e delimitação das feições, com uso de sensoriamento remoto e validação por controle de campo. Os seguintes planos de informação espacial foram utilizados:

a) rede hidrográfica na escala de 1:50.000, cuja fonte é a folha topográfica SF-23-X-A-II-2 do mapeamento sistemático nacional, digitalizada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam);

b) pontos de captação de água para abastecimento, georreferenciados e outorgados¹, obtidos junto ao Igam;

c) curvas de nível na escala de 1:50.000, cuja fonte é a folha topográfica SF-23-X-A-II-2 do mapeamento sistemático nacional, fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A base está disponível para download no sítio eletrônico do IBGE no endereço: < <http://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa16250>>;

d) modelo de elevação produzido a partir do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e

e) imagens orbitais do satélite Landsat 5, cujo acesso se dá por meio de 2

1. Referem-se às captações para abastecimento de água legalmente regularizadas, ou seja, outorgadas junto à esfera governamental estadual.

ferramentas web, (*Glovis* e *EarthExplorer*), após cadastro. As imagens foram acessadas pelos endereços <<http://glovis.usgs.gov/>> e <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Foram obtidas imagens da época de estiagem e da época chuvosa.

A partir da Resolução 303/2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) (BRASIL, 2002), foram identificadas as **áreas de preservação permanente** (APP) hídrica – definida pela presença de nascente e curso de água – gerada a partir de um “*buffer*” aplicado no plano de informação da rede de drenagem, em conformidade com a legislação vigente. As APPs de topo de morro foram mapeadas a partir do modelo digital do terreno associado à interpretação das curvas de nível, de acordo com a definição legal em vigor.

Foram consideradas como **áreas de recarga direta de área subterrânea** todas aquelas identificadas pela declividade entre 0% e 3% com cobertura vegetal natural e pasto, bem como as áreas de afloramentos rochosos fissurados. Como lembra Rebouças (2002), as áreas planas são áreas de grande potencial de recarga. Desta forma, para obter esta informação foi usada uma base de declividade oriunda de uma interpolação de uma imagem SRTM e classificada de acordo com o Manual de Geomorfologia do IBGE (2009), onde é definida a declividade de 0% a 3% como plana.

A geração de **áreas úmidas** em um SIG pode ser feita com diferentes algoritmos. Entretanto, a qualidade do resultado depende mais da qualidade dos dados de entrada, que muitas vezes constitui um fator restritivo, do que do algoritmo escolhido. A utilização de determinadas faixas espectrais das imagens de satélite e observações em campo ajudaram no mapeamento das áreas úmidas. Foram realizadas comparações entre imagens obtidas em quatro diferentes épocas do ano, duas da época seca e duas da época chuvosa. Foram realçadas as bandas no infravermelho próximo, que destacam a água e áreas de solo úmido (ECKHARDT, 2008). Foram consideradas como áreas úmidas todas que se mantiveram assim na época chuvosa e em pelo menos uma época seca.

No caso das áreas inundáveis, foram utilizadas imagens reclassificadas da época chuvosa. Após a geração das superfícies, a definição das áreas inundáveis é feita através da reclassificação, que representa a divisão da superfície do terreno pela superfície da linha d’água (ANA, CPRM & IGAM, 2004). A literatura recomenda que o mapeamento de áreas inundáveis em áreas urbanas adote a equidistância das curvas de nível de pelo menos um metro para fins de planejamento territorial urbano (DIEDRICH, 2010). Considerando que a identificação de áreas inundáveis nesse estudo não se presta a essa finalidade, sendo aceitável uma menor precisão na sua delimitação, entende-se que a equidistância de 20 metros das curvas de nível do plano de informação obtido, associado aos pontos cotados e a rede de drenagem, atendam ao objetivo proposto por esse trabalho.

Em relação às **áreas de mananciais**, foram identificadas na bacia de estudo as captações de água destinadas ao abastecimento público e delimitadas suas

respectivas áreas de contribuição. Destaca-se que tal mapeamento foi realizado para os mananciais cujas captações encontram-se em rios de menor ordem, ou seja, rios de cabeceiras. Se tal critério fosse adotado sistematicamente em todas as captações, a proposta metodológica seria inviabilizada, no caso das captações em rios de grande porte e reservatórios, cujas áreas de contribuição são extensas. Cita-se como exemplo a própria bacia hidrográfica que foi adotada como área de teste para esse estudo. A bacia do rio Veloso deságua diretamente em um reservatório voltado ao abastecimento de água, constituindo assim área de manancial em sua integridade.

O mapeamento de **áreas urbanas** foi feito por sensoriamento remoto, com identificação visual em imagem orbital e verificação em campo. A extensão relativamente pequena da bacia facilitou essa abordagem. No entanto, para bacias hidrográficas de áreas maiores, é possível realizar a classificação semicontrolada a partir de imagem de satélite.

3 | A ÁREA DE ESTUDO

A fim de testar a proposta metodológica e avaliar seus pontos fortes e limitações, essa foi aplicada na bacia hidrográfica do rio Veloso, que abrange parte da área de contribuição do manancial do rio Manso, represa onde é captada a água para abastecimento de parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Foi realizado o mapeamento de uso e ocupação do terreno, por sensoriamento remoto (imagem de satélite), com aferição em campo

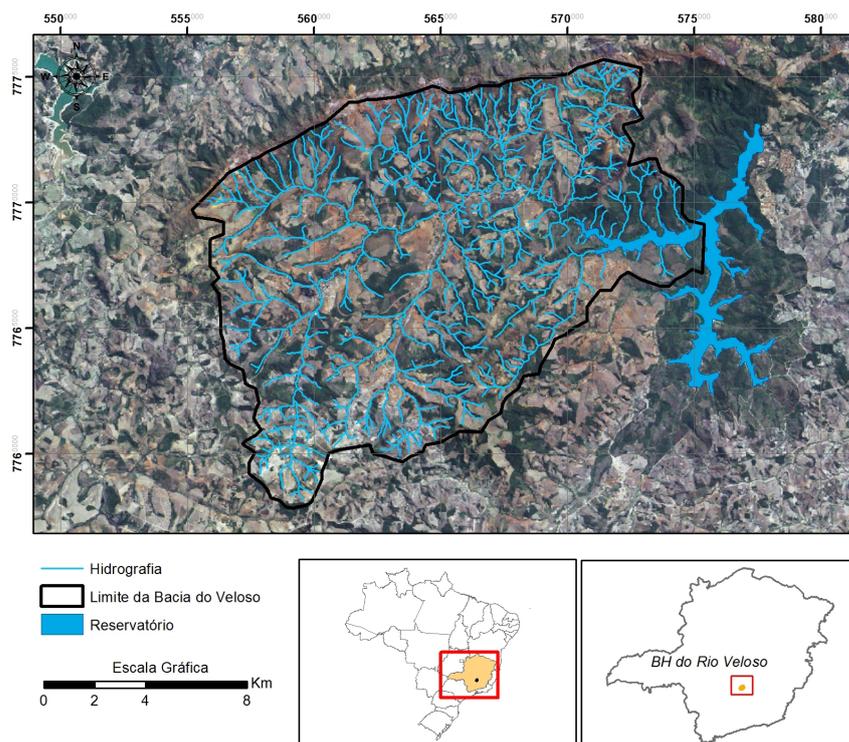


Figura 01: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Veloso.

A bacia hidrográfica do rio Veloso (figura 1), localizada no limite da RMBH, é uma sub-bacia do rio Manso, que por sua vez deságua em represa homônima, e é afluente do rio Paraopeba. A represa é destinada ao abastecimento público de água pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). A bacia abrange áreas dos municípios de Itatiaiuçu, Rio Manso e Brumadinho.



Figura 2: Área de agricultura no município de Itatiaiuçu.



Figura 3: Barragem de rejeitos da extração de minério de ferro

A partir das imagens de satélite (Landsat 5) e de observações de campo, foi possível perceber que o uso dos recursos hídricos nesta área é bastante diversificado: agricultura, mineração e usos urbanos. Grande parte da área é ocupada por cultivos agrícolas familiares (figura 2), os quais fazem uso direto dos cursos d'água que

estão localizados próximo às propriedades.

A mineração é outra atividade presente na área e que depende intensamente dos recursos hídricos para o seu funcionamento. Na figura 03 é retratada parte de barragem de rejeitos produzidos pela extração de minério de ferro na área. Por fim, tem-se a utilização dos recursos hídricos nas áreas urbanas. De acordo com Vargas (1999) Nas bacias mais urbanizadas, especialmente nos países em desenvolvimento, o uso urbano costuma ser o principal responsável pela poluição orgânica dos rios, devido ao lançamento constante de efluentes sanitários de residências e empresas, praticamente sem tratamento.

4 | RESULTADOS, DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A partir da avaliação da similaridade das características das unidades espaciais analíticas, elas foram agrupadas em zonas. O mapa de zoneamento da bacia do Rio Veloso (figura 4) foi feito primordialmente a partir das categorias analíticas prioritárias para proteção dos recursos hídricos. Foram definidas as seguintes zonas:

A) Zona de preservação permanente (ZPP), que abrange as áreas de entorno dos cursos de água e reservatório, equivalendo em parte às áreas legalmente definidas como áreas de preservação permanente (APP hídrica), bem como as áreas úmidas, que dependendo de seu contexto e contiguidade, também pode ser também incluída na zona de restrição de usos;

B) Zona de restrição de usos (ZRU), envolvendo as áreas que contribuem para a recarga subterrânea, mapeadas como APP de topo de morro e afloramento, e também algumas áreas identificadas como áreas úmidas; e

C) Zona de manejo de efluentes e contaminantes (ZEC), que equivale às áreas urbanas e de contaminação de mananciais.

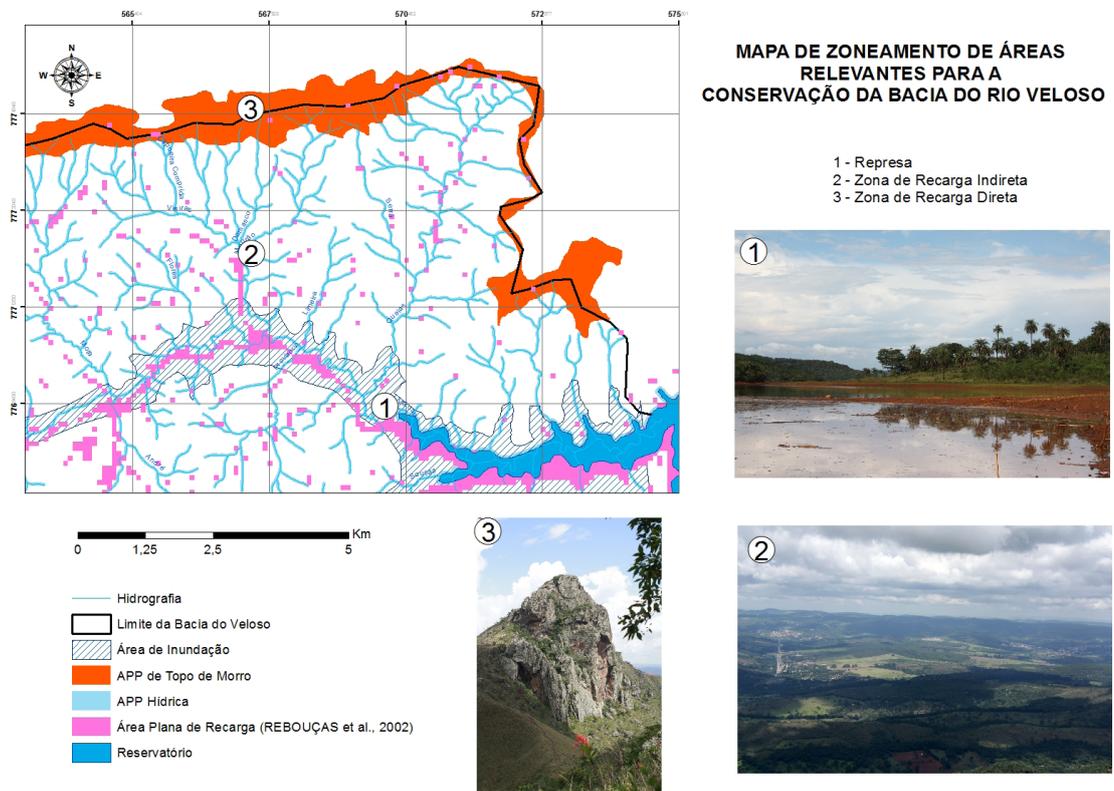


Figura 4: Zoneamento de áreas relevantes para a conservação da bacia do Rio Veloso

A escala de trabalho é um fator primordial para a efetividade da proposta. A finalidade do zoneamento vai ditar a escala de trabalho a ser adotada, pois essa deve ser definida de acordo com o tipo de planejamento, que vai demandar um maior ou menor detalhamento na representação esquemática das categorias analíticas, bem como sua variabilidade no tempo e no espaço.

A implementação do zoneamento deve envolver a tomada de decisão negociada com os agentes que atuam e residem na área. No caso de atividades já consolidadas e incompatíveis com as medidas e ações definidas no zoneamento, é importante adotar mecanismos formais como contrato de gestão e ajustamento de conduta, ou instrumentos econômicos como a compensação, quando couber, bem como o acompanhamento das medidas implantadas. O zoneamento para a proteção dos recursos hídricos, enquanto estratégia de políticas públicas, vem complementar e viabilizar o enquadramento dos cursos de água de acordo com os usos preponderantes, um dos instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos. O trabalho mostra que técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento são ferramentas eficazes para a elaboração de instrumentos de manejo de bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL; INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Definição da planície de inundação da cidade de Governador Valadares.** Relatório Técnico Final. Belo Horizonte, 2004. 129 p.
- BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir do monitoramento hidrogeológico em bacia representativa.** 2006, 249 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 303, de 20 de março de 2002.** Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 13 mai. 2002. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html> >
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm >
- BRASIL. **Lei nº 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] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 mai. 2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651compilado.htm >
- DIEDRICH et al. **Mapeamento e previsão das áreas urbanas inundáveis na cidade de Lajeado-RS – Brasil.** XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Aracaju, 2010, p. 1459-1465. Disponível em: < <http://www.smad.rs.gov.br/downloads/documentos/Eckhardt-Diedrich%20-%20Mapeam%20Prev%20Areas%20Inundaveis%20LAJEADO.pdf> >
- ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS.** 2008, 116 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia.** 2a edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>>.
- MATUS, O.; FAUSTINO, J.; JIMÉNEZ, F.. **Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica.** Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Asdi; CATIE, 2009.
- REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C. et al. (orgs.) **Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação.** São Paulo: Escrituras, 2002. 2ª Ed. Revisada e ampliada.
- ROCHA, P. C. Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade dinâmica. In: **Caderno Prudentino de Geografia.** Presidente Prudente, n.33, v.1, p.50-67, jan./jul.2011. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/viewFile/1953/1846>>.
- SABESP. **Mananciais.** s/d. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=31>>.
- SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental:** teoria e prática. Oficina de Textos. São Paulo: 2004.

184 p.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Gestão de recursos hídricos**: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 659 p.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão Integrada das águas urbanas**. REGA – Vol. 5, no. 2, p. 71-81, jul./dez. 2008.

VARGAS, M. C. **O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental**. Revista: Ambiente & Sociedade 1999.

PROJETO DA PAISAGEM NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA - CASO DA BACIA DO RIO JOANA

Isadora Tebaldi

Universidade Federal do Rio de Janeiro, FAU
Rio de Janeiro - RJ

Ianic Bigate Lourenço

Universidade Federal do Rio de Janeiro, PEC/
COPPE
Rio de Janeiro - RJ

Aline Pires Veról

Universidade Federal do Rio de Janeiro, FAU
Rio de Janeiro – RJ

Marcelo Gomes Miguez

Universidade Federal do Rio de Janeiro, PEC/
COPPE
Rio de Janeiro – RJ

RESUMO: Este trabalho apresenta soluções de drenagem articuladas com funções urbanas e ambientalmente sustentáveis para o manejo de águas pluviais, visando reduzir o impacto do desenvolvimento urbano sobre o ciclo hidrológico, reduzindo inundações. O processo de urbanização das cidades não foi acompanhado por medidas de preservação do ambiente natural, sendo os rios, um dos elementos naturais que mais sofreram e ainda sofrem com o crescimento das cidades. A supressão da vegetação marginal e impermeabilização do solo são efeitos comuns do processo de urbanização. Com isso, as inundações se agravam e tonaram-se parte

consequências associadas ao crescimento desordenado das grandes cidades, fazendo surgir a necessidade da busca por novas soluções urbanas e ambientais, visando a reestruturação da bacia hidrográfica e a das cidades, de forma integrada. Nesse contexto, a concepção de espaços multifuncionais torna-se uma opção de grande potencial, transformando a escassez de espaços livres em possibilidades de superação das carências urbanas, tanto vinculados a infraestrutura e aspectos de drenagem urbana, quanto a espaços de lazer e recreação para população. Além disso, estes espaços multifuncionais, quando associados ao uso de áreas marginais aos rios, adquirem a função de promover uma melhor condição dos aspectos ambientais dos rios urbanos nas cidades.

PALAVRAS-CHAVE: manejo sustentável de águas pluviais, paisagens multifuncionais.

ABSTRACT: This study presents drainage solutions integrated with urban and environmental functions, in a sustainable way, focusing on the stormwater management, in order to reduce the impact of urban development on the water cycle and reduce floods. The urbanization process, in general, is not accompanied by preservation measures respecting the natural environment constraints, and the rivers are one of the natural elements that have suffered most and still suffer

from city growth. The suppression of marginal vegetation and the high imperviousness rates are common effects related to urban development. Consequently, the floods tend to be worsened and become part of the serious consequences associated with the uncontrolled growth of large cities, leading to the search for new urban and environmental solutions that aim at restructuring the watershed and the city itself. Therefore, the concept of multifunctional spaces assumes a key position, transforming the lack of open spaces in the possibility of overcoming possibilities the urban needs. These spaces can be linked to urban drainage needs, providing storage volumes, as well as to leisure and recreation purposes. In addition, these multifunctional spaces, when placed in riverine areas, can promote a better condition for the environmental of urban rivers.

KEYWORDS: sustainable stormwater management, multifunctional landscapes.

1 | INTRODUÇÃO

Os processos de urbanização, na prática, principalmente no Brasil, tendem a não considerar os valores ambientais, culturais e sociais das cidades no processo de planejamento e projeto da paisagem urbana. De fato, a própria prática do planejamento é pouco valorizada e, muitas vezes, os planos não são implantados como previstos. Hoje, as aglomerações urbanas são reconhecidas mais por seus conflitos e problemas do que por seus potenciais. É muito frequente a deficiência de infraestrutura, que não acompanha no mesmo ritmo o crescimento urbano, muitas vezes espontâneo. As inundações urbanas são exemplo dessa situação, onde o uso do solo da bacia hidrográfica modifica os padrões naturais, muitas vezes de forma excessiva e, eventualmente, sem controle, ultrapassando a capacidade de suporte desse sistema e introduzindo um vetor de degradação ambiental, que se reflete também sobre a qualidade de vida urbana. As inundações urbanas são reconhecidos atualmente como um dos principais problemas enfrentados pelas cidades, afetando milhões de pessoas e sendo responsáveis por grandes perdas econômicas ao redor de todo o globo. De forma geral, as inundações são o perigo natural mais difundido espacialmente, representando uma grande ameaça para as cidades (Ashley et al., 2007; Dewan, 2013).

Neste contexto, o objeto deste estudo foca no problema das inundações urbanas e analisa o papel das inundações como veículo de degradação do ambiente urbano, bem como busca a articulação de soluções projetuais mais sustentáveis, integrando recuperação urbana e ambiental. Para Rogers (2001), as cidades reúnem e potencializam a energia física, intelectual e criativa; porém, elas são prejudiciais ao meio ambiente, a ponto de representar uma ameaça à sobrevivência humana. Em suma, segundo este autor, o futuro da civilização deverá ser determinado pelas cidades e dentro das cidades. Nessa interpretação, percebe-se o quanto é importante repensar as cidades e encontrar caminhos de articulação do ambiente construído,

com o ambiente natural, de uma forma em que o processo de projetar cidades se alinhe com a natureza e não contra esta.

A discussão sobre cidades sustentáveis vem ganhando cada vez mais espaço nos círculos técnicos e científicos (Xiaoling Zhang e Huan Li, 2018; Bayulkena & Huisingh 2015; Holden et al., 2014; Zaccai, 2012). A proposta de um desenvolvimento sustentável, foi consolidada, e mais largamente disseminada, após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Rio 92 ou Eco 92, realizada no Rio de Janeiro, em 1992 (UNCDE, 1992). A elaboração da Agenda 21 (UN, 1993) foi, talvez, o principal resultado deste encontro e definiu objetivos para a promoção do desenvolvimento sustentável dos assentamentos humanos, incluindo: proporcionar habitação adequada para todos; melhorar a gestão dos assentamentos humanos; promover o planejamento e a gestão sustentável do uso do solo; e promover a prestação integrada de infraestrutura ambiental, considerando os temas água, esgoto, drenagem e manejo de resíduos sólidos.

Em geral, o debate sobre a sustentabilidade urbana costuma ser altamente subjetivo e é difícil avaliar as dimensões da sustentabilidade. Além disso, também é difícil reverter consequências insustentáveis de desenvolvimentos passados e há dúvidas sobre até que ponto essa reversão é possível, fazendo surgir a necessidade de reflexão sobre como promover sustentabilidade nas cidades, equilibrando as demandas do ambiente construído e os limites do ambiente natural.

Como é possível inferir, a discussão sobre sustentabilidade é multifacetada e representa um alvo em constante evolução, de modo que as cidades podem seguir caminhos diferentes em direção a esse objetivo (Childers et al., 2014). O presente trabalho busca caminhar sobre uma destas facetas e propõe a hipótese de que a integração do sistema de espaços livres com a drenagem urbana, em arranjos multifuncionais, pode proporcionar maior capacidade de estruturar um ambiente urbano mais resiliente às inundações, consequentemente dando mais sustentabilidade às soluções.

Sendo assim, objetiva-se, com este estudo, pesquisar e desenvolver soluções ambientais e de infraestrutura verde para bacias hidrográficas urbanas degradadas e com recorrência de inundações. Foi escolhido a bacia do Canal do Manguê, localizada na zona norte da cidade do Rio de Janeiro e mostrada na Figura 1, como palco de avaliação das propostas resultantes da integração dos espaços livres nas soluções de drenagem, com a hipótese formulada sendo experimentada na prática, para consubstanciar a discussão. Sua escolha se deu devido a necessidade premente de ações para o controle de inundações e para a superação de carências urbanas na bacia. Além disso, esta bacia apresenta diversos estudos já realizados, o que foi a base para o desenvolvimento desta pesquisa. Desse modo, defende-se que as soluções reconheçam o sistema de drenagem como eixo estruturante do planejamento urbano, dado que este sistema intermedia as relações entre ciclo

hidrológico, uso do solo e demandas de uma cidade funcional e segura, podendo este eixo apoiado pela reestruturação e requalificação urbana, a partir da articulação dos espaços livres urbanos e da multifuncionalidade, para possibilitar soluções integradas e transversais. Portanto, conceitualmente, essa análise parte da percepção que, diferentemente dos demais sistemas de infraestrutura, a drenagem ocupa uma posição chave na leitura do espaço, ocupando a posição de interface entre ambiente natural e construído.

Essa abordagem associa questões de infraestrutura ambiental e urbana de forma sistemática e integrada, envolvendo a reavaliação de políticas públicas relativas ao planejamento paisagístico e do uso do solo. O sistema de drenagem pode ser visto como um catalisador de mudanças, já que é um sistema urbano que atende tanto a uma demanda ambiental (para a passagem das cheias através da cidade) quanto a uma demanda social por uma cidade mais saudável.

Já os espaços livres têm grandes probabilidades de sofrer e alavancar transformação na paisagem. Podem ser os espaços mais promissores do espaço urbano, uma vez que podem assumir importantes funções, tais como: ambientais, de lazer e recreação; lugar de percepção da paisagem, entre outros. Contudo, podem ser os lugares mais frágeis, pois estão mais sujeitos a ocupação indevida e desordenada, quando não reconhecido sua importância fundamental e não incluídas em um planejamento adequado (McHarg 1969).

Abordagens de mitigação de inundações mais ecologicamente sensíveis têm aparecido frequentemente nos últimos anos, encorajando medidas de redução de risco a trabalharem em conjunto com a natureza (Barbedo, Miguez, Van der Horst, e Marins, 2014).

Sendo assim, este trabalho visa contribuir com exemplos de soluções projetuais sistêmicas, capazes de mitigar inundações urbanas, melhorando a resiliência das cidades, através de interações interdisciplinares, integrando contribuições da engenharia, do urbanismo e do paisagismo em busca da eficiência urbana, ambiental, econômica e social.

1.1 O risco de inundação e a drenagem urbana sustentável

Há um paradoxo na relação entre água e cidade. A água é um insumo fundamental que está presente na história e na origem das cidades, como fonte de abastecimento, veículo para a condução de dejetos, irrigação para produção de alimentos, meio de transporte e barreira natural como defesa da cidade contra invasões inimigas, entre outros.

Atualmente, porém, não é incomum que as cidades virem as suas costas para os rios, onde estes, degradados, poluídos, sem vida, se confundem com “valões” de esgoto e lixo, ou são canalizados, enterrados e escondidos e se perdem como elementos da paisagem, empobrecendo a biodiversidade dos ecossistemas

presentes nas áreas urbanas, gerando problemas de saúde, degradação urbana do entorno próximo, perda de oportunidade de lazer, entre outros problemas (MIGUEZ et al. 2015). Há mais de 40 anos, Mann (1973) observou que os corpos d'água das cidades eram aqueles recursos naturais mais “usados e abusados” do planeta. Nos últimos 20 anos, percebe-se que o número de eventos de inundações vem crescendo substancialmente no mundo.

Para viabilizar a expansão urbana, os padrões usuais de desenvolvimento se reportam à implementação de grandes projetos de engenharia para resolver problemas causados pela ocupação de áreas inadequadas, envolvendo alteração (severa) de padrões naturais, como desflorestamento, drenagem de áreas úmidas, aterro e canalização de rios e córregos, entre outras intervenções que potencializam a artificialização do ambiente e aumentam custos de intervenção e manutenção, em obras monotônicas, nem sempre bem aceitas pela comunidade de seu entorno. Este é o resultado de uma mentalidade baseada no controle da natureza. No entanto, apesar da construção de uma extensa infraestrutura para controlar inundações (como barragens, diques, bueiros, canais de desvio e estações de bombeamento), cidades do mundo todo continuam vulneráveis e sofrem cada vez mais com enchentes (Andersen & Shepherd, 2013).

Por outro lado, Spirn (1995), em o “Jardim de Granito”, também critica projetos urbanos superficiais criados apenas para embelezar a natureza da cidade. Para a autora, são necessárias mudanças radicais, que busquem reconhecer e apontar para uma série de danos decorrentes de intervenções sobre rios urbanos que não respeitam a natureza, que têm sido tomadas mais como embelezamento superficial, do que como uma força essencial que permeia a cidade. Ela reconhece que cada espaço deve funcionar, não apenas como um pequeno sistema local, mas como parte de sistema maior e mais amplo de uso do solo e ambientes. O espaço deve ser extremamente valorizado; portanto, os parques e espaços livres devem servir a múltiplos propósitos, como: recuperação de resíduos urbanos, preservação dos recursos minerais, armazenamento das águas de cheias, estabilização de encostas instáveis e áreas florestadas. Todos os espaços livres da cidade são partes de um sistema multifacetado e interligado da cidade.

O conceito de drenagem urbana sustentável surge como uma resposta possível e desejável diante dos impactos da urbanização, fazendo frente a modelos de aumento das velocidades de escoamento e das vazões máximas, com transporte de maiores volumes de escoamento e redução do tempo de concentração. A nova concepção para sistemas de drenagem urbana sustentáveis visa abordar o tratamento das águas pluviais urbanas de uma maneira menos impactante, tendo como objetivo a busca por padrões de escoamento pré-urbanização como princípio fundamental (Tucci, 2007; Baptista & Nascimento, 2008; Miguez & Magalhães, 2010). É importante destacar que, nem sempre (ou quase nunca), se consegue, de fato, retornar a padrões de pré-urbanização, mas é importante manter as funções

do ciclo hidrológico, com favorecimento da infiltração e recuperação da capacidade de retenção superficial, mesmo que através de novos espaços, em uma mímica ambiental das funções originais.

Gusmaroli et al. (2011) propôs a adoção de uma abordagem ecossistêmica para o tratamento de rios em áreas urbanas, com o objetivo de revisar e ampliar o conceito de *Waterfront Design*, no qual se procura valorizar a linha de contato entre o urbano e os corpos d'água, reintroduzindo estes na paisagem da cidade. Na nova proposta, abre-se uma possibilidade mais ampla, de não apenas usar a presença da água como um valor urbano, mas também, e principalmente, como um valor ecológico, como um elemento de conexão da cidade com a natureza, aproveitando para recuperar também o rio e parte de seus valores ambientais. Essa possibilidade traz a oportunidade de exercitar o conceito de requalificação fluvial, sob o ponto de vista de uma efetiva melhoria ambiental, olhando para a cidade como um organismo em constante transformação e, por isso, capaz de modelar-se e adaptar-se (ainda que apenas parcialmente, dadas as modificações já sofridas) às demandas de uma recuperação mais natural dos cursos d'água. A perspectiva de incorporar conceitos de sustentabilidade ambiental no processo de repensar o crescimento da cidade abre um diversificado conjunto de oportunidades a serem explorados como soluções integradas em um contexto multidisciplinar.

No Brasil, Batista et al. (2005), entre outros, consolidou o conceito de técnicas compensatórias em drenagem urbana com a proposta da introdução de medidas cujo foco é aumentar a capacidade de infiltração e armazenamento, objetivando assim uma compensação dos efeitos deletérios provocados pela urbanização. Essas ações, distribuídas na bacia, ajudam a reordenar os escoamentos, controlar cheias e recuperar o funcionamento da bacia.

Nessa ótica, defende-se largamente a concepção de soluções de drenagem urbana que incorporam infraestruturas verde e azul. Porém, soluções de drenagem urbana sustentável, de modo geral, são dependentes de um aspecto morfológico urbano primordial para sua implementação: os espaços livres. Nesse ponto, conecta-se o projeto da drenagem com o próprio projeto de cidade que se deseja saudável e funcional.

1.2 Espaços livres multifuncionais

Os espaços livres, principalmente os espaços livres verdes, são de importância estratégica para a qualidade de vida de uma sociedade cada vez mais urbanizada. Além de importantes serviços ambientais como a purificação do ar e da água, a filtragem do vento e do ruído, ou a estabilização do microclima, as áreas naturais oferecem serviços sociais psicológicos e de infraestrutura urbana, que são de importância crucial para a habitabilidade das cidades modernas e o bem-estar dos moradores urbanos (Chiesura, 2004; Cormier & Pellegrino, 2008).

Porém, com o crescimento rápido e em medidas extremas das cidades, torna-se comum a escassez de áreas livres que possam atender às funções social, cultural, ambiental e de infraestrutura, e levanta-se a necessidade de otimizar os espaços livres. Essa otimização pode ser alcançada através da concepção de um sistema de espaços livres multifuncionais, potencializando seus usos e otimizando investimentos públicos. Estes usos podem ainda ser expandidos, com o uso criativo dos sistemas naturais para atender aos desafios de readequação da infraestrutura urbana já implantada, especialmente no que tange a drenagem e a qualidade da água. Miguez *et al.* (2007) destacam que, nas paisagens multifuncionais, as soluções urbanas podem ganhar funções hidráulicas adicionais, com o objetivo de revitalizar o ambiente urbano em uma abordagem sustentável.

O conceito está ligado ao uso e cobertura do solo, sendo a base de conjuntos de cenários paisagísticos que congregam vários interesses simultaneamente, em conformidade com as demandas dos diversificados segmentos da sociedade.

Nesse sentido, a criação de “espaços multifuncionais” pode permitir que as áreas livres que restam nos núcleos urbanos já consolidados associem funções hidráulicas a funções sociais, ambientais e econômicas. O sistema de espaços livres representa, em geral, a última reserva disponível de volumes para a readequação da capacidade dos sistemas de drenagem, hoje estressados pelo próprio crescimento urbano. A reorganização desses espaços livres pode permitir: o escoamento controlado de enchentes; a introdução de parques fluviais, que, além do lazer e atenuação do microclima, também cumprem uma função hidráulica de armazenamento e amortecimento de cheias, auxiliando ainda na ordenação do espaço e criando limites para o crescimento urbano (evitando o seu avanço para áreas de preservação permanente); o incremento da biodiversidade; o uso de caminhos verdes com fins de mobilidade e conexão de áreas fragmentadas; a valorização imobiliária do entorno; e o eventual transporte fluvial/lacustre em casos específicos.

No entanto, ainda hoje, a prática do uso das chamadas paisagens multifuncionais está pouco difundida no Brasil. As medidas que visam atenuar problemas gerados por falhas de drenagem urbana, normalmente ainda seguem a antiga lógica de obras pontuais, tendo como resultado uma série desconectada de medidas e projetos urbanos, que proporcionam muito menos benefícios do que poderia à população.

Para ajudar no enfrentamento desses problemas, sugere-se aqui um conjunto de premissas que devem nortear os projetos na busca de soluções para as inundações urbanas. Uma solução com visão integrada para o rio e a para a cidade; com a convergência e complementação (e não competição) entre o ambiente natural e o construído. Uma solução que possibilite criar elementos de infraestrutura verde e azul, conectando os espaços livres, disponibilizando parques e áreas de lazer para a população. Uma solução que, ao mesmo tempo, crie volumes para armazenamento temporário de cheias e crie caminhos que favorecem a mobilidade. Uma solução que vá ao encontro da necessidade de integrar ambiente natural e construído.

2 | MÉTODO

Este estudo parte da compilação e análise de estudos já realizados sobre a bacia, principalmente baseados em modelagem matemática hidrodinâmica, dando suporte ao desenvolvimento das soluções projetuais apresentadas. O principal trabalho analisado foi “Modelagem Matemática de Cheias Urbanas, Através de Células de Escoamento, como Ferramenta na Concepção de Projetos Integrados de Combates Enchentes. Projeto CT-Hidro/GBH – COPPETEC, (2004)”. O mesmo disponibiliza a modelagem hidrodinâmica da bacia do Canal do Mangue, assim como a determinação das áreas e volumes necessários destinados a reservação para a mitigação das recorrentes inundações na bacia.

O processo de modelagem matemática oferece uma visão sistêmica do funcionamento da bacia e informações sobre lâminas de alagamento e vazões, colaborando com a identificação das principais criticidades em relação ao funcionamento hidráulico. Apoiado nos cálculos dos volumes necessários para reservação, pode-se nortear os projetos dos espaços individualmente, de forma a dar forma urbana e social aos volumes necessários para controle de inundações. Aqui observa-se, claramente, a dinâmica interescalar da abordagem em bacias hidrográficas.

Dentre as intervenções sugeridas para o tratamento do problema de inundações na bacia, pelo Projeto CT-Hidro/GBH (COPPETEC, 2004) estão as “medidas de controle distribuído” que se referem aos reservatórios de praças/ parques. Este cenário simula o efeito do funcionamento de um arranjo de 11 reservatórios de amortecimento de cheias em planícies urbanas localizados em praças da bacia do rio Joana. Por sua vez, dentre as 11 praças, foram escolhidas a Praça Barão de Drummond, pública, e o Condomínio Tijolinho, privado, para detalhamento de projeto, como exercício de multifuncionalidade em diferentes tipos de espaços livres, capazes de contribuir para o amortecimento de inundações na bacia. A partir dessa definição, foi realizado um diagnóstico urbano na escala da bacia para, por fim, apresentar as proposições projetuais das praças multifuncionais, de acordo com os pontos a seguir:

a. Diagnóstico Urbano e Ambiental para a Bacia do Rio Joana: análises do relevo, principais rios e bairros; estudo de manchas de inundação e levantamento histórico e sociocultural para identificação das vocações de cada área da bacia;

b. Levantamento de Áreas Livres Públicas e Privadas que possam ser incorporados ao sistema de espaços livres multifuncional, assim como o levantamento de possíveis corredores verdes;

c. Propostas de Projeto de Paisagens Multifuncionais: análises das possíveis infraestrutura verde e azul que podem ser incorporadas ao projeto; compilação dos dados levantados em projetos existentes e adequação do desenho aos volumes de armazenamento necessários para as praças escolhidas.

3 | ESTUDO DE CASO

3.1 Apresentação da bacia do rio Joana

A bacia do rio Joana, é uma sub-bacia contribuinte da bacia hidrográfica do Canal do Mangue que compõe a rede de bacias hidrográficas da Baía da Guanabara (Figura 1). Está localizada na zona Norte do Rio de Janeiro e apresenta uma área de drenagem de 12,02 km², sendo 50,3% em encosta e 49,7% em planície, e abrange os conhecidos bairros do Grajaú, Andaraí, Vila Isabel e Maracanã, principalmente. Esta é uma das que mais impactam a região da bacia do Canal do Mangue, contribuindo consideravelmente para recorrência de inundações.

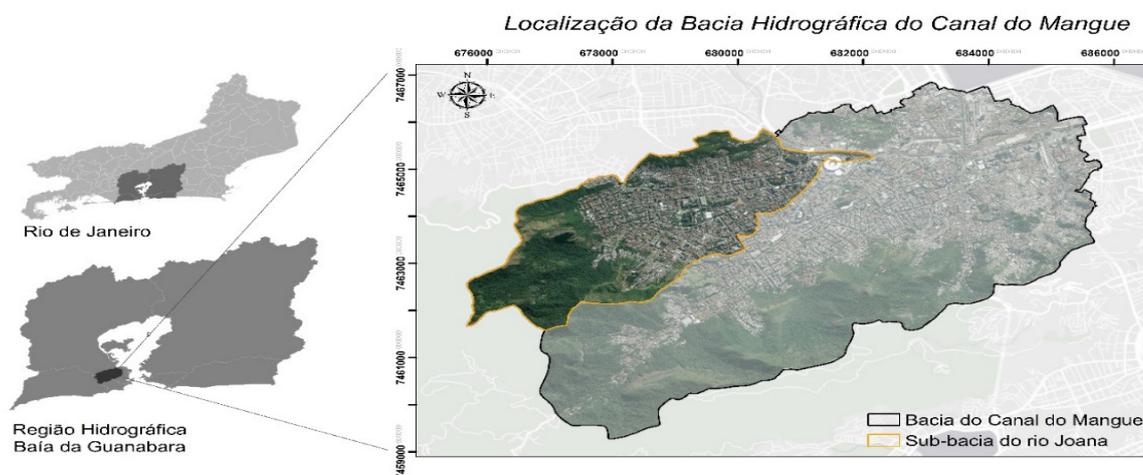


Figura 1: Localização da bacia do rio Joana

3.2 Síntese do Diagnóstico

Para tornar objetiva a análise realizada na bacia hidrográfica de estudo, foi elaborado um levantamento dos principais aspectos ambientais, urbanos e históricos, apresentados nas Figuras 2, 3 e 4. Com base nestas informações, foi feita uma compilação que resultou na Tabela 1. Nela, são abordados os principais problemas e as potencialidades que a região estudada apresenta.

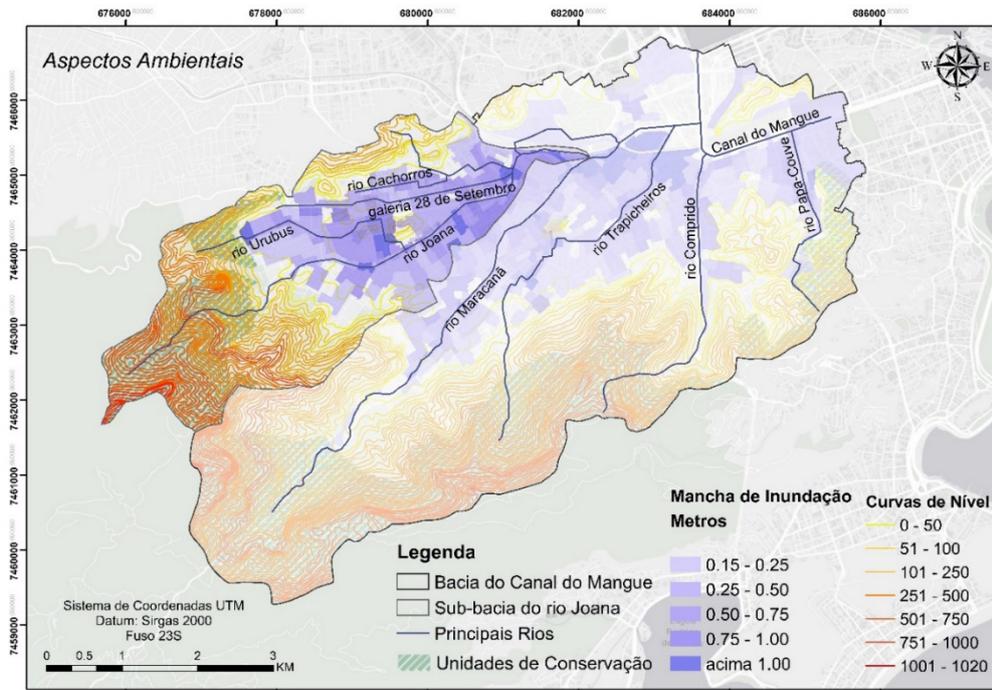


Figura 2: Mapa dos aspectos ambientais da bacia do rio Joana.

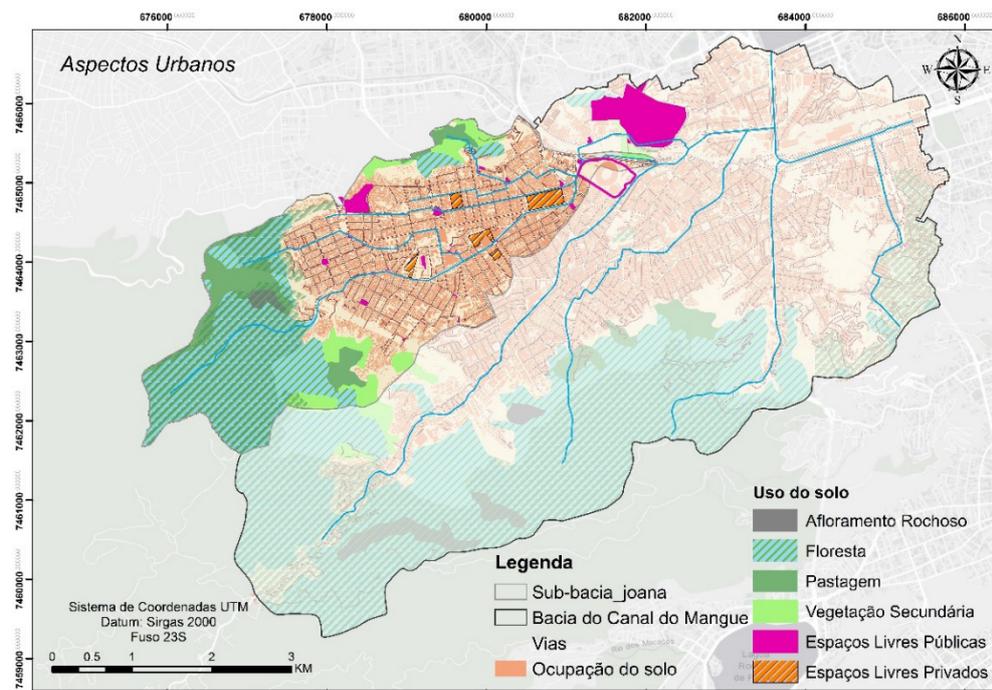


Figura 3: Mapa dos aspectos urbanos da bacia do rio Joana, incluindo levantamento dos espaços livres públicos e privados.

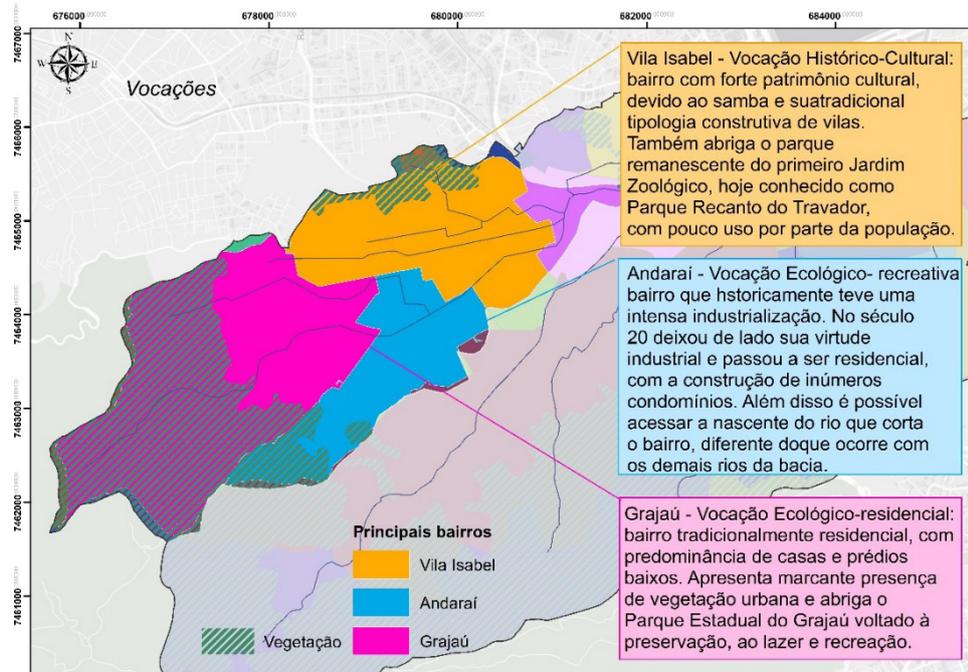


Figura 4: Avaliação dos aspectos vocacionais dos principais bairros da bacia.

Principais Problemas e Conflitos	Degradação Ambiental	Vegetação	Redução da vegetação nativa: Devido, principalmente, pela expansão de ocupações desordenadas
		Recursos Hídricos	Poluição: <i>Lixo Difuso</i> e <i>Lançamento in natura de esgoto sanitário</i> ; intervenções tradicionais de drenagem; rios canalizados e subterrâneos; desvalorização pela população
	Infraestrutura ineficiente	Alagamentos recorrentes; ocupação desordenada; desconectividade dos espaços livres; calçadas e passeios com problemas de dimensionamento e conservação; bairros de passagem que abarcam intenso fluxo de veículos, dificultando o fluxo suave de veículos automotores e pedestres	
Principais Potencialidades	Ambientais	Vegetação	Grandes massas de vegetação; histórico de reflorestamento na região; Áreas de Proteção Ambiental
		Rede Hidrográfica	Rios e córregos como potenciais ecológicos e recreativos
	Urbanas	Áreas Livres – boa demanda	Áreas livres públicas – praças e parques
		Históricos	Áreas livres privadas – estacionamentos, entre outros.
			Forte identidade histórica

Tabela 1: Diagnóstico resumido – principais problemas e principais potencialidades

3.3 Propostas de corredores verdes interligando espaços multifuncionais

Após a realização do diagnóstico, aqui apresentado de forma resumida, foi elaborado um mapa (Figura 5) que especializa as conexões propostas entre os espaços livres públicos e privados para a concepção de uma solução sistêmica multifuncional para as inundações na bacia, assim como define os dois espaços escolhidos para o projeto.

Os corredores vocacionais foram dispostos principalmente para promover a interligação entre os espaços multifuncionais. Além disso, visam fornecer espaços

para o recreio e o lazer; permitir a criação de vias de circulação alternativas; contribuir para uma melhor vivência da cidade; contribuir para a preservação e valorização do patrimônio histórico, cultural e ambiental; e permitir a manutenção e valorização da qualidade estética da paisagem.

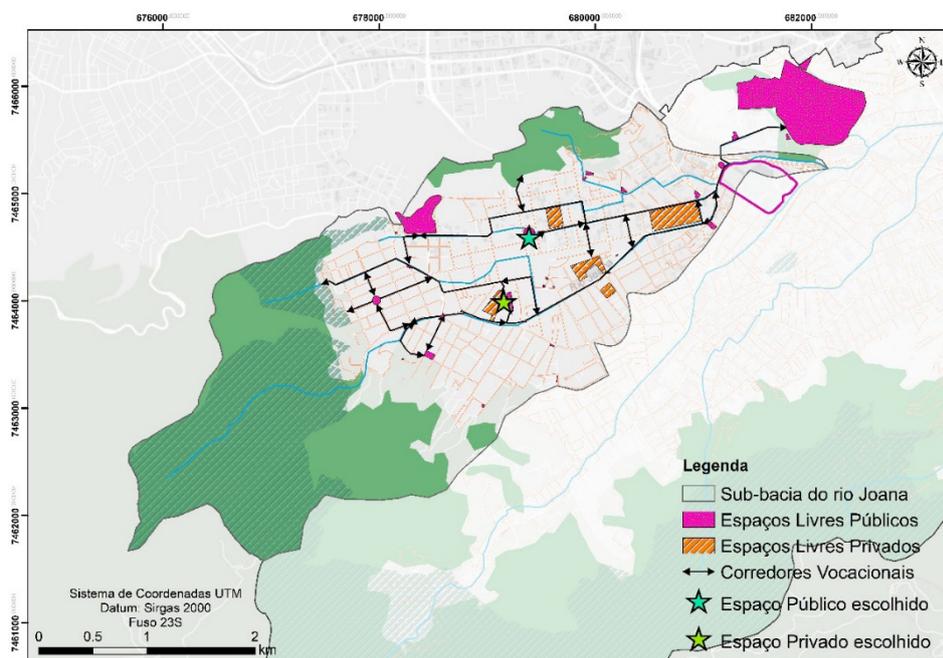


Figura 5: Propostas de corredores verdes interligando espaços multifuncionais e definição dos espaços para projeto.

As duas áreas selecionadas possuem potencial urbanístico e paisagístico, como indicadas na Figura 5. A primeira, a Praça Barão de Drummond, e a segunda, uma grande área livre no Andaraí. As duas estão em regiões residenciais, garantindo a sua utilização diária. Além disso, foi considerado o aspecto dimensional, sendo ideais para bacias de detenção.

4 | RESULTADOS

Área I: Praça Barão de Drummond

A praça está localizada no bairro de Vila Isabel, em uma rotunda, que comporta grande tráfego de carros, o que configura uma barreira física e visual. Por este motivo, os moradores têm dificuldade de acesso, o que contribui para sua pouca utilização. A praça foi escolhida como área de intervenção por ter sido considerada ponto estratégico para a atenuação dos escoamentos e por apresentar as carências colocadas anteriormente. Assim, o projeto da praça visa sua integração ao sistema de espaços livres da região, propondo como principais funções: lazer, em períodos secos, e amortecimento de vazões, no período de cheias. Com a escassez de

espaços livres na bacia, é preciso tornar os poucos lugares existentes em espaços multifuncionais. A Tabela 2 apresenta as infraestruturas verde e azul utilizadas no projeto e a Figura 6 apresenta a localização, o projeto elaborado para a Praça Barão de Drummond e o hidrograma modelado, onde é possível visualizar sua capacidade de amortecimento, para a vazão local, e seu processo de enchimento gradual.

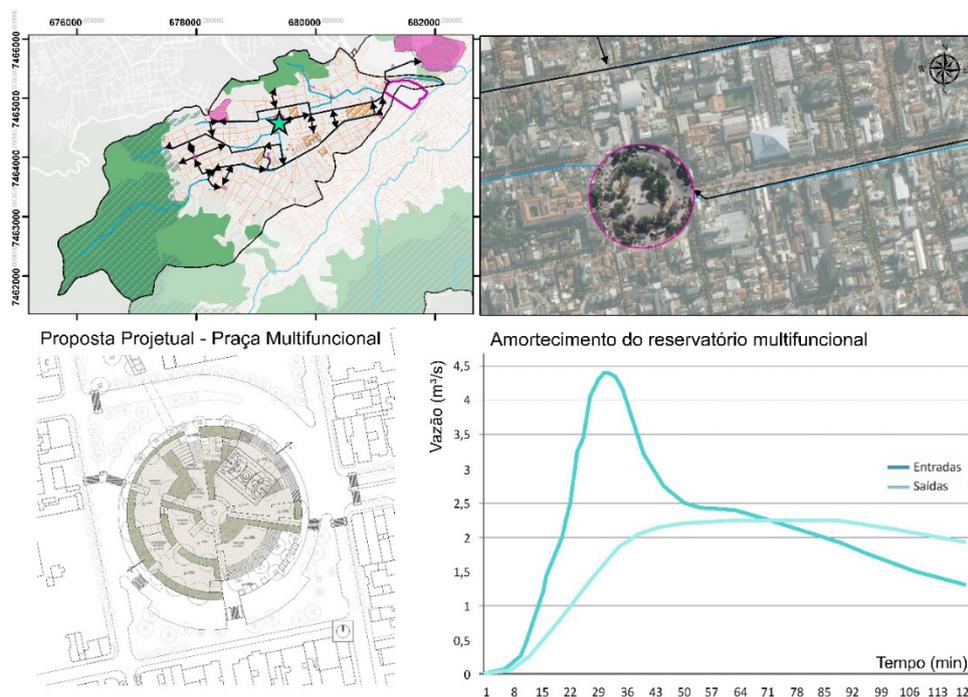


Figura 6: Praça Barão de Drummond – Localização, projeto e amortecimento de inundações

Medidas Compensatórias utilizadas	Bacia de Detenção	Parte do volume da cheia é temporariamente detido. Acumula água apenas em período de cheias e esvazia em um momento posterior
	Trincheira de infiltração	Superfície drenante que armazena a água por tempo suficiente para que ocorra a infiltração no solo.
	Piso permeável	A implantação de pavimentos permeáveis permite a diminuição das áreas impermeabilizadas e, conseqüentemente, o aumento da infiltração e a diminuição das enchentes.

Tabela 2: Proposta de Infraestrutura verde e azul

Foi realizada modelagem matemática, com o software MODCEL (MIGUEZ, 2001; MASCARENHAS e MIGUEZ, 2002; MASCARENHAS et al., 2005), para verificação do volume de água passível de ser armazenado na praça em estudo. Assim, verificou-se que o volume de retenção deveria ser igual a 6450 m³, para uma chuva com tempo de recorrência de 10 anos, tendo como referência a microdrenagem do entorno. O desenho da praça foi, então, proposto para se adequar a este volume. Após a definição do projeto urbanístico, verificou-se que o volume para armazenamento na praça poderia ser até maior: 8135m³, 25% superior ao necessário e estimado como capaz de suprir proteção também para a chuva de recorrência de 25 anos, que é o

tempo de referência para projetos de macrodrenagem, segundo critério estabelecido pelo Ministério das Cidades (MC, 2012). Ainda em relação ao projeto urbanístico, destaca-se que os pavimentos da praça foram propostos em desnivelamento para aumentar a sensação de segurança, tendo o centro da praça em nível mais baixo, para que possa ser visto de vários pontos distintos. Além disso, o desnivelamento permite que a praça seja alagada gradualmente, como ilustrado na Figura 7.

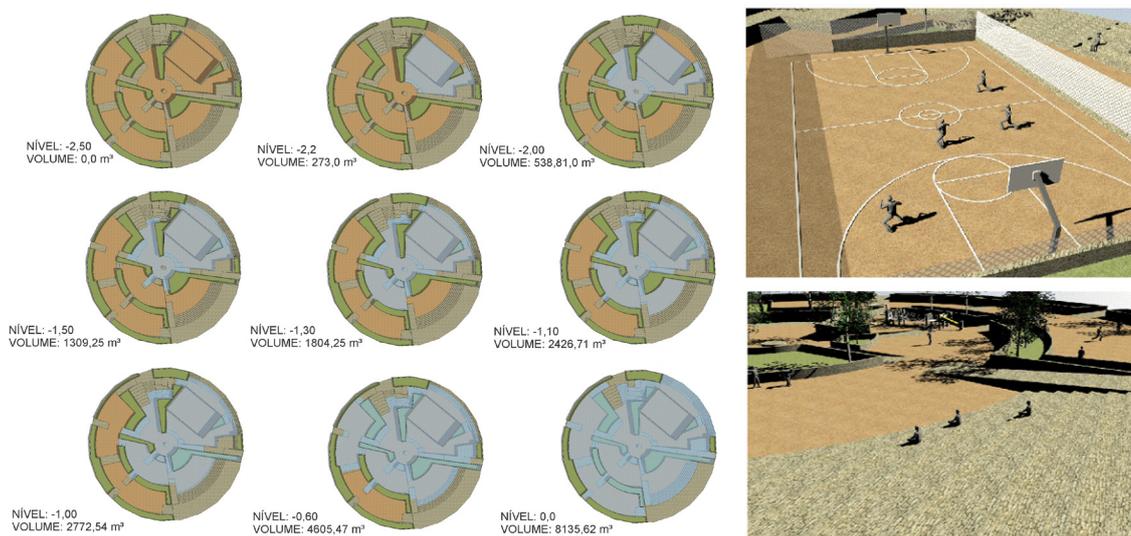


Figura 7: Alagamento na Praça Barão de Drummond, de acordo com os volumes de água e perfis do projeto (TEBALDI, 2014).

Área II: Praça Andaraí - Plano Geral e Localização

A Praça Andaraí integra o novo sistema de espaços livres multifuncionais desenvolvido para a bacia do Rio Joana. O trecho demarcado na Figura 6 apresenta a área existente, com atrativos limitados. A intervenção propôs a reformulação desse espaço livre consolidado, associado a uma nova área livre. Como resultado, obtiveram-se áreas multifuncionais, funcionando para atividades de lazer em períodos secos, e de amortecimento, no período de cheias, conectadas entre si e com os demais espaços livres por corredores verdes. A praça foi trabalhada em escalonamentos, para alagar gradualmente, facilitando sua limpeza e preservação. As infraestruturas verde e azul utilizadas nesta proposta de projeto foram: bacia de retenção, jardins de chuva, pavimentos permeáveis e recolhimento de água de chuva.

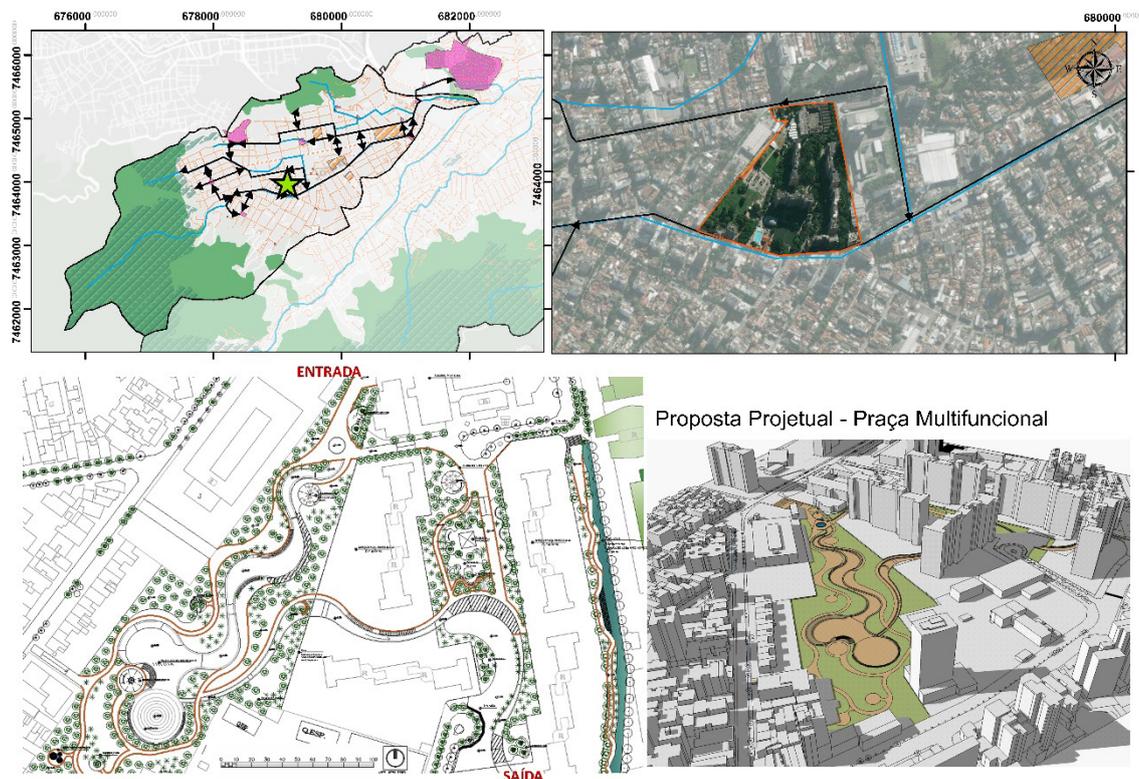


Figura 8: Praça do Andaraí – Localização e Plano Geral

Com apoio da modelagem matemática (OLIVEIRA, 2014), obteve-se um resultado importante de redução de pico na bacia, com a implementação da praça, com redução de 5% no pico de vazões do Rio Joana, que por sua vez, em última análise, contribui para as cheias que ocorrem na região da Praça da Bandeira, região emblemática da cidade do Rio de Janeiro, em termos de alagamentos.

Complementarmente, deve-se destacar que o uso das 11 praças identificadas no projeto, sozinhas, sem considerar outras intervenções distribuídas e sem nenhuma intervenção na calha do rio, diminuiriam as inundações nas ruas do entorno do rio, na região mais crítica de jusante, em cerca 42% (D’Alterio, 2004).

5 | CONCLUSÃO

A falta de infraestrutura e/ou o descompasso na sua implantação, devido à velocidade da urbanização nas grandes cidades, gerou muitos problemas urbanos, entre os quais o agravamento de inundações. As soluções de engenharia não resolvem, sozinhas, esta complicada situação, necessitando da interdisciplinaridade entre a Engenharia, a Arquitetura e o Urbanismo. A aceitação pelas comunidades locais e a compreensão das vocações urbanas resultantes do próprio processo histórico de ocupação do solo são importantes. É importante também reconhecer os limites dos sistemas naturais e projetar medidas de compensação, que permitam que a urbanização ocorra sem efeitos colaterais. Reconhece-se que tais áreas do conhecimento são intrinsecamente ligadas e indispensáveis ao planejamento

e a gestão da paisagem nas cidades. Neste trabalho, a integração de soluções de drenagem com a oferta de volumes pelos espaços livres, em combinações multifuncionais, com potencial para revitalização também do ambiente urbano, mostrou um grande potencial para compor soluções sustentáveis para mitigação de inundações urbanas.

REFERÊNCIAS

Andersen, T. K., & Shepherd, J. M. (2013). **Floods in a changing climate**. *Geography Compass*, 7(2), 95–115. DOI 10.1111/gec3.12025.

Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A., & Zevenbergen, C. (Eds.). (2007). **Advances in urban flood management**. In. London: Taylor & Francis.

Batista M, Nascimento N, Barraud S. (2005). **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre, Brazil: ABRH.

Baptista, M.; Nascimento, N., 2008. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**, ABRH, Porto Alegre, Brasil.

Bayulkena, B.; Huisingsh, D. (2015). **A literature review of historical trends and emerging theoretical approaches for developing sustainable cities (part 1)**. *Journal of Cleaner Production*, Volume 109, 16 December 2015, Pages 11-24. DOI 10.1016/j.jclepro.2014.12.100.

Barbedo, J., Miguez, M., van der Horst, D., & Marins, M. (2014). **Enhancing ecosystem services for flood mitigation: a conservation strategy for peri-urban landscapes?** *Ecology & Society*, 19(2), 54. DOI 10.5751/ES-06482-190254.

D'Altério, C., F., V. (2004). **Metodologia de cenários combinados para Controle de Cheias Urbanas com aplicação à bacia do rio Joana**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2004.

Chiesura, A. (2004). **The role of urban parks for the sustainable city**. Department of Leisure, Tourism and Environment, Wageningen University Generaal Foulkweg. *Landscape and Urban Planning* 68 129–138. DOI 10.1016/j.landurbplan.2003.08.003.

Childers, D. L.; Pickett, S. T.A.; Grove, J. M.; Ogden, L.; Whitmer, A. (2014) **Advancing urban sustainability theory and action: Challenges and opportunities**. *Landscape and Urban Planning*. Volume 125, May, Pages 320-328. DOI 10.1016/j.landurbplan.2014.01.022.

COPPETEC (2004). Relatório Técnico Final PEC 4221 - **Modelagem Matemática de Cheias Urbanas, Através de Células de Escoamento, como Ferramenta na Concepção de Projetos Integrados de Combates Enchentes**. Projeto CT-Hidro/GBH no 520093/2003-8.

CORMIER & PELLEGRINO (2008). **Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana**. *Paisagem Ambiente: ensaios* - n. 25 - São Paulo - p. 125 - 142 – 2008.

Dewan, A. M. (Ed.). (2013). **Floods in a megacity: geospatial techniques in assessing hazards, risk and vulnerability**. New York: Springer.

Gusmaroli G, Bizzi S, Lafrata R. (2011). **L'approccio della Riquilibratazione Fluviale in Ambito Urbano: Esperienze e Opportunità**. In: *Acqua e Città – 4° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana*, Venezia, Italia. June 2011

- Holden, E.; Linnerudb, K.; Banisterc, D. (2014). **Sustainable development: Our Common Future revisited**. Global Environmental Change, Volume 26, May 2014, Pages 130-139. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.006.
- Mann, R. **Rivers in the city**. (1973). Nova York, Washington: Praeger Publishers.
- Mcharg, Ian L.. (Ed.). (1969). **Design with Nature**. New York: Natural History Press.
- Miguez, M. G.; Mascarenhas, F. C. B.; Magalhães, L. P. C. **Multifunctional landscapes for urban flood control in developing countries**. International Journal of Sustainable Development and Planning, vol. 2, nº 2, 2007, p. 153-528.
- Miguez, M.G., Magalhães, L.P.C., 2010. **Urban Flood Control, Simulation and Management: an Integrated Approach**.
- Miguez MG, Veról AP, Rezende OM. (2015). **Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Ministério das Cidades (MC) / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2012). **Manual para Apresentação de Propostas para Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais**. Programa – 2040.
- Rogers, R. (Ed.). (2001). **Cities for A Small Planet**. Barcelona, GGili.
- Spirn AW. **O Jardim de Granito**. São Paulo: EDUSP; 1995
- Tucci, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.
- UN – United Nations. Agenda 21: Earth Summit – The United Nations Programme of Action from Rio. Rio de Janeiro: United Nations, Department of Public Information; 1993
- UNCDE – United Nations Conference on Environment and Development. **Earth Summit**.1992. Available from: <http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html> [Accessed: Jul 25, 2017]
- Xiaoling, Z.; Huan, L. (2018). **Urban resilience and urban sustainability: What we know and what do not know?** Cities, Volume 72, Part A, February 2018, Pages 141-148. DOI 10.1016/j.cities.2017.08.009.
- Zaccai, E. (2012). **Over two decades in pursuit of sustainable development: Influence, transformations, limits**. Environmental Development, Volume 1, Issue 1, January 2012, Pages 79-90. DOI 10.1016/j.envdev.2011.11.002.

GESTÃO DA DRENAGEM URBANA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ AÇU

Fabiane Andressa Tasca

Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC

Roberto Fabris Goerl

Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC

Jakcemara Caprário

Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC

Aline Schuck Rech

Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC

Alexandra Rodrigues Finotti

Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC

RESUMO: O presente trabalho apresenta um diagnóstico da gestão da drenagem urbana dos municípios de pequeno porte (aqueles com menos de vinte mil habitantes) da bacia hidrográfica do rio Itajaí Açu, em Santa Catarina. Estes municípios, por não possuírem Plano Diretor, crescem de forma desordenada e sem planejamento, característica comum na área da drenagem urbana. Para verificar essas questões, foram aplicados questionários em vinte municípios, com perguntas sobre

o saneamento ambiental e a execução dos sistemas de drenagem, bem como a identificação dos responsáveis e os principais problemas no gerenciamento da drenagem. Os resultados obtidos mostram que, na maioria dos municípios, não são executados os trabalhos de limpeza e manutenção dos sistemas. A drenagem é vinculada ao setor de obras, o que a caracteriza como uma atividade estrutural em detrimento de uma atividade de planejamento das águas urbanas. Mesmo com a existência de inundações periódicas na bacia, metade dos gestores não reconhece a importância de um Plano Diretor de Drenagem Urbana. As secretarias trabalham sem autonomia financeira, o que aponta a necessidade de se obter meios alternativos para o financiamento e sustento dos sistemas de drenagem urbana dos pequenos municípios.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão municipal, Inundações, Plano Diretor.

URBAN STORMWATER MANAGEMENT IN SMALL MUNICIPALITIES: CASE STUDY OF THE WATERSHED ITAJAI AÇU RIVER

ABSTRACT: This paper presents an analysis of the urban drainage management in small cities (population less than twenty thousand) localized in watershed Itajai Açu river, in Santa

Catarina State. These municipalities, because of lack of Master Plan, grow disorderly and without planning, common feature in the urban drainage area. Questionnaires were applied in twenty cities with questions about the environmental sanitation and the implementation of drainage systems, well as the identification of those responsible and of the main problems in the management of drainage. The results obtained show that, in most municipalities, the cleaning and maintenance of the systems are not performed. Drainage is linked to the construction sector, which characterizes it as a structural activity rather than urban water planning activities. Even with periodic flooding in the basin, half of the managers do not recognize the importance of an Urban Drainage Master Plan. Secretaries work without financial autonomy, which shows the need to obtain financing and support of urban drainage systems in small municipalities.

KEYWORDS: Municipal management, Flooding, Master Plan.

1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, 69% dos municípios (3.842 cidades) podem ser considerados de pequeno porte, ou seja, possuem até 20.000 habitantes (IBGE, 2014). Estes municípios, segundo o Estatuto da Cidade, não são obrigados a elaborar um Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), instrumento que regula o planejamento e ordenamento do território. Isto não significa que as médias e grandes cidades, aquelas que possuem Plano Diretor, conseguem organizar o seu crescimento. Embora possuam uma maior autonomia financeira, quando comparadas às cidades de menor porte, estes municípios concentram a maior parte dos problemas decorrentes do crescimento desordenado, derivado do descompasso entre o número de habitantes e o planejamento urbanístico (OLIVEIRA e MENDES, 2008). Este planejamento, muitas vezes, aborda apenas aspectos arquitetônicos, sem considerar os efeitos ambientais, principalmente sobre a infraestrutura de drenagem (CRUZ e TUCCI, 2008).

O efetivo planejamento, dentro de um PDDU, poderia contribuir para a valorização, proteção e gestão equilibrada dos recursos naturais, além de melhorar a eficiência dos serviços e a qualidade de vida e saúde da população (NASCIMENTO e SILVÉRIO, 2004; LISBOA *et al.*, 2013). No entanto, a realidade nos municípios demonstra a falta de harmonia entre os sistemas urbanos; que estão defasados, ineficientes e separados uns dos outros. Esta problemática é intensificada nos pequenos municípios, que possuem inúmeras dificuldades para gestão e planejamento territorial. Estas cidades, de modo geral, vão desenvolvendo-se de forma desordenada até alcançar o número de habitantes exigido legalmente, para, finalmente, optarem por elaborar seu Plano (AKAISHI, 2012).

Desta forma, os sistemas de drenagem são altamente impactados e sobressaem-se como um dos problemas mais sensíveis causados pela urbanização sem planejamento, ou seja, o que mais facilmente comprova a sua ineficiência

imediatamente após as precipitações significativas (FUNASA, 2006). Esta problemática (ausência de planejamento e excesso de inundações) é observada na bacia hidrográfica do rio Itajaí Açu, no Estado de Santa Catarina, que se constitui na bacia mais atingida por desastres de inundações em todo o Estado. Foram registrados 480 desastres em um período de 21 anos (TASCA, 2012). As características físicas da bacia contribuem para a formação de enchentes, contudo, as características econômicas e sociais, principalmente as transformações no uso do solo, contribuem para a formação dos desastres (FRANK, 1995).

Com vistas a compreender de que modo o planejamento da drenagem nas pequenas cidades pode influenciar nas inundações, o presente trabalho caracterizou a gestão da drenagem urbana nos municípios de pequeno porte da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, bacia esta com muitas inundações e formada, em sua maioria, por pequenos municípios.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu está localizada no Estado de Santa Catarina, sul do Brasil, com 15.500 km². Abrange totalmente 47 municípios, dos quais 79% (37 cidades) são de pequeno porte. Destes, apenas seis (06) possuem Plano Diretor, conforme o Plano de Recursos Hídricos da Bacia (ITAJAÍ, 2010). Para a presente pesquisa foram selecionados os 37 municípios de pequeno porte situados inteiramente na bacia hidrográfica do rio Itajaí Açu (Figura 1). Juntas, estas cidades ultrapassam 293 mil habitantes divididos em uma área de 1.307km², com uma taxa de urbanização de 57% (Tabela 1).

População (hab)			Taxa de urbanização	Área total	Densidade demográfica)	IDHM
Total	Urbana	Rural	(%)	(km ²)	(hab.km ²)	(2010)
293.235	165.685	127.550	57	1.307	224,36	0,73

Tabela 1 – Características dos pequenos municípios na Bacia Hidrográfica do rio Itajaí Açu.

Fonte: IBGE (2011).

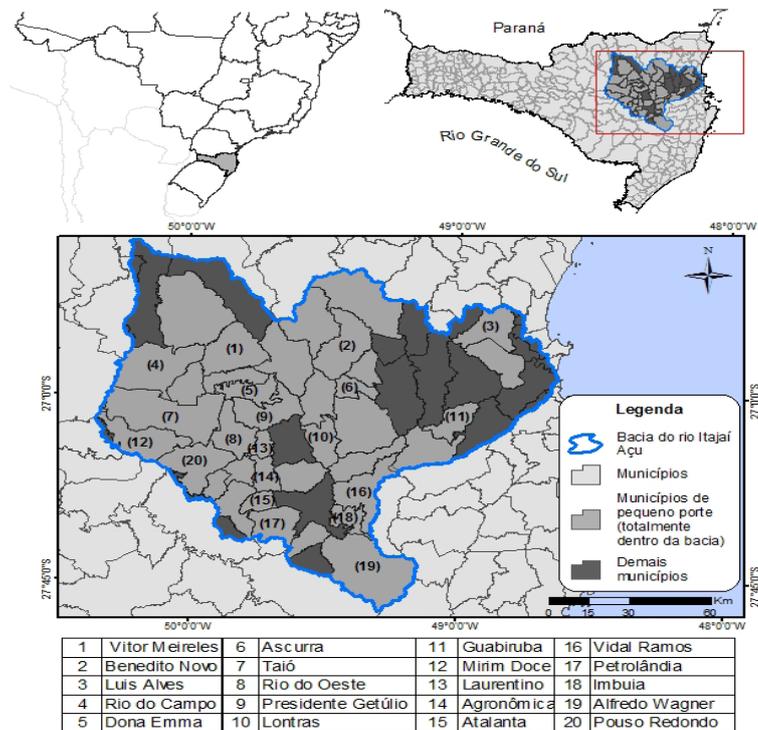


Figura 1 – Municípios de pequeno porte selecionados para a presente pesquisa.

2.2 Análise da Gestão da Drenagem

Para avaliar a gestão da drenagem urbana nestes pequenos municípios foi elaborado um questionário *online* dirigido aos gestores municipais, no período de maio a julho de 2012. O questionário teve por base o conceito de gestão (Planejamento, Regularização, Fiscalização, Prestação de Serviços e Controle Social) segundo a Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Os assuntos abordados estão sintetizados no Quadro 1, em que se indagou acerca do saneamento ambiental, dos fenômenos de inundações, alagamentos, erosão e assoreamento e perguntas específicas sobre a drenagem urbana.

Dos 37 gestores municipais convidados a participar, 20 retornaram a pesquisa (os quais estão identificados na Figura 1). Este retorno caracteriza 54% dos municípios de pequeno porte situados dentro da bacia.

Tema	Conteúdo específico
1. Saneamento Ambiental	Existência de Plano Municipal de Saneamento e a Participação social neste, Fiscalização das leis e normas, Existência de ligações de esgotamento sanitário no sistema de águas pluviais, Existência de ações integradas com outros municípios.
2. Inundações, Alagamentos, Erosão e Assoreamento	Frequência, Causas e Existência de ações integradas com outros municípios.

Tema	Conteúdo específico
3. Drenagem Urbana	Existência, Tipo de intervenção realizada, Existência de rios canalizados, Setor responsável pelo sistema, Formação do responsável pelo setor, Manutenção de rios e galerias, Rompimento de tubulações, Deficiências observadas, Visão sobre a gestão integrada com municípios vizinhos.

Quadro 1 – Conteúdo do questionário enviado aos municípios de pequeno porte.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Saneamento Ambiental

Em 2012, dez municípios possuíam Plano de Saneamento Básico, enquanto nove declararam que o mesmo se encontrava em elaboração. A cidade de Pouso Redondo, que possui pouco menos de 15 mil habitantes, afirmou não possuí-lo. Quanto a participação das comunidades na destes planos, dois municípios (Alfredo Wagner e Pouso Redondo) afirmaram que seus planos não são participativos, indo contra um dos princípios fundamentais da Lei Nacional do Saneamento Básico, o Controle Social. Este princípio garante o processo de participação da sociedade nos processos de formulação de políticas, de planejamento e de avaliação relacionados aos serviços públicos de saneamento básico. Tal mecanismo é primordial e constitui-se em um exercício de direito sobre os serviços prestados à sociedade.

No que se refere à fiscalização, com vistas a garantir o cumprimento de normas e regulamentos editados pelo poder público e a utilização, efetiva ou potencial, do serviço público, 70% dos municípios declararam não acompanhar, ou acompanhar parcialmente, o monitoramento da qualidade ou controle de normas e leis do saneamento. Aqueles que afirmaram acompanhar efetivamente são compostos pelos municípios de Alfredo Wagner, Agronômica, Atalanta, Imbuia, Lontras e Mirim Doce.

Esta ausência de fiscalização é percebida na proporção de ligações clandestinas de esgotamento sanitário à rede pluvial, fato que ocorre em praticamente todos os municípios da pesquisa. Desta forma, o sistema que deveria coletar e manejar as águas pluviais, coleta também efluentes domésticos, o que contribui e intensifica a poluição dos mananciais destinados ao abastecimento público e recreação. Nesse sentido, a maioria dos gestores afirmou que nunca participou de ações integradas com outros municípios no setor de saneamento.

3.2 Inundações, Alagamentos, Erosão e Assoreamento

Nove municípios (Agronômica, Benedito Novo, Guabiruba, Laurentino, Luís Alves, Rio do Campo, Rio do Oeste, Taió e Vitor Meireles) possuem inundações com frequência de, no mínimo, uma vez ao ano. Os rios citados pelos gestores,

que transbordam sua calha normal e inundam as planícies, são os rios Luís Alves, do Campo, Trombudo, Itajaí-Oeste, das pombas, Benedito, Palmito, Sabugueiro, Dollmann, Guabiruba do Norte e Sul, bem como o ribeirão Braço Miguel e ribeirão Mosquitinho. Em cinco cidades ocorrem, anualmente, alagamentos causados por insuficiência das galerias de drenagem (Benedito Novo, Lontras, Luis Alves, Taió e Vidal Ramos), frequência também observada em nove municípios (Agrônômica, Dona Emma, Luís Alves, Vidal Ramos, Vitor Meireles e Rio do Campo) quando se trata de alagamentos causados pela incapacidade de bocas de lobo e sarjetas.

Onze municípios possuem problemas de erosão na área urbana, ao passo que dezesseis apresentam problemas de assoreamento. Na maioria destas cidades, o desassoreamento nunca é realizado. Apenas os municípios de Guabiruba e de Taió realizam esta atividade, no mínimo, uma vez ao ano. A interligação de esgoto na rede pluvial, fato comum na bacia, contribui para o assoreamento nos cursos d'água, já que ocorre o depósito dos sólidos em suspensão sedimentáveis. Ainda, a limpeza e poda das margens dos cursos d'água urbanos, bem como a manutenção e limpeza das bocas de lobo e galerias, atividades estas que ajudam a minimizar o efeito dos alagamentos, são realizadas sem periodicidade na maioria dos municípios.

Estes fatos refletem que a drenagem sofre principalmente da carência de informação e conscientização da população, além da falta de investimentos no saneamento como um todo. Não há, de maneira geral, preocupação com a manutenção dos sistemas de drenagem, o que colabora na ruptura ocasional das tubulações em 80% dos municípios. As ações desenvolvidas são meramente corretivas e executadas de modo emergencial. Estes fatos se traduzem em ocorrências cada vez mais constantes de enchentes e alagamentos.

3.3 Drenagem Urbana

Ao questionar os gestores acerca da existência de drenagem em seus municípios, dois afirmaram que suas cidades não possuem sistemas de manejo de águas pluviais urbanas: Mirim Doce e Rio do Oeste. Esta informação é contrária à existente nos planos municipais de saneamento destas cidades, que descrevem a extensão, embora pequena, destes sistemas. Ambos os municípios são predominantemente rurais, com uma taxa de urbanização de aproximadamente 48%. Acredita-se que devido ao baixo atendimento nestas cidades, os responsáveis pela pesquisa tenham assinalado de forma errônea. Contudo, este retorno demonstra a visão dos responsáveis pela drenagem urbana, considerada inexistente, nos municípios citados. Ressalta-se que Rio do Oeste figura em 4º lugar dentre as cidades mais atingidas por desastres de inundações em toda a bacia do Itajaí (TASCA, 2012), considerando municípios de todos os portes, e que o manejo das águas pluviais deveria ser adicionado, com prioridade, ao planejamento municipal.

Em cinco municípios (25%) não há setor a qual a drenagem esteja vinculada

(Figura 2): Dona Emma, Lontras, Mirim Doce, Petrolândia e Pouso Redondo. Desta forma, a drenagem é praticamente “esquecida”, uma vez que ela não é vinculada a nenhum departamento ou seção dentro da estrutura administrativa. Este fato não se restringe aos pequenos municípios, já que também foi observado em municípios maiores da região central de São Paulo (VAZ FILHO *et al.*, 2000) e de Santa Catarina (POMPÊO, 2000). Embora a maioria dos servidores afirme que existem setores responsáveis, a localização dos responsáveis foi complexa, o que contribuiu para que alguns gestores não respondessem à pesquisa.

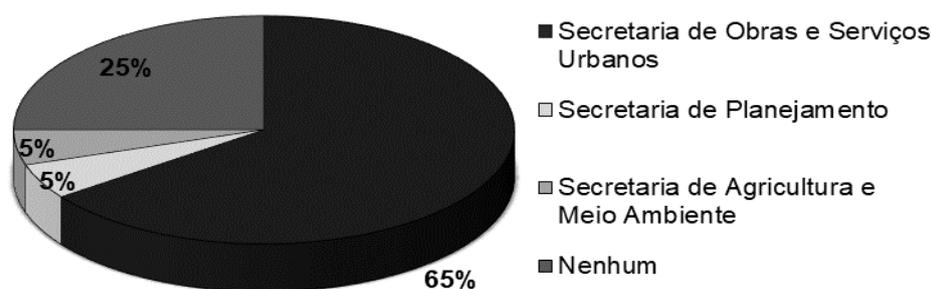


Figura 2 – Setores responsáveis pela drenagem urbana.

Em 1998, foi diagnosticada praticamente a mesma quantidade de municípios sem responsáveis pela drenagem na bacia do rio Itajaí-Açu (POMPÊO, 2000). Um dos principais problemas da drenagem urbana é a ausência de vontade política em resolver os problemas, pois em muitas prefeituras cultua-se a realização de obras que “apareçam” e, conseqüentemente, obras de drenagem e esgotamento sanitário não possuem prioridade. Ainda, tem-se como problemática a descontinuidade administrativa, ou seja, as mudanças políticas alteram as prioridades de investimentos, bem como a equipe responsável pelo manejo de águas pluviais. Esta fragilidade implica na ausência de planejamento a longo prazo (CHAMPS *et al.*, 2001), o que foi observado nas cidades que tiveram a extinção da drenagem vinculada à algum setor quando comparado ao ano de 1998.

Por outro lado, o setor de obras da prefeitura é responsável pela drenagem urbana em 65% dos municípios, fato que já perdura desde 1998. A associação ao setor de obras caracteriza a drenagem como uma ação meramente executiva, pautada em medidas estruturais, ao invés de uma atividade de planejamento que considere todas as variáveis envolvidas. Além disso, em 25% das cidades a drenagem urbana não está vinculada a nenhum setor.

No que se refere à formação dos responsáveis pela drenagem, a maioria não possui qualificação específica (Figura 3). Como a indicação para estes cargos é política, não necessariamente tem-se no comando destas atividades uma pessoa com conhecimento técnico em drenagem. Apenas três municípios possuem responsáveis

com curso superior, com formação na engenharia civil, agrimensura e agronomia/ecologia. Dois municípios possuem técnicos (um deles corresponde à técnico em edificações) responsáveis pela drenagem urbana. Geralmente, o dimensionamento dos sistemas de drenagem baseia-se na “experiência” do executor da obra, o que pode resultar em projetos equivocados e acarretar prejuízos materiais, como a ruptura de tubulações, e financeiros.

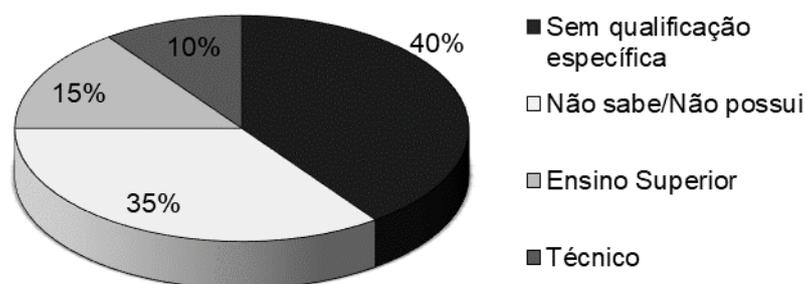


Figura 3 – Formação dos responsáveis pela drenagem urbana.

No que se refere as intervenções comumente realizadas, 75% dos gestores afirmaram que em seus municípios não existem rios canalizados, mas a maioria (65%) afirmou utilizar as canalizações fechadas quando há necessidade de intervenção em um curso d’água. Acredita-se que esta incoerência está relacionada ao conceito de canalização, que não é conhecido pelos gestores que responderam a pesquisa. As canalizações fechadas descaracterizam e escondem os rios do município, ao invés de utilizá-los como elementos enriquecedores na construção das paisagens urbanas.

Ainda, os responsáveis indicaram as deficiências observadas no setor da drenagem em seu município (Tabela 2), cujo problema mais indicado está relacionado à escassez de recursos específicos para a drenagem urbana, o que demonstra que as secretarias responsáveis trabalham sem autonomia financeira. Isto impossibilita a manutenção e limpeza dos sistemas de drenagem de forma sistemática. A necessidade de mais recursos foi apontada por 70% dos gestores, contudo estes podem ser direcionados a outras prioridades dentro do orçamento municipal. A falta de equipes de manutenção foi outro apontamento citado pela maioria (55%) dos entrevistados, o que se deve a ausência de planejamento e de recursos para a drenagem. Este panorama demonstra a necessidade de se obter meios alternativos para o financiamento e sustento dos sistemas de drenagem urbana.

Deficiências apontadas	Quantidade de Municípios
Recursos específicos	75%
Recursos	70%
Equipe de manutenção	65%

Deficiências apontadas	Quantidade de Municípios
Equipe técnica treinada	55%
Instrumento de planejamento (Plano Diretor de Drenagem Urbana)	50%
Integração com a gestão dos sistemas de esgoto sanitário	50%
Campanhas educativas sobre a preservação do meio ambiente	50%
Equipamentos para manutenção	35%
Integração com a gestão dos sistemas de resíduos sólidos	30%
Outro	5%

Tabela 2 – Deficiências indicadas pelos gestores dos pequenos municípios da bacia do rio Itajaí Açu.

Apesar das inúmeras deficiências relacionadas à gestão da drenagem, bem como as inundações frequentes em toda a bacia hidrográfica, a ausência de um PDDU foi considerada um problema para somente metade dos municípios. A eficiência do manejo de águas pluviais está diretamente relacionada à criação do PDDU, que inclui medidas preventivas de controle de inundações. A não indicação deste instrumento na maioria dos municípios pode indicar o não (re)conhecimento da importância deste plano para a Drenagem, bem como o desconhecimento dos gestores que atuam no manejo das águas pluviais nos setores municipais.

4 | CONCLUSÕES

O presente diagnóstico constitui um instrumento auxiliar à promoção da compreensão dos problemas por parte dos municípios de pequeno porte na bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, por meio da caracterização da gestão da drenagem urbana por meio de um questionário investigativo. Nestes municípios, a gestão da drenagem urbana é realizada por meio das secretarias de obras, as quais são vinculadas diretamente ao poder público municipal e apresentam, geralmente, uma estrutura técnica, administrativa e institucional frágil, sem recursos sistemáticos capazes de financiá-la adequadamente. Estes fatos contribuem para que não se invista adequadamente na drenagem urbana, já que esta não é uma área considerada prioridade direta dentro do saneamento.

A ausência de equipes de manutenção e técnica, além da falta de integração do saneamento como um todo, demonstra mais uma das deficiências na gestão da drenagem e, respectivamente do saneamento, nos pequenos municípios. O panorama demonstrado aponta a necessidade de se obter meios alternativos para o financiamento e sustento dos sistemas de drenagem urbana nos pequenos municípios. O diagnóstico também demonstra que a ausência de planejamento pode contribuir na ocorrência de inundações e alagamentos.

REFERÊNCIAS

- AKAISHI, Ana Gabriela. **Desafios do planejamento urbano-habitacional em pequenos municípios brasileiros**. Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online), n. 14, p. 41-50, 2011.
- CHAMPS, José Roberto Borges et al. **Planejamento do sistema de drenagem urbana na cidade de Belo Horizonte**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21ª Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 4. ABES, 2001. p. 1-8.
- CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, n. 3, p. 59-71, 2008.
- FRANK, Beate. **Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes**. Florianópolis. 1995. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)-Universidade Federal de Santa Catarina. 326 p.: il.
- FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). **Manual de saneamento. Orientações Técnicas**. 3. ed. Fundação Nacional de Saúde, Brasília, 408 p, 2006.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Sinopse Censo Demográfico de 2010**. Ed. IBGE, Rio de Janeiro, 261 p., 2011.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.
- ITAJAÍ, COMITÊ. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Itajaí: construindo o futuro da bacia**. Blumenau: Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí, 2010.
- LISBOA, Severina Sarah; HELLER, Léo; SILVEIRA, Rogério Braga. **Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 4, p. 341-348, 2013.
- NASCIMENTO, N.O.; SILVÉRIO.S.. **Plano Diretor e Saneamento Ambiental**. In: *Plano diretor participativo: guia para elaboração pelos municípios e cidadãos*. Org. por Rolnik, R.; Schasberg, B.; Pinheiro, O., ed. CONFEA, Brasília-DF, v.1, p. 95-111, 2004.
- OLIVEIRA, CC de; MENDES, CAB. **A efetividade dos instrumentos de política urbana nos dilemas ambientais com águas urbanas**. Revista de Gestão da Água da América Latina (REGA), p. 5-13, 2008.
- POMPEO, Cesar Augusto. **Development of a state policy for sustainable urban drainage**. Urban Water, v. 1, n. 2, p. 155-160, 1999.
- TASCA, Fabiane Andressa. **Gestão da drenagem urbana na bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu**. Florianópolis. 2012. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, 142 p.
- VAZ FILHO, Paulo et al. **Diagnóstico de drenagem urbana na região central do estado de São Paulo**. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 27. ABES, 2000. p. 1-10 [t. XII].

ANÁLISE AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESPAÇO URBANO DE CAMPO GRANDE/MS

**Eva Faustino da Fonseca de Moura
Barbosa**

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul –
UEMS
Campo Grande – MS
evamoura@uems.br

RESUMO: Esta proposta de pesquisa em Geografia Física visou estudar as mudanças ambientais relativas aos processos de uso e ocupação antrópicos e gestão de recursos hídricos integrados ao planejamento territorial e ambiental nas Bacias Hidrográficas do Espaço Urbano de Campo Grande. No perímetro urbano de Campo Grande existem trinta e dois córregos e um rio. Nestas regiões estão presentes processos de erosão, assoreamento e poluição. As Bacias Hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas uma vez que, mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações e impactos em toda sua extensão. Esta análise ambiental procurou pesquisar a especificidade das dinâmicas e dos problemas ambientais ocorridos nas bacias hidrográficas urbanas de Campo Grande.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia Hidrográfica. Processo de Uso e Ocupação. Problemas Ambientais.

ABSTRACT: This proposal of research in Physical Geography aimed to study the environmental changes related to the processes of anthropic use and occupation and management of water resources integrated to the territorial and environmental planning in the Hydrographic Basins of the Urban Space of Campo Grande. In the urban perimeter of Campo Grande there are thirty-two streams and a river. In these regions erosion, silting and pollution are present. The Hydrographic Basins integrate a joint vision of the behavior of the natural conditions and the human activities developed in them, since, significant changes in any of these units, can generate changes and impacts to the full extent. This environmental analysis sought to investigate the specificity of the dynamics and environmental problems occurred in the urban watersheds of Campo Grande.

KEYWORDS: Hydrographic Basin. Process of Use and Occupation. Environmental problems.

1 | INTRODUÇÃO

A análise ambiental é uma forma de abordar a atual interação homem-natureza, buscando a necessária e urgente visão de totalidade concernente a esses estudos. A ideia de espaço total perpassa pela atual

organização espacial das populações, ou seja, entender como este processo vem ocorrendo no atual momento sócio histórico. Nesse sentido, torna-se relevante entender a conjuntura atual das implantações cumulativas realizadas em Campo Grande pelas ações antrópicas.

O objetivo central desta pesquisa foi analisar os problemas ambientais das Bacias Hidrográficas do Espaço Urbano de Campo Grande. O levantamento in loco em todas as regiões da cidade duraram dois anos (2015 – 2017). Foram feitas visitas técnicas e visitas à campo desenvolvidas através das disciplinas ministradas pela pesquisadora, bem como, pelos orientandos de Iniciação Científica e Trabalho de Conclusão de Curso.

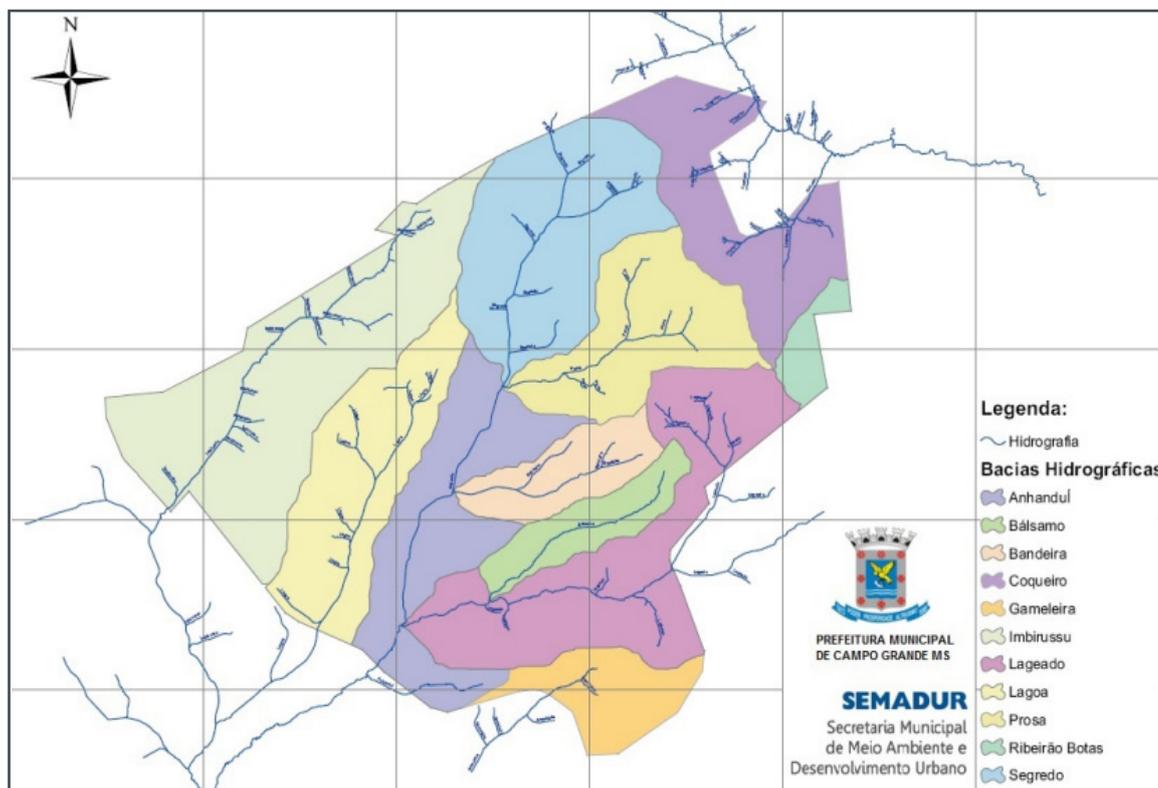
O processo de urbanização das duas últimas décadas em Campo Grande acelerou os processos de erosão, de assoreamento, de poluição e de degradação ambiental em todas as bacias hidrográficas do espaço urbano. Por isso, a cidade já começa a apresentar problemas relacionados a gestão e planejamento dos recursos hídricos. Sendo assim, a água deve ser tratada como um bem estratégico no País, ou seja, é preciso incorporar as leis com as demais Políticas Públicas, assegurando seus benefícios à sociedade civil e ao meio ambiente.

2 | POTENCIAL FÍSICO-AMBIENTAL DE CAMPO GRANDE

O Espaço Total é o arranjo e o perfil adquiridos por uma determinada área em função da organização humana que lhe foi imposta ao longo dos tempos (Ab'Sáber, 2006). Nesse sentido, pressupõe o entendimento da conjuntura atual das implantações cumulativas realizadas pelas ações antrópicas sobre o Potencial Físico-Ambiental de Campo Grande.

Pois o atual território campo-grandense demonstra a estruturação espacial realizada por ações antrópicas sobre os recursos naturais remanescentes de outros espaços herdados da natureza. Por essa razão, há que se conhecer o funcionamento dos fluxos vivos da natureza e toda a história e formas de ocupação dos espaços criados pelos homens.

O Perfil Socioeconômico de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2016) subdivide a rede hidrográfica urbana de Campo Grande em 11 bacias, sendo elas: Anhanduí, Balsamo, Bandeira, Coqueiro, Gameleira, Imbirussu, Lageado, Lagoa, Prosa, Ribeirão Botas e o Segredo (Mapa 1). Essas áreas integram uma visão conjunta do comportamento do potencial físico-ambiental e das atividades antrópicas nelas desenvolvidas.



Mapa 1 – Mapa das Bacias Hidrográficas do Espaço Urbano de Campo Grande

Fonte: Campo Grande (2016).

O Plano Municipal de Saneamento Básico de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2013) afirma que o Rio Anhanduí possui 390 km de extensão, dos quais apenas 70 km são navegáveis, trecho que se encontra longe da parte densamente povoada e urbanizada da malha urbana da cidade.

A extensão delimitada da bacia do Rio Anhanduí dentro da área urbana é estimada em 40,72 km² (CAMPO GRANDE, 2008). Seus principais córregos contribuintes na malha urbana de Campo Grande são o Segredo e o Prosa, além deles, o Lageado, o Imbirussu e o Bandeira também são significativos afluentes. O Rio Anhanduí atravessa as regiões urbanas do Segredo, do Centro e do Anhanduízinho (CAMPO GRANDE, 2016).

O Plano Municipal de Saneamento Básico de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2013) aponta o Rio Anhanduí e seus afluentes centrais como sendo os principais pontos de desenvolvimento da malha urbana da cidade, porém, esse rápido processo de expansão criou em um curto prazo de tempo um processo de poluição contínua.

A Tabela 1 apresenta o Potencial Físico-Ambiental das Bacias Hidrográficas do Espaço Urbano de Campo Grande. A tabela identifica o clima, a vegetação, a geologia, a geomorfologia e os solos dominantes dessas áreas.

Bacia	Clima	Vegetação	Geologia	Geomorfologia	Solos
Anhanduí	Cfa	Pastagens	Serra Geral	PD	LVD
Bálsamo	Cfa	Pastagens	Serra Geral	PD/RVP	LVD
Bandeira	Cfa	Pastagens	Serra Geral	PD/RVP	LVD
Botas-Coqueiro	Cfa	Arbórea Aberta Pastagens	Caiuá/ Serra Geral	RVP	LVD/LV
Gameleira	Cfa	Arbórea Aberta/ Pastagens	Serra Geral	PD/RVP	LVD/NQ
Imbirussu	Cfa	Pastagens	Serra Geral	PD	LVD/LV
Lagoa	Cfa	Pastagens	Serra Geral	PD	LVD/LV/ NQ
Lajeado	Cfa	Arbórea Aberta Pastagens	Serra Geral	PD/RVP	LVD/NQ
Prosa	Cfa	Pastagens	Serra Geral	PD/RVP	LVD
Segredo	Cfa	Pastagens	Serra Geral	PD/RVP	LVD/LV
Sóter	Cfa	Pastagens	Serra Geral	PD/RVP	LVD

Tabela 1 – Tabela do Potencial Físico-Ambiental das Bacias Hidrográficas do Espaço Urbano de Campo Grande

Fonte: Adaptado de Campo Grande (2015).

Legenda: Clima: Cfa – Clima Subtropical com verão quente. **Geomorfologia: PD** – Planalto de Dourados. **Geomorfologia: RVP** – Rampas dos Rios Verde/Pardo. **Solo: LV** – Latossolo Vermelho. **Solo: LVD** – Latossolo Vermelho Distrófico. **Solo: NQ** – Neossolo Quartzarênico.

Toda a área urbana de Campo Grande está sob a influência de um mesmo tipo climático. Segundo a classificação climática de Koppen, Campo Grande está situada em uma área de transição entre o subtipo Cfa (Clima Subtropical com verão quente), em que a temperatura do mês mais quente é superior a 25°C, tendo o mês mais seco precipitação acima de 30 mm. Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro. (CAMPO GRANDE, 2015)

No perímetro urbano de Campo Grande há uma predominância de áreas de pastagem e vegetação arbórea aberta. Esta última aparece nas Bacias Hidrográficas do Botas-Coqueiro (região norte de Campo Grande) e nas Bacias Hidrográficas do Gameleira e do Lajeado (as duas na região sul de Campo Grande). As três bacias ficam na região periurbana da cidade.

Quanto a Geologia predominante nas Bacias Hidrográficas Urbanas de Campo Grande destacam-se rochas cretáceas e jurássicas, representadas pelo Grupo Bauru (Formação Caiuá, que se compõe de arenitos finos a médios e grosseiros, arcoseanos ferruginosos) e Grupo São Bento (Formações Serra Geral representada pelos derrames basálticos toleíticos, com presença de intertrapes areníticos e Formação Botucatu composto por arenitos finos e muito finos com raras fácies fluviolacustres e lentes conglomeráticas). (CAMPO GRANDE, 2015)

Essas unidades têm como características o relevo plano, geralmente elaborado por várias fases de retomada erosiva; além de apresentar regiões com relevos elaborados pela ação fluvial e ainda áreas planas resultantes de acumulação fluvial

sujeita a inundações periódicas. A declividade das vertentes é variável, podendo atingir até 5°. (CAMPO GRANDE, 2015)

Segundo a Prefeitura Municipal de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2015), a área urbana de Campo Grande apresenta três tipos de Solos: Neossolo Quartzarênico - aparece nas bacias da Gameleira e do Lajeado (área periurbanas sul da cidade). Este tipo de solo apresenta baixa capacidade de retenção de umidade e grande susceptibilidade à erosão, sendo desaconselhado para a agricultura. Ocorrem em áreas com topografia plana ou suavemente ondulada; Latossolo Vermelho Distrófico - este tipo de solo é predominante em todas as Bacias Hidrográficas do Espaço Urbano de Campo Grande. Apresentam grande capacidade de infiltração de água superficial com pouca susceptibilidade à erosão. No entanto, sob condições de uso inadequado, ou sob fortes precipitações, podem ocorrer processos de degradação ambiental irreversíveis; Latossolo Vermelho - este tipo de solo aparece nas Bacias Hidrográficas do Botas-Coqueiro, do Imbirussu, do Lagoa e do Segredo. Ocorrem predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado, propiciando a mecanização agrícola, são solos que, em condições naturais, apresentam baixos níveis de fósforo. Outras limitações identificadas referem-se à baixa quantidade de água disponível às plantas e a susceptibilidade à compactação.

A análise do Potencial Físico-Ambiental das Bacias Hidrográficas do Espaço Urbano de Campo Grande tem uma certa importância quando se tem estes espaços como Unidade de Gestão e Planejamento dos Recursos Hídricos (Lei 9433/1997) (BRASIL, 1997). Pois, todo meio ambiente urbano tem como destino uma determinada população e a construção de sua história. Considerando a história do uso e ocupação desta cidade, é imprescindível o conhecimento da estrutura, da composição e da dinâmica do potencial físico-ambiental que evidenciam o Espaço Total da região.

O conceito de Espaço Total nos remete à necessidade de se prever os impactos ambientais dos empreendimentos inseridos no espaço urbano campo-grandense. Entender a formação deste espaço total envolve a análise de toda a estrutura espacial criada pelas ações antrópicas sobre os recursos naturais remanescentes do espaço herdado da natureza. Por isso, conhecer o funcionamento dos fluxos vivos da natureza e dos fixos criados pela história de ocupação destes espaços será tão urgente e imprescindível para a sociedade atual e para as gerações futuras.

3 | ANÁLISE AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESPAÇO URBANO DE CAMPO GRANDE

Campo Grande, capital do Estado de Mato Grosso do Sul, possui uma população de 863.982 mil habitantes (estimada) e cerca de 97 hab/km² (IBGE, 2017). Observa-se alto grau de urbanização, uma vez que a população urbana representava 98,66% e a rural 1,34% em 2010. A participação da população do Município em relação à

do Estado de Mato Grosso do Sul ainda é elevada, sendo que em 2010 chegou a 32,13%. De acordo com as projeções estatísticas, Campo Grande deve ter um milhão de habitantes em 2027. (CAMPO GRANDE, 2016).

Segundo o Relatório dos Vazios Urbanos na Cidade de Campo Grande (UFMS, 2016) a população economicamente ativa da cidade é de 70,73% e a taxa de alfabetização de 95,78%. Quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Campo Grande vem evoluindo a cada década. Atingiu 0,784 em 2010, índice considerado alto pelo PNUD (Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil), ficando em 12º lugar entre as 27 capitais brasileiras.

O processo de urbanização de Campo Grande ocorreu de forma pouco planejada e sem muito controle quanto ao uso e ocupação do solo tem provocado significativos impactos ao meio ambiente, e neste cenário as inundações, as enchentes, os alagamentos e conseqüentemente os processos de erosão, assoreamento e poluição têm sido os principais problemas causadores de efeitos negativos sobre a população, tanto do ponto de vista da saúde pública quanto econômica.

A Carta de Drenagem de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 1997) demonstra que a expansão da área urbana de Campo Grande caracterizou-se por um processo desordenado de ocupação e um deslocamento total das preocupações de interação entre ocupação urbana e meio físico, privilegiando as influências de mercado que ignoram as reais potencialidades físicas das áreas a serem ocupadas.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2008) confirma que as bacias hidrográficas do espaço urbano de Campo Grande já demonstram os efeitos das alterações antrópicas na maior parte das suas áreas, em algumas mais e em outras menos, de acordo com o tempo e forma de ocupação. As principais formas de degradação verificadas são: processos de assoreamentos, solapamentos, insuficiência no sistema de captação de águas pluviais e contaminação por efluentes domésticos.

De acordo com o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2008) as Bacias Hidrográficas do Segredo, do Prosa e do Anhanduí são as que possuem o maior índice de criticidade. Pois, a história de Campo Grande começou na confluência desses córregos e, ao longo dos anos junto com a expansão urbana vieram os problemas ambientais. Nas duas últimas décadas houve uma grande abertura de vias públicas ao longo desses córregos. A mata ciliar foi retirada sendo substituída por grandes avenidas asfaltadas e pela concretude das margens e dos leitos destes córregos.

Registramos em todas as Bacias Hidrográficas que compõe a área urbana uma multiplicidade de ações impactantes e danos ambientais, resultantes ou dependentes dos sistemas de planejamento urbano e de gestão ambiental. As de maior ocorrência, promovem ou decorrem de desmatamentos feitos sem adoção de critérios técnicos necessários e adequados, ocupação de áreas impróprias aos assentamentos humanos e implantação de infraestruturas urbanas, deficiência nos sistemas de saneamento básico e ambiental, deficiências na fiscalização

de atividades antrópicas, exploração agrícola e minerária realizadas de formas tecnicamente incompatíveis com o desejável ordenamento físico-territorial, legal e ambiental do Município (CAMPO GRANDE, 1997, p. 10).

A Prefeitura Municipal de Campo Grande publicou em 1997 a Carta de Drenagem de Campo Grande, registrando os efeitos sociais, econômicos, ecológicos e ambientais do processo de uso e ocupação ocorridos no espaço urbano de Campo Grande. Segundo o referido documento os impactos ambientais resultantes desse processo podem ser,

[...] notados e sentidos pela comunidade campo-grandense, através de consequências facilmente entendidas pelo público em geral, tais como perda de manancial, erosão e perda de solo fértil, impermeabilização do solo urbano, assoreamento de áreas baixas, terrenos alagadiços, fundos de vales, várzeas, córregos, rios, poluição das águas, do solo e do ar, por diferentes tipos de agentes contaminantes [...] (CAMPO GRANDE, 1997, p. 25).

A Carta de Drenagem de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 1997, p. 21) considera que “as bacias hidrográficas urbanas, em função das características do meio físico, do uso e ocupação do solo, expressam um conjunto de problemas e enfrentamentos, com serviços e obras necessários”. A Tabela 2 apresenta os Problemas Ambientais das Bacias Hidrográficas Urbanas de Campo Grande e o grau de criticidade. Os problemas ambientais apresentados nesta tabela são relacionados à drenagem urbana.

Bacias Hidrográficas	Problemas Ambientais Atuais e Potenciais	Grau de Criticidade
Anhanduí	Alagamentos, inundações e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular.	VI
Bálsamo	Alagamentos, inundações e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular.	II
Bandeira	Alagamentos, inundações e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular.	I
Botas-Coqueiro	Alagamentos e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular; Ocorrência de ligações clandestinas de esgoto.	IV
Gameleira	Alagamentos, inundações e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular.	I
Imbirussu	Alagamentos, inundações e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular.	II

Lagoa	Alagamentos, inundações e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular.	I
Lajeado	Alagamentos, inundações e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular.	III
Prosa	Alagamentos e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular; Ocorrência de ligações clandestinas de esgoto.	IV
Segredo	Alagamentos, inundações e enchentes em vários pontos; Sistema de microdrenagem insuficiente em vários pontos; Bocas-de-lobo assoreadas, com localização e distribuição irregular; Ocorrência de ligações clandestinas de esgoto.	V

Tabela 2 – Tabela dos Problemas Ambientais das Bacias Hidrográficas Urbanas de Campo Grande

Fonte: Adaptado de Campo Grande (1997) e Campo Grande (2015).

As condições naturais das Bacias Hidrográficas Urbanas de Campo Grande foram alteradas gradativamente em função da urbanização, que no seu processo de desenvolvimento vem introduzindo elementos artificiais às bacias hidrográficas urbanas, como a impermeabilização do solo por intermédio das construções, ruas, calçadas, pontes, passarelas e canalizações.

A urbanização crescente e desordenada tem sido a principal responsável pelos problemas das inundações, alagamentos e enchentes em Campo Grande, pois tem causado a redução dos processos de infiltração e assim, a parcela das águas pluviais que antes era dissipada por infiltração, é transferida para o escoamento superficial direto e conseqüentemente acarreta o sobrecarregamento e comprometimento do sistema de drenagem existente.

Como a expansão de Campo Grande tem ocorrido sem planejamento e controle da ocupação do solo, os sistemas de drenagem acabam por não resistirem às demandas requisitadas e entram em colapso, provocando alagamentos em ruas e avenidas as quais servem. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2013, p. 115) “os sistemas atuais de drenagem do Município tem sido implantado a partir do princípio que drenagem eficiente é aquela que permite o escoamento rápido das águas precipitadas e assim negligenciam com seus efeitos nas áreas à jusante, transferindo seus impactos negativos de um local para outro”.

Este fato acarreta nos danos materiais e humanos sofridos pelas populações que ocupam determinadas áreas, em particular as próximas dos cursos d’água, quando dos períodos chuvosos em que as inundações são frequentes na cidade. Estas áreas foram invadidas e ocupadas durante a urbanização, de forma descontrolada por moradias de baixa renda e projetos equivocados de ruas e avenidas. A drenagem

é parte do meio ambiente urbano e a urbanização sem planejamento torna-se contrária a sustentabilidade da bacia, sendo esta compreensão fundamental para o aperfeiçoamento dos mecanismos de gestão do processo.

A ocupação urbana sem planejamento tem levado a falta de espaço para escoamento das águas no período das cheias, ao aumento da carga de poluentes nos corpos hídricos e subterrâneos, a redução da capacidade de armazenamento e retenção de águas e estes fatores alteram o equilíbrio geomorfológico e expõe o ambiente urbano as mazelas das enchentes. (CAMPO GRANDE, 2013)

O desenvolvimento urbano requer uma gestão pública de responsabilidade, de ações preventivas e que considere a drenagem urbana integrada ao planejamento das demais infraestrutura do Município e a inclusão de todos os componentes institucionais. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2013),

O planejamento da drenagem urbana deve se pautar num conjunto de medidas não estruturais e estruturais interconectadas que avalia as soluções de conjunto da cidade, integrando com os outros serviços urbanos da cidade e permitindo uma gestão dos serviços municipais eficiente. Além disso, estabelece a implementação da drenagem urbana sua operação e manutenção de curto, médio e longo prazo de forma sustentável. (CAMPO GRANDE, 2013, p. 117)

As Bacias Hidrográficas Urbanas de Campo Grande, em função das características do meio físico, do uso e ocupação do solo, expressam um conjunto de problemas e enfrentamentos, com serviços e obras necessários. A Carta de Drenagem de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 1997) assegura que ocorreu um mau gerenciamento ambiental dos recursos hídricos da região refletindo no sistema de captação de águas.

A Tabela 2 mostra que o maior grau de criticidade se encontra nas Bacias Hidrográficas do Segredo, do Prosa, do Anhanduí e do Botas-Coqueiro. Justamente onde tem ocorrido o maior processo de urbanização em Campo Grande nas duas últimas décadas. Esses córregos cortam a cidade de norte a sul e de leste a oeste, respectivamente, numa tendência de adensamento crescente de jusante para montante desses córregos. Nos últimos vinte anos foram feitas obras de contenção de drenagem que beneficiaram todas as bacias urbanas de Campo Grande, independentemente do grau de criticidade destas.

O agravamento dos problemas relacionados à drenagem urbana ocorreu devido ao aceleração do processo de uso e ocupação inadequado e sem critérios de planejamento e a falta de manutenção contínua das obras de drenagem pelo Poder Público. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2013) o rio e os córregos da cidade estão com a qualidade dessas águas praticamente comprometida, pois, a pouca vazão da água do rio e dos córregos não é suficiente para a diluição dos esgotos.

Assim, torna-se oportuno tratar sobre as questões relacionadas à qualidade das águas dos córregos urbanos de Campo Grande. A Resolução CONAMA nº

357 (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Segundo o Art. 3, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade. Em parágrafo único esclarece que “as águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes”.

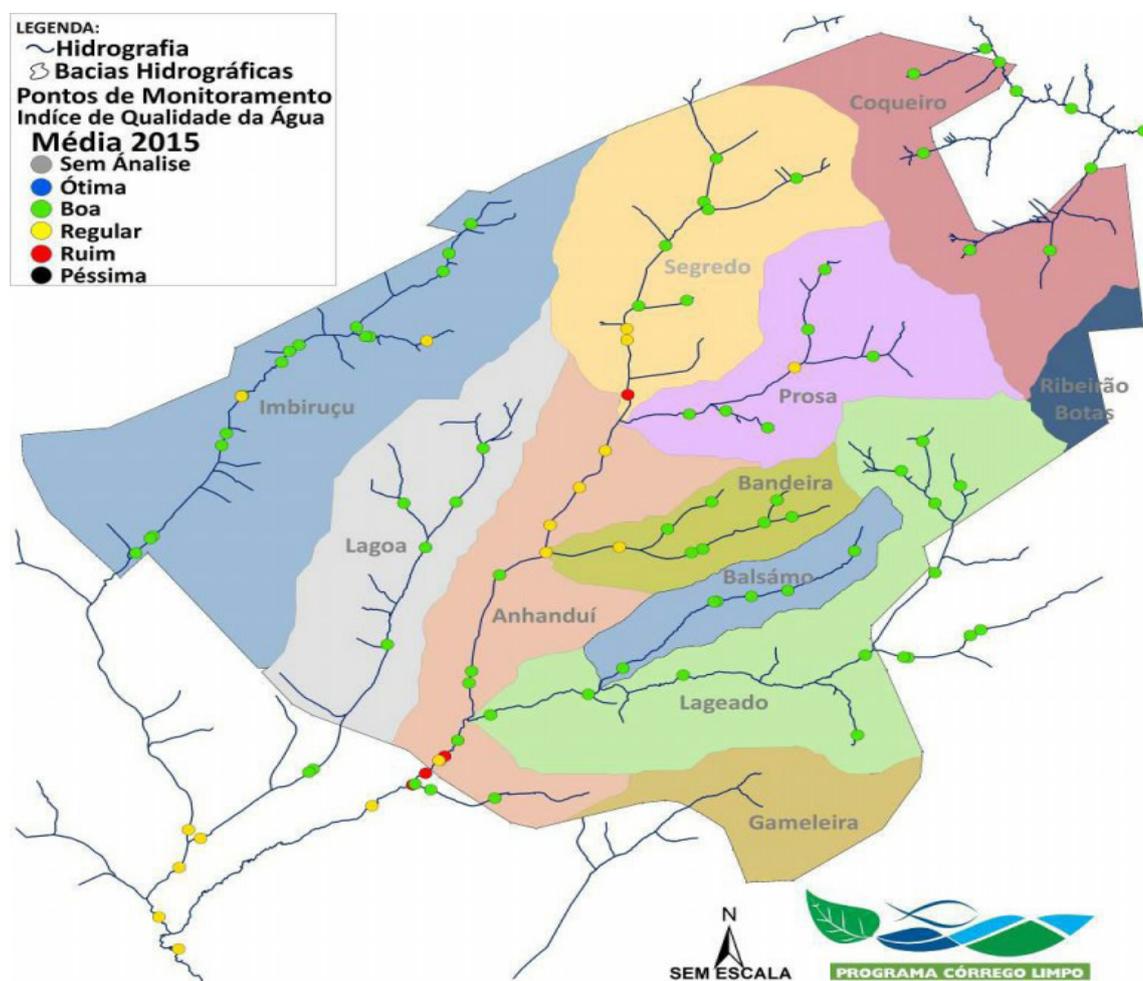
A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) no seu Art. 4 traz a classificação do uso das águas doces, que podem ser classificadas em: I - Classe Especial: águas destinadas, ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; II - Classe 1: águas que podem ser destinadas, ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas; III - Classe 2: águas que podem ser destinadas, ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; e à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca; IV - Classe 3: águas que podem ser destinadas, ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais; V - Classe 4: águas que podem ser destinadas, à navegação; e à harmonia paisagística.

Segundo o Enquadramento em Classes dos Corpos de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Anhanduí (MATO GROSSO DO SUL, 2012), as águas da área urbana de Campo Grande, estão assim enquadradas: Classe Especial: as nascentes dos Córregos Segredo e Prosa; Classe I: Córrego Segredo (Parque Estadual Matas do Segredo) e o Córrego Lageado; Classe II: Córrego Segredo (Avenida Euler de Azevedo) e os Córregos Prosa, Sóter, Bandeira, Lageado, Bálsamo, Lagoa, Imbirussu, Serradinho, Gameleira e seus afluentes; Classe III: o baixo curso dos Córregos Segredo, Prosa, Vendas, Bandeira, Cabaça, Lageado, Lagoa e o Imbirussu; Classe IV: Rio Anhanduí, da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Los Angeles até sua confluência com o Córrego Imbirussu.

Segundo o Perfil Socioeconômico de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2016) foi lançado em 2009, em Campo Grande, o Programa “Córrego Limpo”, que constituía numa rede de monitoramento de qualidade da água da cidade, para avaliar a tendência e a adequabilidade do uso da água para fins de abastecimento público,

por meio da aplicação de um indicador numérico denominado Índice de Qualidade das Águas (IQACETESB). O programa analisou nove parâmetros de qualidade: temperatura, pH, OD, DBO, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fosfato total, turbidez e sólidos totais.

O Índice de Qualidade da Água Média 2015 (Programa “Córrego Limpo”) para as bacias hidrográficas do espaço urbano de Campo Grande (Mapa 2) identifica a qualidade das águas destes espaços. As Bacias Hidrográficas dos Córregos Coqueiro, Botas, Segredo, Prosa, Bandeira, Bálamo, Lageado, Gameleira, Imbirussu e Lagoa apresentam a média de qualidade de suas águas classificadas como ‘boa’ e ‘regular’. O Rio Anhanduí e o Córrego Segredo apresentam pontos classificados como água ‘ruim’. O enquadramento proposto na Resolução CERH/MS N° 18 (MATO GROSSO DO SUL, 2012) classifica as águas do Rio Anhanduí e seus afluentes indicando como essas águas podem ser utilizadas.



Mapa 2 – Média do Índice de Qualidade da Água (2015) – Bacias Hidrográficas do Espaço Urbano de Campo Grande

Fonte: Campo Grande (2016).

O Programa “Córrego Limpo”, tem como objetivo o monitoramento da qualidade da água de Campo Grande, para avaliar a tendência e a adequabilidade do uso da água para fins de abastecimento público. O acompanhando da qualidade dos córregos

urbanos da cidade proporciona o gerenciamento dos recursos hídricos, possibilitando levantar quais fatores estão contribuindo para a diminuição da qualidade das águas e subsidiando ações para a despoluição dos córregos. Além disso, propicia que a população tome conhecimento das condições da água superficial da cidade.

Outro problema ambiental que merece destaque nesta análise, são os desmatamentos feitos em Campo Grande nas últimas décadas, que não adotaram os critérios técnicos necessários e adequados, refletindo numa ocupação de áreas impróprias aos assentamentos humanos e sem a implantação de infraestrutura urbana necessária. Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Campo Grande (CAMPO GRANDE, 2008) as Bacias Hidrográficas Urbanas apresentam o seguinte percentual de cobertura vegetal: Lagoa – 9%; Gameleira – 9%; Anhanduí - 11%; Imbirussu – 11%; Coqueiro – 18%; Lageado - 19%; Botas - 20%; Bálsamo - 22%; Bandeira 22%; Prosa – 21%; Segredo – 25%.

O maior percentual de cobertura vegetal das Bacias Hidrográficas Urbanas de Campo Grande é de 25%, que é a Bacia Hidrográfica do Segredo, terceira maior bacia. A Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeira apresenta um percentual de 22%, o que nos leva a concluir que a situação da cobertura vegetal nestas áreas é crítica, considerando o maior índice (25%) e o menor índice (9%).

O desmatamento de áreas urbanas causam problemas relacionados à degradação ambiental de grandes proporções, tais como os processos de assoreamentos e processos erosivos ao longo das áreas dessas bacias. Uma das consequências é o carreamento de material particulado para o leito desses córregos, causando assoreamento e a incapacidade de decantação dessas águas.

Assim, considerando a abordagem socioambiental busca-se maior consciência crítica em relação aos problemas do Meio Ambiente, pois assim podemos colaborar neste processo. A solução e a consequente melhoria dos problemas socioambientais necessariamente perpassa pela educação, pela saúde, pela cultura, considerando que todos os processos de aprendizagem são válidos nessa luta cotidiana que é combater a degradação ambiental.

4 | A BACIA HIDROGRÁFICA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO AMBIENTAL

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) (BRASIL, 1997) estabelece a Bacia Hidrográfica como sendo a unidade territorial para implementação de políticas públicas relacionadas à exploração dos recursos hídricos. Os autores Porto e Porto (2008, p. 2) afirmam que “os recursos hídricos têm sua gestão organizada por Bacias Hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados”.

Bruschi, Arndt e Costa (2014, p. 103) entendem ‘Recursos Hídricos’ como sendo “todas as águas superficiais ou subterrâneas utilizadas em processos produtivos, dotados de valor econômico”. Para esses autores ‘Corpos de Água’ refere-se a

“lagos, lagoas, rios, córregos, canais e quaisquer outras acumulações de água, corrente ou não”.

A Bacia Hidrográfica pode ser considerada um ente sistêmico, pois nestas áreas se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos. Diz-se que o tamanho ideal da Bacia Hidrográfica é aquele que incorpora toda a problemática de interesse. (PORTO E PORTO, 2008)

Porto e Porto (2008) asseguram que são nestes territórios definidos como Bacias Hidrográficas que se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma Bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte deste sistema. O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem.

Neste sentido, a necessidade de planejamento e monitoramento dos recursos hídricos, em virtude dos problemas enfrentados de escassez de água em quantidade e qualidade, poluição e contaminação denotam a importância da padronização no traçado de Bacias Hidrográficas.

A água é um importante recurso econômico pois favorece a expansão das atividades da agropecuária, da indústria, da geração de energia, da navegação, da pesca, da aquicultura e do turismo. Para conciliar essa riqueza hídrica com a expansão econômica é preciso fazer uma gestão responsável das águas. O planejamento deve ser articulado entre o Poder Público, os usuários e os gestores para evitar o agravamento das possibilidades de conflitos e prejuízo à qualidade e à disponibilidade das águas.

Visando à qualidade e à disponibilidade das águas foi criada a Lei Estadual nº 2406/02 (MATO GROSSO DO SUL, 2002), que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e define os instrumentos de gestão.

Dentre os instrumentos de gestão previsto na Lei 2406/02 destaca-se o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-MS), aprovado em 2009. O documento tem como objetivo nortear a implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos, propondo programas e subprogramas a serem desenvolvidos no período 2009-2025. Cada uma das 15 sub-bacias hidrográficas do Mato Grosso do Sul é uma Unidade de Planejamento e Gerenciamento (UPG) do Plano Estadual de Recursos Hídricos. (MATO GROSSO DO SUL, 2010)

Bruschi, Arndt e Costa (2014, p. 108) conceituam Comitê de Bacia Hidrográfica como sendo “fórum de caráter deliberativo e normativo, no âmbito de uma Bacia Hidrográfica, em que um grupo de pessoas se reúnem para discutir sobre um interesse comum o uso d’água na bacia”. O comitê é composto por representantes do Poder Público, de usuários de recursos hídricos e da sociedade civil organizada. Cabe ao Comitê da Bacia Hidrográfica decidir sobre os conflitos entre os usuários,

atuando como primeira instância de decisão.

Mato Grosso do Sul é integrante de três Comitês de Bacias Hidrográficas, sendo um federal e dois estaduais: o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (CBH Paranaíba), o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Miranda (CBH Miranda) e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Ivinhema (CBH Ivinhema) (BRUSCHI, ARNDT e COSTA, 2014). Tais divisões foram feitas de maneira a conformar as necessidades de gestão dos recursos hídricos com a configuração e características locais destas sub-bacias.

A questão primordial da gestão das Bacias Hidrográficas é a integração dos vários aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental. A Bacia Hidrográfica permite essa abordagem integrada, segundo Yassuda (1993, p. 8), “a Bacia Hidrográfica é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural”.

Pelo caráter integrador das dinâmicas ocorridas nas unidades ambientais, as bacias de drenagem revelam-se excelentes áreas de estudos para o planejamento. Pois, nos últimos anos, o homem tem participado como um agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrios da paisagem. Nesse sentido, pressupõe um entendimento na conjuntura atual de todas as implantações cumulativas realizadas por ações antrópicas.

Considerando as ideias de Christofolletti (1980) os sistemas estão inter-relacionados, ou seja, qualquer alteração no sistema todos são atingidos. E atualmente sabe-se que qualquer atividade produtiva realizada pelo homem, inevitavelmente altera o ambiente. A visão do homem como modificador da natureza e dos recursos naturais é repudiada atualmente. Pois, o homem é parte do sistema, sendo um dos elementos que age e interage com os demais.

Botelho e Silva (2007) ponderam que “ao planejar e ocupar de forma ordenada o território, o homem possibilita a instalação de um novo equilíbrio dentro do sistema que ele habita – a Bacia Hidrográfica”. A manutenção do equilíbrio ambiental se reverterá numa qualidade ambiental satisfatória, o que, por sua vez, contribuirá inquestionavelmente para a melhoria da qualidade de vida das sociedades.

Por fim, é válido ressaltar que as discussões relacionadas às questões ambientais, nos últimos anos, motivaram a criação de normas e leis ambientais de regulamentação de uso e proteção do solo, da água, da flora e da fauna. Mas, é necessário, que estas leis sejam colocadas em prática e que haja fiscalização permanente e eficiente. O engajamento da Sociedade Civil e do Poder Público, através da Gestão Compartilhada e Participativa é essencial na busca da qualidade ambiental almejada.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Campo Grande, é uma cidade que cresceu muito nas duas últimas décadas devido ao acelerado processo de urbanização. Tanto que a cidade cresceu em todas as direções, ao norte, ao sul, ao leste e ao oeste. Foram construídas as infraestruturas necessárias às demandas ao crescimento populacional que ocorreram no período. Porém este desenvolvimento acelerou os problemas ambientais já existentes, considerando as onze bacias hidrográficas urbanas.

Assim, quando pensamos num mundo socialmente e ambientalmente mais justo, considerar a totalidade dos espaços deve ser uma técnica de previsão de impactos e degradação, em qualquer tipo de projeto e estudo a ser introduzido em determinados lugares, regiões e territórios.

Por fim, a análise ambiental das Bacia Hidrográficas dos Espaços Urbanos de Campo Grande teve como intuito subsidiar procedimentos voltados à gestão e planejamento ambiental de Campo Grande. No entanto, espera-se que as atuais alterações feitas neste ambiente urbano sejam realizadas de forma planejada e fiscalizada, e que se investigue as consequências das intervenções antrópicas.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N.; MÜLLER-PLANTENBERG, C. (orgs.) **Previsão de Impactos: O Estudo de Impacto Ambiental no Leste, Oeste e Sul: Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. 2.ed. São Paulo, EDUSP, 2006.

AB'SÁBER, A. N. **Bases Conceptuais e Papel do Conhecimento na Previsão de Impactos**. In: AB'SÁBER, A. N.; MÜLLER-PLANTENBERG, C. (orgs.) **Previsão de Impactos: O Estudo de Impacto Ambiental no Leste, Oeste e Sul: Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. 2.ed. São Paulo, EDUSP, 2006. p. 27-49.

BARROS, E. C. D. R de.; GARCIA, E. M. (orgs). **Gestão Ambiental em Mato Grosso do Sul: Conceitos e Práticas**. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Dourados, MS: UEMS, 2014.

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos... Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 10 jul. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 357 de 17 de Março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011. Complementada pela Resolução nº 393, de 2009.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (orgs.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 153-223.

BRUSCHI, C.; ARNDT, E.; COSTA, L. S. **Recursos Hídricos** (Capítulo 6). In: BARROS, E. C. D. R de.; GARCIA, E. M. (orgs). **Gestão Ambiental em Mato Grosso do Sul: Conceitos e Práticas**. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Dourados, MS: UEMS, 2014. P: 102 – 113.

CAMPO GRANDE (MS). INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO (PLANURB). **Perfil Socioeconômico de Campo Grande 2016: Mato Grosso do Sul**. 23. ed. rev. Campo Grande, 2016.

CAMPO GRANDE (MS). INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO (PLANURB). **Relatório de Avaliação Ambiental (RAA) do Programa de Desenvolvimento Integrado do Município de Campo Grande/MS: Viva Campo Grande 2ª Etapa**. Campo Grande: Groen, 2015.

CAMPO GRANDE (MS). INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO (PLANURB). **Plano Municipal de Saneamento Básico de Campo Grande**. Campo Grande, 2013. Disponível em: <<http://www.capital.ms.gov.br/planurb/wp-content/uploads/sites/18/2016/12/Plano-Municipal-de-Saneamento-Ba%CC%81sico-de-Campo-Grande.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

CAMPO GRANDE (MS). INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO (PLANURB). **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Campo Grande: Diagnóstico Ambiental Analítico das Bacias Hidrográficas: Relatório R5**. Campo Grande, 2008.

CAMPO GRANDE (MS). INSTITUTO MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO (PLANURB). **Carta de Drenagem de Campo Grande**. Campo Grande, 1997. 28 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@: Mato Grosso do Sul** Campo Grande. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/CMC>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

MATO GROSSO DO SUL. SECRETARIA DO ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO, DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (SEMACE). Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH). **Resolução CERH/MS nº 18, de 20 de dezembro de 2012**. Disponível em: <<http://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/74/2016/05/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CERH-018-2012-Enquadramento-do-Rio-Anhandui.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

MATO GROSSO DO SUL. SECRETARIA DO ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO, DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (SEMACE). **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, MS: Editora UEMS, 2010. 194p. Disponível em: <<http://www.servicos.ms.gov.br/imasuldownloads/PERH-MS.pdf>>.

MATO GROSSO DO SUL. Política Estadual de Recursos Hídricos. **Lei nº 2.406, de 29 de janeiro de 2002**. Disponível em: <http://www.imasul.ms.gov.br/index.php?inside=1&tp=3&comp=&show=6235>. Acesso em: 01 nov. 2016.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. P. **Gestão de Bacias Hidrográficas**. Estudos Avançados Revista On-line. Estud. Av. Vol. 22 nº 63 São Paulo. 2008. 10 páginas. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004. Acesso em 24 abr. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL (UFMS). **Relatório dos Vazios Urbanos na Cidade de Campo Grande (2016)**. Observatório de Arquitetura e Urbanismo da UFMS: Projeto de Extensão: Relatório Final. Campo Grande, 2016. Disponível em: <http://observatorio.sites.ufms.br/files/2016/09/Relat%C3%B3rioFinal_vaziosurbanos.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2017.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (orgs.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

YASSUDA, E. R. **Gestão de Recursos Hídricos: Fundamentos e Aspectos Institucionais**. Rev. Adm. Púb., v. 27, n.2, p. 5-18, 1993. Disponível: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/viewFile/8663/7394>. Acesso em 30 abr. 2017.

APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO A BARRAGENS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Carlos Eugenio Pereira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Civil
Uberlândia - Minas Gerais

Maria Teresa Viseu

Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Lisboa – Portugal

Marcio Ricardo Salla

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Civil
Uberlândia - Minas Gerais

Kevin Reiny Rocha Mota

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Civil
Uberlândia - Minas Gerais

RESUMO: No caso da ruptura de uma barragem, o volume de água do reservatório é liberado de forma inesperada, o que pode causar riscos a pessoas, impactos ambientais e socio-econômicos consideráveis. A Lei nº 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), obriga a modelação das cheias induzidas e o mapeamento das zonas de risco a jusante, para barragens classificadas com dano potencial associado alto. Aplicou-se para três barragens com características diferentes (PCH1, PCH2 e PCH3), um método simplificado para determinação de áreas de inundação, esse método utiliza equações semi-

empíricas para determinar a vazão de pico em seções transversais sequenciais traçadas no vale de inundação a jusante da barragem, e aplica a equação de Manning-Strickler para o equacionamento hidráulico, afim de determinar a máxima altura de água no vale de inundação nessas seções. Os níveis máximos de água variam conforme o formato do relevo a jusante e o volume do reservatório, neste trabalho alcançou níveis máximos entre 11,21m a 21,95m na PCH 1, de 4,21m a 19,59m na PCH 2 e de 0,46m a 1,09m na PCH 3. Os mapas de inundação foram gerados por meio de ferramentas SIG (Sistema de Informações Geográficas) e são apresentados para as três barragens analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: Método Simplificado, Rotura de Barragens, Mapas de Inundação

APPLICATION OF THE METHOD SIMPLIFIED MINAS GERAIS STATE DAMS

ABSTRACT: When a dam fails, the volume of the reservoir water is released, imposing risks to people, environmental impact and considerable socio-economic losses. The Brazilian Law No. 12334, establishes the National Policy on Dam Safety (NBSP) and requires modeling of the induced floods and the mapping of risk areas downstream to the dams classified as potential

harm associated high. A simplified method was applied for three dams with different characteristics, for determining dam-flood characteristics. This method uses semi-empirical equations to determine the peak flow in sequential cross sections outlined in the valley below the dam: the use of the Manning-Strickler hydraulic equating application allows the determination of the maximum water level in the flood valley: Computational tool GIS (Geographic Information System) tools allow the elaboration of the inundation maps. The method was applied to three dams (PCH1, PCH2 and PCH3), having the maximum water levels varied between 11,21m to 21,95m in PCH 1 4,21m to 19,59m in PCH 2 and 0.46 m 1,09m in the PCH 3. The flood maps were generated using GIS and are presented for these three dams.

KEYWORDS: Simplified Method, rupture of dams, flood maps

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil no final da década de 90 enfrentou uma grave crise devido a falta de energia elétrica, e para acompanhar o crescimento econômico e demanda por energia criou na década seguinte, diversas políticas de parcerias público privada para construção de centrais hidroelétricas que pudessem amenizar esse problema. Assim, a construção de diversas barragens teve início, e neste contexto, pode-se citar as usinas hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio no Rio Madeira, Belo Monte, no rio Xingu, e outras.

Além das grandes usinas geradoras de eletricidade, destacam-se no cenário nacional o crescimento do número de Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH), que geram energia com impacto ambiental reduzido, devido à área do reservatório ser menor do que as correspondentes às grandes centrais citadas acima. Embora, os estudos de impactos ambientais sejam revelantes nesse tipo de empreendimento, também o são os estudos de análise de danos potenciais envolvidos decorrentes da ruptura da estrutura do barramento, que podem afetar a população, propriedades, bens materiais e ambientais.

No Brasil, a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e estipula, como um dos instrumentos desta política, o desenvolvimento e a aplicação de um sistema de classificação de barragens. Para as barragens classificadas como de dano potencial associado alto, este documento legal obriga os empreendedores a avaliar as consequências adversas no caso de ruptura ou falha operacional da barragem, aspecto que obriga à modelação de cheias induzidas e ao mapeamento das zonas de risco a jusante.

O desenvolvimento do método simplificado para avaliação de ondas de cheia devido a ruptura de barragens, está descrito em De Melo (2015) e surgiu da necessidade de se analisar uma quantidade expressiva de barragens, com diferentes dimensões e características. Este método, também se baseia em estudos de diversos autores, dentre eles Pierce *et al.* (2010), que analisaram dados históricos

de rompimento de barragens, e cujas principais conclusões são de que a vazão máxima gerada é função direta da altura da barragem, do volume do reservatório ou a combinação de ambas. Embora tenham sido usados dados reais de rupturas de barragens, o uso dessas duas variáveis torna o cálculo da vazão mais simples, considerando a complexidade do escoamento que ocorre a jusante.

A aplicação do método simplificado quando comparado as metodologias mais tradicionais alcançou resultados confiáveis, e que podem ser aplicados em estudos de mapas de inundação, em estudos preliminares, e naqueles onde o risco de acidentes e a necessidade da elaboração de Planos de Ações Emergenciais (PAE) forem menores.

2 | OBJETIVO

Obtenção de áreas inundadas devido ao rompimento hipotético de três barragens de porte pequeno, médio e muito grande, pelo método simplificado e com risco associado alto de acordo com a Lei 12.334/2010.

3 | METODOLOGIA

Caso ocorra a ruptura de uma barragem, a onda de cheia gerada a jusante pode ser estimada por meio de equações empíricas. O método simplificado estima o nível máximo de água nas seções a jusante da barragem, calculando o pico de vazão em uma série de seções transversais a jusante do reservatório, e substitui a simulação numérica do escoamento ao longo do vale de inundação, encontrada em diversos programas computacionais, tais como DAMBRK, HEC-RAS, por expressões semi-empíricas. Embora envolva um determinado grau de incerteza, os resultados apresentados podem auxiliar na estimativa do nível máximo da enchente, e têm-se demonstrado coerentes quando comparados aos dos modelos mais complexos.

O método simplificado é baseado em duas aproximações; a primeira em relação à estimativa da máxima distância longitudinal no vale do rio a jusante da barragem; a segunda relacionada com o pico de vazão em diversas seções transversais levantadas dentro da distância estimada na primeira aproximação.

A máxima distância no vale do rio a jusante é determinada por uma equação semi-empírica baseada em estudos estatísticos feitos por Graham (1999), e apresentada nas equações 1 e 2.

$$D_{m\acute{a}x} = 8,870 \times 10^{-8} \cdot V_{m\acute{a}x}^3 - 2,602 \times 10^{-4} \cdot V_{m\acute{a}x}^2 + 2,648 \times 10^{-1} \cdot V_{m\acute{a}x} + 6.737$$
$$\text{Se } V_{m\acute{a}x} \leq 1000 \text{hm}^3 \quad (1)$$

$$D_{m\acute{a}x} = 100 \text{Km}, \text{ se } V_{m\acute{a}x} > 1000 \text{hm}^3 \quad (2)$$

$D_{m\acute{a}x}$: distância máxima a jusante da área afetada por falha de barragem (km);

$V_{m\acute{a}x}$: volume máximo do reservatório (hm^3).

A vazão nas diversas seções a jusante da barragem sofre uma atenuação decorrente das características do vale em termos da forma e geometria do rio, da capacidade de armazenamento de água no vale, da rugosidade das áreas inundadas, da presença de rios tributários e de obstáculos, tais como pontes e represas. Para a avaliação da atenuação da onda de cheia considerou-se como parâmetro mais relevante o volume armazenado. Assim, optou-se pela equação proposta pelo USBR (*United Station of Boreau Reclation*, 1989), adaptada para reservatórios com capacidade acima de $6,2 \text{ hm}^3$ que depende basicamente da vazão de pico e da distância da seção transversal à barragem.

$$Q_x = Q_{m\acute{a}x} \cdot 10^{-0.02143 \cdot x} \quad (3)$$

em que:

Q_x : vazão máxima na distância x a jusante da barragem (m^3/s);

$Q_{m\acute{a}x}$: vazão de pico na brecha junto a seção da barragem (m^3/s);

x : distância da seção transversal a jusante da barragem (km).

Para os reservatórios com capacidade inferior a $6,2 \text{ hm}^3$, adotou-se a proposta do Dams Sector (2011), a qual é expressa pela equação (4), função do pico de vazão na seção da barragem, da distância em relação a esta e da capacidade máxima do reservatório.

$$\frac{Q_x}{Q_{m\acute{a}x}} = a \cdot e^{b \cdot x} \quad (4)$$

$$a = 0,002 \cdot \text{Ln}(V_{m\acute{a}x}) + 0,9626$$

$$b = -0,20047 \cdot (V_{m\acute{a}x} + 25000)^{-0,5979}$$

em que:

x : distância da seção transversal a jusante da seção da barragem (m);

$V_{m\acute{a}x}$: volume máximo do reservatório (m^3);

Q_x : vazão máxima na distância x a jusante da barragem (m^3/s);

$Q_{m\acute{a}x}$: vazão de pico na brecha junto a seção transversal da barragem (m^3/s).

Após o cálculo desses parâmetros, inicia-se a obtenção de dados referentes às características topográficas do terreno nas seções transversais a jusante das barragens.

Utilizam-se Modelos Digitais de Terreno (MDT) com imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), de 30 metros de resolução, e que contém informações

topográficas que são úteis na obtenção de dados geométricos referentes às seções transversais ao longo do curso do rio. Com o auxílio de ferramentas SIG (Sistemas de Informações Geográficas) é possível obter informações das diversas seções transversais a jusante da barragem, e que são transportadas para planilhas eletrônicas previamente desenvolvidas que contêm a formulação matemática envolvida no cálculo hidráulico dos níveis máximos de água em cada seção.

No cálculo hidráulico envolvido utiliza-se a equação de Manning-Strickler para canais, sendo necessário estimar o coeficiente de rugosidade. O valor considerado variou entre 0,06 e 0,07 s/m^{1/3}.

Com os resultados alcançados do nível máximo em cada seção transversal, volta-se ao uso da ferramenta computacional SIG, onde é possível definir o mapa de inundação da área a jusante da barragem produzida pela combinação da envoltória dos máximos níveis de água das seções transversais produzidas por meio de um TIN (*Triangulated Irregular Network*) e do MDT do tipo SRTM, produzindo, assim, um contorno que define a área potencialmente afetada pelo risco da barragem.

4 | RESULTADOS

O método simplificado para geração das plantas de inundação foi aplicado a três Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) com características descritas na Tabela 1. A altura da barragem e o volume foram utilizados para calcular a distância máxima e a vazão de pico, conforme descrito no item anterior.

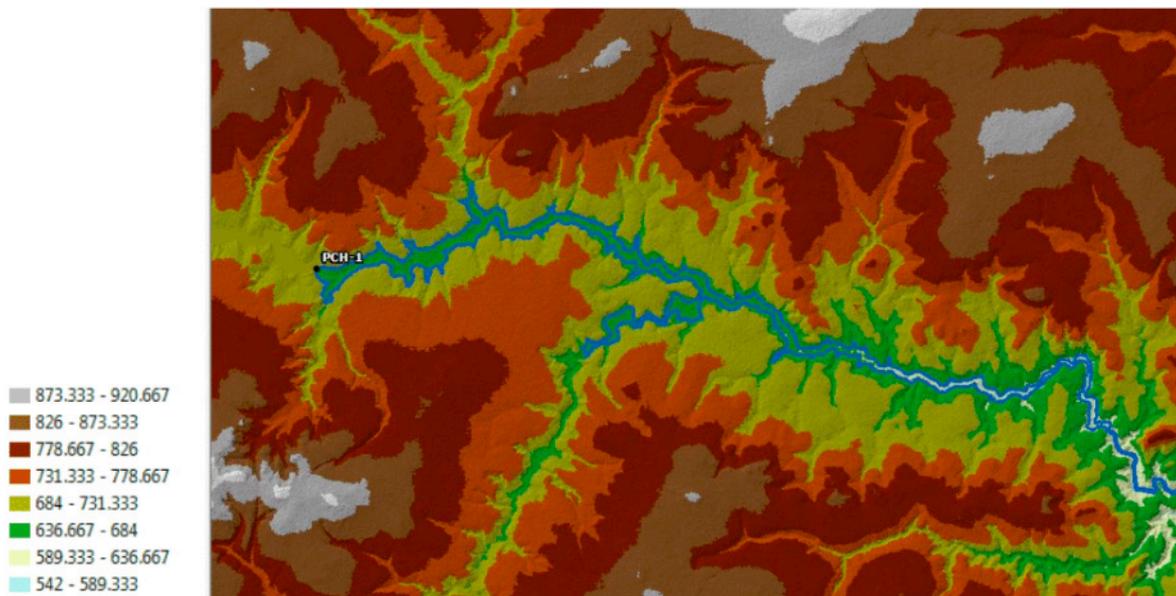
Pequena Central Hidrelétrica	Altura (m)	Volume do Reservatório (hm ³)	Classificação da barragem Resolução N° 143/2012	Distância Máxima (km)	Vazão de Pico (m ³ /s)
PCH-1	40,0	202,160	Muito Grande	50,42	21.727,00
PCH-2	42,0	18,050	Média	11,44	8.643,00
PCH-3	6,0	0,016	Pequena	6,74	97,00

Tabela 1 - Características gerais da Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)

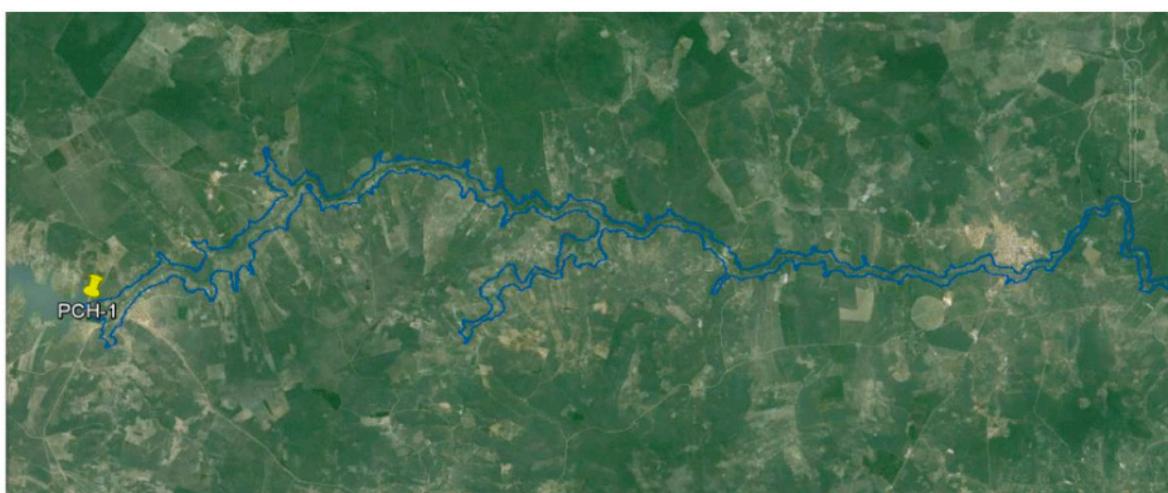
A Figura 1 apresenta respectivamente em a) o mapa de inundação no formato TIN, usando MDT do tipo SRTM, e em b) a envoltória das profundidades críticas geradas e inseridas no GOOGLE EARTH para a PCH-1. O procedimento descrito acima foi repetido para as outras duas PCH's, e são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

Trata-se de uma PCH com volume do reservatório muito grande e que gera uma elevada vazão a jusante. Como o vale a jusante da barragem é relativamente estrito, a envoltória da mancha de inundação apresenta-se pouca larga; contudo, o nível de água é significativo, tendo as alturas máximas da onda de cheia variado entre 11,21 m

a 21,95 m. As regiões habitadas a jusante das barragens, nomeadamente um distrito 1 km a jusante, com aproximadamente 100 construções, e uma cidade localizada a aproximadamente 46 km, com 27918 habitantes em 2010, foram pouco afetados, não sendo atingidas de maneira direta. Os impactos socio-ambientais observados são mais representativos.



a)

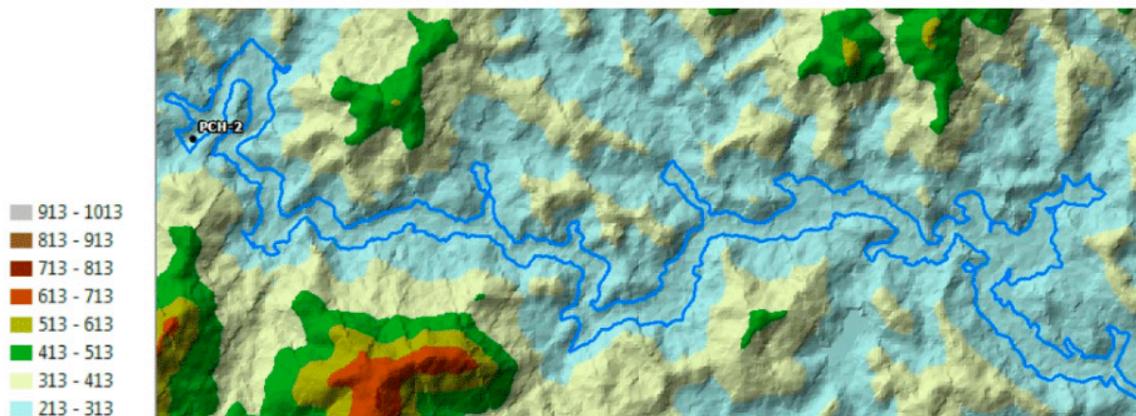


b)

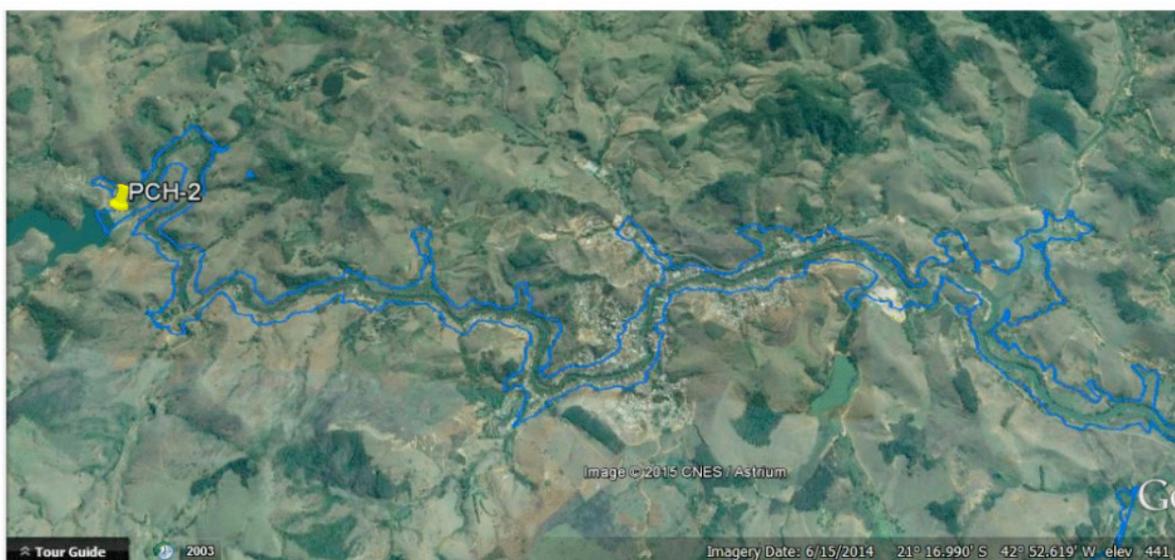
Figura 1 - Mapa de inundação da PCH-1. a) Imagem TIN gerada em ferramenta computacional GIS

b) Imagem no GOOGLE EARTH da envoltória gerada pelo método simplificado.

A PCH 2, embora tenha um volume do reservatório bem inferior ao da PCH 1, apresenta uma área de inundação mais espalhada, conforme a Figura 2, com alturas máximas da onda de cheia foram de 4,21m a 19,59m. A presença de uma cidade localizada 7,5km a jusante, com 13049 habitantes, torna o risco elevado. Desta forma, devem ser consideradas medidas de mitigação, já que a onda de cheia atinge consideravelmente a cidade.



a)



b)

Figura 2 - Mapa de inundação da PCH-2. a) Imagem TIN gerada em ferramenta computacional GIS

b) Imagem GOOGLE EARTH da envoltória gerada pelo método simplificado.

O volume do reservatório da PCH 3 é inferior ao das barragens anteriores mas a mancha de inundação (Figura 3) atinge grandes extensões laterais no início do vale e nas proximidades da cidade localizada a jusante.

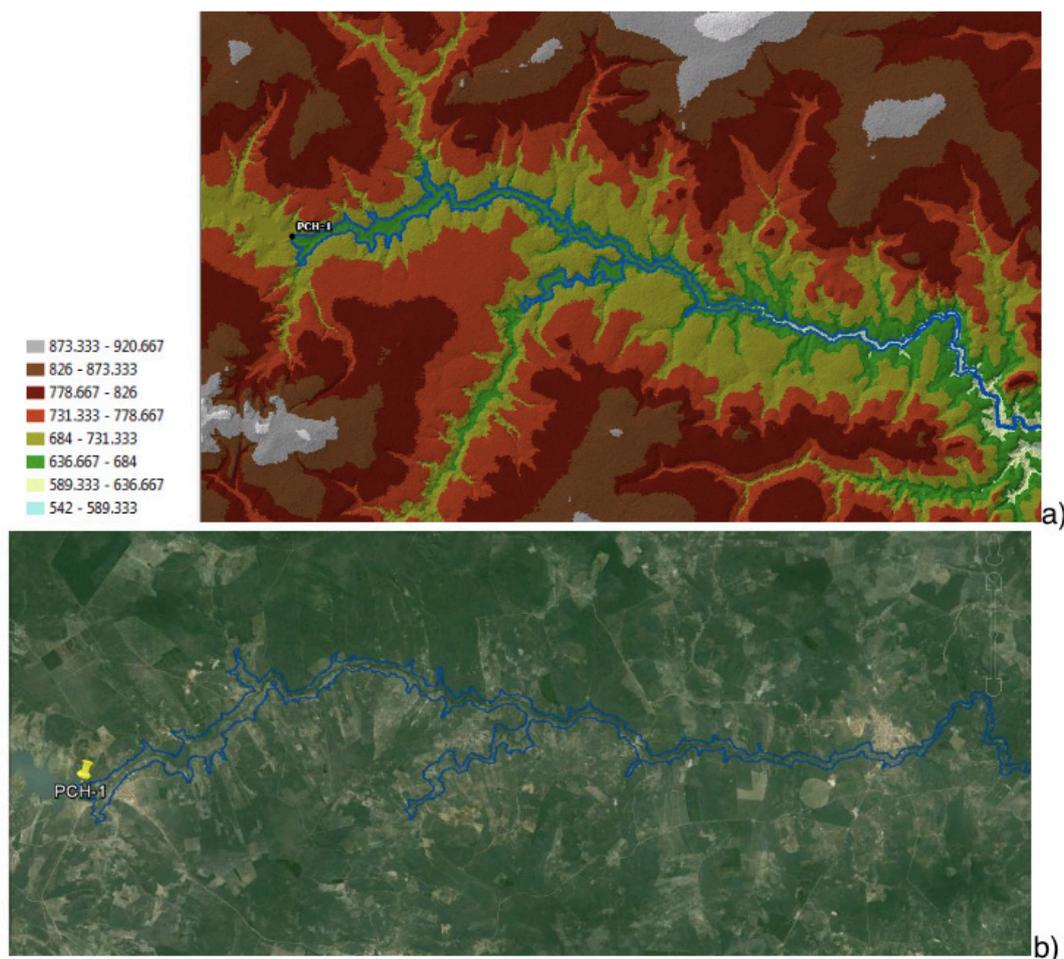


Figura 3 - Mapa de inundação da PCH-3.

a) Imagem TIN gerada em ferramenta computacional GIS

b) Imagem GOOGLE EARTH da envoltória gerada pelo método simplificado.

5 | CONCLUSÕES

O método simplificado utilizado para mapear a área de risco a jusante de barragens é baseado em informações semi-empíricas, rupturas que ocorreram historicamente. Os resultados encontrados detalham bem as possíveis áreas impactadas que podem ser atingidas pela onda de cheia do reservatório decorrente da ruptura da barragem e contabilizar o Dano Potencial Associado. Por se tratar de uma análise simplificada, pode ser aplicada a estudos preliminares, não vindo a substituir os métodos que envolvem equações de maior precisão.

As ferramentas computacionais do tipo GIS revelaram-se particularmente úteis, pois auxiliam na obtenção de cotas georreferenciadas sobre o MDT utilizado, na interpolação dos resultados, e na elaboração final das manchas de inundação.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei n.º 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária

de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1 - 21 set. 2010. p. 01.

DE MELO, J.F.(2015). **Dam-Break Flood Risk Assessment**. In *Second International Dam World Conference*. Org. por Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 47 – 56

GRAHAM, W.J. (1999) **A Procedure for Estimating Loss of Life caused by dam Failure**. Bureau of Reclamation, U.S. Department of Interior, Dam Safety Office, Denver, Colorado, September, 1999.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Gabinete do Ministro. Portaria n.º 143, de 10 de julho de 2012. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 set. 2012. p. 30.

PIERCE, M.W.; THORNTON, C.I.; ABT, S.R. (2010) **Predicting Peak Outflow from Breached Embankment Dams**. Colorado State University, Engineering Research Center, Fort Collins, CO.

USBR. (1989) **Policy and Procedures for dam safety modification decision-making**. Department of the Interior, Denver, USA.

INFLUÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS NO MUNICÍPIO DE IPOJUCA - PE

Fernanda Soares de Miranda Torres

Geóloga, M.Sc. - Pesquisadora em Geociências da CPRM/SGB
Recife - Pernambuco

Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima

Geólogo, Dr. - Pesquisador em Geociências da CPRM/SGB
Recife - Pernambuco

Margarida Regueira da Costa

Engenheira Civil, Dra. – Pesquisadora em Geociências da CPRM/SGB
Recife - Pernambuco

Alexandre Luiz Souza Borba

Geólogo, M.Sc. - Pesquisador em Geociências da CPRM/SGB
Recife - Pernambuco

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff

Geólogo, Dr. - Pesquisador em Geociências da CPRM/SGB
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Roberto Quental Coutinho

Engenheiro Civil, Dr. – Professor da UFPE
Recife - Pernambuco

RESUMO: O município de Ipojuca tem sido alvo de estudos geotécnicos envolvendo geoprocessamento, pesquisas geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de uso e ocupação do solo, objetivando evidenciar os principais fatores condicionantes que tem

provocado movimentos gravitacionais de massa e erosão, acarretando em sérios danos socioeconômicos à população circunstante. O presente trabalho tomou como base estudos anteriores executados por Torres (2014) e GEGEP/UFPE (2014), e os comparou aos mapas resultantes do geoprocessamento de dados extraídos do Atlas Pluviométrico do Brasil (2010). Constatou-se que há uma coincidência de fatores naturais adversos como alta declividade, marcas de cicatrizes de erosão, solos argilosos mais espessos desenvolvidos sobre rochas cristalinas, com uma alta concentração de chuvas no período de abril a agosto, em uma região topograficamente mais elevada situada em grande parte na região oeste e central do município, o que propicia repetitivos, previsíveis e danosos eventos de deslizamentos de terras.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento, Isoietas, Movimentos Gravitacionais.

ABSTRACT: The Ipojuca has undergone geotechnics studies involving geoprocessing, geological, geomorphological and soil research and land use and occupation, aiming to show the main determining factors which has led to gravitational mass movements and erosion, resulting in serious socio-economic damage surrounding population. This study was based on previous studies performed by Torres (2014)

and GEGEP / UFPE (2014), and compared to the maps resulting from geoprocessing data extracted from Atlas Rainfall of Brazil (2010). It was found that there is a coincidence of adverse natural factors such as steep slopes, erosion scars marks thicker clay soils developed on crystalline rocks, with a high concentration of rain in the period from april to august, in a topographically higher area located mostly in the western and central region of the city, which provides repetitive, predictable and damaging landslides events.

KEYWORDS: Geoprocessing, Isoietas, Gravitational Movements.

INTRODUÇÃO

Situado numa região quente e úmida do Estado de Pernambuco, o Município de Ipojuca apresenta um clima tropical chuvoso, onde a taxa de precipitação supera a taxa de evaporação. Deste modo, com o intuito de evidenciar que a chuva é um dos principais fatores condicionantes para provocar movimentos gravitacionais, foi realizada neste trabalho uma correlação entre as informações obtidas do Atlas Pluviométrico do Brasil, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), com a Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca, anteriormente elaborada por Torres (2014) em seu trabalho de Mestrado na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E HIDROGRAFIA

O Município de Ipojuca está incluído na Região Metropolitana de Recife – RMR, localizado a 50,2 km a sul de Recife, sendo limitado ao norte pelo Município do Cabo de Santo Agostinho, ao sul pelo Município de Sirinhaém, a leste pelo Oceano Atlântico e a oeste pelo Município de Escada (Figura 1).



Figura 1: Localização do Município de Ipojuca - PE.

Apresenta uma área territorial de 527,3 km² formada pela sede municipal e pelos distritos de nossa Senhora do Ó e Camela, além dos povoados das praias de Porto de Galinhas, Muro Alto, Cupe, Maracaípe, Serrambi, Toquinho e diversos engenhos de cana-de-açúcar, remanescentes da época da colonização portuguesa.

A rede de drenagem é composta por vários rios pertencentes às bacias hidrográficas dos rios Ipojuca, Massangana e Sirinhaém. Também existem pequenas bacias litorâneas como as do rio Merepe-Maracaípe.

A parte norte do município é drenada pela bacia hidrográfica do rio Ipojuca, segundo a direção oeste-leste. Os principais rios que compõem esta bacia hidrográfica são o Ipojuca e o Merepe, que deságuam ao sul do Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS).

A Bacia Hidrográfica do Rio Massangana tem como principais componentes os rios Tabatinga e Tatuoca, que também cortam o município na direção oeste-leste, porém deságuam ao norte do CIPS.

Na Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém, o seu principal afluente é o rio Sibiró, que corta no sentido norte-sul a parte oeste do município.

Há ainda uma série de canais naturais ou artificiais, que cortam as áreas planas, muitas vezes inundadas e situadas na faixa litorânea do município.

PLUVIOMETRIA

De acordo com os dados pluviométricos, o período que apresenta o maior índice de precipitação situa-se entre abril a agosto, cujos valores mensais oscilam de 250 mm a 375 mm, constituindo uma época do ano que historicamente requer mais atenção aos movimentos gravitacionais.

Em termos de valores médios históricos, verifica-se uma escassez de chuvas nos períodos de janeiro a março e de setembro a dezembro, e uma concentração de elevados valores pluviométricos entre abril e agosto (Figura 2).

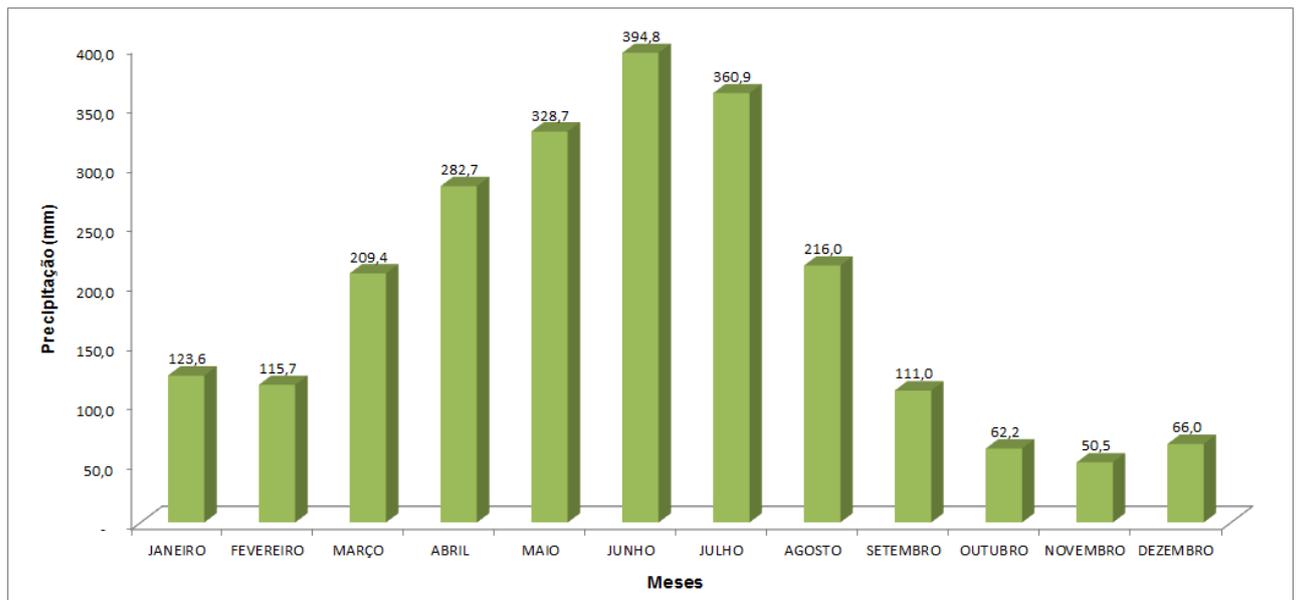


Figura 2: Precipitação média mensal das chuvas entre 1941 a 2013 no município de Ipojuca - PE.

Fonte: GEGEP/UFPE, 2014.

METODOLOGIA

Todos os dados coletados foram processados no *software* ArcGis 10.1, adotando a projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator) e o Datum SIRGAS 2000 Zona 25S (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

Através do geoprocessamento as curvas pluviométricas da região foram selecionadas e recortadas utilizando-se a ferramenta *Analysis Tools/Extract/Clip*, posteriormente foram elaborados os mapas de isoietas mensais, trimestrais e anuais, entre o período de 1977 a 2006.

Em seguida, os resultados pluviométricos processados foram confrontados com a Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca (TORRES, 2014) e do Mapa de Cicatrizes dos Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca (GEGEP/UFPE, 2014).

RESULTADOS

Após o geoprocessamento dos dados pluviométricos foram confeccionados os mapas de isoietas mensais, trimestrais e anuais, entre o período de 1977 a 2006, observando-se que as maiores concentrações de chuvas ocorrem nos meses de maio a julho, onde o pico das chuvas ocorre no mês de junho com 375 mm (Figura 3A). A isoietá média trimestral entre os meses de maio, junho e julho, apresenta um valor de 950 mm por toda região (Figura 3B).

Este trimestre impacta sobremaneira a economia local, particularmente a agricultura de subsistência e a o cultivo da cana-de-açúcar, base da agroindústria canavieira regional.

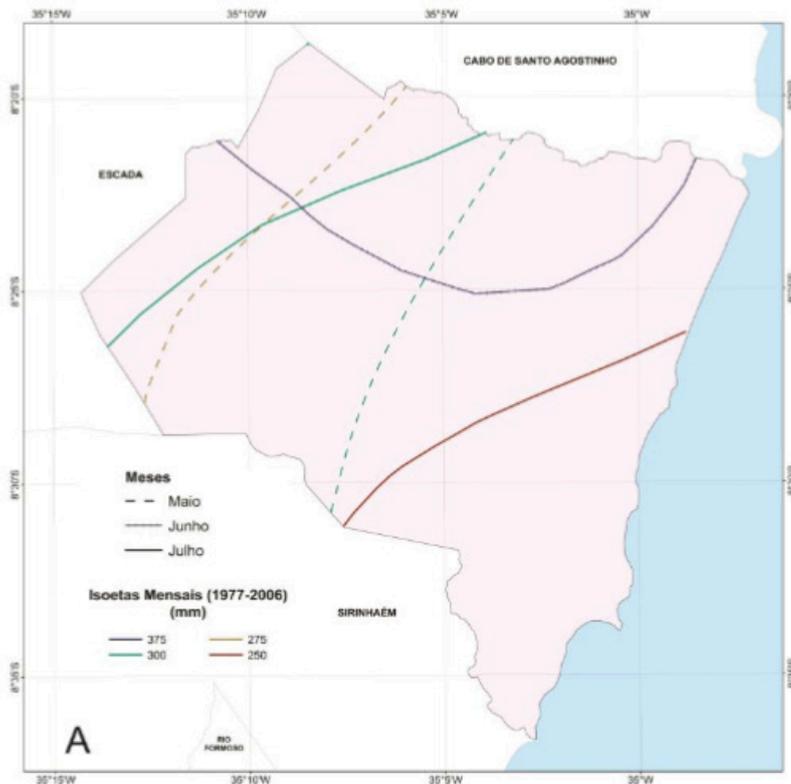


Figura 3A: Isoietas Médias Mensais – Maio, Junho e Julho (1977 a 2006).

Fonte: CPRM, 2010.

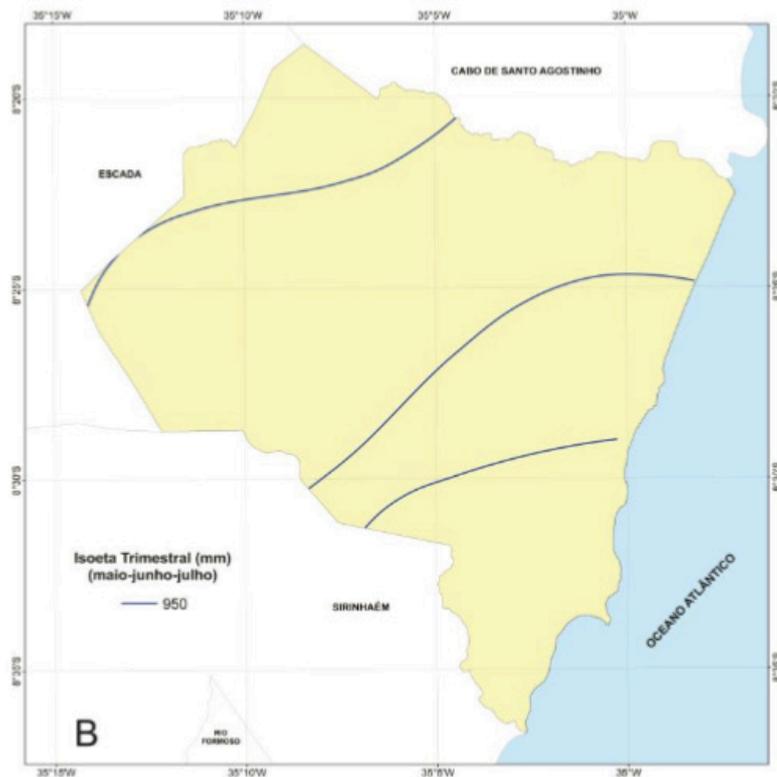


Figura 3B: Isoietas Médias Trimestrais – Maio, Junho e Julho (1977 a 2006).
Fonte: CPRM, 2010.

A Figura 4 exibe a isoieta média anual, com um valor de 1.900 mm em toda área oeste e central do município, e apenas 1.700 mm na faixa litorânea da região.

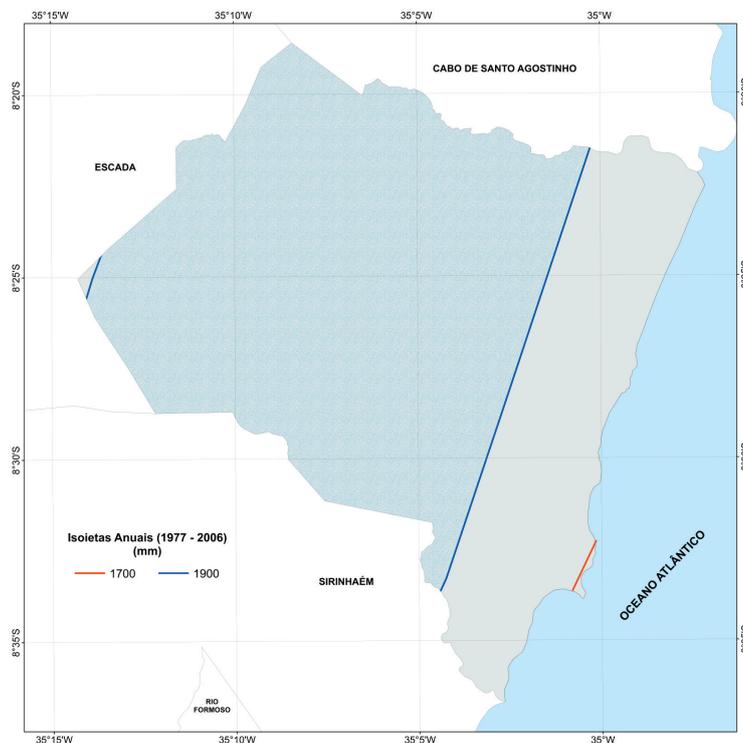


Figura 4: Isoieta Média Anual (1977 a 2006). Fonte: CPRM, 2010.

Ao se realizar a comparação entre os Mapas de Cicatrizes (Figura 5) e a Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca (Figura 6), com as isoietas dos mapas confeccionados (Figuras 3A, 3B e 4), constatou-se que a parte central e oeste da região que inclui a faixa de maior pluviosidade, coincide com a área de maior gradiente topográfico, possuindo maior quantidade de cicatrizes e com solos argilosos mais espessos desenvolvidos sobre rochas cristalinas. Já na faixa litorânea, de menor pluviosidade, os terrenos são de baixa declividade, quase sem marcas cicatriciais de erosão e com solos arenosos pouco espessos, desenvolvidos sobre rochas sedimentares.

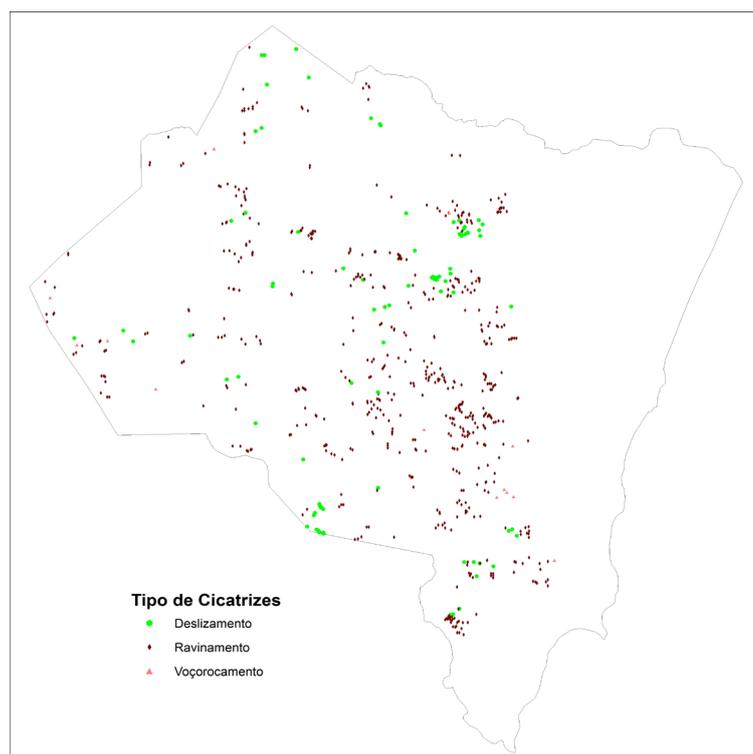


Figura 5: Mapa de Cicatrizes. Fonte: GEGEP/UFPE (2014 apud TORRES, 2014).

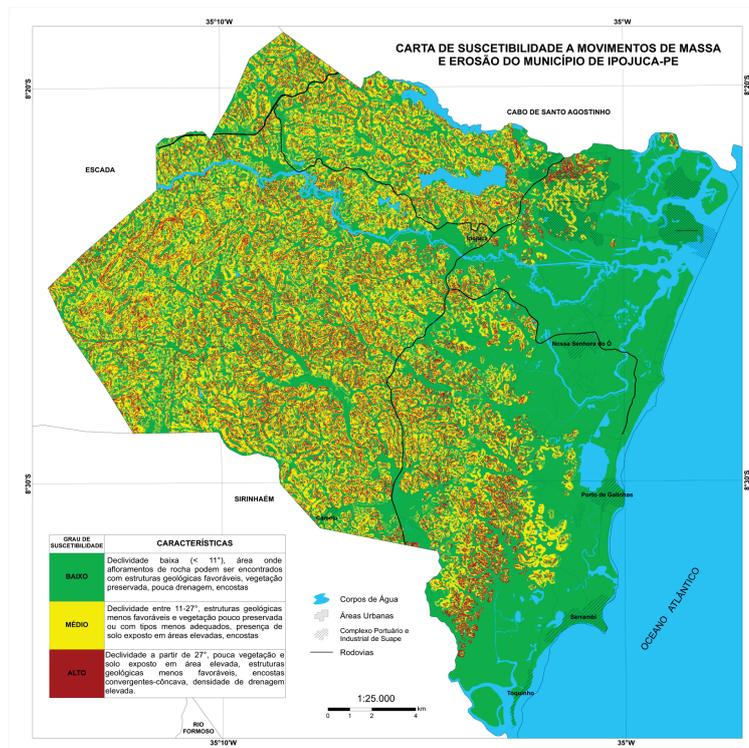


Figura 6: Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Erosão do Município de Ipojuca.

Fonte: Torres, 2014.

CONCLUSÃO

Ao analisar os dados pluviométricos com estudos anteriormente realizados no Município de Ipojuca, foi observado que existe uma conjunção de fatores naturais adversos capazes de resultar em movimentos de massa e erosão em uma época específica do ano, preferencialmente em uma área determinada, resultando em danos consideráveis para a população, notadamente a de baixa renda, com consequências na economia local. Como tais eventos são previsíveis, tanto em local como na época do ano, é recomendável a realização de estudos de acompanhamento da evolução da construção de habitações que se instalam nas áreas de risco configuradas.

REFERÊNCIAS

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2010. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. Escala: 1.5.000.000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: 11 jun. 2015.

GEGEP/UFPE. (2014). **Elaboração de Cartas Geotécnicas de aptidão à Urbanização no município de Ipojuca, localizado na Região Metropolitana de Recife**. Estado de Pernambuco. Convênio Ministério das Cidades/GEGEP/UFPE. Prof. Roberto Quental Coutinho (Coord. & Org.).

TORRES, F.S.M. **Carta de Suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca, PE**. 2014. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS JURO-CRETÁCEOS DO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Guilherme Vargas Teixeira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Mineralogia e Petrologia, Porto
Alegre, Rio Grande do Sul

Antonio Pedro Viero

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Mineralogia e Petrologia, Porto
Alegre, Rio Grande do Sul

Romelito Regginato

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Mineralogia e Petrologia, Porto
Alegre, Rio Grande do Sul

RESUMO: Este estudo tem por objetivo a caracterização estrutural dos aquíferos Juro-Cretáceos da região Oeste do Rio Grande do Sul através do mapeamento das estruturas rúpteis a partir da interpretação de imagens de relevo sombreado. Na área estudada predomina o Sistema Aquífero Serra Geral com mais de 90% da área aflorante e as estruturas tectônicas têm orientação preferencial nos quadrantes Noroeste-Sudeste. No Sistema Aquífero Serra Geral, de natureza fissural, a circulação das águas subterrâneas ocorre escusivamente nas fraturas, e a densidade de fraturas parece estar diretamente relacionada às maiores produtividades dos poços tubulares, tanto em lineamentos regionais quanto de escala local, com menos de 5.000 metros de extensão. A

movimentação vertical de blocos tectônicos foi investigada a partir de dados de cotas da interface Formação Botucatu-Fomação Serra Geral obtidos nos perfis geológicos de dezenas de poços tubulares da região. Os resultados mostram soerguimento tectônico no lado Leste da área, onde a interface Formação Botucatu-Fomação Serra Geral encontra-se de 100 a 150 metros mais elevada do que no lado Oeste.

PALAVRAS-CHAVES: Geologia Ambiental; Geologia Estrutural; Hidrogeologia.

STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF CRETACEOUS-JURASSIC AQUIFERS OF WESTERN RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT: This study is aimed at structural characterization of the Jurassic - Cretaceous aquifers in the Western region of Rio Grande do Sul through the mapping of brittle structures from the interpretation of shaded relief images. The study area is dominated by the Serra Geral Aquifer System with more than 90 % of the outcrop area and the tectonic structures have preferred orientation in the Northwest -Southeast quadrants. In the Serra Geral Aquifer System of fissural nature, the movement of groundwater occurs solely on fractures and fractures density seems to be directly related to the higher productivity of wells and both regional

as local lineaments with less than 5000 m long have the same behaviour. The vertical movement of tectonic blocks was investigated using altimetric data from the interface Botucatu - Serra Geral formation obtained in the geological profiles of dozens of wells in the area. The results show tectonic uplift on the east side of the area, where the Botucatu - Serra Geral Formation interface is 100-150 meters higher than on the west side.

KEYWORDS: Environmental Geology; Estrutural Geology; Hidrogeology

1 | INTRODUÇÃO

O papel principal da tectônica no fluxo de água subterrânea é exercer forte controle sobre a abertura, orientação e densidade de fraturas e, conseqüentemente, sobre a conectividade e armazenamento do aquífero. Banks *et al.* (1994) apresentam estudos de caso, nos quais constatou-se a relação entre o esforço tectônico e a produtividade dos poços em fraturas de maior abertura hidráulica. Barton *et al.* (1995) observaram que 80% das fraturas identificadas como condutoras estavam em orientação ótima com relação ao campo de esforços. As fraturas condutoras são do tipo extensional (tipo I) ou fazem um ângulo agudo 30 ou 40° com este esforço (tipo II). Tiren (1991) conclui que as zonas de fraturas mais favoráveis para conduzir água são aquelas que sofreram longa e complexa história tectônica. A análise da produção de poços em função de sua localização com relação a diversas características de lineamentos (proximidade, direção, densidade e intersecção) é bastante comum. A intersecção de lineamento está ligada à questão da conectividade de fraturas e, de fato, está associada a maiores produções de poços.

A crescente demanda por águas subterrâneas de boa qualidade para o consumo humano remete ao estudo detalhado destes recursos, pois a sua utilização é cada vez maior nos setores públicos e privados. A região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul (RS) é marcada por sucessivas crises de abastecimento de água nos períodos de estiagem. O conhecimento científico da estruturação, potencialidades e restrições de potabilidade dos aquíferos da Região Oeste do RS é precário e isto se constitui num entrave para o estabelecimento de critérios e políticas adequadas para a gestão dos mesmos. Machado (2005) estudou em escala regional os aspectos estruturais da região, de modo que investigações em escala maior são necessárias para a atualização dos dados e para aprofundar o conhecimento hidrogeológico e hidroquímico dos aquíferos, o que é apresentado neste trabalho. Os resultados deste estudo poderão fornecer subsídios importantes para a melhor gestão e uso das águas subterrâneas.

O objetivo deste projeto reside em: caracterizar a geologia estrutural dos Aquíferos Serra Geral e Sistema Aquífero Guarani da região oeste do Rio Grande do Sul; avaliar o potencial hídrico dos aquíferos; gerar dados e informações que sirvam de subsídio para a gestão das águas subterrâneas.

2 | LOCALIZAÇÃO

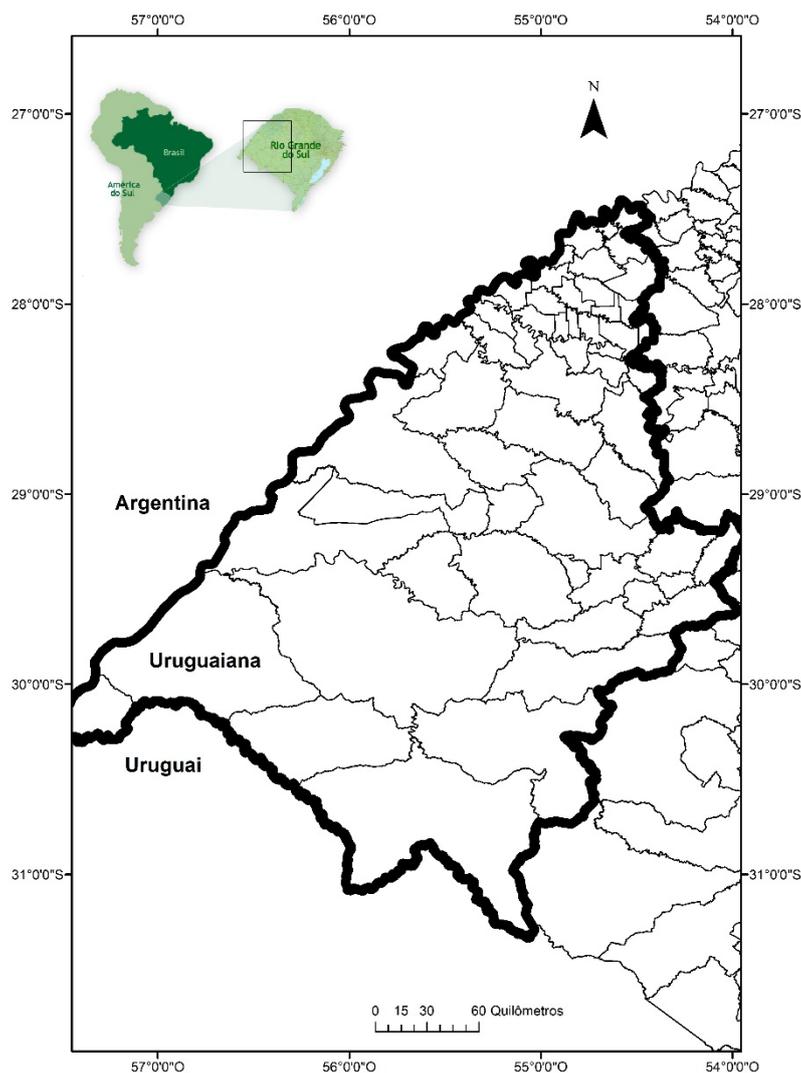


Figura 1. Localização da área de estudo

3 | MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrange 56 municípios da porção Oeste do RS e compreende parte do Compartimento Oeste, Central e Norte do Sistema Aquífero Guarani definido por Machado (2005) e do aquífero Serra Geral. Nesse conjunto de áreas municipais, destacam-se pela extensão territorial, Alegrete, Santana do Livramento, Uruguai, Rosário do Sul, São Borja, Itaqui e Quaraí.

Dados hidrogeológicos, como vazão e aquífero explorado, foram obtidos no banco de dados SIAGAS da CPRM, no qual estão cadastrados mais de 2.000 poços tubulares na região estudada.

O mapeamento das estruturas rúpteis (falhas e fraturas) foi realizado com o traçado dos lineamentos tectônicos em imagem de relevo sombreado, produzida a partir do processamento de imagem de satélite com resolução original de 30 metros. E, a partir das imagens de relevo sombreado, foram feitos os tratamentos das

mesmas por meio de traçados de lineamentos, de modo que cada linha representa uma feição consequência de tectônica rígida. As escalas utilizadas foram 1:500.000, 1:250.000 e 1:100.000, o que permitiu traçar estruturais de escala regional e local.

Com o uso de ferramentas que integram o ArcGis, foram realizados tratamentos nas imagens a fim de ressaltar as principais feições geomorfológicas e, principalmente, as estruturas geradas pela tectônica rígida. Dessa forma, atenção especial é dada na transformação de imagens de Modelo Numérico do Terreno (MNT) em relevo sombreado. Para isso, são utilizadas as MNT do trabalho publicado por Hesenack e Weber (2004), o qual agrupou e gerou modelos digitais de elevação em formato Geotiff e arquivo vetorial Shape file.

As imagens de relevo sombreado resultam de associação de dados altimétricos com ângulos hipotéticos de incidência de iluminação, assim, produzindo imagens sombreadas que destacam a morfologia do terreno. Com o uso da ferramenta Hillshade disponível no ArcGis, atribui-se como base de dados altimétricos o MNT, onde os valores de cota do terreno são apresentados por variação dos teores de cinza, associados com azimutes e ângulos de iluminação hipotéticos. O traçado de lineamentos em ambiente SIG permite que valores de coordenadas, comprimento e azimute sejam extraídos mais facilmente, gerando uma tabela de atributos de lineamento, que fornece informações para tratamentos estatísticos posteriores. Com o uso da ferramenta Calculate Geometry. No ambiente SIG, os lineamentos traçados têm o azimute e comprimento atribuídos ao seu arquivo de dados, a partir dos quais são construídos diagramas de rosetas e de densidade de fraturas. Com as informações de comprimentos, os lineamentos foram separados em três classes: pequeno porte (<1000m), médio porte (de 1000 a 5000m) e grande porte(>10000m). O mapa de densidade de fraturas foi gerado com todos os lineamentos traçados. Além do mapa de densidade de fraturas, foi gerado um mapa de relevo do topo da Fm. Botucatu, com dados de cotas desta formação em 204 poços tubulares da região e um mapa de vazões, utilizando o software Surfer. Os valores das vazões foram cruzados com a densidade de fraturas. O mapa de cotas do topo do SAG tem por objetivo a visualização de movimentação vertical de blocos tectônicos que podem segmentar o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) gerando compartimentos com descontinuidades laterais.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento estrutural da deformação dútil e o processamento dos dados obtidos permitiram a determinação das direções preferenciais das falhas e fraturas, sua extensão e densidades e o as cotas do topo do SAG e base do SASG. A partir dos traçados elaborou-se mapas de lineamentos e de densidade de lineamentos e diagramas de rosetas. A Figura 2 apresenta o mapa de lineamentos tectônicos e de

densidades de lineamentos, construídos com todos os lineamentos traçados.

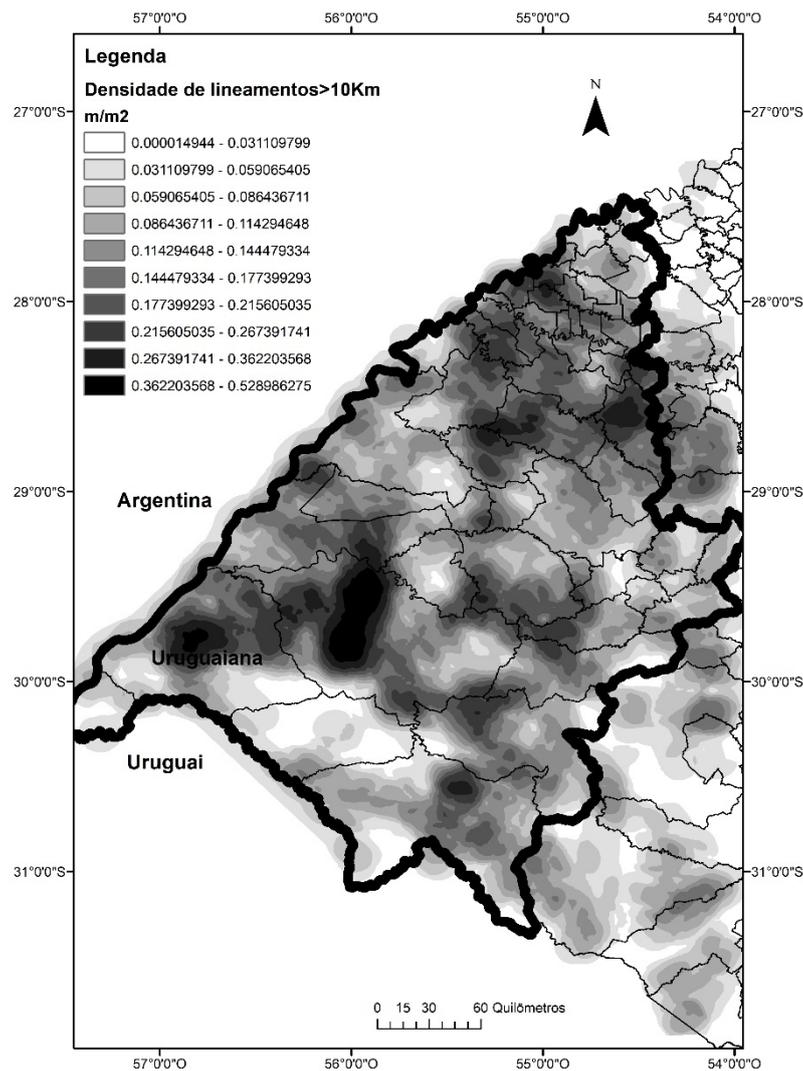


Figura 2. Mapa de lineamentos tectônicos e de densidade de lineamentos traçados em imagem de relevo sombreado nas escalas 1:500.000, 1:250.000 e 1:100.000. Cores vermelhas: mais alta densidade de lineamentos; cores verdes: mais baixa densidade de lineamentos.

Os diagramas de roseta permitiram determinar as direções preferenciais dos lineamentos verificados na área de estudos em 3 escalas distintas. Estes diagramas mostram a predominância de direções NW-SE e NE-SW nos lineamentos de grande extensão, tanto aqueles superiores a

5.000 metros quanto 10.000 m. Cabe destacar que as grandes estruturas, com mais de 10.000 metros de comprimento, são orientadas essencialmente segundo direções NW-SE (Figura 3a e 3b). Quando considerados todos os lineamentos, inclusive aqueles de pequeno porte, não se observa orientação preferencial, com azimutes em todas as direções, à exceção da direção N-S (Figura 3c).

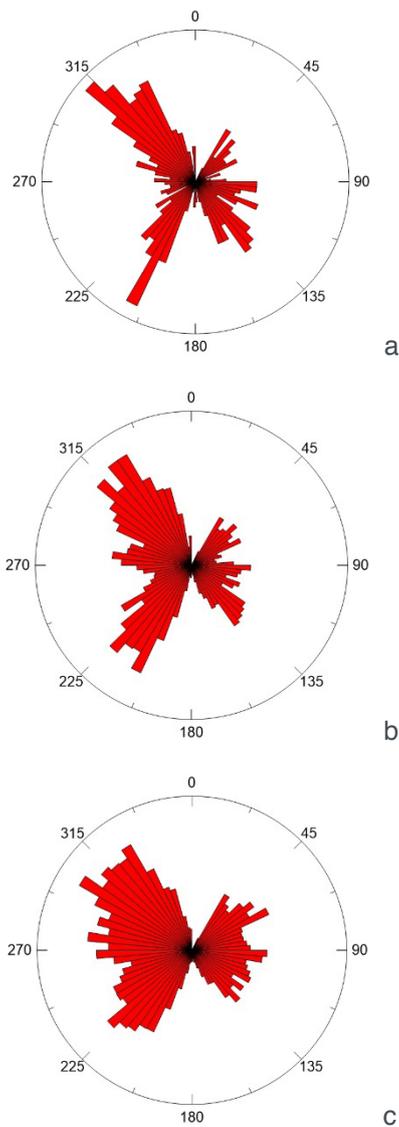


Figura 3. Diagramas de roseta de lineamentos com comprimentos maiores que 10.000 m(a), 5.000 (b) e todas as extensões (c)

A Figura 4 mostra a distribuição de vazões dos poços cadastrados na região e nela observa-se que vazões significativas, com valores acima de $20 \text{ m}^3/\text{h}$, são registradas em toda a área estudada. Os poços da Formação Serra Geral com vazões mais elevadas coincidem com as áreas de maior densidade de fraturas, identificadas pelas cores avermelhadas no mapa. Na zona oeste da área, nos municípios de Santana do Livramento e Uruguaiana é registrado um grande número poços com vazões altas em locais de baixa densidade de fraturas. Estes poços tem captação direta no Sistema Aquífero Guarani.

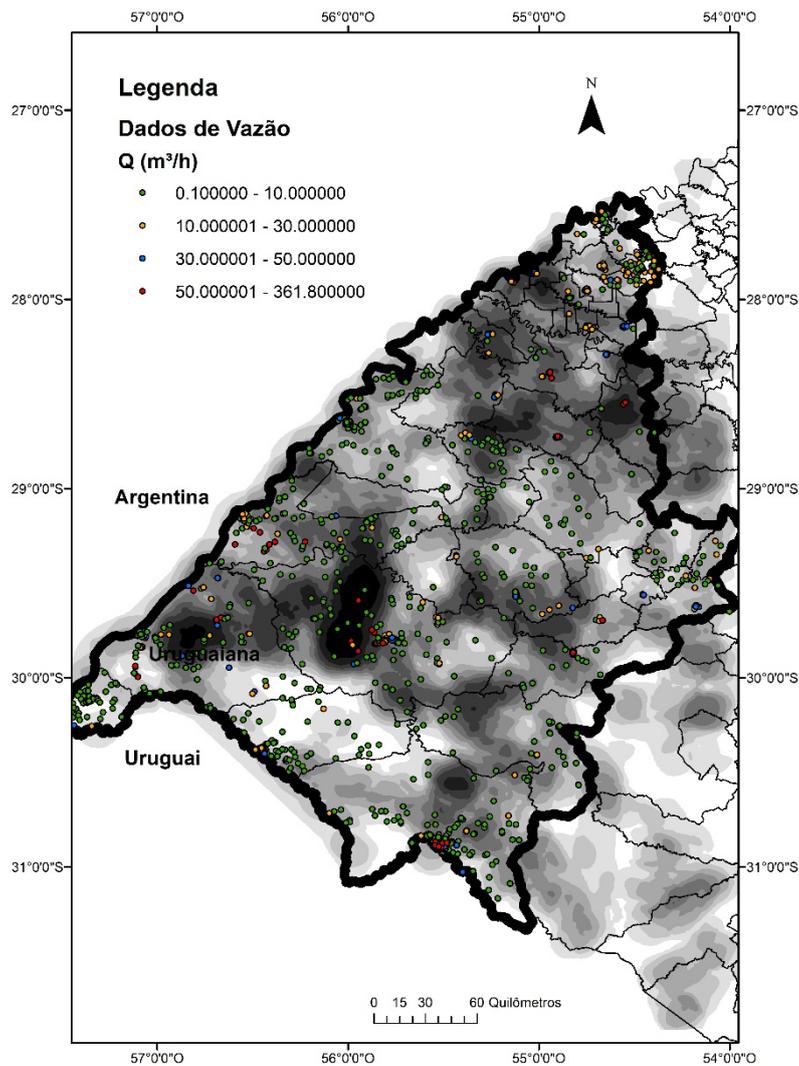


Figura 4. Mapa de vazões (m³/h) nos poços da área estudada

O mapa de cotas do topo da Formação Botucatu permitiu averiguar a existência de movimentos verticais de blocos e a compartimentação tectônica e hidráulica do Sistema Aquífero Guarani na área. A movimentação vertical gera descontinuidade lateral nas camadas sedimentares do SAG e nas vulcânicas do SASG ao longo dos planos de falha, interferindo na vazão dos poços e também na química da água. Na análise do mapa de isolinhas das cotas do topo da Fm. Botucatu, nota-se a existência de pelo menos uma estrutura de direção NE-SW que promove a movimentação vertical de blocos, sendo o lado leste-sudeste soerguido e o lado oeste-noroeste rebaixado (Figura 5). O bloco soerguido, na porção oriental da imagem, possui cotas altimétricas que passam de 120 metros, ao passo que bloco rebaixado, na porção ocidental da imagem, apresenta cotas da ordem de 20 metros, o que implica num rejeito vertical próximo de 100 metros.

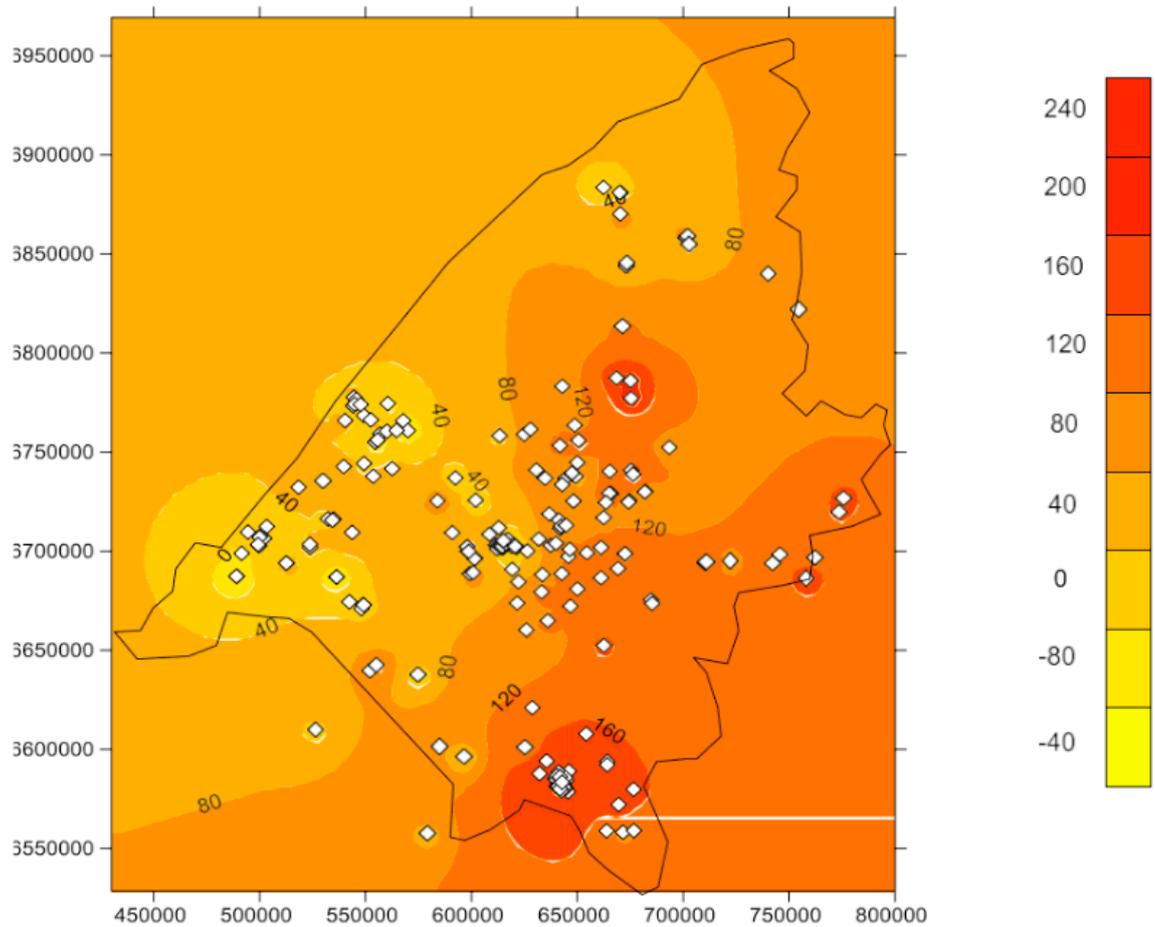


Figura 5: Mapa com as cotas altimétricas (m) do topo do SAG. Cores vermelhas mostram cotas mais elevadas, as quais ocorrem na porção leste-sudeste da área. Os losangos brancos representam os poços tubulares que alcançam o SAG.

5 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir o que segue:

- Os lineamentos tectônicos com mais de 5.000 metros de comprimento registrados na área de estudo apresentam preferencialmente direções NW-SE e NE-SW.
- Os grandes lineamentos, com mais de 10.000 metros de comprimento, tem direções NW- SE predominantes.
- Lineamentos menores com menos de 5.000 metros de comprimento ocorrem em todas as direções, com excessão da direção N-S.
- Os poços do Sistema Aquífero Serra Guarani apresentam altas vazões independentemente das estruturas rúpteis.
- Os poços do Sistema Aquífero Serra Geral possuem vazões muito variadas, sendo as maiores relacionadas a zonas de alta densidade de fraturas.
- Movimentos verticais de blocos foram identificados na área, com soerguimento da porção Leste-Sudeste em relação ao lado Oeste e rejeito vertical de pelo menos 100 metros.

REFERÊNCIAS

- BANKS, D.; RHOR-TORPE, E.; SKHARPAGEN, H. **Groundwater resources in hard rock: experiences from the Hvaler study, Southeastern Norway**. Applied Hydrogeology, 2(2), pp. 33-42. 1994
- BARTON, C. A.; ZOBACK, M. D.; MOOS, D. **Fluid flow along potentially active faults in crystalline rock**. Geology, 23(8), pp.683-686. 1995.
- FERNANDES, A. J. **Aquíferos Fraturados: Uma revisão dos Condicionamentos Geológicos e dos Métodos de Investigação**. Revista do Instituto Geológico 29 (1/2), pp. 49-72. 2005
- HESENACK, H.; WEBER, E.(2004). **Manual do usuário do Idrisi: Exercícios tutoriais**. UFRGS, Porto Alegre, 1998. In: ROSA, R. Sistema de Informação Geográfica. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Laboratório de Geoprocessamento. Uberlândia.
- MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul, RS**. São Leopoldo: Unisinos. 2005. 237p. 2005. Tese de doutoramento.
- TIREN, S. **Geological setting and deformation of a low-angle fracture zone at Finnsjon, Sweden**. Journal of Hydrology, v.126, pp.17-43. 1991

AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO TOCANTINS

Fernán Enrique Vergara

Universidade Federal do Tocantins, Curso de Graduação e Mestrado em Engenharia Ambiental e Pós Graduação em Desenvolvimento Regional
Palmas - TO

Viviane Basso Chiesa

Serra Grande Estudos e Projetos
Palmas - TO

Cecília Amélia Miranda Costa

Instituto de Ensino e Pesquisa Objetivo / Faculdade de Palmas, curso de Administração
Palmas - TO

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar a efetividade dos cinco instrumentos de gestão definidos na Política Nacional de Recursos Hídricos no Estado do Tocantins. Assim, foram realizadas consultas em dados disponíveis na internet de sites governamentais, além de levantamento de informações no órgão estadual gestor de recursos hídricos e em secretarias correlatas. Os dados analisados demonstram: que apenas seis bacias hidrográficas do Estado do Tocantins foram contempladas com Planos de Bacias Hidrográficas; que os cursos de água inseridos no território estadual, em sua maioria não foram classificados quanto a seu uso preponderante; que a outorga segue em processo simplesmente burocrático; que o sistema de informação sobre

os Recursos Hídricos ainda é inexistente, e que a cobrança pelo uso da água está aprovada em apenas uma bacia apenas uma bacia, mas ainda em fase de implantação.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão dos recursos hídricos, Instrumentos de gestão dos recursos hídricos.

EFFECTIVENESS EVALUATION OF WATER RESOURCES MANAGEMENT TOOLS IN TOCANTINS STATE

ABSTRACT: This study aims to evaluate the effectiveness of the five management instruments defined in the National Water Resources Policy in Tocantins State. Thus, consultations were held on data available on government websites, as well as gathering information on the water resources government agency and related departments. The data analyzed show: that only six river basins of Tocantins State were awarded Watershed Plans; that the waterways entered into the state territory, most of them have not been classified according to their predominant use; that the grant follows on simply bureaucratic process; that the system of information on water resources is still lacking, and that the charge for the use of water is only approved in a only one basin, but still in the implementation phase.

KEYWORDS: Management of water resources,

INTRODUÇÃO

A gestão de recursos hídricos tem avançado nas últimas décadas no Brasil, principalmente após o advento da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei Federal nº 9.433/97), que inovou ao assegurar o acesso e usos múltiplos dos recursos hídricos e; ao abrir o processo decisório para a participação dos diferentes agentes interessados, baseada na criação de novos instrumentos, como o Plano de Bacias Hidrográficas, o Enquadramento dos Recursos Hídricos em Classes, a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos, a Cobrança pelo Uso da Água e o Sistema de Informações (CAROLO, 2007; SANTOS e GUSMÃO, 2013).

Deve-se observar que todos os instrumentos de gestão são interligados entre si, haja vista que para uma outorga ser emitida, preliminarmente deve ser consultado o Sistema de Informações para verificar a disponibilidade hídrica da bacia e demandas dos usuários à jusante e à montante, em seguida devem ser observados os critérios de alocação de água definidos pelo Plano, esses critérios devem respeitar as metas de qualidade definidas no Enquadramento e, ainda, deverão determinar os quantitativos a serem arrecadados pela Cobrança (ALMEIDA, 2002; SILVA e MONTEIRO, 2004; ANA, 2009).

No Estado do Tocantins, a legislação referente à gestão dos recursos hídricos foi aprovada em 22 de março de 2002, de acordo com a Lei Estadual nº 1.307, todavia o instrumento de outorga somente começou a ser implantado no ano de 2005, quando foi publicado o Decreto Regulamentador nº 2.432, de 06 de junho de 2005. Os outros instrumentos, embora constem na Lei, estão em fase de planejamento para serem aplicados em algumas Bacias Hidrográficas do Estado.

Dessa forma, o objetivo deste artigo foi avaliar a efetividade dos cinco instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos instituídos pela PNRH no âmbito do Estado do Tocantins.

A EFETIVIDADE DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO TOCANTINS

O território estadual está contemplado no Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Araguaia-Tocantins, elaborado pela ANA entre os anos de 2006 e 2008, com ampla participação dos estados do Tocantins, Pará, Goiás, Mato Grosso, Maranhão e Distrito Federal. Um Plano Estratégico cumpre os requisitos de um Plano de Bacia e, ao mesmo tempo, avalia em escala macro os impactos sócio-ambientais dos projetos de aproveitamento hídrico e propõe diretrizes de ação e requisitos técnicos para o uso integrado dos recursos hídricos.

Esse Plano Estratégico tem um horizonte de 25 anos e propôs ações não estruturais e estruturais, baseadas em critérios de sustentabilidade hídrica e ambiental e investimentos de R\$ 3,8 bilhões até 2025, dos quais 92% se referem a programas de saneamento ambiental para água, esgoto e lixo e estabeleceu diretrizes para irrigação, conflitos de uso de água, qualidade das águas e articulação interinstitucional.

No tocante ao Estado do Tocantins, foram propostas as seguintes ações: fortalecimento da Companhia de Saneamento e da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; desenvolvimento e implementação dos instrumentos da PNRH; construção de eclusas para proporcionar a navegabilidade no rio Tocantins; uso racional da água na irrigação na planície do Araguaia; implementação de um sistema integrado de gestão dos reservatórios das usinas hidrelétricas Peixe Angical e Luís Eduardo Magalhães; apoio a estudos de regularização de vazões no médio Araguaia; melhoria do acesso à água na zona rural da região sudeste do Estado que sofre com a estiagem; apoio à criação e manutenção de unidades de conservação; proteção da bacia do rio Sono; priorizar a construção de hidrelétricas no rio Tocantins; desenvolvimento de estudos sobre estoques e produção de peixes; estudo e gestão do Aquífero Urucuaia e; ações de educação ambiental em recursos hídricos.

Para implementar as ações propostas pelo Plano Estratégico foi instituído o Colegiado Gestor da bacia Araguaia-Tocantins, por meio da Resolução da ANA nº 411 publicada em 29 de junho de 2009. Esse colegiado é composto por 16 membros, representantes da Agência Nacional de Águas, do Ministério do Meio Ambiente, do CNRH, além dos Secretários de Planejamento e de Recursos hídricos dos seis Estados que compõem a região de abrangência. Esse Colegiado será responsável pela implementação do Plano Estratégico até que o respectivo comitê seja criado.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), que abrange todo o território do Estado do Tocantins foi elaborado entre os anos de 2008 e 2011. Com o intuito de aperfeiçoar a gestão dos recursos hídricos nas diversas bacias do Estado, foi proposta a redivisão do território geográfico em 17 áreas estratégicas de gestão. Além disso, foram elaborados oito diferentes cenários com o objetivo de tornar mais coerentes, abrangentes e robustas as estratégias de ação, ao testá-las contra as diferentes possibilidades de futuro.

Foram considerados fatores condicionantes para análise dos cenários: restrições de disponibilidade hídrica (sazonalidade e crescentes déficits); implantação ou não da hidrovía Tocantins-Araguaia (fator determinante); existência de áreas protegidas e áreas ambientalmente sensíveis; projeções populacionais e distribuição populacional; hidrelétricas (tendência consolidada) e; pecuária, agricultura e irrigação (fatores de expansão). A partir das tendências de futuro identificadas pelos cenários foram estabelecidas seis diretrizes para o uso e conservação dos recursos hídricos e propostos sete programas para a compatibilização das demandas hídricas com a preservação e conservação dos aspectos de qualidade e quantidade das águas

no Estado. Essas ações preveem um investimento de R\$ 120 milhões de reais para um horizonte de quatro anos. As ações propostas visam o fortalecimento do sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos e a consolidação de todos os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Verifica-se que algumas ações, como a melhoria da rede hidrometeorológica tem recebido investimentos, principalmente do Governo Federal.

Algumas ações propostas no Plano Estratégico da bacia Araguaia-Tocantins também foram contempladas no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH): capacitação dos agentes públicos, dos técnicos do Estado e da sociedade civil em gestão dos recursos hídricos; promoção de pesquisa focada no Aquífero Urucuaia; ações de saneamento básico para áreas com déficit hídrico e estudo para gestão, prevenção e defesa contra eventos críticos, inclusive para a região sudeste; planejamento e otimização do uso da água para irrigação, abrangendo a região da planície do Araguaia; criação de unidades de conservação; implementação do SEIRH e consolidação dos critérios de concessão da outorga e; estudos para acompanhar o desenvolvimento das hidrovias, contemplando as bacias dos rios Araguaia e Tocantins. Assim, percebe-se que importantes apontamentos do Plano Estratégico da bacia Araguaia-Tocantins foram considerados no Plano Estadual.

No âmbito dos Planos de Bacia Hidrográfica, até o momento foram elaborados apenas seis Planos no Tocantins, são eles: PBH do Lago de Palmas, PBH dos rios Lontra e Corda, PBH dos rios Balsas e São Valério, PBH do rio Manuel Alves, PBH do rio Formoso e PBH do rio Palma. Estes planos abrangem 77.235,97 km², o que representa 27,82% da área do Estado.

Conforme pode ser visualizado na Tabela 01, apenas o PBH do rio Formoso não apresentou uma proposta para o enquadramento dos recursos hídricos da bacia, apesar de constar no artigo 4º da Lei Estadual nº 1.307, de 22 de março de 2002, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, que o enquadramento dos corpos de água em classe de uso preponderante deve estar incluído no Plano de Bacia Hidrográfica.

O Plano de Bacia do Lago de Palmas foi atualizado e entregue em 2017, levando agora sim em consideração todas as bacias contribuintes do reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães. Nesse plano foram definidos diretrizes e ações para um horizonte de 25 anos, considerando o crescimento populacional atípico da região de Palmas, assim como outros fatores de desenvolvimento, como a chegada ou não da Hidrovia Araguaia-Tocantins.

Atualmente, estão instituídos e em funcionamento no Estado de Tocantins cinco comitês de bacias hidrográficas, são eles: Comitê da Bacia Hidrográfica do Lago de Palmas; Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso; Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves; Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Lontra e Corda e; Comitê do Santo Antônio e Santa Tereza (CBHTO, 2018).

Os Comitês de bacias do rio Palma e dos rios Balsas e São Valério ainda

não foram instituídos, todavia, os esforços para a criação da comissão pró-comitê da bacia do rio Palma, iniciaram no ano de 2007 e ainda não obtiveram sucesso (CORDEIRO, 2011).

Plano	Municípios	Rios	Área de abrangência (km²)	Comitês
PBH do Lago de Palmas	Palmas, Porto Nacional, Lajeado, Monte do Carmo, Brejinho de Nazaré, Miracema do Tocantins, Santa Rosa do Tocantins, Silvanópolis, Paraíso do Tocantins, Ipuemas do Tocantins, Aliança do Tocantins, Santa Rita do Tocantins, Crixás do Tocantins, Pugmil, Fátima, Nova Rosalândia, Barrolândia, Gurupi, Oliveira de Fátima, Pindorama do Tocantins, Lajeado.	Ribeirão Lageado, Ribeirão Santa Luzia, Ribeirão dos Mangues, Rio Matança, Ribeirão do Carmo, Ribeirão Conceição, Rio Crixás, Rio Formiga, Rio Areias, Córrego São João, Rio Água Suja, Ribeirão São João, Ribeirão Taquaruçu Grande, Córrego Comprido, Ribeirão Água Fria	1.812,62	Criado em 07/11/2011 por meio do Decreto Estadual nº 4.434/2011
PBH Lontra e Corda	Ananás, Angico, Aragoquinas, Araguaína, Araguanã, Babaçulândia, Carmolândia, Darcinópolis, Piraquê, Riachinho, Wanderlândia e Xambioá.	Rio Lontra, Rio Pontes, Ribeirão Brejão, Ribeirão Boa Vista, Ribeirão Lajes, Rio Lajes, Rio Corda, Ribeirão Lago Grande.	7.354,78	Criado em 10/10/2013 através do Decreto nº 4.906/2013
PBH Rio Balsas e São Valério	Santa Tereza, Ponte Alta, Lagoa, Pindorama, Monte do Carmo, Novo Acordo, Rio da Conceição, Silvanópolis, Natividade, Aparecida do Rio Negro, Mateiros, Palmas, São Valério da Natividade, Peixe e Paranã.	Rio Balsas, Rio São Valério, Rio Ponte Alta, Córrego Brejo Grande, Brejo Felicíssimo, Córrego Sangradouro, Córrego Estiva, Córrego Santa Tereza, Córrego Gameleira, Córrego São João.	12.386,7 (Balsas) e 2.136 (São Valério)	Não tem comitê constituído
PBH Manuel Alves	Almas, Chapada da Natividade, Conceição do Tocantins, Dianópolis, Natividade, Pindorama, Porto Alegre, Rio da Conceição, Santa Rosa, São Valério da Natividade e Taipas.	Rio do Peixe, Rio Manuel Alves, Ribeirão do Pedro, Córrego Salobro, Ribeirão Água Suja, Córrego Cocal, Rio Bagagem, Rio Mombó, Rio Conceição, Rio Peixinho, Rio Manuel Alvinho, Córrego Morena	14.894,7	Criado em 22/03/2011 através do Decreto nº 4.253/2011
PBH Rio Formoso	Gurupi, Crixás, Cariri, Figueiropólis, Alvorada, Talismã, Araguaçu, Sandolândia, Formoso do Araguaia, Dueré, Lagoa da Confusão, Cristalândia, Pium, Nova Rosalândia, Fátima, Oliveira de Fátima, Aliança e Santa Rita.	Rio Formoso, Rio Escuro, Rio Pau Seco, Rio Piaus, Ribeirão Tranqueira, Ribeirão Piraruca, Ribeirão da Taboca, Rio Xavante, Rio Dueré, Rio Urubú e Ribeirão Lago Verde	21.328,57	Criado em 22/03/2011 através do Decreto nº 4.252/2011
PBH Rio Palma	Arraias, Aurora, Combinado, Conceição, Dianópolis, Lavandeira, Novo Alegre, Novo Jardim, Paranã, Ponte Alta do Bom Jesus, Taguatinga e Taipas.	Rio Palma, Rio Arraias, Córrego Cachoeira, Rio Palmeiras, Rio Sobrado, Rio Conceição, Ribeirão do Salto, Ribeirão Bonito, Rio Ponte Alta e Ribeirão Abreu.	17.322,6	Não tem comitê constituído

Tabela 01 – Informações sobre os Planos de Bacias existentes no Estado.

De acordo com a Deliberação 03/2012 publicada no Diário Oficial do Estado do

Tocantins nº 3.781 em 24 de dezembro de 2012, os PBH das bacias hidrográficas do rio Formoso e do rio Manuel Alves foram aprovados pelos seus respectivos comitês. O PBH do Entorno do Lago de Palmas foi aprovado pelo comitê em fevereiro de 2018. O comitê da bacia dos rios Lontra e Corda não aprovou os seu PBH, uma vez que foi elaborados antes de sua criação. Os planos dos rios Palma e Balsas e São Valério somente poderão ser aprovados após a criação dos seus comitês.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos foi instituída no Estado do Tocantins pela Lei Estadual nº 1.307/2002 e regulamentada pelo Decreto Estadual nº 2.432, de 06 de junho de 2005, que determinou que a gestão e a fiscalização dos recursos hídricos devem ser executadas pelo NATURATINS.

Desde sua implementação até o ano de 2007, haviam sido outorgados 1.011 processos, dos quais 70% se referiam a captações em mananciais superficiais e 30% a captações subterrâneas. Para o referido período, a irrigação foi o uso mais expressivo, seguido do abastecimento público, abastecimento comercial, abastecimento industrial e obras de infraestrutura (TOCANTINS, 2008).

No período de 2009 a 2014, o quantitativo de outorgas emitidas pelo NATURATINS equivale a 1.821 Portarias, das quais 62,4% estão relacionadas a captações em mananciais subterrâneos e 37,6% a mananciais superficiais. Além disso, observa-se que o uso que prevaleceu foram as obras de infraestrutura (barragens, pontes e bueiros), seguida das atividades agropecuárias (irrigação, dessedentação animal e piscicultura), abastecimento comercial, abastecimento industrial, abastecimento doméstico, mineração e paisagismo.

Verifica-se que houve pouco avanço na implementação deste instrumento nos últimos anos, haja vista que durante o período de dois anos (2005 a 2007) haviam sido outorgados em média pouco mais de 500 processos/ano e, em contrapartida no decorrer de cinco anos (2009 a 2014) esse quantitativo reduziu para pouco mais de 360 processos/ano, embora tenha ocorrido maior desenvolvimento econômico do Estado nesse período. A ausência de ações de fiscalização, por parte do órgão fiscalizador, tem colaborado para a baixa eficiência do instrumento. A grande extensão territorial e a falta de infraestrutura podem ser apontados como a dificuldade para essa fiscalização.

No que se refere à Cobrança pelo Uso da Água, apenas a bacia do rio Formoso tem uma cobrança aprovada pelo comitê, desde 2016, porém até o presente momento não foi implementada. Essa bacia já apresenta um histórico de conflitos pelo uso da água em função da grande demanda advinda dos projetos de agricultura irrigada, instalados nos municípios de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão, na Planície do Araguaia.

Outro instrumento de gestão ainda não implantado no Estado é o Sistema de Informações. Em 2014 foi firmado um convênio entre a SEMARH e a FAPTO para a elaboração do Plano Estadual de Gestão de Informações, que constituiu o passo preliminar para a futura implantação do Sistema Estadual de Informações

sobre Recursos Hídricos. Dessa forma, até que o Sistema de Informações seja implementado, a quantificação da disponibilidade hídrica, para a análise dos pedidos de outorga no NATURATINS é deficiente. Existem alguns sistemas que detêm informação, como o SAD-Outorga do Naturatins e o GAN, Sistema de Gestão de Alto Nível dos Recursos Hídricos para a bacia do rio Formoso, mas não estão de forma integrada e o SAD abrange todo o estado mas ainda não foi carregado com todos os processos de outorga, e o GAN foi implementado apenas para uma bacia.

Na insuficiência de dados, a Coordenadoria de Outorga adotou o método de regionalização de vazões, que determina a disponibilidade hídrica de um manancial pela extrapolação de dados da estação fluviométrica mais próxima ao corpo hídrico. Todavia, a eficiência deste método depende de uma complexa rede de estações fluviométricas operando e repassando as informações para serem tratadas e utilizadas que é constituída por 214 estações, das quais nem todas estão em funcionamento, por isso somente as 58 estações operadas pela ANA são utilizadas nas análises de outorga, quantidade considerada insuficiente, que compromete a aplicação do método de regionalização. Ressalta-se que no ano de 2008 foi elaborado pelo governo estadual um estudo para o adensamento da rede hidrometeorológica estadual, todavia, não houveram avanços para a implementação das propostas elencadas.

Atualmente a SEMARH tem instalado várias estações hidrometeorológicas no Estado, por convênio com a ANA, principalmente na bacia do rio Formoso em que foram instaladas mais quadro estações entre 2016 e 2018. Também, o Estado aderiu ao Qualiágua, da ANA, em que iniciou em 2017 o monitoramento de qualidade da água em algumas bacias do Estado.

CONCLUSÃO

Diante do exposto é possível concluir que:

- Entre os entraves que se apresentam à efetivação do enquadramento no Estado pode-se elencar a falta dos planos de bacia, sendo o enquadramento uma de suas etapas, bem como a reduzida quantidade de Comitês de bacia instituídos, além disso, aonde há planos de bacia, as proposta de enquadramento não foram discutidas com a sociedade civil e usuários, o que os torna apenas documentos burocráticos;
- A implementação da cobrança nas bacias onde há conflitos pelo uso da água é de grande importância visto que é a segurança financeira que as instituições têm para investir em mecanismos mais eficientes de geração de informações que subsidiem o próprio sistema de gestão de recursos hídricos. Espera-se que o estudo na bacia do rio Formoso dê suporte para a sua implementação pioneira no Tocantins;
- Entre as perspectivas ao gerenciamento dos recursos hídricos no Estado está o incentivo atual na elaboração do Sistema Estadual de Informações,

que possibilitará a sistematização das informações e agilização dos processos de outorga;

- Neste contexto, pode-se verificar que o Estado do Tocantins ainda passa por desafios e entraves à execução e efetivação da PNRH e várias são as questões a avançar e discutir, apesar dos avanços que houve nos últimos anos na implementação dos instrumentos de gestão. Entre os desafios está a implementação das ações propostas no Plano Estadual; a elaboração de outros planos de bacias, de forma a abranger todo o território estadual; a criação de comitês de bacias e de Agências de Água; o adensamento da rede hidrometeorológica e de estações de monitoramento da qualiquantidade das águas nas BHs e; a criação e consolidação do Sistema de Informações estadual.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Tocantins (FAPT) pelo auxílio na realização deste trabalho por meio do edital FAPT 19/2012 do Programa de Pesquisa em Recursos Hídricos com financiamento do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FERH) do Estado do Tocantins.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C.C. de. (2002). **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos**. Disponível em: <http://jus.com.br/revista/texto/3680/outorga-dos-direitos-de-uso-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 05 abr. 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas. (2009). **Implementação do Enquadramento em Bacias Hidrográficas no Brasil; Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - Snirh no Brasil**: arquitetura computacional e sistêmica. Cadernos de Recursos Hídricos nº 6. Brasília: ANA.

ANA. Agência Nacional de Águas. (2009). Resolução ANA nº 411, de 29 de junho de 2009. **Institui o Colegiado Gestor do Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia**. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2009/411-2009.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2015.

BRASIL. (1997). Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Lex: Diário Oficial da União. Seção 1, p. 470. Brasília, 09 de janeiro 1997.

CAROLO, F. (2007). **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: Instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. 203 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.

CBHTO. (2018). **Comitês de Bacia do Estado do Tocantins**. www.cbhto.com.br

CORDEIRO, M. G. dos S. (2011). O Estado do Tocantins aplicando a mobilização social na implementação dos instrumentos da política de recursos hídricos como uma ferramenta de gestão descentralizada e participativa. In... XIX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, AL.

SANTOS, B. B. M.; GUSMÃO, P.P. de. (2013). Ampliando o debate sobre a lei das águas: uma consideração sobre os conflitos socioambientais. In... XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, RS.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. (2004). **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens.** In: Machado, C. J. S. (Org.). Gestão de águas doces. Rio de Janeiro: Interciência. Cap. 5, v.1, p.135-178.

TOCANTINS. (2002). Lei nº 1.307, de 22 de março de 2002. **Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências.** Lex: Disponível em: <<http://al.to.gov.br/legislacaoEstadual?pagPaginaAtual=69>>. Acesso em: 22 de abril de 2015.

TOCANTINS. (2005). Decreto nº 2.432 de 06 de junho de 2005. **Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõe os artigos 8º, 9º e 10 da Lei 1.307, de 22 de março de 2002.** Lex: Disponível em: <http://mpto.mp.br/intranet/caopma/leg_est/DECRETO%202.432%20de%2006-2005.pdf>. Acesso em: 22 de abril de 2015.

TOCANTINS. (2011). Decreto nº 4.434, de 07 de novembro de 2011. **Institui o Comitê das Bacias Hidrográficas do Entorno do Lago da UHE Luís Eduardo Magalhães.** Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, n. 3.499, 08 nov. 2011, p. 2-2.

TOCANTINS. (2011). Decreto nº 4.252, de 22 de março de 2011. **Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso e adota outras providências.** Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, n. 3.345, 22 mar. 2011, p. 1-2.

TOCANTINS. (2011). Decreto nº 4.253, de 22 de março de 2011. **Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade e adota outras providências.** Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, n. 3.345, 22 mar. 2011, p. 1-2.

TOCANTINS. (2012). Deliberação nº 03, de 24 de dezembro de 2012. **Aprova os Planos de Bacia Hidrográfica dos rios Formoso e Manuel Alves da Natividade.** Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, n. 3.781, 24 dez. 2012, p. 29.

TOCANTINS. (2013). Decreto nº 4.906, de 10 de outubro de 2013. **Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Corda e Lontra e adota outras providências.** Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, n. 3.980, 10 out. 2013, p. 1-2.

TOCANTINS. (2008). **Projeto de Adensamento da Rede Hidrometeorológica Estadual.** Disponível em: <<http://semarh.to.gov.br/conteudo/gestao-das-guas/29>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

ATENUAÇÃO DE ONDAS EM MARGENS DE RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS PELA PRESENÇA DE VEGETAÇÃO NO FUNDO – ANÁLISE NUMÉRICA ATRAVÉS DO MODELO SWAN-VEG

Adriana Silveira Vieira

UEMS – Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul – Coxim - MS.

Germano de Oliveira Mattosinho

IFMG – Campus Avançado de Piumhi – Piumhi-MG.

Geraldo de Freitas Maciel

UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira– Ilha Solteira - S.P – Departamento de Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

RESUMO: Este trabalho trata do estudo da variação das alturas significativas de ondas devido à presença de vegetação de fundo em margens de reservatórios de barragens. Diferentes parâmetros de vegetação foram simulados. A zona de estudo foi o lago da barragem de Ilha Solteira- São Paulo- Brasil e trecho da rota comercial da Hidrovia Tietê-Paraná. Foram analisadas as alturas significativas de ondas geradas por ventos reinantes no lago e sua atenuação através do modelo numérico SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) com o módulo vegetação (SWAN-VEG). Com o intuito de analisar a influência da vegetação sobre a redução da energia das ondas perto das margens do lago, o modelo numérico foi aplicado e analisado para uma profundidade local de 4.8 m, distante de 300 m

da margem. Nos estudos de casos realizados, variaram-se as alturas, densidades e espessura das plantas; adotaram-se velocidades de 5 m/s (vento reinante) e de 20 m/s (vento máximo), ambos atuando na direção de maior persistência do vento (direção NE) no reservatório. Obteve-se uma atenuação máxima de altura significativa de onda da ordem de 55% em alguns dos casos simulados, quando comparados a situações sem a presença de vegetação.

PALAVRAS-CHAVE: SWAN, Margens de Reservatórios, Vegetação, Atenuação de Ondas.

WAVE ATTENUATION ON MARGINS OF RESERVOIRS DUE TO THE VEGETATION - NUMERICAL ANALYSIS THROUGHOUT SWAN-VEG MODEL APPLICATION.

ABSTRACT: This paper deals with the study of variations in significant wave heights due to the presence of submerged vegetation in margins of reservoirs. Different vegetation parameters were simulated. The study area was the reservoir of Ilha Solteira - São Paulo - Brazil (segment of Tietê-Paraná waterway). It were analyzed the significant wave height generated by prevailing winds on the reservoir and their attenuations through numerical model SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) with vegetation

module (SWAN-VEG). In order to analyze the influence of vegetation on the wave energy attenuation, the numerical model was applied and analyzed for a local depth of 4.8 m, 300 m far from the reservoir shore. In this case, the height, density and diameter of the plants were varied. Winds speed were adopted of 5 m/s (prevailing) and maximum speed wind of 20 m/s, both acting in the direction of greater persistence of the wind (direction NE). There was obtained a maximum wave attenuation of the order of 55% in some cases, when compared to the cases without vegetation.

KEYWORDS: SWAN, Margins of reservoirs, Vegetation, Gravity waves Attenuation.

1 | INTRODUÇÃO

A Hidrovia Tietê-Paraná é uma rota de navegação que atravessa as regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil. Permite a navegação do transporte de cargas e passageiros ao longo dos rios Paraná e Tietê, sendo de extrema importância para o escoamento da produção agrícola dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e para uma parcela de Rondônia, Tocantins e Minas Gerais. A Figura 1 mostra o segmento da Hidrovia Tietê-Paraná, no reservatório da barragem de Ilha Solteira.

Em certas áreas do reservatório, as ondas geradas pelos ventos, além de poderem trazer dificuldades à navegação, são responsáveis pela erosão das margens e desbarrancamentos. Para mitigar tais efeitos, a vegetação natural ou ali inserida pode vir a atenuar as ondas e seus efeitos, traduzindo-se como opção de bioengenharia interessante, pois dissipa energia ambientais e econômicos. Portanto, é fundamental analisar a influência da vegetação sobre a redução da energia das ondas no entorno do reservatório.

Em trabalho anterior de Vieira, A.S *et al.* (2013), o modelo SWAN, Booij *et al.* (1996) foi aplicado para caracterizar as ondas geradas pelo vento sobre o reservatório da barragem (sem vegetação). É importante salientar que para o caso de Ilha Solteira houve um plano de monitoramento com medições realizadas no âmbito de projetos de investigação FINEP - ONDISA5, UNESP (1997, 2008). No entanto, essas medições foram feitas apenas em quatro locais distribuídos no reservatório, o que impossibilita uma visão geral de todo o espelho d'água, como o modelo numérico é capaz de fornecer.

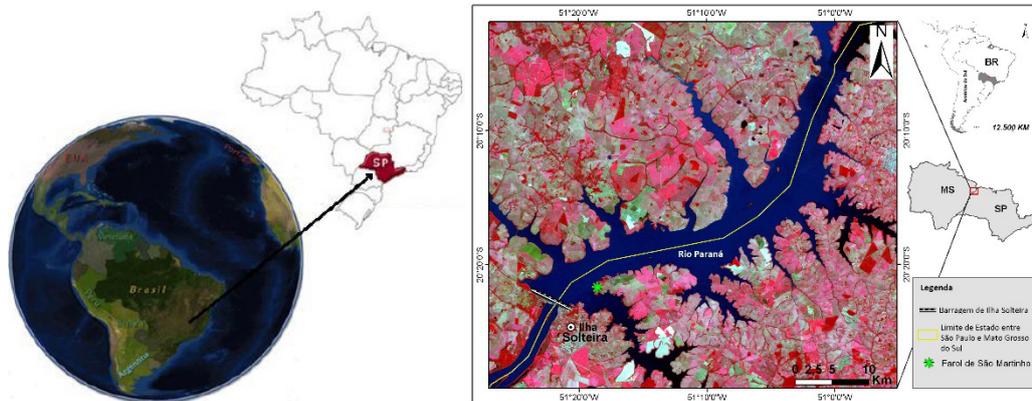


Figura 1: Reservatório da barragem de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.
Representação do segmento / rota da Hidrovia Tietê-Paraná. Vistas gerais.

Para analisar a influência da vegetação na redução da altura das ondas junto às margens, o objetivo deste trabalho foi aplicar a versão mais recente do modelo numérico SWAN (versão 41.01, SWAN Team, 2014), que inclui a dissipação de energia devido à vegetação, módulo SWAN-VEG, Suzuki *et al.* (2011), na área do reservatório da barragem de Ilha Solteira.

No modelo foram aplicados dois ventos constantes de 5 m/s e de 20 m/s, ambos na direção NE, variando as características do fator de vegetação V_f [plantas/m], altura, diâmetro e densidade de plantas para uma profundidade local de 4.8 m. Foram analisados os percentuais de atenuação das alturas significativas de ondas em três pontos do reservatório.

Assim exposto, este artigo inicia com uma breve descrição do modelo numérico utilizado (seção 2). Apresenta, na sequência, a área de estudo e características utilizadas no modelo (seção 3), e sua aplicação na seção 4. A discussão de resultados e comentários gerais são arrolados na seção 5.

2 | MODELO NUMÉRICO SWAN-VEG

2.1 Conceitos Básicos

O modelo numérico SWAN (*Simulating WAves Nearshore*) é um modelo espectral que simula geração, propagação e dissipação de ondas do mar com base na equação de balanço da ação das ondas, Booij *et al.* (1999). Este modelo, de domínio público; é continuamente atualizado pela *Delft University of Technology* (Holanda).

O modelo SWAN é capaz de simular a propagação de ondas do mar a partir de alto mar até à costa e considera os principais processos físicos de refração, difração e empolamento, devido à variação da profundidade do fundo e à presença de correntes e ondas. Inclui também o crescimento de onda induzida pelo vento, quebras de onda devido à variação do fundo e à declividade, dissipação de energia

por atrito no fundo, bloqueio de onda e reflexão, bem como a transmissão de ondas.

2.2 SWAN-VEG

Neste artigo, utilizou-se o modelo SWAN-VEG, Suzuki *et al.* (2011). Trata-se do modelo SWAN original com a adição do módulo de vegetação, que contém um termo de dissipação de energia devido à presença da vegetação (subtrai-se parte da energia das ondas de entrada). Isso resulta numa altura de onda inferior, uma vez que a energia da onda é menor na área com vegetação e na área posterior a mesma.

Assim, para ondas com propagação numa certa direção x , o fluxo de energia $F = E \cdot c_g$ de onda permanece constante, se nenhuma energia E for perdida ou adquirida. Isto é indicado pela equação 1.

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0 \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} [E \cdot c_g] = 0, \text{ com } c_g : \text{ celeridade de grupo} \quad (1)$$

Contudo, a vegetação provoca uma diminuição do fluxo (dissipação) de energia das ondas e em novas condições de onda. Aqui o módulo de vegetação determina uma dissipação de energia de longo prazo, ε_v [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$], que é subtraída do fluxo de energia das ondas (Dalrymple *et al.* (1984), e Kobayashi *et al.* (1993), Mendez e Losada (2004)). O próprio modelo SWAN original não muda, apenas um termo de dissipação extra é adicionado ao mesmo, conforme indicado pela equação 2:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = -\varepsilon_v \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} [E \cdot c_g] = -\varepsilon_v, \text{ com } \varepsilon_v : \text{ dissipação de energia} \quad (2)$$

A expressão de dissipação é uma função das condições de onda e de vegetação, conforme demonstra a equação 3:

$$\varepsilon_v = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \rho C_D b_v N \left(\frac{kg}{2\sigma} \right)^3 \frac{\sinh^3(kah) + 3\sinh(kah)}{3k \cosh^3(kh)} H_{rms}^3 \quad (3)$$

com : ρ a massa específica da água, H_{rms} o erro médio quadrático, k o número de onda e σ a frequência de onda.

A vegetação é modelada como obstáculos cilíndricos causando força de arrasto e definida por quatro parâmetros (altura - ah [m]; diâmetro - b_v [m]; densidade - N [plantas/ m^2] e coeficiente de arrasto - C_D [-]). Há também um parâmetro usado para quantificar a vegetação, denominado fator de vegetação (V_f [plantas/m]), dado pela equação 4.

$$V_f = b_v \times N \times C_D \quad (4)$$

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo de caso utilizou-se uma malha batimétrica com dimensão aproximada de 51 km por 40 km, e uma malha de vegetação, encaixadas e com resolução de 70 x 70 metros, a fim de refinar os resultados a serem obtidos. Ademais, foram locados três pontos de interesse a serem estudados, como ilustrado pela Figura 2.

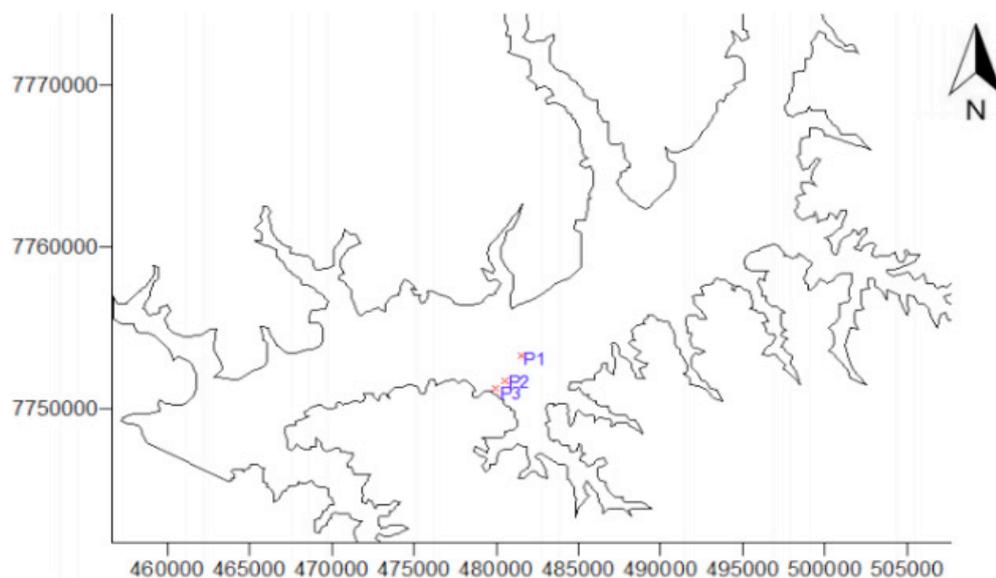


Figura 2 – Esquema de localização dos pontos para estudo.

A malha de vegetação utilizada neste estudo é ilustrada na Figura 3 em detalhe, juntamente com os pontos de interesse. Esta malha tem dimensão aproximada de 8 km na horizontal e 1,5 km na vertical (no plano desta folha).

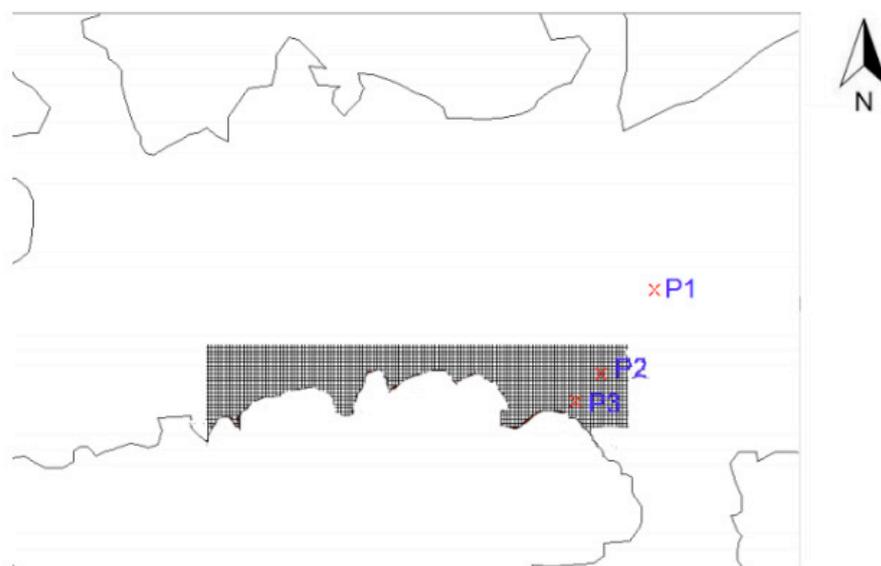


Figura 3 – Esquema de localização dos pontos para estudo.

Os pontos de interesse P1, P2 e P3 distam da margem aproximadamente 2800 m, 1000 m, e 315 m respectivamente, e suas coordenadas (UTM, para X e Y) constam na Tabela 1. O ponto P3 escolhido encontra-se no limiar entre as zonas de águas profundas e intermediárias, sendo no estudo em questão apenas considerada zona de águas profundas.

	X	Y	Z [m]
P1	481525	7753263	23.6
P2	480503	7751726	15.0
P3	479992	7751213	4.8

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos de estudo.

Como supracitado, neste estudo foram utilizadas forçantes do vento de 5 m/s e 20 m/s, como condição de reinância local e cinética extrema, respectivamente.

O espectro direcional nos cálculos com o SWAN foi definido com uma discretização de frequência de 30 intervalos de 0.05 Hz a 3.0 Hz e uma discretização direcional de 2.5° cobrindo os 360°, o que resultou em 44 intervalos de direção. Todos os testes foram realizados com a versão SWAN 41.01, SWAN (Team 2014), em modo estacionário, sem a presença de correntes. Os fenômenos físicos considerados foram a refração, difração, empolamento e interação não linear entre três e quatro ondas. Todos os parâmetros relevantes foram introduzidos no pacote SOPRO-SWAN, Fortes *et al.* (2006).

4 | ESTUDOS DE CASOS

Foram utilizados nove situações para este estudo, o que possibilitou analisar a influência do parâmetro de vegetação V_f na dissipação de energia das ondas. Nas simulações, o coeficiente de arrasto (C_D) foi considerado constante e igual a um ($C_D = 1$), com as seguintes características da vegetação: altura da vegetação (ah) igual a 2.5, 3.0, 3.5 m ; dois diâmetros (b_v), de 0.005 e 0.2 m; e quatro valores de densidade de plantas (N) de 60, 2000, 2500 e 3600 plantas/m². Estes valores geraram valores distintos de parâmetros de vegetação (V_f) de 10.0, 12.0, 12.5 e 18.0 plantas/m. Os resultados em termos de alturas significativas de ondas foram obtidos a partir destes dados e constam na Tabela 2.

	V_f (parâmetro de vegetação) [plantas/m]	ah (altura da planta [m])	b_v (diâmetro da planta) [m]	N (densidade) [plantas/m ²]	Velocidade do Vento [m/s]	H_s (altura significativa de onda) [m]
C - 1	0	-	-	-	5	1.384
	0	-	-	-	20	3.235
C - 2	12	2.5	0.2	60	5	1.390
	12	2.5	0.2	60	20	1.739
C - 3	12	3	0.2	60	5	1.394
	12	3	0.2	60	20	1.653
C - 4	12	3.5	0.2	60	5	1.410
	12	3.5	0.2	60	20	1.586
C - 5	10	2.5	0.005	2000	5	1.390
	10	2.5	0.005	2000	20	1.829
C - 6	10	3	0.005	2000	5	1.393
	10	3	0.005	2000	20	1.744
C - 7	10	3.5	0.005	2000	5	1.393
	10	3.5	0.005	2000	20	1.744
C - 8	12.5	3.5	0.005	2500	5	1.393
	12.5	3.5	0.005	2500	20	1.639
C - 9	18	3.5	0.005	3600	5	1.397
	18	3.5	0.005	3600	20	1.465

Tabela 2 – Características dos casos (C-1, C-2, C-3, ...) em estudo.

INVERTER A LINHA 5 E 20M/S E MAIS: INVERTER ESSAS COLUNAS : PRIMEIRO V_f , ah , b_v , N e depois Veloc do vento e H_s , como ultima coluna. Nas linhas: primeiro 5m/s depois 20 m/s. Ficaria um quadro mais lógico

Os dados contidos na Tabela 2 são referentes ao ponto P3, mais próximo à margem, uma vez que esta é a zona mais interessante em termos de análise para mitigação de problemas de erosão, por exemplo.

Realizando-se a análise em termos de altura significativa de onda, pôde-se determinar a percentagem de atenuação dos casos com vegetação em relação ao caso sem vegetação (C-1), levando em consideração a velocidade do vento de 20m/s, conforme apresentado na Tabela 3.

ATENUAÇÃO (%)	
C -2	46.24
C -3	48.89
C -4	50.98
C -5	43.46

C -6	46.11
C -7	46.11
C -8	49.35
C -9	54.72

Tabela 3 – Percentagem de atenuação devido a um campo vegetado, com velocidade do vento igual a 20 m/s.

Pôde-se inferir da Tabela 3 que se obtém atenuação devido a um campo vegetado da ordem de 50%, o que nos mostra que a elevação do parâmetro de vegetação V_f de 10 para 18 plantas/m² não representou alteração significativa no mecanismo de atenuação, para o estudo em questão. Todavia, observa-se que com o aumento do parâmetro de vegetação, há uma alteração na atenuação da onda, demonstrando boa resposta e sensibilidade do modelo numérico, conforme ilustra a Tabela 4.

<i>ah (m)</i>	V_f	ATENUAÇÃO (%)
2.5	10.0	43.46
	12.0	46.24
3.5	10.0	46.11
	12.5	49.35
	18.0	54.72

Tabela 4 – Análise da atenuação em relação ao parâmetro de vegetação.

5 | COMENTÁRIOS FINAIS

Este estudo apresenta a aplicação do modelo SWAN-VEG, SWAN (Team 2014), no reservatório da barragem de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. O modelo foi usado para simular as ondas geradas por vento no reservatório, e sua sensibilidade à quantificação da atenuação quando da presença de vegetação no fundo, junto às margens.

Foram simulados cerca de 20 estudos de caso, considerando a batimetria real, variando-se a velocidade do vento e as características da vegetação. Verificou-se que existe uma redução expressiva da altura significativa de onda quando esta atravessa uma área com vegetação. Isto é mais evidente nos casos em que a velocidade do vento é maior. Ademais, verificou-se que quando se altera o parâmetro de vegetação, não há uma variação significativa na dissipação de energia. Forte provavelmente, parâmetros de vegetação menores poderiam já ser suficientes para um nível de atenuação desejável. Vale ressaltar que a altura relativa da planta (submergência) é um parâmetro a ser considerado. Para os casos simulados, tal feito se manifestou de forma moderada no efeito da atenuação.

Assim posto, O SWAN-VEG mostrou-se eficiente na simulação de alturas

significativas de ondas e suas atenuações, para a configuração testada nestes estudos de casos, ainda que as alturas de plantas utilizadas tenham sido pouco realistas para vegetação de fundo, junto a margens, fato que não desqualifica o estudo realizado, *vis à vis* da capacidade demonstrada pelo modelo na determinação de fatores de atenuação.

Observando as percentagens significativas de atenuação os resultados se mostram promissores, afastando a alternativa ou opção de utilização de obras de contenção convencionais (de forte impacto ambiental), fazendo prevalecer a opção de bioengenharia, para contenção e proteção de margens ao embate de ondas geradas por vento no entorno do reservatório.

A caracterização da vegetação real presente no reservatório de Ilha Solteira, com medições *in situ*, junto às margens, assim como uma batimetria mais atual e refinada, constituem tarefas cruciais para trabalhos futuros, dada a necessidade de se prever a contribuição efetiva desse agente dinâmico no processo erosivo e nos indicadores de fragilidade do entorno do reservatório.

REFERÊNCIAS

BOOIJ, N., RIS, R.C., HOLTHUIJSEN, L.H.. 1999. **A Third-generation Wave Model for Coastal Regions**, Part I, Model Description and Validation. *Journal Geophysical Research*, 104 (C4), pp. 7649-7666.

DALRYMPLE, R.A., KIRBY, J.T., HWANG, P.A., 1984. **Wave diffraction due to areas of energy dissipation**. *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.* 110, 67–79.

FORTES, C.J.E.M., PINHEIRO, L.V., SANTOS, J.A., NEVES, M.G., CAPITÃO, R., 2006. **SOPRO – Pacote integrado de modelos de avaliação dos efeitos das ondas em portos**. *Tecnologias da Água*, Edição I, March, pp. 51-61.

KOBAYASHI, N., RAICHLER, A.W., ASANO, T., 1993. **Wave attenuation by vegetation**. *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.* 119, 30–48.

MACIEL, G.F. *et al.* 2009. **Alerta de ventos e ondas para a segurança da navegação**. Proc. 6º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior. Rio de Janeiro, 21 and 22 October.

MENDEZ, F.M., LOSADA, I.J., 2004. **An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields**. *Coastal Engineering* 51, 103–118.

MORAIS, V.S., CUNHA, E.F., MACIEL, G F., 2009. **Medição, Previsão e Análise Numérica dos Mecanismos de Geração de Ondas a Partir da Cinética de Ventos e Dissipação de Ondas na Presença de Fundos com Vegetação, em Lagos de Barragens**, Proc. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande - Mato Grosso do Sul - Brasil: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

SUZUKI, T., ZIJLEMA, M., BURGER, B., MEIJER, M.C., NARAYAN, S., 2011. **Wave dissipation by vegetation with layer schematization in SWAN**. *Coastal Engineering* 59, 64–71.

SWAN Team, 2014. **SWAN scientific and technical documentation. SWAN Cycle III version 41.01**. Report. Delft University of Technology.

UNESP 1997, 2008. **ONDISA Project. Project support by FAPESP and FINESP Brazilian agencies.**

VIEIRA, A.S., 2013. **Análises, Aplicações e Validações – Numérico/Experimentais do Modelo SWAN em Áreas Restritas e ao Largo.** 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira – SP – Brasil.

VIEIRA, A.S., MACIEL G.F., FORTES, C.J.E.M., MINUSSI, C.R., SOBRINHO, M. DALL'AGLIO, 2013. **Comparative analysis of the SWAN numerical model predictions and of the pressure sensor measurements at the Ilha solteira Lake.** Proc. 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research, 4-7 June, LNEC, Lisbon.

MODELO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE TOMADA DE DECISÃO PARA CONTROLE DE CHEIAS NA ÁREA URBANA DE ITAQUI-RS

Francisco Lorenzini Neto

Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Instituto Federal Sul-rio-grandense
Passo Fundo - RS

Marcelo Jorge de Oliveira

Universidade Federal do Pampa
Itaqui - RS

Nájila Souza da Rocha

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto
Porto Alegre - RS

Raul Todeschini

Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Santa Maria - RS

Rafael Cabral Cruz

Universidade Federal do Pampa
São Gabriel - RS

RESUMO: Este estudo objetivou desenvolver um modelo de fragilidades ambientais que pudesse ser utilizado como instrumento de tomada de decisão para o controle de cheias na área urbana do município de Itaqui-RS. Para isso, foi realizada uma análise multicritério de fragilidade ambiental da população urbana de Itaqui-RS frente às cheias históricas do Rio Uruguai. As variáveis utilizadas nessa análise

foram cota de inundação, uso e ocupação do solo, e variáveis socioeconômicas. Para cada das variáveis, definiram-se classes de fragilidades ambientais. Para a variável cota de inundação, foram definidas classes em função da frequência e duração de intervalos de cota de inundação para o período compreendido entre os anos de 1983 e 2014; para a variável uso e ocupação do solo, a partir de imagens de satélite; e para as variáveis socioeconômicas, através de informações disponibilizadas pelo IBGE. Os cenários encontrados nessa análise demonstram que as populações ribeirinhas possuem alta fragilidade frente às cheias do Rio Uruguai, situação que também ocorre em parte da região central da cidade. Portanto, pode-se concluir que o modelo de fragilidades ambientais desenvolvido atingiu o objetivo inicial e almeja contribuir para o planejamento e tomada de decisões dos poderes públicos.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Multicritério, SIG, Planejamento Urbano.

ABSTRACT: This study aimed to develop an environmental fragility model that could be used as decision-making tool for flood control in the urban area of Itaqui-RS. Then, was accomplished a multi-criteria analysis of environmental fragility of the urban population of Itaqui – RS front to the historic floods of the Rio Uruguai River. The variables used in this

analysis were flood elevation, land use and occupation, and population socioeconomic level. For each variable, were defined environmental fragility classes. For the flood elevation variable, classes were defined in terms of the frequency and duration of flood elevation intervals for the period between the years 1983 and 2014; for the land use and occupation variable, through satellite images; and for the population socioeconomic level variable, through information provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). The scenarios found in this analysis demonstrate that riverside populations have high fragility front to the Rio Uruguai River floods, same situation occurs in part of the downtown area. Thus, it can be concluded that the developed environmental fragility model reached the initial aim and expects to contribute to the public authorities' planning and decision-making.

KEYWORDS: Multi-criteria analysis, GIS, Urban Planning.

1 | INTRODUÇÃO

Análises de fragilidades ambientais são realizadas com o propósito de se evitar a degradação de sistemas autoorganizativos frente a alterações no meio ambiente, decorrentes de ações perturbadoras. Essas alterações, principalmente aquelas relacionadas às cheias, podem causar grandes danos e prejuízos a uma sociedade (sistema). Entre as perturbações, destacam-se as enchentes, inundações, alagamentos.

Em se tratando de áreas urbanas, os impactos relacionados às cheias podem ser decorrentes da intensidade e da frequência desses eventos, uma vez que grandes volumes de chuva não conseguem escoar ou ser drenado e acabam acumulando nas áreas mais frágeis a esse tipo de situação. A urbanização, nesse caso, efeito da alteração humana, altera a topografia, impermeabiliza o solo, diminuindo a capacidade de infiltração, assim, aumentando o escoamento superficial nessas áreas (TARGA *et al.*, 2012).

Diversos fatores podem ser relacionados à ocorrência dessas situações, sendo a falta de planejamento para ocupação de bacias hidrográficas um dos mais evidentes, ocasionando a ocupação de áreas urbanas de risco (BARBOSA, 2006). Outro fator, citado por Pereira *et al.* (2003), é a falta de infraestrutura, que em conjunto com outras intervenções poderiam diminuir os danos sociais, econômicos e ambientais. Dessa forma, algumas medidas preventivas podem auxiliar na minimização ou redução dos impactos negativos causados pelas cheias. De acordo com Tucci (2013), essas medidas podem ser classificadas em estruturais e não-estruturais.

As estruturais são caracterizadas por modificar o sistema fluvial e consistem em evitar os prejuízos provenientes das cheias, podendo ainda ser classificadas em extensivas (atuam sobre a bacia hidrográfica, reduzindo e retardando os picos de cheia, como o reflorestamento) ou intensivas (obras hidráulicas em rios, como diques, barragens e ampliação das seções). Apesar de minimizarem os problemas

em curto prazo, essas medidas são caras, paliativas e podem gerar outros impactos negativos.

As não-estruturais, apesar de não evitarem, reduzem os efeitos das cheias, objetivando um melhor convívio da população com os impactos negativos causados por elas. Essas medidas são destinadas ao controle do uso e ocupação do solo, bem como à minimização da vulnerabilidade das áreas ocupadas em zonas de risco (RAMOS *et al.*, 1999), portanto, possuem caráter preventivo e apresentam resultados de médio à longo prazo. Entre elas, destacam-se o zoneamento das áreas de risco, análises de vulnerabilidade, construções à prova de enchentes, seguro de enchente, e previsão e alerta de inundação.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de fragilidades ambientais como instrumento para tomada de decisão no controle de cheias na área urbana do município de Itaqui-RS.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Itaqui está localizado na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Uruguaiana e São Borja, e tem fronteira fluvial através do Rio Uruguai com a Argentina. Segundo dados do IBGE (2014), o município de Itaqui possui uma população estimada em 39.129 habitantes. A economia municipal é baseada principalmente na rizicultura e na pecuária, apesar de haver o cultivo de outras culturas, como a da soja.

2.2 Metodologia

A análise de fragilidade ambiental consistiu em se compilar variáveis quantitativas e qualitativas sobre a área urbana de Itaqui que influenciariam na resistência e resiliência da população frente às cheias históricas da cidade. Inicialmente fez-se necessário uma revisão bibliográfica sobre o assunto e consequente escolha das variáveis que seriam utilizadas nas análises, considerando informações disponíveis pelos órgãos públicos competentes e que contemplam suficientemente as discussões do tema.

As variáveis selecionadas foram cota de inundação, uso e ocupação do solo, e variáveis socioeconômicas da população, para as quais, então, foi realizada uma análise multicritério, mesma metodologia utilizada pelo projeto FRAGRIO (UNIPAMPA/UFES, 2011), ao qual atribuem-se pesos e notas para posterior processo de álgebra de mapas. Nesse sentido, quanto maior o peso, maior é a importância dada para determinada variável, e quanto maior a nota, maior é a fragilidade da classe frente às perturbações.

As notas e pesos foram estudadas (os) e adaptadas (os) pelos pesquisadores/ autores desta pesquisa, que possuem conhecimento prévio da área de estudo e, por serem de diferentes formações, procuraram abranger de forma coerente e interdisciplinar as análises. Para a certificação de que o modelo desenvolvido seria representativo, antes e após a determinação dos resultados foram realizadas visitas à campo. Além disso, conversas com servidores da prefeitura, da defesa civil e moradores da cidade foram fundamentais para a classificação das notas. Para fins de melhor compreensão dos ambientes estudados, das variáveis utilizadas e das classes de cada variável, esses são apresentados a seguir de forma desagregada.

Ao agrupar todas as variáveis em apenas um mapa (análise agregada), foram considerados dois cenários correspondentes a duas hipóteses: a Hipótese0/Cenário1 considera que todas as variáveis possuem um mesmo peso e são igualmente importantes nas análises de cheias; a Hipótese1/Cenário2 considera que a variável “Cota de Inundação” é a mais importante, assim, possui um maior peso na avaliação, conforme a figura 1.

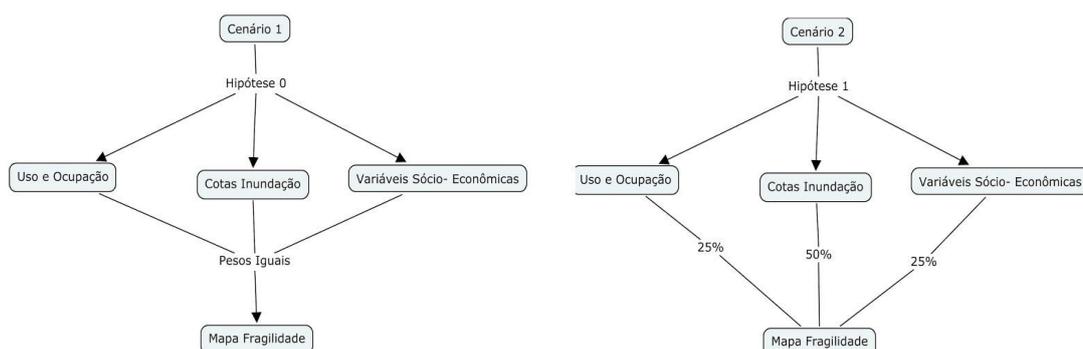


Figura 1 – Cenário 1 e 2 – Análise Agregada.

2.3 Uso e Ocupação do Solo

Para o mapeamento do uso e ocupação do solo da área urbana do município de Itaqui-RS, utilizaram-se imagens disponibilizadas pelo Google Earth (2014), assim como dados vetoriais fornecidos pelo IBGE (2010). No tratamento dessas imagens e dados, utilizou-se um *software* de sistema de informação geográfica (SIG), com projeção geográfica e Datum SIRGAS 2000.

Consideraram-se quatro classes temáticas de uso e ocupação do solo, sendo elas: Área Urbana, Curso Hídrico, Solo Exposto e Vegetação. Para cada classe atribuiu-se uma nota com escala variando de 0 a 255: a Área Urbana recebeu nota máxima, sendo essa de 255, por ser a classe que representa maior fragilidade; a classe Curso Hídrico teve nota igual a 0, pelo fato de ser o causador da perturbação em estudo; ao Solo Exposto foi atribuída nota igual a 192, uma vez que está sujeito à processos de erosão e de deslizamentos, sendo pouco resistente frente às cheias; a classe Vegetação recebeu nota igual a 127, tendo essa classe maior capacidade de resiliência e resistência.

2.4 Cotas de Inundação (Frequência e Duração)

Para a análise de fragilidade ambiental, considerando a variável perturbadora “Cota de Inundação”, utilizaram-se dados da série histórica das cotas do Rio Uruguai, da estação fluviométrica Itaqui 75900000, correspondentes ao período de 1983 a 2014 (ANA, 2014). Nesse período observaram-se 10 picos de cheia considerados relevantes, para os quais decretou-se estado de emergência no município (Tabela 1). As cotas de inundação relativas a esses picos foram classificadas em intervalos, os quais, dessa forma, puderam ser associados a sua frequência no período descrito previamente. Além da frequência dos intervalos de cota de inundação, a série foi analisada de modo a obter-se as suas durações (Tabela 2).

Ano de Inundação	Cota de Inundação (m)
1983	14,51
1990	13,63
1992	12,39
1993	9,19
1994	10,11
1997	13,29
2003	10,22
2005	11,69
2008	10,80
2014	13,20

Tabela 1 Registros históricos dos picos de cheias do Rio Uruguai de 1983 a 2014.

Intervalo de Cota de Inundação (m)	Frequência	Duração (dias)
8,00 a 9,19	10	307
9,19 a 10,11	9	190
10,11 a 10,22	8	136
10,22 a 10,80	7	131
10,80 a 11,69	6	95
11,69 a 12,39	5	52
12,39 a 13,20	4	35
13,20 a 13,29	3	14
13,29 a 13,69	2	10
13,63 a 14,51	1	6

Tabela 2 Frequência e duração de cada intervalo de cota de inundação entre 1983 a 2014.

A partir da análise da tabela 2, observou-se que ao longo de 32 anos, em 307 dias a cota de inundação igualou ou superou 8,00 metros, considerando essa cota correspondente ao início do processo de perturbação da população urbana de Itaqui-RS.

Posteriormente à determinação da duração e frequência de cada intervalo de cota de inundação, realizou-se a elaboração do modelo digital de elevação hidrologicamente

condicionado (MDEHC) para a área urbana de Itaqui-RS utilizando-se o SIG, o modelo digital de elevação do SRTM (INPE), a rede hidrográfica (IBGE, 2010) e o perímetro urbano (IBGE, 2010) relativos à área de estudo.

O MDEHC, desenvolvido para a análise de fragilidades ambientais, foi calibrado para as cotas de inundação tomando como referência a cota zero do nível de água do Rio Uruguai, o qual possui uma altitude de 45,31 metros em relação ao Datum vertical do IBGE localizado em Imbituba-SC.

Utilizando-se o SIG, o MDEHC foi classificado para os intervalos de cota de inundação, obtendo-se 10 classes entre 8,00 e 14,51 metros, e posteriormente reclassificado utilizando notas de fragilidades entre 0 e 255 de acordo com a frequência de cada intervalo de cota de inundação. A partir da classificação, gerou-se um mapa de fragilidades ambientais inicial. Gerado o mapa de fragilidades ambientais, o MDEHC foi reclassificado novamente adotando-se, para os intervalos de cotas de inundação, pesos definidos em função das suas durações (Tabela 3).

Nota Mapa Fragilidade Inicial	Peso	Nota Mapa Fragilidade Final
0	0	0
26	0,04	1
52	0,04	2
77	0,05	4
102	0,12	12
128	0,17	22
153	0,31	47
179	0,42	76
204	0,44	90
230	0,62	142
255	1	255

Tabela 3 Pesos em função do tempo de duração do evento dentro de cada intervalo de cota de inundação.

2.5 Variáveis Socioeconômicas

As variáveis socioeconômicas utilizadas para análise foram “Densidade Demográfica” e “Saneamento Básico”. No caso da cidade de Itaqui, não há dados de saneamento por setores censitários, apenas para o município como um todo, desta forma esses dados foram extrapolados. A obtenção da variável “Densidade Demográfica” se deu a partir de dados brutos do IBGE (IBGE, 2014), considerando o número de pessoas residentes em cada setor. Dessa forma, foi permitindo a análise socioeconômica, na qual consideraram-se pesos iguais para as duas variáveis.

Para a variável “Densidade Demográfica”, atribuíram-se notas conforme a tabela 4, seguindo o mesmo critério de que quanto maior a nota, mais frágil é o sistema, ou seja, quanto mais a população está sujeita à perturbação pelas cheias, maior é a fragilidade do setor.

Setor	População	Nota
32	560	42,5
2;3;11;29;31;35	1960	85
1;12;13;17;28;30;34	2622	127,5
5;8;10;19;24;27;33	3997	170
0;4;5;20;25;26	5242	212,5
7;9;14;15;16;18;21;22;23	13540	255

Tabela 4 Notas Fragilidades para a variável “Densidade Demográfica”.

Em relação à variável “Saneamento Básico”, a proporção de moradores por tipo de instalação sanitária no município de Itaqui-RS é dada conforme a tabela 5 (IBGE, 2014), sendo importante ressaltar que na cidade de Itaqui não há tratamento do esgoto, apenas coleta. Sendo assim, para entender a fragilidade ambiental da população por setor censitário, considerou-se a densidade demográfica por setor e multiplicou-se pelo percentual observado na tabela 5 para o ano de 2000, sendo esse o dado mais recente obtido.

Proporção de Moradores por Tipo de Instalação Sanitária (%)		
Instalação Sanitária	1991	2000
Rede geral de esgoto ou pluvial (EP)	0,2	24,9
Tanque séptico (TS)	43,6	43,7
Fossa rudimentar (FR)	52,2	25,1
Vala	1,0	3,1
Rio, lago ou mar	-	0,1
Outro escoadouro	0,0	1,0
Não sabe o tipo de escoadouro	0,1	-
Não tem instalação sanitária (NP)	2,9	2,0

Tabela 5 Dados de Saneamento de Itaqui - RS. Fonte: IBGE/Censos Demográficos.

Para a classificação das notas, sabe-se que como não há o tratamento do esgoto cloacal e pluvial, esses são despejados diretamente no Rio Uruguai ou em um de seus afluentes. Sendo assim, em cheias, o que “volta” para as casas é justamente esse esgoto despejado no rio. Nesse tipo de perturbação, os moradores que possuem instalação na rede de esgoto (24,9%) foram considerados mais frágeis, em contraponto, os moradores atendidos por tanques sépticos (43,7%), nas quais o esgoto fica armazenado com um mínimo de infiltração, foram consideradas menos frágeis frente às cheias. Nessa construção de pensamento, distribuíram-se as notas linearmente conforme a tabela 6.

Classes	EP	Rio	Vala	NP	FR	TS
1	255	212,5	170	127,5	85	42,5
2	246,5	204	161,5	119	76,5	34
3	238	195,5	153	110,5	68	25,5
4	229,5	187	144,5	102	59,5	17
5	221	178,5	136	93,5	51	8,5

Tabela 6 Distribuição de notas de fragilidade, variável “Saneamento Básico”.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Agregada

3.1.1 Cenário 1 Todas as variáveis com pesos iguais

Conforme figura 2, a cidade de Itaquí possui fragilidades que variam de 48,9 a 220,2 em toda a sua extensão, nesse sentido não há nenhum local que não há fragilidade e que não ocorra algum risco frente às cheias. Porém, ressalta-se que as regiões centrais, as quais no mapa aparecem em amarelo, não possuem frequência de cheias e, portanto, não deveriam resultar mais frágeis que algumas áreas periféricas. Esse mapa servirá como base na análise de sensibilidade.

3.1.2 Cenário 2 Variáveis com pesos diferentes

No cenário 2 da análise agregada (Figura 3), as regiões mais próximas ao rio possuíram notas maiores de fragilidade, havendo uma maior discriminância entre as regiões mais frágeis e menos frágeis. Assim, representando a realidade de maneira mais coerente, o que não significa dizer que as áreas em verde não possuem nenhum tipo de fragilidade, apenas são mais resilientes e resistentes frente às perturbações.

Devido ao fato do alto grau de fragilidade, a população residente nas áreas mais frágeis desenvolveu mecanismos para aumentar a sua resiliência frente à fonte perturbadora, sendo uma delas a utilização de casas volantes, as quais podem ser deslocadas para regiões da cidade onde não existe perturbação pela cota de inundação do Rio Uruguai. Entretanto, o fato das pessoas residirem nesse tipo de habitação, tornam as mesmas ainda mais frágeis, principalmente no que diz respeito ao saneamento e à renda.

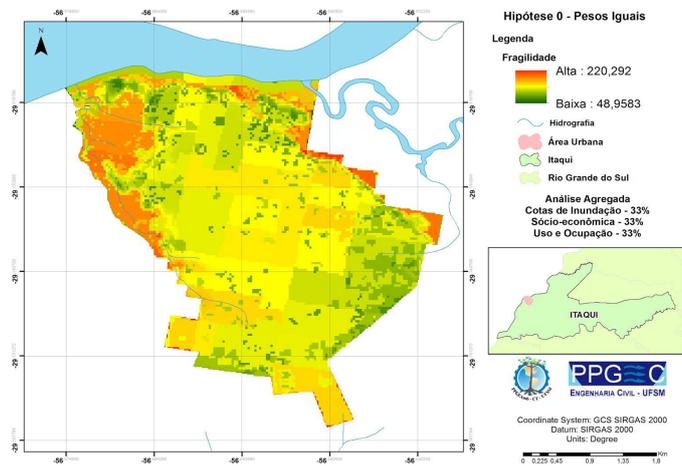


Figura 2 Análise Agregada - Cenário 1.

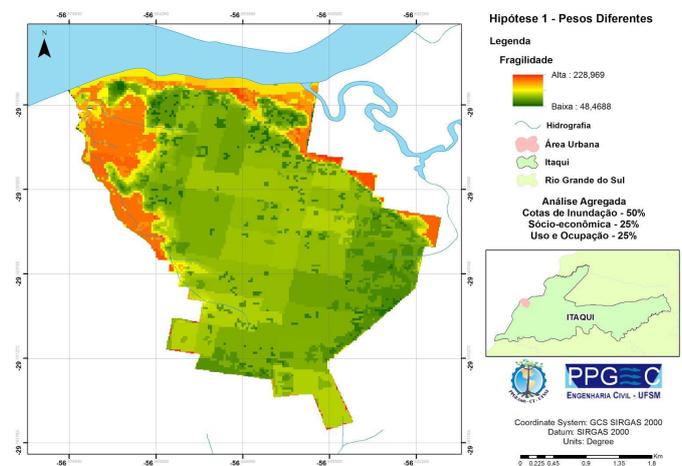


Figura 3 Análise Agregada - Cenário 2.

4 | CONCLUSÃO

Na área urbana de Itaqui existe a situação de conflito de uso do solo para moradia com as áreas de preservação permanente (APPs) do Rio Uruguai, Arroio Cambaí e Arroio Olaria. As regiões de maior conflito estão situadas à margem do Rio Uruguai, que limitam com o perímetro urbano ao norte, e ao longo de toda a bacia hidrográfica do Arroio Olaria, que limita com o perímetro urbano ao noroeste. O Arroio Olaria também é agredido pelo alto índice de quantidade de esgoto despejado diretamente *in natura*.

Recomenda-se que haja uma política pública planejada para remoção da parcela da população urbana de Itaqui que ocupa as APPs do Rio Uruguai e do Arroio Olaria, levando em consideração os resultados desse trabalho. No entanto, nesse processo de remoção para outras áreas, menos frágeis, entendese que a população sofrerá impactos histórico-sociais que dificultam o planejamento e a organização. Sendo assim, é preciso que as pessoas tenham moradias dignas, com infraestrutura e saneamento básico adequados, diminuindo sua fragilidade. Além disso, é necessário que as pessoas entendam a importância dessas mudanças, não só para a saúde de

sua família, como para a economia e sustentabilidade de toda a cidade de Itaqui-RS.

REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **Séries Históricas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 10 de maio de 2014.

BARBOSA, F. A. R. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

GOOGLE EARTH. **Itaqui-RS**. Disponível em: <earth.google.com/intl/pt>. Acesso em: dezembro de 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul**. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados do Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 19 de dezembro de 2014.

PEREIRA, L.C.C.; JIMÉNEZ, J.A.; MEDEIROS, C.; COSTA, R.M. **The influence of the environmental status of Casa Caiada and Rio Doce beaches (NE-Brazil) on beaches users**. *Ocean & Coastal Management*, 46:1011-1030, 2003.

RAMOS, C. L. et al. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. São Paulo: FCTH (reedição eletrônica), 1999.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil**. *Revista Ambiente e Água, Taubaté*, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: ed. ABRH e Editora da UFRGS, 2013.

UNIPAMPA/UFSM. **Desenvolvimento metodológico e tecnológico para a avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas – FRAGRIO**. Relatório da Etapa 2. Santa Maria: MMA/FATEC/UNIPAMPA/UFSM, 2011, 270 p.

PREVISÃO DE VAZÃO DE CHEIA EM UM TRECHO DA BACIA DO RIO POTENGI

Patrícia Freire Chagas

Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
Natal - RN

Maria Patricia Sales Castro

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE

Fernando José Araújo da Silva

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza – CE

Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE

Raimundo Oliveira de Souza

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE

RESUMO: A aplicação de modelos hidrológicos de chuva-vazão em bacias hidrográficas rurais aliadas ao estudo da propagação de cheias é fundamental para análise e previsão em áreas susceptíveis a enchentes. Esta pesquisa tem como objetivo aplicar um sistema de modelo hidrológico HEC-HMS associado a um programa computacional de propagação de cheia em uma pequena bacia hidrográfica do rio Potengi, localizada no município de São Pedro (RN), a fim de se verificar o comportamento da propagação da onda cinemática ao longo do tempo nesse trecho do rio. A partir dos resultados gerados

se observa que a declividade tanto exerce influência propagação da onda cinemática quanto nos modelos hidrológicos de chuva-vazão.

PALAVRAS-CHAVE: Enchentes, onda cinemática, modelo hidrológico.

ABSTRACT: The application of rainfall-runoff models in rural watersheds hydrological combined with the study of the propagation of flood wave is essential for analysis and forecasting in areas susceptible to flooding. This research aims to apply a hydrologic modelling system HEC-HMS associated with a computer program of flood routing on stretch in the Potengi river basin, located in the San Pedro city (RN), in order to verify the behavior of the kinematic wave routing over time in this river. From the results generated can be observed that the slope both influences kinematic wave routing as the hydrological models of rainfall-runoff.

KEYWORDS: Flooding, kinematic wave routing, hydrologic model.

1 | INTRODUÇÃO

Durante a estação chuvosa, são frequentes nos noticiários, tanto regionais quanto internacionais, notícias sobre enchentes. Estes eventos frequentemente

causam grandes prejuízos econômicos e sociais para a população atingida, tais como: interrupção da atividade econômica nas áreas inundadas; perdas materiais e humanas; contaminação por doenças de veiculação hídrica; inúmeras pessoas desabrigadas, etc.

Neste contexto, o estudo de propagação de ondas de cheias, através de modelos matemáticos, tem se tornado uma alternativa na busca por soluções. Os modelos hidrodinâmicos têm sido usados, por várias décadas, nos estudos da propagação das ondas de cheias. Há, na literatura, um rico material propondo diferentes abordagens para o tratamento destas equações (SHEN e YEN, 1984).

Smith (1980) propôs um algoritmo e vários métodos de propagação da onda cinemática, em uso comum. O autor apresentou, de forma sintética, a equação de propagação de cheia pela onda cinemática, discutindo e estabelecendo as condições necessárias para o sucesso de sua aplicação.

Os modelos hidrológicos e hidráulicos espacialmente distribuídos para determinação das zonas inundáveis são uma ferramenta importante que permite a oportunidade de um bom planejamento e gestão da análise de risco. A representação da superfície do terreno é um fator crítico na modelação hidrológica e hidráulica de inundações, pois, como dado de entrada do modelo, condiciona a vazão de entrada e à extensão da inundação (HORRITT E BATES, 2001).

Szymkiewicz (1999) aplicou o método de Musking-Cunge no estudo de ondas de cheias, com o objetivo de avaliar a eficiência do mesmo na solução da equação de Saint-Venant. Os resultados mostraram que sua eficiência depende do número de Courant (Co), que é definido pela relação $u\Delta x/\Delta t$, onde u é a velocidade, Δx é o incremento no espaço, Δt é o incremento no tempo.

Castilho *et. al.* (2009) calibraram e validaram o modelo de transformação de chuva em vazão (HEC/HMS) para a previsão de vazões afluentes à cidade de Ponte Nova, no Estado de Minas Gerais, Brasil, utilizando dados de pluviógrafos e de previsão de chuva obtidos através do modelo ETA (modelo atmosférico que fornece previsão de precipitação com maior resolução espacial. Estas previsões são geradas em valores totais diários), com o objetivo de aumentar o tempo de antecedência na previsão de vazão que atualmente é da ordem de 8 horas. Os resultados mostram que a antecedência pode aumentar em até 72 horas, porém não descartam a utilização do modelo atual, já que este fornece resultados mais precisos.

Souza *et. al.* (2012) compararam os modelos *Storm Water Management Model* (SWMM) e o *Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) para simulação do processo de escoamento superficial, a partir de uma precipitação de projeto. Os resultados mostraram que a forma de representação espacial da bacia e sub-bacias considerada pelo modelo HEC-HMS é mais adequado para a modelação do processo de escoamento superficial em bacias rurais, visto que a quantidade de parâmetros envolvidos na simulação garante um maior detalhamento das características apresentadas por essas áreas. Quanto à representação adotada pelo

SWMM, se adequa mais a modelação do sistema de drenagem de bacias urbanas.

Segundo Tucci (1993), essa previsão pode ser realizada em longo ou curto prazo. A estimativa em longo prazo somente pode ser realizada por meio de modelos probabilísticos. Já a previsão em curto prazo ou em tempo real, pode ser realizada ao longo da ocorrência dos processos, com base no conhecimento de algumas variáveis ou em sua previsão, como a precipitação, a cota ou a vazão a montante da seção de interesse do curso de água.

O objetivo do presente estudo é aplicar no Nordeste do Brasil um modelo hidrológico associado a um programa computacional, em uma pequena bacia hidrográfica. Trata-se do rio Potengi, junto ao município de São Pedro, Estado do Rio Grande do Norte, com o propósito de verificar o comportamento da propagação da onda cinemática ao longo do tempo nesse trecho do rio.

A propagação de onda de cheias é descrita pelo sistema de equações de Saint-Venant. As simplificações das equações de Saint-Venant até a equação da onda cinemática é um método comumente utilizado para este tipo de aplicação. A equação da onda cinemática pode ser resolvida pelo método das diferenças finitas explícito. Para a solução de suas respectivas equações diferenciais parciais foi desenvolvido um programa computacional, em linguagem Python, para determinar comportamento propagação da onda cinemática ao longo do tempo em um rio a partir de uma hidrógrafa obtida pela precipitação.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Equação da Continuidade

A primeira equação fundamental do escoamento em rios e canais é a equação da continuidade. Na aplicação a rios, como o princípio original refere-se à conservação de massa, os volumes de água serão multiplicados pela massa específica, de maneira que o balanço resultante seja feito em termos de massa, através do mesmo elemento de controle (ANDRADE, 2006).

O enunciado da equação da continuidade diz que a diferença entre a taxa de escoamento da massa saindo e a taxa de escoamento da massa entrando em uma secção é igual à taxa do fluxo de massa resultante através do volume de controle. Assim, a equação da continuidade é dada na sua forma diferencial por:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

2.2 Equação da Quantidade do Movimento

O enunciado da equação da quantidade de movimento diz que o somatório das forças atuantes sobre um volume de controle é a soma da taxa da variação do

momentum dentro do volume de controle e a taxa de fluxo de *momentum* resultante, através da superfície de controle. Logo, a equação da quantidade de movimento é dada na sua forma diferencial por:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Em que: Q é a vazão (m³/s); x é a extensão longitudinal (m); t é o tempo (s); A é a área da seção transversal do fluxo (m²); y é a profundidade da água no canal (m); S₀ é a declividade de fundo do canal (m/m); S_f é a declividade de linha de energia; e g é a aceleração da gravidade (m²/s).

2.3 Equação da Propagação da Onda Cinemática

As ondas cinemáticas descrevem escoamentos onde as forças de pressão e as forças inerciais são desprezíveis, assim a equação 2 torna-se:

$$S_f = S_0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

A equação 3, associada com a equação 1, fornece a formulação básica da onda cinemática, em que a linha de energia é paralela a linha de fundo do canal.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + C \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

Em que: x (m) é a distância a jusante, t (s) de tempo, $C = \alpha \beta Q^{\beta-1}$ (m.s⁻¹) são funções não lineares de descarga Q (x, t) (m³.s⁻¹) e são geralmente conhecidas como celeridade. Para este estudo considera-se que a contribuição lateral é igual a zero.

3 | METODOLOGIA

A modelagem hidrológica foi realizada com do programa HEC-HMS (Hydrologic Modeling System), desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (USACE-HEC, 2000). Os parâmetros foram separados em variáveis e fixos. Os parâmetros variáveis criaram diferentes cenários a serem analisados.

Para simulação de pico de vazão no HEC – HMS 4.0 foram utilizados os dados do pluviômetro localizado no município de São Pedro disponível no site Hidroweb da ANA. Estes dados são referentes à cheia ocorrida em maio de 2015. Arbitrou-se um tempo de concentração (tc) da chuva na bacia com valor de 40 minutos como representação típica em bacias do semiárido.

Para análise do comportamento da propagação da onda cinemática um esquema numérico, baseado no Método das Diferenças Finitas Explícita, foi utilizado para calcular as equações diferenciais parciais. (ANDERSON *et al.*, 1984). Como mostrado na equação 4, a equação da onda cinemática é uma equação com uma única variável dependente Q, sendo assim possível determinar o valor de Q (x,t) em cada ponto da malha x – t (GOMES, 2006).

Segundo Chow (1988) as derivadas discretizadas no tempo e no espaço, para a onda cinemática, são dadas por:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{Q[i+1, j+1] - Q[i+1, j]}{\Delta t} \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{Q[i+1, j+1] - Q[i, j+1]}{\Delta x} \dots\dots\dots(8)$$

Para resolver as equações diferenciais enredadas no modelo matemático de propagação da onda cinemática, foi desenvolvido um programa computacional. Assim, sendo possível calcular as variáveis pertinentes ao controle de escoamento de um fluido em um rio.

No presente estudo as variáveis determinadas foram vazão máxima gerada com uma precipitação uniforme pelo programa HMS e o comportamento propagação de cheia ao longo do tempo em um rio.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira simulação foi realizada para o canal natural conforme descrito no item anterior. Para uma precipitação de 62,5 mm diária e valor do número de Manning n=0,010 e declividade S₀=0,0001, tem-se o pico de vazão máxima da onda cinemática de 198,5 m³/s. Para uma lâmina de 253,56 mm, conforme pode ser averiguado na Figura 1.

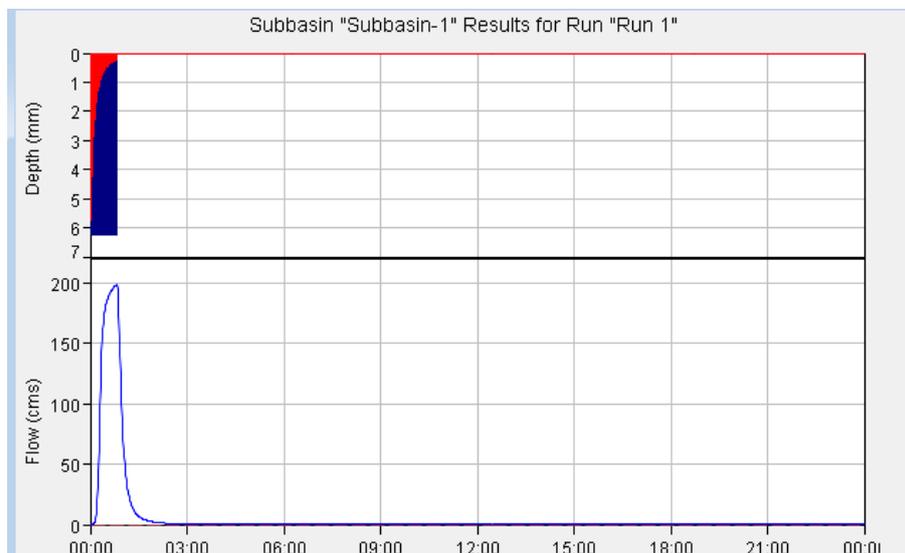


Figura 1 – Pico de vazão para onda cinemática do dia 31/05/2015,

Na Figura 2 é possível verificar, a propagação da onda cinemática ao longo do tempo.

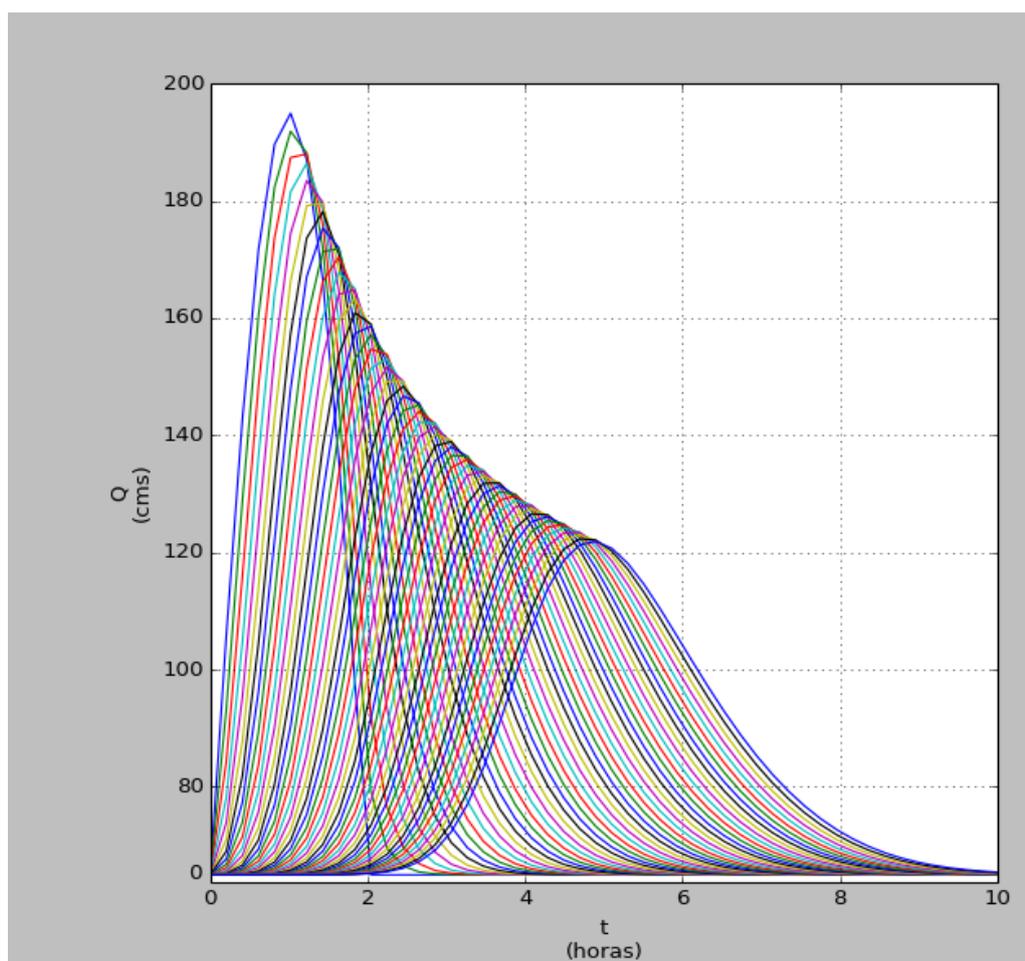


Figura 2 – Comportamento da propagação da onda cinemática para $n= 0,01$ e $S_0= 0,0001\text{m/m}$

Na Figura 2 o pico de vazão máxima ocorre em valores muito próximos do que foi simulado no programa HMS, e, com o passar o tempo o pico de vazão máxima

vai diminuindo.

As simulações a seguir foram feitas para o mesmo canal natural, variando-se apenas as declividades, conforme pode ser verificado nas Figuras 3 a 6.

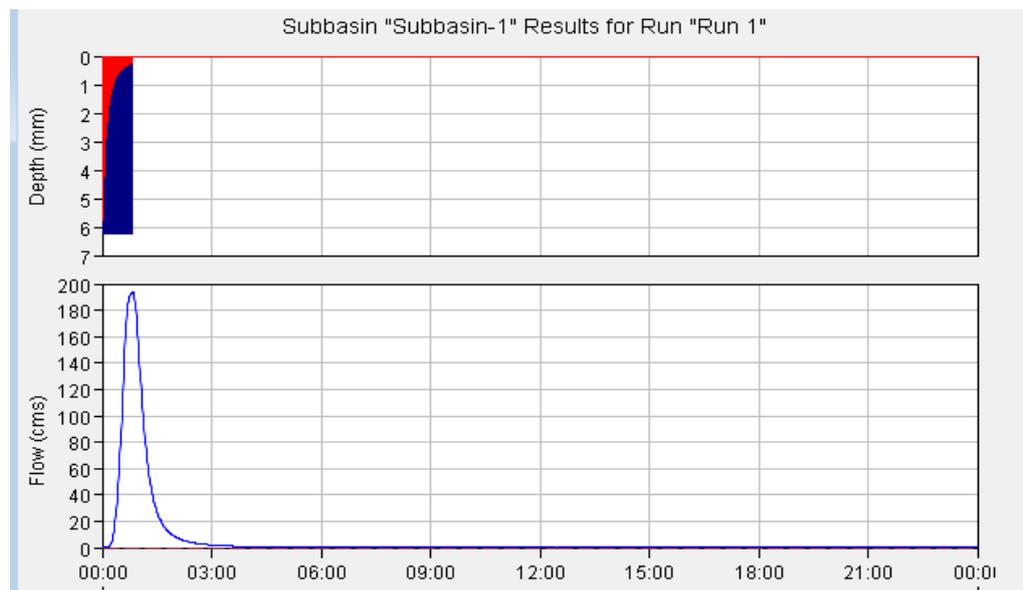


Figura 3 – Hidrograma para onda cinemática, $n=0,010$ e $S_0=0,00005\text{m/m}$.

A Figura 3 para o valor da declividade para $S_0=0,00005\text{m/m}$ temos um valor de vazão máxima igual a $194,3\text{ m}^3/\text{s}$. Com uma lâmina de $253,18\text{ mm}$.

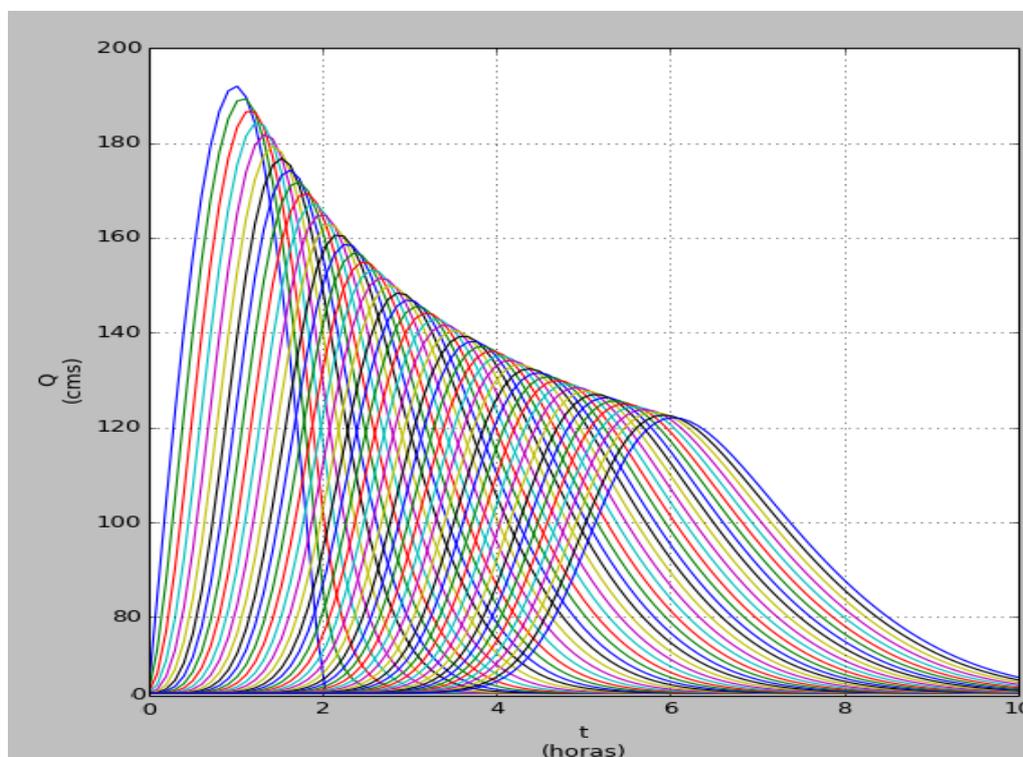


Figura 4 - Comportamento da propagação da onda cinemática para Manning 0,01 e $S_0=0,00005\text{m/m}$.

Na Figura 4 verifica-se que o pico de vazão máxima para uma declividade $S_0 = 0,00005\text{ m/m}$ é aproximadamente igual a $190\text{ m}^3/\text{s}$. Conforme aconteceu na simulação

anterior, Figura 4, ao diminuirmos o valor da declividade para $S_0=0,00005\text{m/m}$, o valor de vazão máxima também diminui. Assim, quanto menor a declividade menor será a vazão com o passar do tempo.

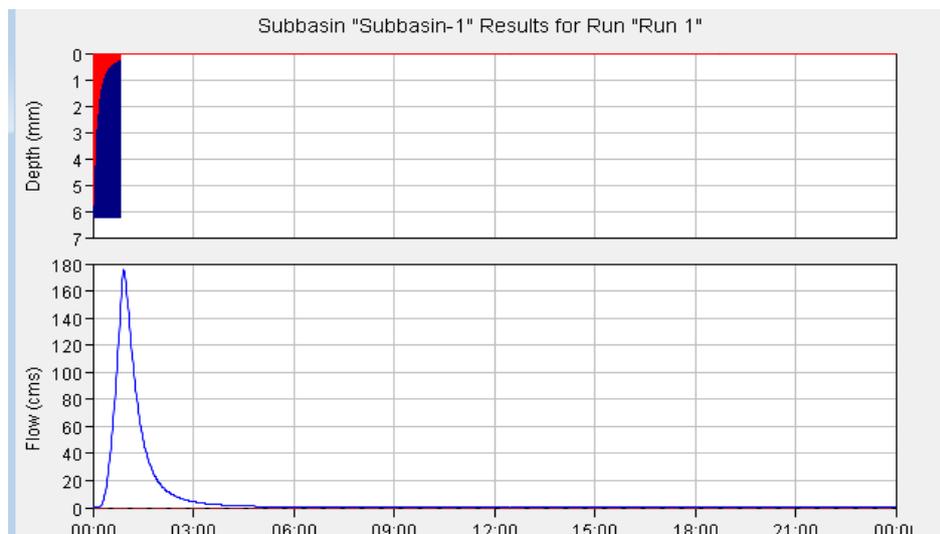


Figura 5 - Hidrograma para onda cinemática, Manning=0,010 e declividade 0,0001m/m, em função do tempo de base

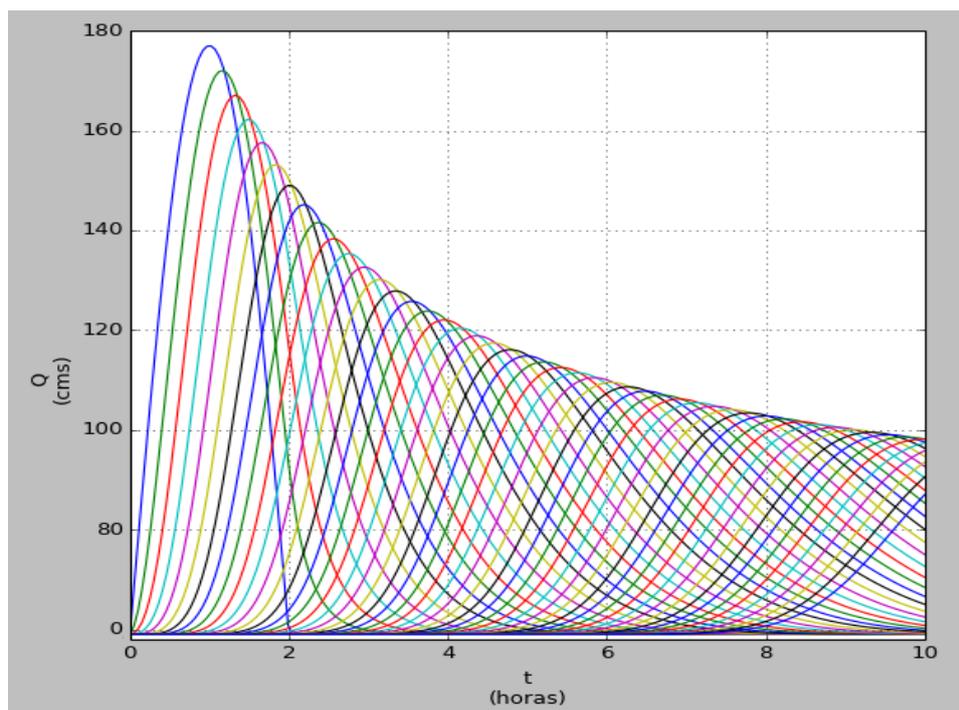


Figura 6 - Comportamento da propagação da onda cinemática para $n=0,01$ e $S_0=0,00001\text{m/m}$.

A Figura 5 para os mesmos valores de precipitação ocorridos no dia 31/05/2015, onde variou-se apenas o valor da declividade para $S_0=0,00001\text{m/m}$ tem-se um valor de vazão máxima igual a $174,9\text{ m}^3/\text{s}$. Com uma lâmina de $253,01\text{mm}$.

Na Figura 6 ilustra o comportamento da vazão de escoamento da onda cinemática. Comparando a Figura 6 com a Figura 2, temos um maior tempo de passagem pela extensão do rio e uma menor vazão, caracterizando que a onda cinemática é sensível ao parâmetro declividade.

5 | CONCLUSÕES

Os resultados apresentaram que a declividade apresenta papel importante na propagação da onda cinemática. Os mesmos mostram que quanto menor o valor da declividade menor será a pico da vazão máxima da onda e maior será tempo de passagem da onda, aumentando os riscos de enchentes.

O programa computacional desenvolvido para resolver as equações diferenciais da onda cinemática, responde com eficiência aos objetivos desta pesquisa, permitindo que a metodologia apresentada fosse testada, e assim apresentando excelentes resultados para as mais diversas situações práticas encontradas no seu campo de trabalho.

REFERENCIAS

ANDRADE, C. F. **Estudo de planícies de inundação através da análise dos parâmetros hidráulicos do canal principal e sua influência na avaliação do risco *fuzzy* de enchentes**. Tese – Universidade Federal do Ceará, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2006, pp 56-66.

ANDERSON, D. A.; TANNEHILL, J. C.; PLETCHER, R. H. **Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer**. Hemisphere Publishing Corporation, 3, 1984, pp.63-65.

CASTILHO, A. S., PINTO, E. J. A., DAVIS, E. G. Resultados preliminares da utilização da previsão de precipitações na simulação hidrológica da bacia do rio Piranga até Ponte Nova. In XVIII Simpósio de Recursos Hídricos, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Nov. 2009. **Anais ...** Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2009.

CHOW, V. T. **Applied Hydrology**, New York: MacGraw-Hill, 1988.572p.

GOMES, V. U. **Estudo comparativo dos modelos da onda cinemática e da onda difusiva na análise de propagação de cheias, em função dos parâmetros hidráulicos da bacia**. Dissertação – Universidade Federal do Ceará, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2006, pp.47-49.

HIDROWEB SISTEMAS DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS. **Dados Hidrológicos Séries Históricas**. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?Tocltem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>> Acesso: 03 junho 2015

HORRITT, M. S.; BATES, P.D. Predicting floodplain inundation: raster-based modelling versus the finite-element approach. **Hydrological Processes**, 15, pp. 825-842. 2001.

SMITH, A. A. A Generalized Approach to Kinematic Flood Routing, **Journal of Hydrology**, Elsevier Science, 45, pp 71-89.1980.

SOUZA, R. M., CRISPIM, D. C., FORMIGA, K. T. M. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial – caso de estudo bacia do Córrego Samambaia. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, volume 5, 2, pp.1-11. 2012.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre, ABRH, 943p. 1993.

SHEN, H., YEN, B.C. Advances in Open-Channel Hydraulics after Ven Te Chow, **Journal of Hydrology**, vol.64, pp 333-348.,1984.

SZYMKIEWICZ, R. Similarity of Kinematic and Difuse Waves: a Comment on Accuracy Criteria for Linearised Diffusion Wave Flood Routing by K. Bajracharya and D. A. Barry. **Journal of Hydrology**, Elsevier Science,206, pp.248-251.1999.

YEN, B. C. Open–channel flow equations revisited. **Journal of Engeneering Mechanics Division**, ASCE, n. 51, p. 979–1009.1973.

SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO MODELO SWAT EM UMA BACIA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: BACIA DO RIO MACHADINHO/RO

Vinicius Alexandre Sikora de Souza

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Marcos Leandro Alves Nunes

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Otto Corrêa Rotunno Filho

Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (LABH2O), Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Ilha do Fundão – Cidade Universitária, Caixa Postal 68540, CEP 21.945-970 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil

Claudia Daza Andrade

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

Vitor Paiva Alcoforado Rebelo

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

RESUMO: Este trabalho realiza uma análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT para buscar um conjunto ótimo para o qual o modelo mostre desempenho mais robusto em relação à produção de vazão e de sedimentos para a bacia do rio Machadinho– RO. Inicialmente, foi construído um banco de dados composto por informações de clima, topografia,

uso e classificação do solo a partir do uso de plataformas orbitais, simulando-se, então, o comportamento hidrológico da bacia no período de 1995 a 2000. Posteriormente, empregou-se o método LH-OAT para ordenar, do parâmetro mais sensível para o de menor sensibilidade, os 32 parâmetros que influenciam a geração de vazão e sedimentos no SWAT. De forma geral, a sensibilidade observada para os parâmetros do modelo empregado nesta pesquisa foi similar a de outros estudos conduzidos no território brasileiro, sendo que os dois maiores valores de sensibilidade, no tocante à vazão, foram atribuídos para *Gwqmn* e *SoI_Awc*, relacionados com os escoamentos nas zonas não saturada e saturada do solo enquanto, para os sedimentos, o *SWAT* aplicado na bacia mostrou-se mais sensível para os parâmetros *Cn2* e *Surlag*, associados com o escoamento superficial e capacidade de infiltração no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem hidrossedimentológica; Amazônia Ocidental; SWAT.

ABSTRACT: This work performs a sensitivity analysis of the SWAT model parameters to find an optimal set for which the model proves more robust for the production of flow and sediment in the Machadinho river watershed in Rondônia. Initially, a database was built, including climate information, topography,

land use and soil classification retrieved from orbital platforms, what allowed then to simulate the hydrological behavior of the watershed from 1995 to 2000. In the next step, we used the LH-OAT method to rank from the most sensitive parameter to the one with the lowest sensitivity, the 32 parameters that influence the generation of flow and sediment in SWAT. In general, the sensitivity observed for the model parameters in this research work was similar to the results presented in other studies developed in Brazil, highlighting that the two highest sensitivity values to flow were related to Gwqmn and Sol_Awc, both corresponding to the flow in the vadoze zone and in the saturated zone, while for the sediment component, the SWAT model applied to the studied basis revealed to be more sensitive to CN2 and Surlag, both associated to the surface flow and soil infiltration capacity.

KEYWORDS: Hydrossedimentological modeling; Western Amazon; SWAT.

1 | INTRODUÇÃO

A bacia do rio Machadinho – RO, localizada numa região de intensa antropização ocorrida nas últimas décadas, sofreu a conversão de extensas áreas de florestas em campos destinados às atividades agropastoris, que ocasionaram consideráveis impactos nos corpos hídricos. Tais ações impactaram áreas de grande importância, como as regiões ripárias, que são notadamente consideradas áreas de proteção permanente na legislação ambiental do Brasil. Os principais passivos ambientais são observados com a intensificação dos processos erosivos, assoreamento de cursos de água e degradação da qualidade dos solos e das águas.

Assim, nessa área, construir ferramentas e procedimentos de análise hídrico-ambiental como subsídio à gestão da bacia hidrográfica é muito importante, uma vez que possibilita melhor aproveitamento dos recursos naturais e de sua preservação. Arnold e Srinivasan (1995), por exemplo, apontam o uso da modelagem hidrossedimentológica como ferramenta para o desenvolvimento de uma adequada gestão da bacia hidrográfica.

Nesses termos, o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)* destaca-se no cenário internacional e nacional, pois foi desenvolvido para prever e prever como diferentes formas de manejo de uma bacia agrícola influenciam a qualidade da água, a produção de sedimentos e o carreamento de cargas de poluentes. Em uma amostra de 90 publicações revisadas por Souza (2015), vislumbrou-se que o modelo *SWAT* apresenta resultados relevantes para as várias configurações de bacias das regiões brasileiras, e que esse modelo apresenta crescente aplicação ao longo dos últimos anos, embora ainda sejam bastante limitados os estudos conduzidos na região norte e nordeste do país.

Por outro lado, o uso do modelo SWAT pode tornar-se oneroso devido ao alto número de parâmetros que possui para calibração, notando-se que a superfície de resposta por ele produzida revela diferenças em termos de sensibilidade para

esse conjunto diverso de parâmetros. Diante desse referencial, o presente trabalho objetiva buscar definir um grupo reduzido de parâmetros para o qual o modelo é mais sensível por meio da aplicação de uma rotina de análise de sensibilidade automática dos parâmetros com o uso do algoritmo LH-OAT para avaliar os correspondentes efeitos na simulação de escoamento e aporte de sedimentos na bacia do Machadoinho.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Abacia hidrográfica do rio Machadoinho (Figura 1) encontra-se inserida totalmente no estado de Rondônia e integra o grupo das principais bacias do estado. Essa bacia localiza-se na Amazônia Ocidental, entre os paralelos de 09° 01' e 10° 12' de latitude sul e meridianos de 61° 39' e 62° 49' de longitude oeste. Ela se encontra na porção centro-leste de Rondônia, abrangendo uma área com extensão de 5.485,41 km², a qual está inserida no domínio de quatro municípios, sendo eles Machadoinho d'Oeste, Vale do Anari, Ariquemes e Theobroma.

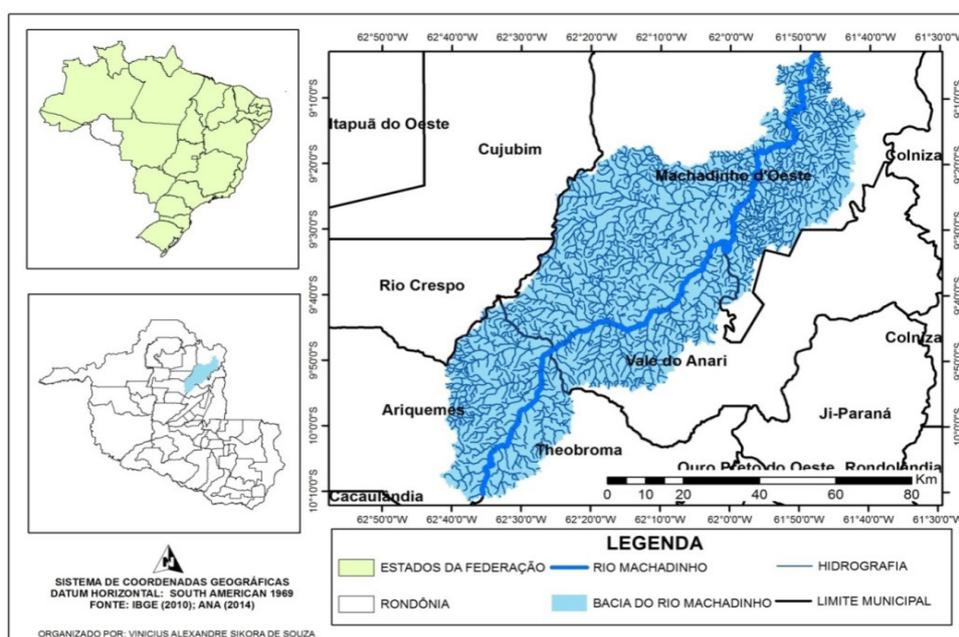


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Machadoinho

2.2 Simulação SWAT

O registro temporal simulado para o rio Machadoinho abrangeu os anos de 1995 a 2000, sendo utilizado, como período de aquecimento do modelo, o ano de 1995, excluindo-o, então, dos passos seguintes de calibração e validação da

vazão, que foram executados, respectivamente, para os intervalos de 1996 a 1998 e 1999 a 2000. Todavia os dados de sedimentos, por comporem uma série histórica com poucos dados, foram submetidos unicamente ao processo de calibração, visto que não existem dados para avaliar o modelo no período de validação proposto de análise.

O modelo *SWAT* foi utilizado com suporte do código computacional ArcGIS ArcSWAT 9.3.3. Para a realização da simulação, o sistema foi alimentado pelos seguintes dados de entrada: modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC); solos; uso/manejo do solo; delimitação da bacia hidrográfica; e dados climáticos.

O modelo digital da bacia hidrográfica do rio Machadinho foi gerado através de imagens *ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)* com resolução de 30 metros na versão 2, disponíveis no sítio da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, sendo que as imagens são do ano de 2011.

O *SWAT* requer uma série de dados acerca das características físicas dos solos para poder realizar as simulações hidrológicas, sendo que os mesmos foram obtidos nos estudos de ZSEE (2007) e Baldissera (2005).

Na configuração do mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio Machadinho, utilizaram-se imagens de 1997 do satélite Landsat5-TM, fornecidas pela U.S. *Geological Survey Global Visualization Viewer (USGS Glovis)* com o objetivo de identificar e quantificar as diferentes classes de uso da terra encontradas na área da pesquisa

O delineamento da área na bacia do rio Machadinho foi realizado mediante o correspondente MDEHC para a divisão das suas sub-bacias. Procedese automaticamente pelo acionamento do modelo *SWAT* nos pontos de confluência de linha de água, que delimitam, então, as sub-bacias a partir do MDEHC e da malha hidrográfica.

Segundo a mesma diretriz, os dados climatológicos foram obtidos para o período temporal analisado. Para aplicação do modelo *SWAT*, como expresso anteriormente, são necessários dados climatológicos diários e mensais. As séries históricas diárias necessárias são para a precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C), radiação solar ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), umidade relativa (%) e velocidade do vento (m.s^{-1}). Tais séries diárias foram obtidas por meio da mesma base de dados e metodologia utilizada por Vu *et al.* (2011).

Essa metodologia consiste na criação de estações virtuais para o aferimento de dados provenientes do *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)*. De forma simples, tal método consiste em espacializar pontos nas junções de píxeis das imagens adquiridas em tal banco de dados. Cabe destacar que o GPCP é uma estimativa global climatológica completa, que abrange um período histórico de 1979 até os dias atuais, sendo a sua resolução de superfície espacial de 2,5° de latitude

por 2,5° de longitude, levando à adoção, neste trabalho, do distanciamento espacial entre estações virtuais de 2,5°.

2.3 Análise de sensibilidade

Na análise de sensibilidade, foi empregado o método LH-OAT (GRIENSVEN *et al.*, 2005), que se encontra disponível como ferramenta no próprio SWAT, para identificar os parâmetros mais significativos na modelagem. Essa análise foi realizada a fim de buscar compreender melhor o sistema modelado, podendo, assim, identificar quais parâmetros de entrada apresentam maior efeito sobre as respostas do modelo e, de certa forma, indicando quais parâmetros merecem maior atenção no processo de calibração.

Griensven *et al.* (2006) ressaltam que o LH-OAT combina a robustez da amostragem *Latin-Hypercube* (LH), baseada no método estatístico de simulação estocástica Monte Carlo, que garante que a gama completa dos parâmetros foram sujeitas a amostragem, com a precisão de um esquema (*design*) *One-factor-At-a-Time* (OAT), o qual é um método de integração de sensibilidade do local para o global, no qual, em cada simulação, somente um fator é mudado por vez, assegurando, assim, que as alterações na saída de cada execução do modelo podem ser atribuídas ao parâmetro que foi alterado sem haver ambigüidades.

Na Tabela 1, encontram-se exibidos os parâmetros utilizados no processo, juntamente com os métodos utilizados (substituição direta, adição e multiplicação), além do intervalo ao longo do qual esses parâmetros sofreram alterações.

Parâmetro	Sigla	Limite		Método
		Inferior	Superior	
Constante de recessão do escoamento de base (dias)	Alpha_Bf	0	1	Substituição
Eficiência do revolvimento biológico (mm)	Biomix	0	1	Substituição
Índice do potencial máximo de área foliar	Blai	0	1	Substituição
Armazenamento máximo do dossel (mm H ₂ O)	Canmx	0	10	Substituição
Fator de cobertura do canal	Ch_Cov	0	1	Substituição
Fator de erodibilidade do canal	Ch_Erod	0	1	Substituição
Condutividade hidráulica efetiva em aluvião do canal principal	Ch_K2	0	150	Substituição
Valor de Manning “n” para o canal principal	Ch_N2	0	1	Substituição
Curva número para a condição II	Cn2	-25	25	Multiplicação
Fator de compensação de água pelas plantas	Epc0	0	1	Substituição
Fator de compensação de evaporação do solo	Esco	0	1	Substituição
Tempo de retardo da água subterrânea	Gw_Delay	-10	10	Adição
Coeficiente “revap” de água subterrânea	Gw_Revap	-0,04	0,04	Adição

Parâmetro	Sigla	Limite		Método
		Inferior	Superior	
Limite entre a profundidade de água em aquífero raso e a superfície (mm H ₂ O)	Gwqmn	-1000	1000	Adição
Profundidade em aquífero profundo para que haja “revap”	Revapmn	-100	100	Adição
Temperatura de queda da neve	Sftmp	0	5	Substituição
Declividade média (m.m ⁻¹)	Slope	-25	25	Multiplicação
Comprimento da declividade média (m)	Sbsubsn	-25	25	Multiplicação
Taxa mínima para derreter a neve durante o ano.	Smfmn	0	10	Substituição
Taxa máxima de fusão de neve durante o ano.	Smfmx	0	10	Substituição
Derretimento da neve temperatura base.	Smtmp	-25	25	Multiplicação
Albedo do solo úmido	Sol_Alb	-25	25	Multiplicação
Capacidade de água disponível (mm.h ⁻¹)	Sol_Awc	-25	25	Multiplicação
Condutividade hidráulica saturada (mm.h ⁻¹)	Sol_K	-25	25	Multiplicação
Profundidade da camada de solo (mm)	Sol_Z	-25	25	Multiplicação
Parâmetro linear para o cálculo da quantidade máxima de sedimentos.	Spcon	0,00	0,01	Substituição
Parâmetro expoente para o cálculo do sedimento reintroduzido nos canais	Spexp	1	2	Substituição
Coefficiente de retardo do escoamento superficial (dias)	Surlag	0	10	Substituição
Fator defasagem de temperatura da neve	Timp	0	1	Substituição
Taxa de lapso de temperatura.	Tlaps	0	50	Substituição
Valor mínimo do fator C da USLE aplicável à cobertura do solo / planta.	Usle_C	-25	25	Multiplicação
Fator de apoio USLE	Usle_P	0	1	Substituição

Tabela 1 – Parâmetros utilizados na análise de sensibilidade.

Nesta fase, foram efetuadas 1000 simulações do modelo, com intervalos de 50 para o *Latin hypercube*, sendo alterado na proporção de 0,05 o valor de cada parâmetro, em cada ponto dentro de cada intervalo *Latin hypercube* sorteado, um por vez, de acordo com o método OAT. Cabe destacar que a função objetivo escolhida para o ordenamento dos parâmetros mais sensíveis foi a soma dos quadrados dos resíduos ordenada, sendo que foi levada em conta a comparação dos valores médios simulados com os dados observados.

3 | RESULTADOS

Todos os parâmetros para o qual o modelo mostrou-se sensível, ou seja, apresentou maior variabilidade segundo a metodologia LH-OAT, estão contidos na Tabela 2.

Parâmetro	Sigla	Ordem	
		Vazão	Sedimentos
Constante de recessão do escoamento de base (dias)	Alpha_Bf	18	15
Eficiência do revolvimento biológico (mm)	Biomix	15	12
Índice do potencial máximo de área foliar	Blai	8	8
Armazenamento máximo do dossel (mm H ₂ O)	Canmx	5	11
Fator de cobertura do canal	Ch_Cov	33	33
Fator de erodibilidade do canal	Ch_Erod	33	33
Condutividade hidráulica efetiva em aluvião do canal principal	Ch_K2	9	3
Valor de Manning “n” para o canal principal	Ch_N2	17	13
Curva número para a condição II	Cn2	10	2
Fator de compensação de água pelas plantas	Epc0	13	20
Fator de compensação de evaporação do solo	Esco	3	9
Tempo de retardo da água subterrânea	Gw_Delay	12	14
Coeficiente “revap” de água subterrânea	Gw_Revap	6	18
Limite entre a profundidade de água em aquífero raso e a superfície (mm H ₂ O)	Gwqmn	1	21
Profundidade em aquífero profundo para que haja “revap”	Revapmn	7	19
Temperatura de queda da neve	Sftmp	33	33
Declividade média (m.m ⁻¹)	Slope	16	7
Comprimento da declividade média (m)	Ssubbsn	20	10
Taxa mínima para derreter a neve durante o ano.	Smfmn	33	33
Taxa máxima de fusão de neve durante o ano.	Smfmx	33	33
Derretimento da neve temperatura base.	Smtmp	33	33
Albedo do solo úmido	Sol_Alb	19	16
Capacidade de água disponível (mm.h ⁻¹)	Sol_Awc	2	5
Condutividade hidráulica saturada (mm.h ⁻¹)	Sol_K	14	17
Profundidade da camada de solo (mm)	Sol_Z	4	6
Parâmetro linear para o cálculo da quantidade máxima de sedimentos.	Spcon	33	33
Parâmetro expoente para o cálculo do sedimento reintroduzido nos canais	Spexp	33	33
Coeficiente de retardo do escoamento superficial (dias)	Surlag	11	1
Fator defasagem de temperatura da neve	Timp	33	33
Taxa de lapso de temperatura.	Tlaps	33	33
Valor mínimo do fator C da USLE aplicável à cobertura do solo / planta.	Usle_C	33	33
Fator de apoio USLE	Usle_P	33	4

Tabela 2 – Ordenamento dos parâmetros segundo o teste de sensibilidade

Essa avaliação permitiu identificar os parâmetros que influenciam quantitativamente e qualitativamente nos resultados, dado que os mesmos receberam um ordenamento, ou seja, um número de ordem que denota qual parâmetro foi mais sensível ou não em relação ao restante para a variável analisada.

Assim, dos parâmetros analisados, verificou-se que os parâmetros para os quais o modelo possui uma menor sensibilidade, tanto para a vazão quanto para os sedimentos, são os que se encontram relacionados, de alguma forma, com a neve, algo que, para a região de estudo, é uma constatação plausível visto a inexistência

desse fenômeno climático. Quanto ao restante dos parâmetros, observa-se que as duas maiores sensibilidades para a vazão foram para Gwqmn e Sol_Awc; ambos são representantes da grande influência que a água que permeia o solo tem para a bacia em estudo.

A alta sensibilidade da vazão para com o parâmetro Gwqmn denota uma característica latente da área de estudo, que é a maciça presença de lençóis freáticos e aquíferos de baixa profundidade, pois, dado o que é elucidado por Opere e Okello (2011), o Gwqmn representa o fluxo da água do solo, que apenas é operado de forma significativa para o canal principal, no modelo *SWAT*, quando a profundidade da água na camada aquífera é pouco profunda, sendo esta igual ou maior do que o limite de profundidade necessária para que o fluxo de retorno possa ocorrer

Segundo Ferrigo (2014), para valores baixos do Gwqmn, haverá maior fluxo de base; logo, valores baixos desse parâmetro são necessários para induzir valores diários de vazão mais altos.

A capacidade de água disponível na camada de solo (Sol_Awc) indica, segundo Abbaspour *et al.* (2011), a subtração da fração de água presente no ponto de murcha permanente daquele conteúdo de água presente na capacidade de campo. Para Opere e Okello (2011), esse parâmetro afeta tanto o escoamento superficial quanto o fluxo de base. Assim, para esses autores, um aumento na Sol_Awc resulta na diminuição do fluxo superficial, porque o aumento da capacidade do solo incide em um aumento na capacidade deste conter mais água.

Já no que se refere aos sedimentos, o *SWAT* aplicado na bacia mostrou-se mais sensível para o Cn2 e para o Surlag. O Cn2 é um parâmetro importante no cálculo do volume de escoamento superficial. É um número adimensional e é função da capacidade de infiltração, do tipo de solo, do uso do solo, e das condições antecedentes de umidade no solo (FERRIGO, 2014).

Segundo Peterson e Hamlett (1998), o parâmetro mais sensível no modelo *SWAT* é o Cn2, que reflete o potencial do escoamento direto que pode ser gerado a partir de um evento de precipitação.

O parâmetro Surlag controla a fração total de água disponibilizada no escoamento superficial, correspondendo, assim, na estratégia adotada pelo modelo em incorporar o recurso de armazenamento para parte do escoamento superficial que escoará no canal principal. Como evidencia Abbaspour *et al.* (2011), tal estratégia embutida nesse parâmetro provém do comportamento de grandes sub-bacias, com um tempo de concentração superior a um dia, em que apenas uma parte do escoamento superficial atingirá o canal principal no dia em que é gerado.

Cabe destacar, ainda, que de forma geral, a sensibilidade observada no modelo deste estudo para com os parâmetros foi similar ao de outros estudos no território brasileiro, tal como expõe o levantamento realizado no estudo de FERRIGO (2014), onde a autora constatou a presença das variáveis acima mencionadas entre as cinco de maiores frequências dos trabalhos abordados pela mesma. Além disso,

a referida autora em seu levantamento verificou, dentre os trabalhos analisados, que o parâmetro Sol_Awc posicionou-se entre as cinco primeiras colocações de sensibilidade em 40% dos estudos, e o parâmetro Cn2 é o que apresenta maior frequência nas primeiras cinco posições de sensibilidade.

4 | CONCLUSÕES

A literatura apresenta uma ampla discussão sobre processos de calibração de modelos, seja de forma manual ou automática, embora ainda permaneça um tópico atual para reflexão quando do uso de modelos hidrológicos concentrados, semidistribuídos e distribuídos. Neste artigo, enfocou-se o emprego da metodologia LH-OAT conjuntamente com a aplicação do modelo hidrológico SWAT. Apontaram-se os parâmetros mais sensíveis para a simulação da bacia do rio Machadinho, situada na região ocidental da Amazônia. De forma geral, a sensibilidade observada no modelo SWAT no que concerne aos parâmetros foi similar ao de outros estudos relatados para o território brasileiro, sendo que os dois maiores graus de sensibilidade para a vazão foram atribuídos para Gwqmn e Sol_Awc, associados ao escoamento no meio poroso. Por outro lado, para os sedimentos, o SWAT aplicado na bacia mostrou-se mais sensível para os parâmetros Cn2 e Surlag, associados com o escoamento superficial e capacidade de infiltração do solo. Recomenda-se, ainda, que novos estudos sejam conduzidos para melhor avaliação dos processos de calibração e validação implementados mediante a modelagem hidrológica distribuída em termos de vazão e produção de sedimentos, destacando-se a importância de se dimensionar uma adequada rede de medições para monitoramento e modelagem dos processos físicos do ciclo hidrológico.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são dirigidos às agências de fomento CAPES, FAPERJ, CNPq e FINEP, que, por meio de bolsa CNPq concedida ao primeiro autor, bem como suporte dos projetos FAPERJ – Pensa Rio – Edital 19/2011 (2012-2014) e Pensa Rio – Edital 34/2014 (2014-2020) – E-26/010.002980/2014, FAPERJ – Processo E-26/103.116/2011 (2012-2014), bem como CNPq Edital Universal No. 14/2013 – Processo 485136/2013-9 (2013-2017) e CNPq Edital nº 12/2016 – Processo 306944/2016, entre outros, estimulam o avanço científico-tecnológico brasileiro na temática que abrange o escopo desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, K. C.; YANGA, J.; MAXIMOVA, I.; SIBERA, R.; KONRAD BOGNERB, K.; MIELEITNERA, J.; ZOBRISTA, J.; SRINIVASANC, R.. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT, **Journal of Hydrology**, v. 333, n. 4, 2007, p. 413-430,

2007.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R. A.. Continuous catchment-scale erosion model. In: BOARDMAN, J.; FAVIS-MORTLOCK, D. **Modelling soil erosion by water**, *Oxford*. Publisher Springer, pp. 413 – 428, 1995.

BALDISSERA, G. C.. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT**. Cuiabá: UFMT, 132 p., Dissertação Mestrado, 2005.

FERRIGO, S.. **Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2014.

OPERE, A. O.; OKELLO, B. N.. Hydrologic analysis for river Nyando using *SWAT*, **Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.**, v. 8, pp. 1765–1797, 2011.

PETERSON, J. R.; HAMLETT, J. M.. Hydrologic calibration of the SWAT model in a watershed containing fragipan soils. **Journal of the American Water Resources Association**, vol. 34, n. 3, p.531-544, 1998.

VAN GRIENSVEN, A.; *et al.*. A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models. **J. Hydrol.**, 324:10-23, 2006.

VU, M. T.; RAGHAVAN, S. V.; LIONG, S. Y.. *SWAT* use of gridded observations for simulating runoff – a Vietnam river basin study, **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 8, n. 6, 2001.

ZSEE.. **Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia: Um Instrumento de Gestão Ambiental a Serviço do Desenvolvimento Sustentável de Rondônia**. Porto Velho: SEDAM, 2007.

ABASTECIMENTO HUMANO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEARÁ MIRIM RN

Vera Lucia Rodrigues Cirilo

UFRN: veracirilo16@gmail.com

João Abner Guimarães Junior

UFRN: abnerguimaraesjr@hotmail.com

Lara Luana Cirilo Silva

UFRN: laracirilo@gmail.com

Priscila Gosson Cavalcanti

UFRN: pcrgosson@yahoo.com.br

RESUMO: O semiárido brasileiro caracteriza-se por ser uma região onde as condições climáticas são adversas, com precipitações pluviométricas bastante irregulares. Essa característica de escassez resultante da irregularidade na distribuição das chuvas causa uma forte dependência da intervenção do homem sobre a natureza. A população sempre é atendida com medidas paliativas, com água transportada em caminhões pipa, em ações adotadas por programas emergenciais de governo. Buscou-se nessa pesquisa ter acesso às percepções dos atores no contexto dos recursos hídricos sobre a eficácia da gestão dos recursos hídricos, considerando os usos de abastecimento de água nas comunidades rurais difusas, testar a hipótese por meio da análise dessas percepções e assim fornecer subsídios para futuras intervenções na gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. A metodologia baseou-se na pesquisa qualitativa

onde se utilizou a técnica de análise documental a partir de estudos existentes; caracterização da bacia hidrográfica do rio Ceará Mirim – RN; entrevistas, com perguntas pré-elaboradas sobre a eficácia da gestão de recursos hídricos, com os atores no contexto dos recursos hídricos; e, associado, uma análise das informações obtidas. A hipótese foi confirmada de que a gestão de Recursos Hídricos no Semiárido Brasileiro não é eficaz, considerando os usos de abastecimento de água rural.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Recursos Hídricos. Semiárido. Bacia Hidrográfica.

HUMAN WATER SUPPLY IN RURAL COMMUNITIES IN RIVER BASIN AT CEARÁ MIRIM RN

ABSTRACT: The Brazilian semiarid region is characterized as a region where the climatic conditions are harsh, with very irregular rainfall. This characteristic of shortage caused by the irregularity in the distribution of rainfall causes a strong dependence on the intervention of man over nature. The population is always met with palliative measures, with water transported in tanker trucks in actions taken by emergency government programs. This research sought to gain access to the perceptions of the actors in the context of water resources on the effective

management of water resources, considering the water supply uses the diffuse rural communities, to test the hypothesis by analyzing these perceptions and thus provide subsidies for future interventions in the management of water resources in the Brazilian semi-arid region. The methodology was based on qualitative research in which we used the documental analysis technique from existing studies; characterization of the river basin of the river Ceará Mirim - RN; interviews with pre-prepared questions about the effectiveness of water management, with the actors in the context of water resources; and, coupled with an analysis of the information obtained. The hypothesis was confirmed that the water resources management in semi-arid Brazilian is not effective, considering the rural water supply uses.

KEYWORDS: Management of Water Resources. Semi-arid. Hydrographic Basin.

1 | INTRODUÇÃO

A água é fundamental à vida e se encontra presente em proporções elevadas na constituição de todos os seres vivos, inclusive no homem, onde atinge aproximadamente 75% de seu peso. Sua influência foi primordial na formação das aglomerações humanas (BRASIL, 2007).

Sabe-se que no mundo existem algumas regiões onde as condições climáticas são adversas, com precipitações bastante irregulares. Há períodos de grande escassez de água e há períodos de intensa pluviosidade. Essas regiões, consideradas semiáridas, são caracterizadas de modo geral, pela aridez do clima, pela deficiência hídrica com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas e pela presença de solos pobres em matéria orgânica (SILVA, 2007). Nos períodos de estiagens prolongadas a população dessas regiões afetadas pela questão da falta desse recurso hídrico sofre bastante.

Essa característica de ausência de água resultante da irregularidade na distribuição das chuvas causa uma forte dependência da intervenção do homem sobre a natureza. Assim sendo, o homem intervém por meio da construção de obras de infraestrutura hídrica no sentido de buscar a garantia e a preservação desse bem natural (GARJULLI, 2003).

Assim, devido à falta de abastecimento regular de água para os usuários de comunidades rurais e a grande necessidade desse recurso em períodos de seca, a população do semiárido sempre é atendida com medidas paliativas, com água transportada em caminhões pipa, em ações adotadas por programas emergenciais de governo (BRASIL, 2001).

Depois de instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos, de ter sido criado o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, de ter sido instituída a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos no Estado do RN, o abastecimento humano de água é mal distribuído e não confiável e as comunidades rurais do RN, região semiárida brasileira continua na

dependência de programas emergenciais.

Então, por que o abastecimento de água nas comunidades rurais difusas é sempre tão precário? Muito se tem estudado com relação à gestão dos recursos hídricos, mas pouco se sabe a respeito da eficácia da Política de Gestão dos Recursos Hídricos com relação ao abastecimento de água nas residências rurais difusas.

Assim, como objetivo geral deste trabalho pretende-se conhecer a percepção dos atores no contexto dos recursos hídricos sobre a eficácia da gestão dos recursos hídricos em relação ao abastecimento de água nas comunidades rurais difusas e assim com base nessas informações encontrar subsídios para futuras intervenções na gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro.

Desse modo, os objetivos específicos são:

a) Caracterizar a Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim identificando potenciais e vulnerabilidades quanto ao abastecimento de água nas comunidades rurais difusas;

b) Identificar os usuários de abastecimentos de água das comunidades rurais difusas a partir do cadastro de usuários do Programa emergencial de carro pipa;

c) Analisar as percepções dos atores no contexto dos recursos hídricos: usuários e gestores na bacia do rio Ceará Mirim, por meio da aplicação de questionários semiestruturados, sobre a eficácia da política de gestão em recursos hídricos no semiárido brasileiro considerando os usos de abastecimento de água nas comunidades rurais difusas;

d) Fornecer subsídios para futuras intervenções na gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro a partir das recomendações dos atores.

2 | DADOS E MÉTODOS

Para caracterização da bacia hidrográfica de rio Ceará Mirim, considerou-se as informações transcritas de estudos anteriormente realizados, disponibilizadas no Plano Estadual de Recursos Hídricos (1998), elaborado pela HIDROSERVICE CONSULTORIA LTDA, mediante contrato firmado com a então SERHID, hoje SEMARH, nos sites do IBGE e IDEMA. A Coleta das informações da pesquisa se deu através da aplicação de questionários semiestruturados, com os atores envolvidos na Gestão de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Ceará Mirim: usuários de abastecimento rural difuso dos municípios da bacia do rio Ceará Mirim atendidos pelo Programa carro pipa, identificados a partir da aquisição dos dados dos cadastros de usuários do Programa Emergencial de carro pipa que estão sob o comando do Exército, 17º Grupo de Artilharia de Campanha – GAC; organizações governamentais (atores das instituições estaduais e municipais), organizações não governamentais (atores das instituições sindicais dos municípios previamente selecionados e comitê da bacia do rio Ceará Mirim).

2.1 Área de estudo

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, incorpora princípios e normas para a gestão de recursos hídricos e adota a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão.

A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio Ceará Mirim, quinta maior bacia do Estado, com uma área de 2.635,70 km², corresponde a 4,9% da de sua área territorial do Estado, constituída por 16 municípios, escolhida por está inserida em uma região semiárida, com crescentes problemas de escassez hídrica. Diversas são as atividades existentes, tais como: econômicas, industriais, de serviço, agricultura, piscicultura, turismo, entre outras, dinamismo que naturalmente aumenta os conflitos relacionados ao consumo de água (Figura 1).

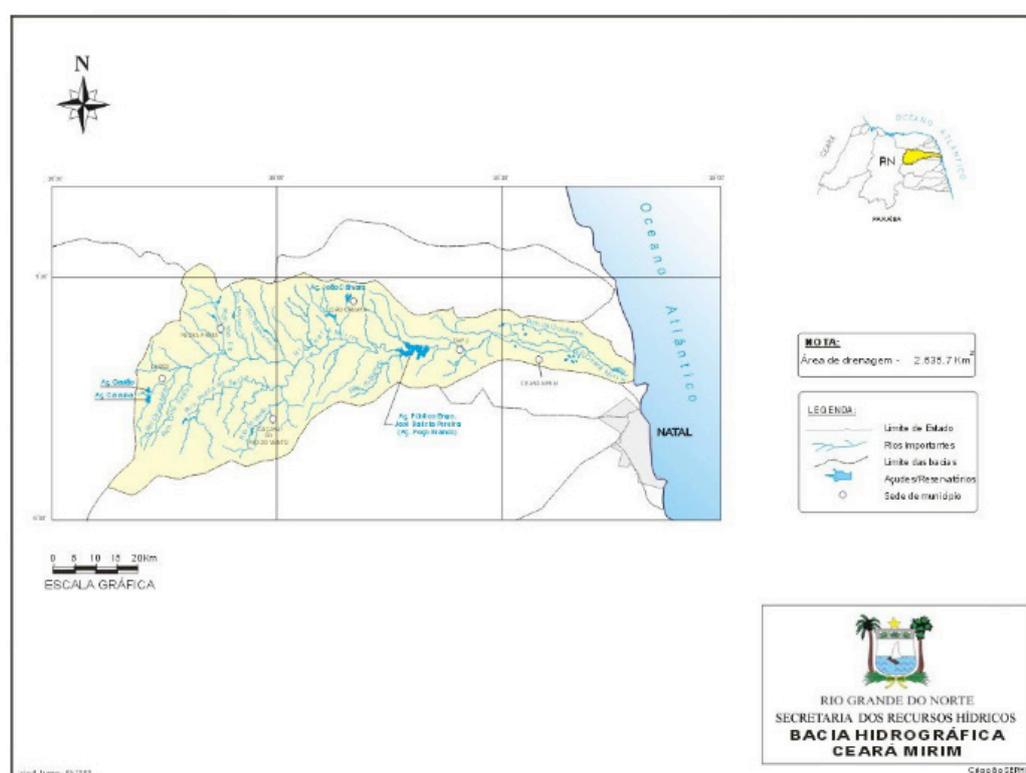


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim – SEMARH, 2013.

O rio Ceará Mirim, com 129 km de extensão é o segundo maior rio Potiguar, e está totalmente inserido no estado do Rio Grande do Norte. O rio Ceará Mirim nasce no município de Lajes, nos arredores de Santa Rosa e dirige-se para o mar, onde atravessa e recebe contribuições de afluentes nos municípios de Fernando Pedroza, Pedro Avelino, Rui Barbosa, Riachuelo, Jardim de Angicos, Caiçara, São Tomé, Pedra Preta, Bento Fernandes, João Câmara, Poço Branco, Taipu, Ceará Mirim e Extremoz.

No município de Poço Branco, o rio Ceará Mirim é represado, formando a barragem Engenheiro José Batista do Rego Pereira, que possui uma capacidade de armazenamento de água de 136 milhões de metros cúbicos. O rio Ceará Mirim

também banha o vale do Ceará Mirim, localidade com solo de boa fertilidade e capacidade produtiva para a agricultura, estando hoje parte do vale ocupado com o cultivo da cana-de-açúcar, bananeiras, culturas de subsistência, plantas nativas e carcinicultura. Este referido vale tem sido cenário de grandes conflitos resultantes dos constantes alagamentos provenientes da ausência de uma gestão efetiva.

A Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim é constituída por 16 municípios, sendo os dois maiores municípios Ceará-Mirim e Extremoz que apresentam, respectivamente, 49,45% e 35% do território do município inserido dentro da Bacia Hidrográfica.

As principais cidades da região da Bacia Hidrográfica do rio Ceará-Mirim possuem IDH classificados como médio, sendo igual a 0,646 na cidade de Ceará-Mirim; 0,694 na cidade de Extremoz e 0,640 a cidade de Lajes. As cidades listadas possuem uma renda per capita de R\$ 3.540,00; 4.212,00 e 3.224,00, respectivamente (IBGE, 2010).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos das entrevistas revelam opiniões construídas pelos atores no contexto dos recursos hídricos, opiniões de si enquanto atores. Para a entrevista foram elaboradas 8 (oito) perguntas, entretanto, por restrições de espaço e dado ao escopo da pesquisa, apenas 3 (três) questões com suas respectivas respostas foram neste trabalho analisadas.

Assim, para o primeiro grupo (G1) considerou-se as entrevistas realizadas com a OPERAÇÃO PIPA (COMANDO DO EXÉRCITO - 17º GAC). A primeira questão: quais são os principais entraves para o desenvolvimento da Política de Gestão de Recursos Hídricos no semiárido brasileiro?

(A8R01) – “(...) a falta de água potável próximo a esses municípios que é decretado estado de calamidade pública, então os mananciais ficam muito distantes, requer a contratação de muitos pipeiros em função da distância pra se conseguir uma água potável pras comunidades rurais”.

(A9R01) – “(...) grande quantidade de municípios faz com que fique difícil para o nosso controle porque a gente trabalha com pipeiros contratados, não são militares, eles contratam então né o serviço terceirizado e a principal parte que a gente tem aqui de preocupação é a de fiscalização são muito distantes, tem (...) um caminhão pipa carregado com 8 mil litros d'água, imagine trafegando nessas estradas de péssimas condições (...)”.

Verificou-se nas falas dos atores (A8R01) e (A9R01) que eles têm a mesma opinião quando dizem que a distância entre os pontos de captação de água (manancial) e as comunidades dificulta a concretização da entrega da água nas comunidades rurais.

Nesse sentido, em relação aos entraves apontados pelos atores (A8R01) e (A9R01) acima, CIRILO et al. (2011) diz que o abastecimento humano nas cidades do semiárido que não dispõem de mananciais próximos, a construção de adutoras é

a solução mais adequada, seja a partir de reservatórios de maior porte, seja a partir de poços em áreas sedimentares com maior restrição para que sejam identificadas as potencialidades dessas reservas no que tange, principalmente, aos mecanismos de recarga, ou mesmo a partir de rios e reservatórios mais distantes.

Para o segundo grupo (G2), considerou-se a fala dos atores, gestores das instituições governamentais federais, estaduais (diretas e indiretas) e municipais. ANA (01), SEMARH (01), IDEMA (01), IGARN (02), CAERN (01) e PREFEITURAS MUNICIPAIS (04).

A primeira questão: quais são os principais entraves para o desenvolvimento da Política de Gestão de Recursos Hídricos no semiárido brasileiro?

(A1R01) – “(...) os entraves (...) o que é uma implementação de uma política? É implementar os instrumentos dessa política. Então você tem que ter esses instrumentos efetivamente funcionando e pra isso você requer recursos financeiros e recursos humanos pra implementação, ou seja, vontade política pra se fazer isso acontecer. Então você não forma gente capacitada pra atuar e também não tem cursos nesses órgãos, estaduais, muitos desses órgãos estaduais funcionam com bolsistas, com terceirizados com empréstimos, não há continuidade”.

(A2R01) – “(...) é relacionado com equipe de pessoal e recursos. O sistema gestor de recursos hídricos, ele é muito fragilizado, é fragilizado porque e ele não tem uma equipe própria e, além disso, os orçamentos pra área de gestão são muito pequenos então a gente fica em busca de recursos através de programas especiais para realizar a implantação às vezes dos instrumentos de gestão (...)”.

(A4R01) – “(...) o principal entrave é, no Rio Grande do Norte é a estrutura institucional do sistema, não está capacitada e nem tem um corpo técnico suficiente para implementar a política de gestão de recursos hídricos no Brasil. O Estado do Rio Grande do Norte ainda não tem uma estrutura para implementar esses instrumentos, a forma que vem sendo implementada é muito lenta, aquém do que estar acontecendo”.

(A1R01, A2R01, A4R01) corroboram com a mesma opinião quando dizem que os entraves para a implementação das políticas são de ordem institucional tais como: a falta de recursos humanos e financeiros para implementação dos instrumentos da política de gestão dos recursos hídricos e para isso é necessário vontade política para que aconteça.

Tucci (2004) defende que o desenvolvimento e a preservação dos recursos hídricos dependem de profissionais qualificados tanto para a execução de vários tipos de atividades, como para a tomada de decisões. A maioria dos profissionais que trabalha na área adquiriu seu conhecimento exercendo a função, sendo que apenas um grupo reduzido se capacitou por meio de Mestrado e Doutorado. Atualmente, existe falta de pessoal qualificado no setor, principalmente na medida em que ocorrer a implementação da regulamentação com a expansão de comitês e agências para as bacias.

Para o terceiro grupo (G3), considerou-se a fala dos atores das instituições não governamentais: COMITÊ DE BACIAS (01), SINDICATOS RURAIS (04).

(A7R01) – “(...) ausência de planejamento, considerando água como elemento e fator de sobrevivência para o semiárido para desenvolvimento e qualidade de vida para a população. E o que a gente vem observando é a limitação a água como um elemento fundamental para essas populações seja para consumo humano seja para desenvolvimento de alguma atividade de sobrevivência”.

(A14R01) – “(...) eu acho que é a falta de política pública de qualidade, desenvolvendo. Porque o governo hoje ele entra no poder, né? E passa quatro anos, quando ele sai do poder, vem outro e já tem outro pensamento, já tem outra visão... outra tese pro negócio”.

A primeira questão: quais são os principais entraves para o desenvolvimento da Política de Gestão de Recursos Hídricos no semiárido brasileiro? (A7R01), (A14R01), corroboram com a mesma opinião quando dizem que os entraves estão na falta de interesse político, falta de política pública e não vê uma ação concreta de políticas públicas de forma efetiva.

Nesse sentido, Magalhaes Junior (2012) entende que a falta de interesse político nos níveis estadual e federal também responde pela falta e/ou subutilização de informações (falta de sistemas de informações integrados, não aplicação da PNRH, falta de acesso social ao conhecimento, etc.). Logicamente esses problemas não são derivados apenas da falta de interesse político, mas também de lacunas e obstáculos conjunturais do país. Porém, a utilização de um dado é antes de tudo, uma questão de vontade organizada.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo é relevante na medida em que se pode conhecer as percepções dos atores a respeito da eficácia da implementação dos instrumentos de gestão relacionada ao abastecimento humano de água nas comunidades rurais difusas e a partir deste conhecimento poder contribuir para a melhoria da gestão de recursos hídricos no RN.

Com base nos dados analisados entende-se que a CAERN através da Adutora Sertão Cabugi e as outras fontes de água existentes na bacia atende apenas as demandas das áreas urbanas no período seco, ficando as áreas de abastecimento difuso na dependência do abastecimento por carros pipas.

Apesar dos esforços desprendidos pelos governos por várias décadas, na construção de obras estruturantes, ainda é necessária a adoção de medidas que sejam eficazes e permanentes para atender as necessidades das populações de abastecimento de água, carentes em desenvolvimento econômico e social em regiões que são afetadas pela seca.

Sendo assim, de acordo com os resultados coletados, concepção dos atores entrevistados, respostas dadas para os questionamentos efetuados pode-se concluir que a implementação dos instrumentos da política de gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro não é eficaz.

Conclui-se também que é necessário repensar essa forma atual de gestão dos recursos hídricos, onde os grandes usos são supervalorizados em detrimento dos usos de abastecimento humano de água de comunidades rurais difusas.

Assim, necessita-se de uma gestão de recursos hídricos que se aplique também aos usos de abastecimento de água difusos e que se resolvam definitivamente as questões de abastecimento humano de água no semiárido brasileiro. Não há como chegar a uma solução dessa problemática sem a participação efetiva desses usuários na política de gestão de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

BACIA Ceará Mirim. (2013). Formato JPG. Disponível em: <<http://www.semarh.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/semarh/sistemadeinformacoes/consulta/cBaciaDetalhe.asp?CodigoEstadual=06> .asp>. Acessado em: 3 maio 2013.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal, e altera o Art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de Março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de Dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 12 out. 2012.

BRASIL. (2001). Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. Alves, R. F. F. Carvalho, G. B. de. *Experiências de Gestão de Recursos Hídricos*. Brasília, DF. MMA/ANA, 204p.

CIRILO, J. A. et al. (2011). *A questão da Água no Semiárido Brasileiro*. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-811.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

GARJULLI, R. (2003). Os Recursos Hídricos no Semiárido. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.55, n.4, out/dez. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000967252003000400021>. Acesso em: 12 out. 2012.

SILVA, R. M. A. da. (2007). Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semiárido: políticas públicas e transição paradigmática. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 38, no 3, jul-set.

TUCCI, Carlos E. M. (2004). *Desenvolvimento dos Recursos Hídricos no Brasil*. Disponível em: <<http://www.cepal.org/DRNI/proyectos/samtac/InBr00404.pdf>>. Acesso em: 05 dez. 2014.

ELABORAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE TUCURUÍ- PARÁ

Alcione Batista da Silva

Universidade Federal do Pará, docente da faculdade de engenharia sanitária e ambiental
Belém – Pará

Laysse Alves Ferreira

Universidade Federal do Pará, Faculdade de engenharia sanitária ambiental
Tucuruí – Pará

Lucas Rodrigues do Nascimento

Universidade Federal do Pará, Faculdade de engenharia sanitária ambiental
Tucuruí – Pará

Andressa Magalhães Gonçalves

Universidade Federal do Pará, Faculdade de engenharia sanitária ambiental
Tucuruí – Pará

Rafael Oliveira da Silva

Universidade Federal do Pará, Faculdade de engenharia sanitária ambiental
Tucuruí – Pará

RESUMO: O conhecimento e a análise de dados pluviométricos são base para prevenção de catástrofes naturais e gestão dos recursos hídricos. Desta forma, o estudo teve como objetivo a consistência de dados pluviométricos e o diagnóstico sazonal da cidade de Tucuruí-PA, visando auxiliar e aprimorar o gerenciamento dos recursos hídricos. Os dados utilizados foram referentes aos anos de 2000

a 2014 oriundos da estação meteorológica automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia. Para análise e elaboração de consistência dos dados pluviométricos, utilizaram-se ferramentas estatísticas. As quais demonstraram uma significativa variabilidade de precipitações entre as épocas sazonais, que compreendem dois períodos, o chuvoso (novembro a maio) com média de precipitação de $311,71 \pm 130\text{mm}$, e o período de estiagem (junho a outubro) com média de precipitação de $57,8 \pm 25\text{mm}$. Este estudo proporcionou a caracterização da região como de alta pluviosidade e verificação de que não houve tendência crescente ou decrescente das precipitações ao longo dos anos, possibilitando, as análises dos meses que apresentam mais riscos de enchentes e determinação dos períodos de medição de vazão de corpos d'água, os quais auxiliarão estudos futuros de gerenciamento e monitoramento dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Pluviometria, análise de dados, variabilidade.

ABSTRAT: The Knowledge and rainfall data analysis are the basis for natural disaster prevention and management of water resources. Thus, the study aimed to analyze and consistency of rainfall data from the city of Tucuruí-PA, aiming to help and improve

the management of water resources. The data used were for the years 2000-2014 resulting from the automatic weather station, belonging to the National Institute of Meteorology. For analysis and preparation of consistency of rainfall data they used statistical tools. Which demonstrated significant variability of rainfall between seasonal periods, comprising two periods, the rainy season (November to May) with average rainfall of $311.71 \pm 130\text{mm}$, and the dry season (June to October) with average rainfall $57.8 \pm 25\text{mm}$. This study provided a description of the region as high rainfall and check that there was no increasing or decreasing trend in rainfall over the years, enabling analyzes of months that have more risks of floods and determination of the bodies of flow measurement periods water, which will aid future studies of management and monitoring of water resources.

KEYWORDS: Rainfall, data analysis, variability.

1 | INTRODUÇÃO

A precipitação é entendida em hidrologia como toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações. A diferença entre essas precipitações é o estado em que a água se encontra (BERTONI & TUCCI, 1993).

Segundo SALGUEIRO (2005), O conhecimento e a análise de dados pluviométricos que possuem confiabilidade são essenciais para o estudo relacionado à gestão dos recursos hídricos, a aplicação nos setores hidroenergético, planejamento, saneamento básico, abastecimento público e industrial, irrigação e drenagem, pecuária, previsão do tempo, impacto ambiental, nas diversas obras da engenharia, previsão de secas ou enchentes, entre outros estudos. Sendo assim, a pluviosidade representa um importante atributo na análise dos climas.

Nos últimos anos ocorreram grandes mudanças na disponibilidade dos dados hidrológicos em função do desenvolvimento de novos equipamentos de hidrométrica e transmissão remota de dados, onde estes estão sendo disponibilizados no mercado de modo a facilitar o trabalho de campo e aumentar a confiabilidade das informações levantadas. Paralelamente às novas tecnologias que vem sendo disponibilizadas está se desenvolvendo uma nova cultura no setor em nível de Unidade da Federação sobre a importância do monitoramento hidrológico, a fim de proporcionar a cada estado a obtenção do conhecimento e gerenciamento do seu potencial hídrico (ANA, 2007).

De Siqueira et al (2007) afirma a relação de sucesso ao o fracasso de um empreendimento também se deve as características climáticas de uma determinada região, sendo o conhecimento da mesma primordial para tomada de decisões. Hartmann et al (2011) cita prejuízos econômicos relacionados ao acúmulo de água em épocas chuvosas no município de Presidente Prudente – São Paulo, sendo as enchentes na área urbana e perda de colheita na área rural os principais.

Diante do exposto, o estudo teve como objetivo a análise e a consistência de dados pluviométricos da cidade de Tucuruí-PA, visando auxiliar e aprimorar o gerenciamento dos recursos hídricos com a obtenção de dados pluviométricos locais, afim de que estes sirvam como base para futuros estudos relacionados à gestão de recursos hídricos.

1.1 Área de Estudo

A área de estudo é a cidade de Tucuruí, localizada no sudoeste paraense, situada a 39 metros de altitude, tendo suas coordenadas geográficas em: Latitude: 3° 46' 10" Sul, Longitude: 49° 40' 27" Oeste (Figura 1). O município se estende por 2086,2 km². A cidade se localiza as margens do lago artificial causado pela construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHT), e possui em seus territórios várias sub-bacias e tributários da região hidrográfica Tocantins-Araguaia (IBGE, 2010).

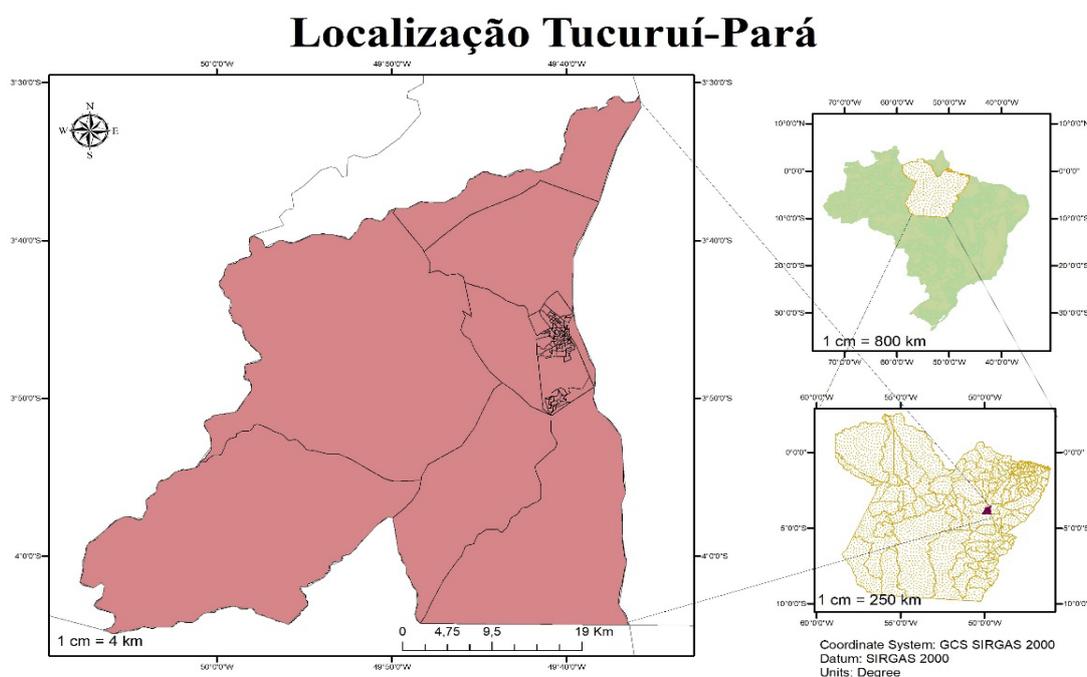


Figura 1- Localização da área de estudo

Fonte: Autoria, 2015.

2 | METODOLOGIA E MATERIAIS

Os dados utilizados nesse estudo foram obtidos através do site do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br>), que disponibiliza dados da estação Meteorológica Automática de Tucuruí-A299 , (Latitude -3.822760°, Longitude -49.674956°, altitude 138m). Para análise dos dados, confeccionou-se através de planilhas no Excel, tabelas e gráficos com as médias mensais, anuais e de volume de chuva/dia (este cálculo consiste em dividir os totais pluviométricos

anuais pelo número de dias de chuva do ano), e suas respectivas variâncias.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da plataforma de informação online do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) foram obtidos 5.475 (cinco mil quatrocentos e setenta e cinco) dados, sendo dados de precipitação diários correspondentes aos últimos 15 anos (2000 a 2014). Obtendo-se assim a precipitação acumulada desses últimos 15 anos, sendo o ano mais chuvoso o de 2001 (com 3117mm), seguido dos anos de: 2006 (2989,6mm), 2009 (2974mm), 2014 (2619,5), 2008 (2559m), 2003 (2485,2mm), 2011 (2460mm), 2005 (2378,3mm), 2013 (2322,1mm), 2010 (2222,2mm), 2002 (2199,4mm), 2012(2187,6mm), 2007(2144,6mm) e o ano de 2004 (1869,4mm) o mais seco (Figura 2). Em virtude dos dados analisados, a região de estudo foi classificada como de alta precipitação (Precipitação > 1600 mm/ano).



Figura 2- Precipitação Acumulada dos anos de 2000 a 2014

Fonte: Autoria, 2015. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia, 2000 a 2014.

Obtiveram-se as médias mensais das precipitações e dos dias com precipitações (Tabela 1), onde se adotou o nível de confiança de 95% e a estimativa ± 2 dias para os dias com precipitações e ± 32 mm para as médias de precipitações mensais. Observa-se que as médias de dias com precipitação possuem pequena variância, demonstrando certa homogeneidade de quantidade de dias com chuva em cada ano, já as médias mensais das precipitações as variâncias foram maiores, mostrando que a região de Tucuruí possui uma heterogeneidade de precipitação, onde as chuvas variam de ano para ano, o que aumenta os riscos de enchentes nos anos de quantidades de chuvas inesperadas.

Pode-se citar, por exemplo, os anos subsequente de 2001(3117mm) e

2002(2199mm) que apresentam elevada diferença de 1115mm de lâmina de chuva precipitada. A constatação da heterogeneidade de precipitação anual na região ressalta a importância do conhecimento dos dados pluviométricos por parte do poder público, principalmente municipal, que é responsável pelo plano diretor e planos de gestão.

	Precipitação (mm)	Dias com precipitação
Janeiro	362 ± 63	24 ± 2
Fevereiro	395 ± 62	24 ± 1
Março	439 ± 59	27 ± 1
Abril	437 ± 77	25 ± 1
Mai	242 ± 46	20 ± 2
Junho	95 ± 21	12 ± 1
Julho	61 ± 17	10 ± 2
Agosto	33 ± 16	6 ± 2
Setembro	34 ± 15	7 ± 2
Outubro	66 ± 23	7 ± 1
Novembro	103 ± 29	10 ± 2
Dezembro	204 ± 50	18 ± 2

Tabela 1 - Média e variância mensal de precipitação e dias com precipitação

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, 2000 a 2014.

Através da comparação da Figura 2, Tabela 1 e Figura 3, percebe-se que 2001 foi o ano que obteve a maior precipitação acumulada de 3117mm (Figura 2), no entanto ao se analisar os índices de dias de precipitação (Figura 3), o ano de 2000 apresenta o maior número de dias com precipitação (Figura 3), ou seja, apesar com menos dias de precipitação os volumes precipitados no ano 2000 foram superiores ao demais.

Tal situação explicita há ocorrência da subjetividade temporal, pois nem sempre o ano com mais dias de chuva, poderá ser o mais chuvoso, isso devido principalmente as chuvas de grandes intensidades que são as grandes causadoras de problemáticas de alagamentos urbanos. Dessa forma através do cálculo do volume de precipitação (Figura 4), que mensura a quantidade precipitada/ pelos dias com precipitação, pode-se analisar com mais clareza os anos que de fato foram mais chuvosos, no caso 2001 e o mais seco 2009.



Figura 3- Quantidade de dias com chuva dos anos de estudo

Fonte: Aatoria, 2015. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia, 2000 a 2014.

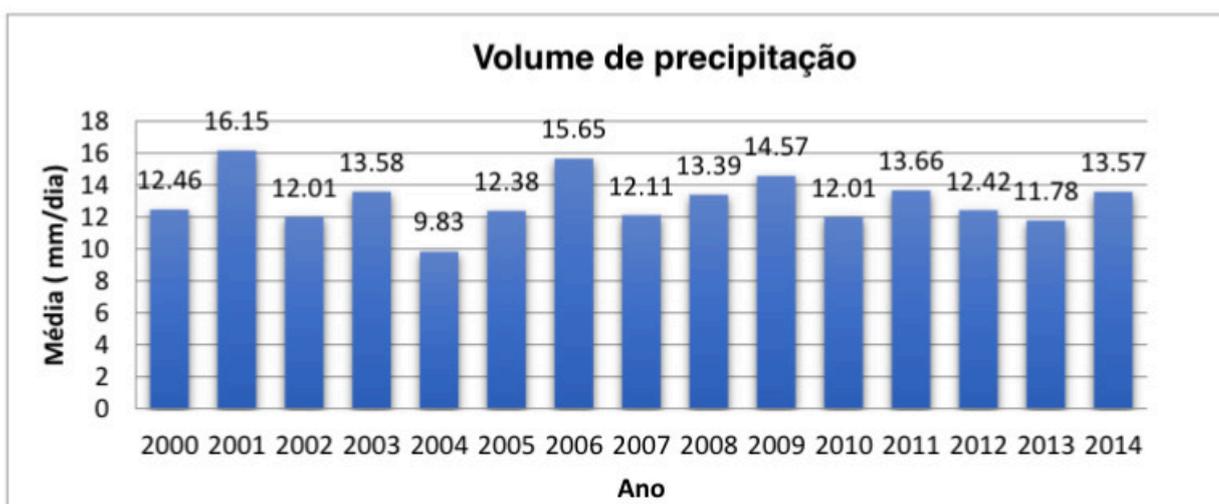


Figura 4- Volume de precipitação

Fonte: Aatoria, 2015. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia, 2000 a 2014.

Conforme análise dos dados fornecidos na Tabela 1 e Figura 5, foi possível à verificação da variação sazonal, sendo ratificada pela análise das médias mensal de chuva (Figura 5), desta região, que compreende aos meses de novembro a maio (período chuvoso) e junho a outubro (período de estiagem). No período de grande ocorrência de precipitação, o mês de março apresentou maior média mensal de chuva ($439 \pm 59\text{mm}$) e Junho ($95 \pm 21\text{mm}$) o mês de transição entre as épocas de chuva e seca. No período de estiagem que se caracteriza por meses mais secos, o mês de agosto ($33 \pm 16\text{mm}$) apresentou menor lâmina de água precipitada e o mês de outubro ($66 \pm 23\text{mm}$) ficou na faixa de transição entre os períodos sazonais. Para o monitoramento dos recursos hídricos a verificação sazonal contribui, por exemplo, na determinação dos períodos de medição da vazão de corpos d'água, no caso em estudo, são: novembro, maio, junho e outubro.

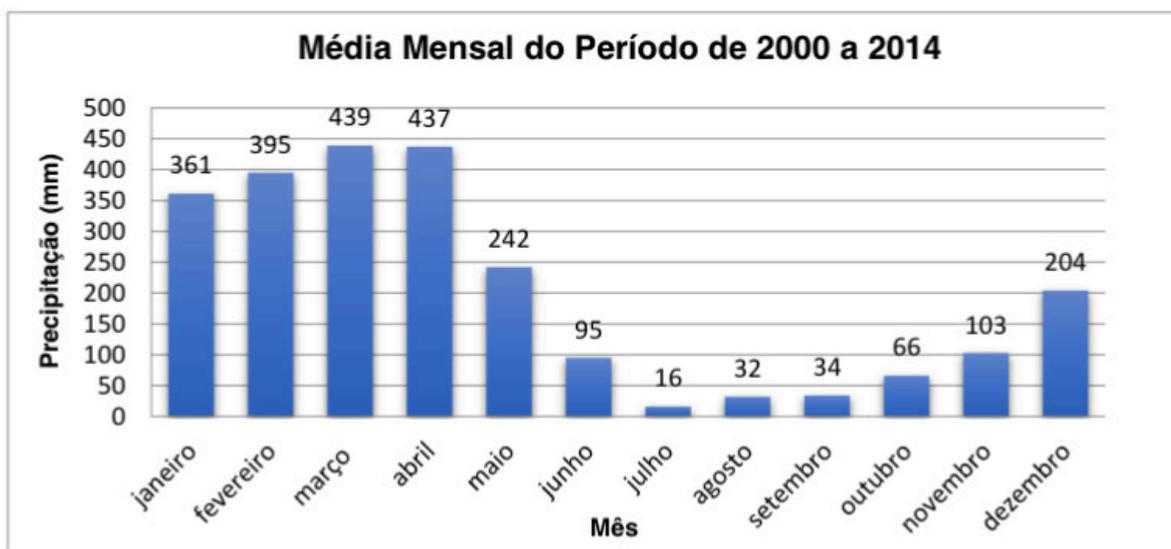


Figura 5 – Média mensal de precipitação

Fonte: Autoria, 2015. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia, 2000 a 2014.

Segundo Minete *et al* (2012); sobre a análise dos dados pluviométricos da estação hidrometeorológica da FATEC-Jahu em São Paulo, nos anos de 2001 a 2010 foram obtidos valores máximos e mínimos da média de precipitação mensal de 280,80mm e 100,70mm apresentando variância de 180,10mm, levando em consideração o período chuvoso. O período de estiagem obteve média de precipitação de 57,56mm a 17,32mm apresentando variância de 40,24mm. No presente trabalho a precipitação média mensal foi de 439mm a 204mm para o período chuvoso apresentando 235mm de variância. No período de estiagem o valor máximo de precipitação foi de 108mm e valor mínimo de 32mm, apresentando variância de 76mm.

Verificou-se que dos cinco mil quatrocentos e sessenta e quatro dias estudados, 48% não ocorreram eventos de precipitações, enquanto que 31% dos registros de precipitações foram de até 10mm, 20% variaram entre 10 e 80mm e as de maiores intensidades corresponderam a 0,52% do total de dias precipitado (Tabela 2). Analisa-se que nos últimos 15 anos as precipitações de maiores intensidades não ultrapassaram 200mm.

Precipitação (mm)	Dias
P = 0	2625
0 < P < 10	1722
10 < P < 20	465
20 < P < 40	433
40 < P < 60	147
60 < P < 80	45
80 < P < 100	18
100 < P < 120	4
120 < P < 140	4

170 < P < 180	0
180 < P < 200	1
P > 200	0
Total de dias	5464

Tabela 2 - Frequência de eventos de chuvas

Fonte: Aatoria, 2015. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia, 2000 a 2014.

4 | CONCLUSÃO

A utilização de ferramentas da estatística para a elaboração de consistência de dados pluviométricos proporcionou a caracterização da região como de alta pluviosidade, além da identificação de duas épocas sazonais no município de Tucuruí e verificação de que não houve tendência crescente ou decrescente das precipitações ao longo dos anos. Analisaram-se os meses que apresentam mais riscos de enchentes e determinação dos períodos de medição da vazão de corpos d'água, os quais auxiliarão estudos futuros de gerenciamento e monitoramento dos recursos hídricos. Observou-se que cada local precisa realizar análise da variação de precipitação, uma vez que, as regiões possuem resultados com diferenças relevantes.

Vale ressaltar a importância desse estudo no monitoramento e gestão das principais sub-bacias na área urbana do Município de Tucuruí (Bacia do Igarapé Santos e Bacia do Igarapé Santana, tributários do rio Tocantins), os quais vem sofrendo grandes ações antrópicas, agravando os problemas das enchentes que anualmente afetam a cidade causando prejuízos para a população e para o poder público.

Por fim, a facilidade de obtenção de dados possibilita que o conhecimento da pluviometria local se estenda ao poder público municipal e sociedade civil.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Evolução da rede hidrometeorológica nacional**. v. 1, n. 1. Superintendência de Administração da Rede Hidrometeorológica 2007, Brasília: . CEDOC, 2007.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 1993. p.177-242.

DE OLIVEIRA, Alisson Souza et al. **Aplicabilidade da distribuição GEV ao estudo da precipitação máxima diária anual na região sul de Minas Gerais**. Revista Agrogeoambiental, v. 6, n. 1, 2014.

DE SIQUEIRA, Herbert Rezende. **Comportamento da precipitação pluviométrica mensal do Estado de Minas Gerais: análise espacial e temporal**. Horizonte Científico, v. 1, n. 1, 2007.

HARTMANN, Marcelo; MOALA, Fernando Antonio; MENDONÇA, Marco Aurélio. **Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente**. Revista Brasileira de Meteorologia, p.

561-568, 2011.

MARCUZZO, Francisco FN. **Distribuição espacial da sazonalidade da precipitação pluviométrica no Mato Grosso do Sul e estudo de anomalias interanual**. Acta Geográfica, v. 8, n. 16, p. 22-39, 2015.

MASSAGLI G. O.; VICTORIA D. C.; ANDRADE R. G. **Comparação entre precipitação medida em estações pluviométricas e estimada pelo satélite TRMM**. In 5º congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC, Campinas, agosto de 2011,7 , pp. 1-8.

MINETE, F.G.; VENIZIANI JUNIOR J.C.T.; KAISER I.M.; (2012). **Análise dos dados pluviométricos da estação hidrometeorológica da FATEC –Jahu**. In *Anais do IV Simpósio de Tecnologia em Meio Ambiente e Recursos Hídricos*, Jahu, Out. 2012, 1, pp. 54-67.

SALGUEIRO, J.H. P. B. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: estudo de caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco**. 2005. 139f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Departamento de Engenharia Civil Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Recife. disponível em : <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mestra_salgueiro.pdf>. Acessado em 05 de abr. de 2015.

VERONEZ, B. P. **Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacias hidrográficas no nordeste paraense, Amazônia oriental**. 2011. 174f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Ambiental Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Vitória. Disponível em: <<http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/BRUNELLA%20PIANNA%20VERONEZ.pdf>>. Acessado em 03 de março de 2015.

ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DE DADOS DIÁRIOS OU MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA COM O MODELO MGB-IPH

Bibiana Rodrigues Colossi

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Daniela Santini Adamatti

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Fernando Mainardi Fan

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Paulo Rógenes Monteiro Pontes

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS
Porto Alegre – Rio Grande do Sul

RESUMO: A disponibilização de séries de dados climatológicos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) através do BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) vem facilitando a utilização de dados com discretização diária em simulações hidrológicas, em detrimento às mais comumente utilizadas médias sazonais de longo período. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo analisar os resultados referentes à evapotranspiração e vazão, obtidos através da simulação hidrológica, empregando dois diferentes conjuntos de dados climatológicos: as médias sazonais de

longo período e as séries históricas de dados diários. As simulações foram realizadas para a bacia do rio Canoas (SC), utilizando o modelo MGB-IPH. Observou-se maior variabilidade na evapotranspiração obtida utilizando os dados diários. Com relação à vazão, percebeu-se diferenças nos resultados para a representação de picos de cheias e recessões. Assim, o uso dos dados diários climatológicos propicia uma melhor representação dos processos hidrológicos e de sua evolução ao longo do tempo, principalmente em situações extremas.

PALAVRAS-CHAVE: Dados climáticos; Simulação hidrológica; MGB-IPH.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF USING DAILY DATA OR CLIMATIC MEANS IN HYDROLOGIC SIMULATION USING MGB-IPH MODEL

ABSTRACT: The National Meteorology Institute (INMET), through the BDMEP (Meteorological Data Base for Education and Research), has made available series of climatic data. It made easier the use of daily data in hydrological simulation, rather than using long-term seasonal means. The study here presented aims to analyze flow and evapotranspiration results of hydrological simulation. Two simulations were conducted: one, using long-term seasonal

means for the climatic variables; and the other, using daily historic data series. The study area is the Canoas River basin (Santa Catarina State/Brazil), and the simulation used the MGB-IPH model. Evapotranspiration showed a greater variability using the daily data set. Differences were found in flow results between the two simulations, especially in flood peaks and recession representations. So, the use of daily climatic data series allows a better representation of hydrological phenomena and its evolution through time, particularly in extreme situations.

KEYWORDS: Climatic data; hydrological simulation; MGB-IPH.

1 | INTRODUÇÃO

Modelos Hidrológicos são ferramentas desenvolvidas a fim de representar e compreender o comportamento de uma bacia hidrográfica (Tucci, 2005). Tal comportamento é resultado das complexas interações entre as variáveis climáticas e as características físicas da bacia (Majumder *et al.* 2010). A simulação hidrológica tem sido amplamente utilizada na quantificação do impacto de diferentes cenários de uso da terra e de mudanças climáticas sobre os processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, na previsão de cheias, na gestão de recursos hídricos e na definição de critérios de projeto de estruturas hidráulicas (Beskow, 2011).

O Modelo de Grandes Bacias, MGB-IPH, é um modelo hidrológico distribuído desenvolvido para simular o processo de transformação da chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas. A versão atual e de distribuição do modelo tem a sua interface operacional acoplada a um SIG (Sistema de Informações Geográficas), conforme mostrado por Fan e Collischonn (2014). No que concerne aos dados climatológicos, o modelo permite a utilização de base interna ou externa de dados. A opção pela base de dados externa permite um maior controle, por parte do usuário, quanto aos dados de entrada, sobretudo quanto a extensão das séries e existência de falhas nos dados. Ainda com relação aos dados climatológicos, é possível optar pela simulação com as médias sazonais de longo período ou com os dados diários.

Devido a maior dificuldade de obtenção de dados diários de clima e adequação dos mesmos ao formato e resolução temporal necessários, além da frequente existência de grande quantidade de falhas nas séries históricas, é comum a opção por uma estratégia mais simples. Ao realizar simulações hidrológicas de larga escala muitas vezes opta-se pelo uso das médias sazonais de longo período dos dados climatológicos. Recentemente, o INMET vem disponibilizando, através do BDMEP, criado em novembro de 2010, as séries históricas de dados oriundos das estações convencionais da sua rede meteorológica. Portanto, ficou facilitado o acesso e, conseqüentemente, a utilização destes dados diários na simulação hidrológica.

Contudo, não existem investigações sobre o efeito do uso de um procedimento ou outro (uso de dados diários ou climatológicos), e seus efeitos sobre os resultados da simulação hidrológica com o modelo MGB-IPH. Neste contexto, o presente estudo

analisa os resultados obtidos através da simulação hidrológica da bacia do rio Canoas empregando os dois diferentes conjuntos de dados climatológicos: médias sazonais de longo período *versus* série histórica de dados diários.

2 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a bacia do rio Canoas, localizada no estado de Santa Catarina, entre as coordenadas geográficas 26°40' S/28°10' S e 49°20' W/51°20' W (Figura 1). Está inserida na bacia hidrográfica do rio Uruguai, que se origina da confluência do rio Canoas com o rio Pelotas. É a maior bacia do estado de Santa Catarina, com área de drenagem de aproximadamente 15.000 km². De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na bacia é o mesotérmico úmido com verão fresco (Cfb). A temperatura média mensal na região da bacia varia de cerca de 8-10°C no inverno e de 18-20°C no verão. A umidade relativa do ar média varia entre 70,6% a 83,1%, enquanto a precipitação anual total na bacia do rio Canoas é de cerca de 1650 mm (Santa Catarina, 2006).

O rio Canoas apresenta uma declividade média elevada e alta densidade de drenagem. Associado a isto tem-se as condições geológicas (com predominância de basaltos), a cobertura vegetal com predomínio de pastagens e lavoura e excedentes hídricos superiores a 1.000 mm anuais, que geram regimes torrenciais no rio principal e nos demais tributários, propiciando escoamento superficial com elevadas velocidades e com tempos de concentração reduzidos. Em adição, as características geomorfológicas, com vales estreitos e profundos, também contribuem para que os picos da onda de cheia sejam pronunciados e com formação bastante rápida (FATMA, 2007).

3 | DESCRIÇÃO DO MODELO MGB-IPH

O Modelo de Grandes Bacias, MGB-IPH, é um modelo do tipo distribuído concebido para simular processos hidrológicos em bacias hidrográficas descrevendo a distribuição espacial dos processos e a influência da vegetação, sobretudo sobre a evapotranspiração (Collischonn & Tucci, 2001). O modelo representa os processos de interceptação, balanço de água no solo, evapotranspiração, escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo nas minibacias (menor unidade de discretização utilizada no modelo) e a propagação de vazões na rede de drenagem (Fan e Collischonn, 2014). A evapotranspiração no modelo é calculada pela equação de Penman-Monteith. As minibacias podem ser agrupadas ainda em sub-bacias.

Além disso, é adotada uma divisão da bacia em um conjunto de Classes de Resposta Hidrológica (CRH), definidas, tipicamente, a partir da combinação de mapas de tipos de solos e mapas de tipos de vegetação, ou de classes de uso da

terra. A combinação das minibacias com as classes de resposta hidrológica (CRH) origina as Unidades de Resposta Hidrológica (URH), que são as regiões em que determinada CRH existe no interior de uma minibacia. Os processos hídricos verticais (e.g. evapotranspiração) são realizados em cada URH. As vazões geradas no interior de cada minibacia são propagadas até a rede de drenagem utilizando o método Muskingum-Cunge de propagação de vazões. A calibração do modelo consiste na definição dos valores dos parâmetros ditos fixos, para cada URH; e dos parâmetros calibráveis, para cada URH, em cada sub-bacia discretizada. A descrição completa do modelo e suas formas de aplicação podem ser encontradas em Collischonn *et al.* (2007), Collischonn e Tucci (2001), e Collischonn e Fan (2014).

4 | METODOLOGIA

A utilização do MGB-IPH envolve uma etapa de pré-processamento anterior a simulação propriamente dita. Esta etapa inclui a definição da bacia, a obtenção de informações hidrológicas, a geração de uma base de dados SIG, a discretização da bacia utilizando o ArcHydro, a definição das Classes de Resposta Hidrológica (CRH), e o pré-processamento dos dados no plugin PrePro-MGB. Estas etapas são sucintamente apresentadas a seguir.

4.1 Obtenção de informações hidrológicas

As séries históricas de precipitação e vazão, necessárias à simulação hidrológica, foram obtidas através do Sistema de Informações Hidrológicas – Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA) (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). Os dados climáticos (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica) foram obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>).

4.2 Geração da base de dados SIG

Empregou-se o MDE disponibilizado pelo Consultative Group on International Agricultural Research – Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI), referente ao NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que possui 90 m de resolução espacial (<http://srtm.csi.cgiar.org/>). Para os tipos de solo, utilizou-se o *shapefile* “Levantamento de reconhecimento de solos do estado de Santa Catarina - Solos”, disponibilizado no Geoportal Digital / Mapoteca da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (<http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>). Para a definição dos usos do solo foi utilizado o “Global Land Cover Map - 2009” disponibilizado pela European Space Agency (ESA) (<http://due.esrin.esa.int/globcover/>).

4.3 Discretização utilizando o ArcHydro

A discretização da bacia envolve várias etapas que podem ser realizadas através das ferramentas do ArcHydro (ArcGis), e que vão, com base no MDE, dividir a bacia em unidades menores e organizar tais unidades segundo um ordenamento topológico (Pereira *et al.*, 2012). Foram definidas 119 minibacias (Figura 2). A metodologia de discretização é encontrada em Fan e Collischonn (2014).

4.4 Definição das Classes de Resposta Hidrológica

Para o estabelecimento das CRHs, os tipos de solo na bacia do rio Canoas foram reclassificados em duas categorias: solos rasos, que apresentam maior potencial de geração de escoamento, e solos profundos, com menor potencial. Foram classificados como solos rasos, presentes em cerca de 80% da área da bacia, Gleissolos, Cambissolos, Neossolos e Organossolos, enquanto as demais classes de solos, que incluem Argissolos, Latossolos, e Nitossolos, foram classificadas como solos profundos. O mapa de uso do solo foi agrupado em quatro classes distintas: mata, campo/agropastoril, área artificial e água. As CRHs foram definidas a partir do cruzamento dos mapas reclassificados de tipo e de uso do solo, resultando em seis CRHs, quais sejam: mata em solo raso; mata em solo profundo; agricultura em solo raso; agricultura em solo profundo; áreas artificiais; e água.

4.5 Preparação dos dados

Foram selecionados três postos com dados de clima, oito postos fluviométricos e dezoito postos pluviométricos, cujas informações encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente. A localização dos postos fluviométricos e climatológicos pode ser observada na Figura 2. A partir dos dados climatológicos dos três postos foram gerados os arquivos de médias climatológicas e os arquivos dos dados diários observados usados nas simulações. Os dados dos postos fluviométricos originaram o arquivo de vazões observadas. Os dados dos postos pluviométricos foram interpolados e gerou-se o arquivo de chuvas interpoladas para a bacia.

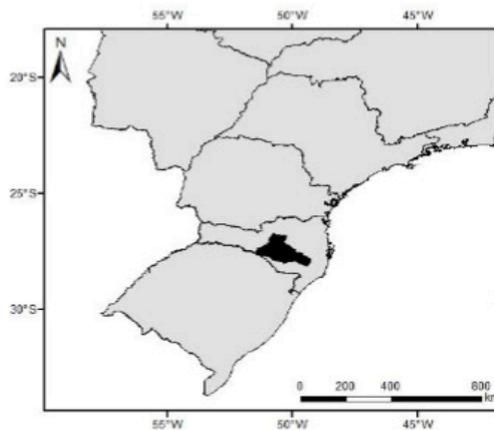


Figura 1 - Localização da bacia do rio Canoas.



Figura 2 – Localização dos postos fluviométricos e climatológicos utilizados no estudo.

Código OMM	83891	83887	83920	
Código ANA	2750005	2751042	2849014	
Nome	Lages	Campos Novos	São Joaquim	
Latitude (°)	-27,81°	-27,63°	-28,27°	
Longitude (°)	-50,33°	-51,03°	-49,93°	
% de falhas no período de simulação	Temperatura	32%	18%	23%
	Umidade relativa	18%	19%	22%
	Vento	18%	18%	22%
	Insolação	18%	20%	26%

Tabela 1 – Postos climáticos empregados na simulação e presença de falhas nas séries.

Código	Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Área de drenagem (km ²)	Rio
71200000	Vila Canoas	-27,80	-49,78	1010	Rio Canoas
71250000	Ponte do Rio João Paulo	-27,83	-49,63	489	Rio João Paulo
71300000	Rio Bonito	-27,70	-49,83	2000	Rio Canoas
71383000	Ponte Alta do Sul	-27,48	-50,38	4610	Rio Canoas
71490000	Ponte Marombas	-27,22	-50,47	354	Rio das Marombas
71498000	Passo Marombas	-27,33	-50,75	3680	Rio das Marombas
71550000	Passo Caru	-27,54	-50,86	10000	Rio Canoas
71800000	Colônia Santana	-27,65	-51,05	13200	Rio Canoas

Tabela 2 – Postos fluviométricos empregados na simulação.

Código	Estação	Latitude(°)	Longitude (°)	Código	Estação	Latitude(°)	Longitude(°)
02850004	Coxilha Rica	-28,15	-50,44	02750007	Painel	-27,92	-50,10
02849021	Urubici	-27,99	-49,58	02749035	Bocaina do Sul	-27,74	-49,94
02751001	Anita Garibaldi	-27,69	-51,13	02749031	Vila Canoas	-27,80	-49,78
02750020	São José do Cerrito	-27,66	-50,58	02650019	Lebon Regis	-26,93	-50,69

02750012	Ponte Rio Antinhas	-27,34	-50,43	02750001	Campo Bela do Sul	-27,90	-50,75
02750011	Ponte Alta do Sul	-27,48	-50,38	02749041	Agrolândia	-27,41	-49,83
02750010	Ponte Alta do Norte	-27,16	-50,47	02650015	Residência Fuck	-26,71	-50,29
02750009	Passo Marombas	-27,33	-50,75	02750021	Cab. Ribeirão Caetano	-27,14	-50,26
02750008	Passo Caru	-27,54	-50,86	02751015	Barracão	-27,68	-51,46

Tabela 3 – Postos pluviométricos empregados na simulação.

4.6 Simulação

O período selecionado para realizar a comparação dos resultados da simulação hidrológica da bacia do rio Canoas utilizando as médias climatológicas ou as séries de dados diários compreende o período de 01/01/1970 a 31/12/2013.

Para ambas as simulações, foi adotado um mesmo conjunto de dados para os parâmetros fixos e calibráveis do modelo, conjunto este coerente com a realizada física da bacia, sem posterior calibração. Desta forma, buscou-se a garantir que as alterações nos resultados fossem unicamente geradas pela diferença nos dados climatológicos, e não influenciadas por uma calibração realizada com um dos conjuntos de dados climatológicos. Os dois conjuntos de dados climatológicos são:

A) Médias sazonais de longo período (01/01/1970 – 31/12/2013) para as cinco variáveis climatológicas;

B) Série diária de dados para as variáveis insolação, vento, umidade relativa do ar e temperatura. Na ocorrência de falhas durante a série, o dado faltante é substituído pela média de longo período associada ao mês onde ocorreu a falha. A taxa de falhas (Dias de falha/Total de dias de simulação) para cada variável em cada posto climatológico pode ser observada na Tabela 1.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados os resultados da simulação hidrológica com o MGB-IPH para evapotranspiração e vazão. Ambas as simulações – com médias sazonais de longo período para os dados climatológicos e utilizando as séries diárias de insolação, vento, umidade relativa do ar e temperatura – empregaram o mesmo conjunto de parâmetros fixos e calibráveis.

5.1 Evapotranspiração

A Figura 3 mostra a evapotranspiração real simulada com as médias climatológicas (A) e com a série histórica de dados diários (B). Como pode ser observado, a utilização do conjunto de dados B (dados diários) resulta em uma evapotranspiração calculada com uma variação mais pronunciada ao longo do

tempo. Para o período completo de simulação (01/01/1970 a 31/12/2013), a diferença absoluta máxima entre a evapotranspiração simulada com o conjunto B e com o conjunto A de dados é de cerca de 5,8 mm/dia. A máxima diferença relativa atingiu 468%, em setembro de 2013. As maiores diferenças relativas foram encontradas em meses de junho, setembro, outubro e, sobretudo, agosto, onde houve uma superestimação da evapotranspiração com o conjunto de dados médios maior que 400%.

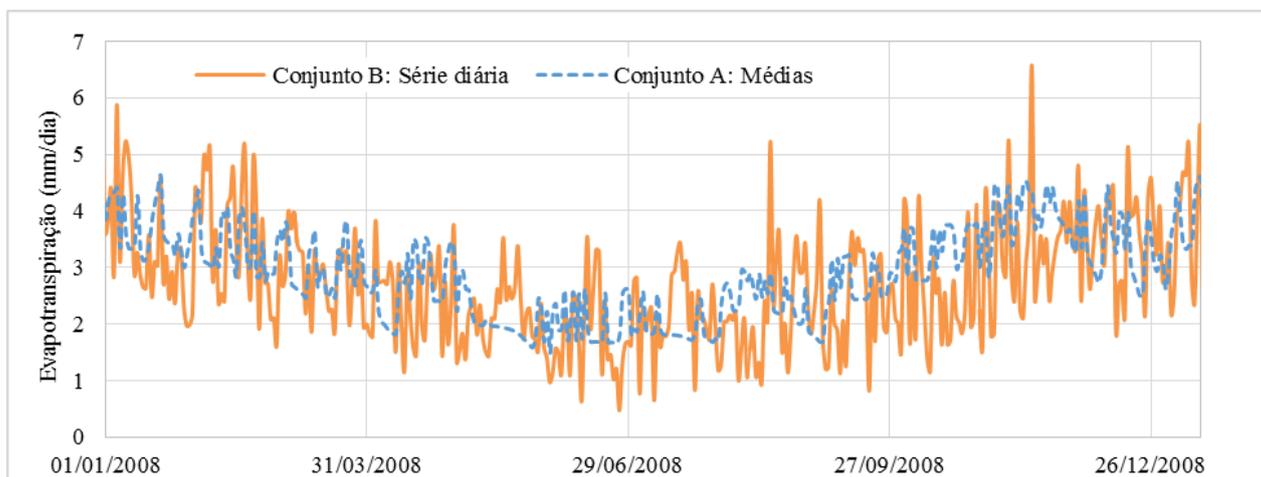


Figura 3 – Evapotranspiração real diária média da bacia do rio Canoas simulada com a série histórica dos dados climatológicos (Conjunto B) e com as médias para o período (Conjunto A).

5.2 Vazão

As Figuras 4 e 5 mostram os hidrogramas observados e simulados, para o ano de 2008, com os conjuntos A e B de dados climatológicos, para dois postos fluviométricos, ambos no rio Canoas. O primeiro ponto, mais a montante na bacia, é referente à estação fluviométrica 71300000 – Rio Bonito. O segundo ponto refere-se à estação 71550000 – Passo Caru (Figura 2). Ressalta-se que o modelo não foi calibrado de forma a buscar representar exatamente as vazões observadas. Os hidrogramas observados são aqui apresentados apenas de forma ilustrativa. A Figura 6 mostra os hidrogramas obtidos para a estação 71550000 para um período de tempo menor, onde pode-se observar com mais detalhe a diferença entre as vazões simuladas com um ou outro conjunto de dados climatológicos. Observa-se que para condições extremas, sobretudo para a representação dos picos de vazão, o uso das médias dos dados climatológicos pode ocasionar diferenças nas vazões calculadas.

Para as vazões médias, o posto 71300000 apresentou 43,0 m³/s quando simulado com as médias climatológicas, e 44,2 m³/s para a simulação com dados diários de clima. Já a estação 71550000 chegou a 200,9 m³/s de vazão média simulada com o conjunto A de dados climáticos (médias), e 210,1 m³/s com o conjunto B (dados diários). Desta forma, para ambos os postos fluviométricos, a diferença relativa foi menor que 5% para a média das vazões simuladas com um ou outro conjunto de dados climatológicos.

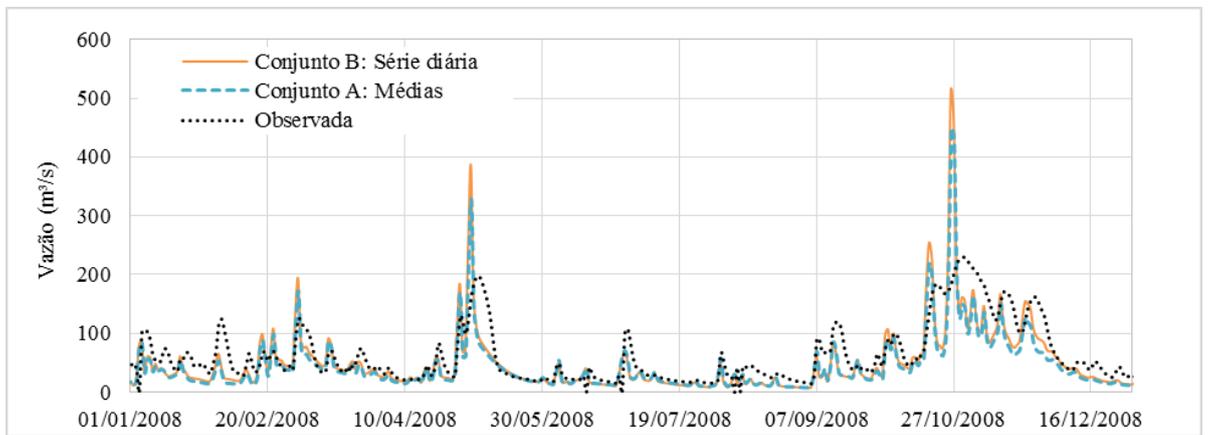


Figura 4 – Detalhe do hidrograma observado, simulado com o conjunto de dados A (média para o período) e B (série diária de dados climatológicos) para a estação fluviométrica 71300000. Período: janeiro a dezembro/2008.

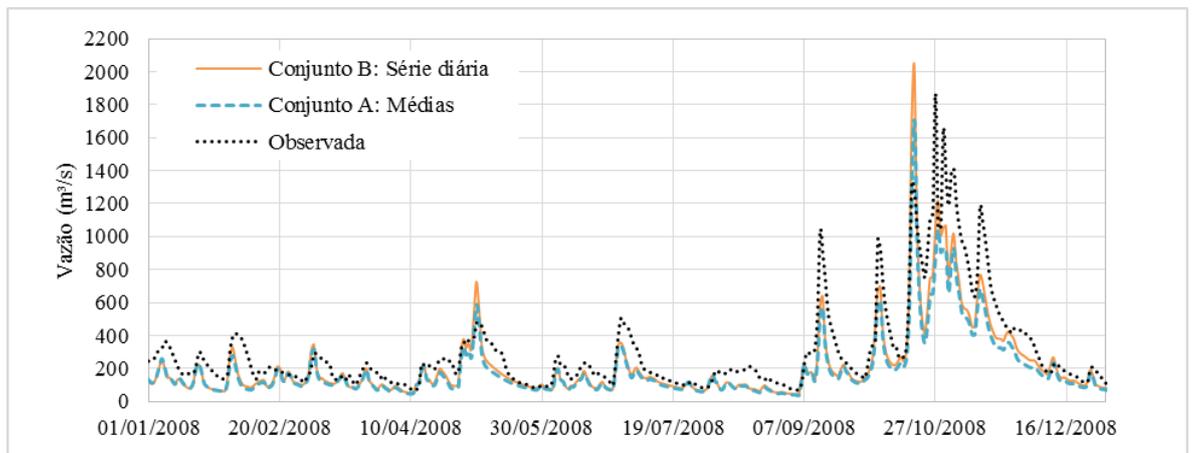


Figura 5 – Detalhe do hidrograma observado, simulado com o conjunto de dados A (média para o período) e B (série diária de dados climatológicos) para a estação fluviométrica 71550000. Período: janeiro a dezembro/2008.

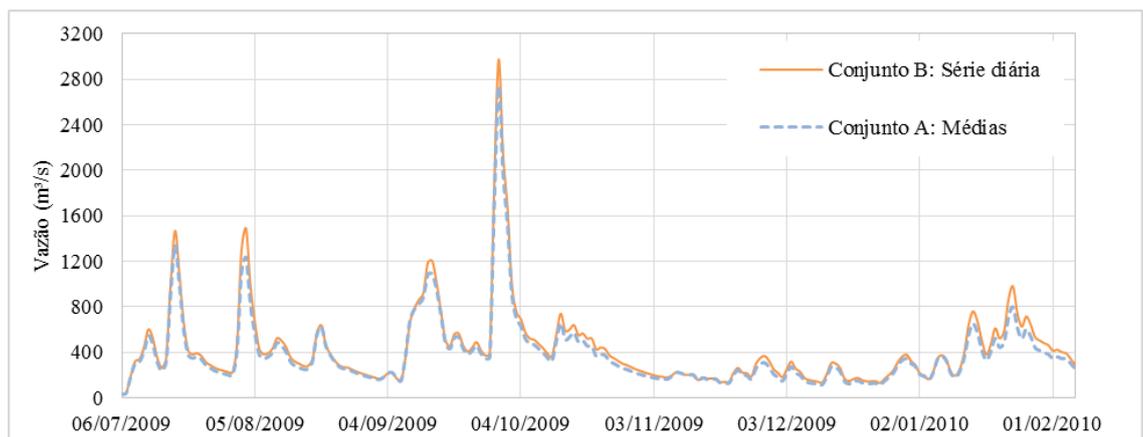


Figura 6 – Detalhe do hidrograma simulado com o conjunto de dados A (média para o período) e B (série diária de dados climatológicos) para a estação fluviométrica 71550000. Período: julho/2009 a fevereiro/2010.

6 | CONCLUSÃO

O uso dos dados diários climatológicos propicia uma melhor representação dos processos hidrológicos na bacia e sua evolução ao longo do tempo. Por exemplo,

um verão extremamente quente e seco não é apropriadamente representado pelas médias históricas associadas aqueles meses. Neste caso, o uso das médias climatológicas atenua a situação, e as vazões simuladas com o conjunto A de dados seriam maiores que com o conjunto B, de dados diários.

Ainda, alguns dias antes de um evento de precipitação extrema as demais variáveis climáticas (sobretudo insolação e umidade) provavelmente já irão apresentar alteração, de forma a diminuir a evapotranspiração e aumentar a umidade do solo. A utilização de dados climáticos diários permite a representação deste processo, ao passo que o uso de dados médios climatológicos omite esta antecipação das variáveis de clima. Desta forma, quando da ocorrência da precipitação extrema, o pico de vazão simulado com dados climatológicos médios é menor que o simulado com dados diários.

Em conformidade com o descrito acima, os resultados encontrados indicam que o uso de dados diários de clima na modelagem hidrológica pode ser importante para a representação de outras variáveis hidrológicas além da vazão. Quando a variável de interesse é a vazão média de um determinado ponto, aparentemente não há ganho de qualidade no resultado da simulação com a utilização de séries históricas diárias de dados climatológicos. Contudo, para a simulação de vazões extremas, máximas e mínimas, o uso dos dados diários de clima propicia uma melhor representação dos processos hidrológicos.

REFERÊNCIAS

- Beskow, S.; Mello, C. R.; Norton, L. D.; Silva, A. M. **Performance of a distributed semi-conceptual hydrological model under tropical watershed conditions**. *Catena*, v. 86, p. 160 – 171, 2011.
- Collischonn, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- Collischonn, W.; Allasia, D. G.; Silva, B. C.; Tucci, C. E. M. **The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling**. *Hydrological Sciences Journal*, v. 52, p. 878-895, 2007.
- Collischonn, W.; Tucci, E. M. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 1, p. 95-118, 2001.
- Fan, F. M.; Collischonn, W. **Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, p. 243-254, 2014.
- Fundação de Meio Ambiente – FATMA. **Plano de manejo do Parque Estadual Rio Canoas - Encarte 2: Análise Regional**. Florianópolis: [s.n], 2007.
- Majumder, M.; Barua, A.; Basu, B. **An Overview of Hydrologic Modeling**. In: Jana, B. K.; Majumder, M. (Eds). **Impacts of Climate Change on Natural Resource Management**. Springer, p. 375 – 392, 2010.
- Pereira, M.; Kayser, R. B.; Collischonn, W. **Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de**

uso da água. REGA, v. 9, n. 2, p. 21-33, jul./dez. 2012.

Santa Catarina (Estado). **Panorama dos Recursos Hídricos em Santa Catarina.** Santa Catarina, 2006. 315p.

Tucci, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

MÉTODOS NUMÉRICOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADOS À DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM DADOS HIDROLÓGICOS

Alana Renata Ribeiro

Programa de Pós Graduação em Métodos
Numéricos em Engenharia, UFPR
Curitiba, Paraná

Mariana Kleina

Departamento de Engenharia de Produção, UFPR
Curitiba, Paraná

RESUMO: Séries de dados hidrológicos confiáveis e consistentes, incluindo cota fluviométrica, vazão e precipitação, são fundamentais para a realização de estudos e operação de empreendimentos dos mais variados tipos, tais como: operações de reservatórios em usinas hidrelétricas; gestão de eventos críticos: cheias e estiagens; projetos de irrigação ou abastecimento público. Com isso, o objetivo deste trabalho é apresentar métodos desenvolvidos para identificar anomalias em séries de dados hidrológicos de cota e precipitação baseados em métodos numéricos (múltiplos *smooth splines*) e redes neurais artificiais (*Self-Organizing Maps*), respectivamente. Operando em tempo quase real, os métodos estimam probabilidades dos dados serem anômalos e para o caso dos dados de cota propõem sugestões de correção das anomalias. São utilizadas séries históricas de dados medidos automaticamente pela Companhia Energética de Minas Gerais

(CEMIG) para a aplicação e avaliação dos resultados, demonstrando bom desempenho na identificação de anomalias, tanto para cota quanto para precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: Consistência de dados, métodos numéricos, probabilidade de anomalia.

ABSTRACT: Reliable and consistent hydrological data, including river stage, river flow and precipitation, are critical for studies and operations of all kinds, like: reservoir operation in hydro power plants, risk management in floods and dry periods, water supply and irrigation. This work has the objective to show the developed methods to identify bad data in hydrological data series of river stage and rainfall. These methods are the multiple smooth splines numerical method and self-organizing maps artificial neural networks. Working in near real time schedule, they estimate the probability of recent data to be an anomaly. For river stage data the procedure compute suggested values for data with high anomaly probability. These methods were applied over historical data measured by automatic gauges from Power Agency of Minas Gerais State (CEMIG). The results showed good performance to identify bad data both in river stage and rainfall data.

KEYWORDS: Data quality assurance, numerical methods, anomaly probability.

1 | INTRODUÇÃO

Proporcionar precisão à decisão e por consequência, eficiência em operações realizadas no planejamento do sistema energético e de diversos outros sistemas é o principal motivo para que se obtenham séries de dados hidrológicos confiáveis (Ribeiro *et al.*, 2014).

Breda (2012) ressalta que, primeiramente, deve-se ter em mente os erros mais típicos das séries de dados para que se elabore um controle de qualidade de modo que os algoritmos futuros consigam remover as falhas com padrões recorrentes, com isso seu trabalho teve como objetivo visualizar grandes conjuntos de dados de chuva (mm) e elencar os diferentes tipos de erros em séries de alta frequência (15 minutos e 1 hora). Em outro trabalho Breda (2013) elencou os tipos de erros encontrados em séries de dados de cota fluviométrica facilitando a construção de um controle de qualidade para este tipo de informação.

Por meio dos resultados obtidos por Breda (2012, 2013); dos estudos realizados por Ribeiro (2014) (no sentido de detectar anomalias em dados de vazão através das redes neurais artificiais de Mapas Auto-Organizáveis (*Self-Organizing Maps* - SOM) (Kohonen, 2011), e redes neurais de Funções de Base Radial (*Radial Basis Functions* - RBF) com o Algoritmo de Ajuste de Decaimento Dinâmico (Oliveira, 2004) e também de métodos de interpolação de funções *smooth splines* (Ruggiero, Lopes, 1996)); dos resultados da aplicação de múltiplos *smooth splines* (à detecção de anomalias em dados de cota fluviométrica obtidos por Ribeiro *et al.* (2014)); neste trabalho objetiva-se apresentar os resultados da aplicação de múltiplos *smooth splines* na identificação e correção de falhas nas séries de dados de cota fluviométrica de alguns postos hidrológicos monitorados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), e da aplicação da rede neural artificial SOM a algumas séries de dados de precipitação de estações pertencentes à CEMIG.

Posteriormente, curvas de característica operacionais relativas (Relative Operating Characteristic - ROC) (Jolliffe e Stephenson, 2003) são utilizadas para análise dos resultados obtidos, estimando probabilidades dos dados de cota e precipitação serem espúrios, com o intuito de se construir um sistema de detecção de anomalias em tempo quase real.

2 | MÚLTIPLOS *SMOOTH SPLINES* E DADOS DE COTA FLUVIOMÉTRICA

O método numérico de interpolação de funções chamado aqui de múltiplos *smooth splines* é descrito detalhadamente por Ribeiro *et al.* (2014) e aplicado, neste trabalho, em séries históricas de dados de cota fluviométrica de 9 estações hidrológicas monitoradas pela CEMIG. O objetivo principal desta aplicação é realizar previsões de elementos de amostras constituídas por dados horários de cota, e comparar os resultados destas previsões aos dados já existentes a fim de apontar

anomalias por meio do cálculo do quadrado da diferença entre o valor previsto e o valor observado, de modo que quanto mais significativa for esta diferença, mais anômalo o dado é considerado.

A função *smooth.spline* do software R (Team, 2012) é utilizada para ajustar as funções *smooth splines* cúbicas aos dados fornecidos através de uma matriz de 13 colunas (visando a predição da sétima coluna) construída com os dados de cota (Equação 1), em que cada uma de suas linhas representa uma amostra a ser estudada, e para cada uma destas amostras faz-se a previsão de seus elementos intermediários considerando-se o comportamento dos 6 elementos passados e dos 6 futuros.

$$A_{spline} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & \dots & c_7 & \dots & c_{12} & c_{13} \\ c_2 & c_3 & \dots & c_8 & \dots & c_{13} & c_{14} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ c_m & c_{m+1} & \dots & c_{m+6} & \dots & c_{m+11} & c_{m+12} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Assim como em Ribeiro *et al.* (2014) aplicam-se três diferentes tipos de *smooth splines*: um *splineCompleto* que considera a amostra inteira, um *splinePré* que interpola apenas os 6 primeiros valores da amostra e prevê o sétimo, e um *splinePós*, que interpola apenas os últimos 6 valores e prevê um valor anterior (o sétimo da amostra). Com isso pode-se realizar uma comparação destas três previsões para que se opte pelo melhor resultado para cada configuração de valores de cota obtido.

A função *smooth.spline* possui um parâmetro de calibração, denominado de parâmetro de suavidade, que pode assumir valores no intervalo (0,1], sua variação determina o quão suave ou ruidoso será o resultado da interpolação. Valores próximos de zero fazem com que a interpolação obedeça ao comportamento dos pontos pertencentes à função, e valores que se aproximem de um suavizam a interpolação.

Este parâmetro deve ser definido previamente, para isso testes empíricos foram realizados adotando uma variação entre os valores de 0,1 a 0,9 com passo de 0,1 em cada um dos postos de monitoramento, e para avaliação dos resultados calculam-se as áreas sob as curvas (AUC) de característica operacionais relativas (ROC), os valores assumidos por AUC pertencem ao intervalo [0,1], e quanto mais próximos de um maior a acurácia do modelo.

Para a construção da curva ROC utilizam-se funções do pacote ROCR do software R (Team, 2012). A lista de postos apresentados na Tabela 1 mostra as estações hidrológicas utilizadas na validação dos testes e os valores das áreas sob a curva ROC de acordo com a variação dos parâmetros de suavização

Tabela 1 – Valores das áreas sob as curvas ROC por parâmetro de suavização

Postos	Parâmetros de suavização								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Fazenda Cambaúba	0,931	0,936	0,934	0,945	0,941	0,945	0,948	0,93	0,933
Fazenda Guariroba	0,979	0,982	0,99	0,996	0,997	0,995	0,995	0,994	0,994
Grão Mogol	0,908	0,912	0,923	0,943	0,942	0,945	0,948	0,937	0,937
Ponte BR-146	0,995	0,996	0,998	0,998	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997
Porto Andorinhas	0,974	0,983	0,989	0,987	0,962	0,925	0,908	0,905	0,904
Porto Indaiá	0,969	0,973	0,973	0,974	0,975	0,971	0,968	0,966	0,966
Porto Mesquita	0,996	0,996	0,996	0,998	0,998	0,996	0,996	0,996	0,996
Porto Pará	0,883	0,884	0,874	0,889	0,888	0,889	0,897	0,872	0,873
Vila Terra Branca J.	0,985	0,987	0,99	0,991	0,99	0,989	0,989	0,989	0,989

Segundo a Tabela 1, apenas para a estação de Porto Pará foram encontrados valores de AUC abaixo, porém muito próximos, de 0,9, portanto, pode-se concluir que a utilização dos múltiplos *smooth splines* para os postos da CEMIG é perfeitamente aplicável no sentido de retornar valores muito consistentes. Um resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 2 e na Figura 1.

Generalizando para outras estações pertencentes ao estado de Minas Gerais, podem-se estimar valores próximos aos da Tabela 2 por meio das similaridades entre os postos hidrológicos, ou ainda, se os postos possuírem séries históricas de dados passados mesmo que não consistidos esses valores podem ser calculados através das funções desenvolvidas.

Tabela 2 - Valor do parâmetro de suavização por posto para probabilidade de o dado ser anômalo

Posto	Faz. Cambaúba	Faz. Guariroba	Grão Mogol	Ponte BR-146	P. Andorinhas	P. Indaiá	P. Mesquita	P. Pará	Vila T.B. J.
Parâmetro de Suavização	0,7	0,5	0,7	0,5	0,3	0,5	0,5	0,7	0,4
AUC	0,948	0,997	0,948	0,999	0,99	0,975	0,99	0,90	0,99

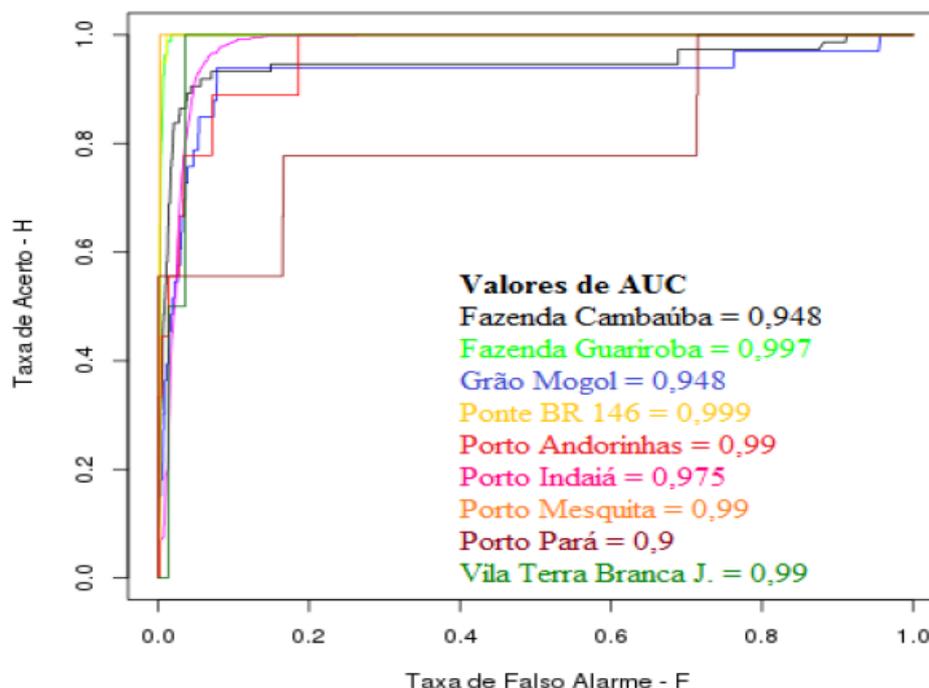


Figura 1: Curvas ROC e valores de AUC para as estações monitoradas pela CEMIG

2.1 Sugestões para preenchimento e correção das anomalias apontadas

Com a aplicação dos múltiplos *smooth splines*, rotinas que envolvem soluções de problemas de otimização dos resultados obtidos foram desenvolvidas a fim de criar sugestões de valores para os dados de cota fluviométrica existentes ou faltantes. Devido à aplicação de três diferentes *splines*, podem-se obter três diferentes sugestões e então opta-se pela melhor delas de acordo com as observações dos dados de cota anteriores e posteriores ao valor analisado.

Testes empíricos também foram realizados a fim de determinar o melhor parâmetro de suavização para os três *splines*, desta vez com o objetivo de sugerir valores mais consistentes aos dados faltantes ou com probabilidade alta de serem anômalos. Para os postos de Porto Andorinhas, Porto Indaiá e Porto Mesquita o melhor valor encontrado para o parâmetro é 0,4, para os demais postos 0,3 é o valor mais apropriado, e novamente para os postos que não são contemplados neste estudo podem ser estimados valores próximos por meio de possíveis similaridades encontradas entre as estações hidrológicas.

3 | REDE NEURAL SOM E DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Esta etapa tem como objetivo utilizar a rede neural de mapas auto-organizáveis (*Self-Organizing Maps – SOM*) (Kohonen, 2001) para identificar falhas em séries de dados pluviométricos, em especial falhas não detectadas por um controle de qualidade básico.

Assim como anteriormente pretende-se estimar a probabilidade de um dado ser considerado anômalo e operar em tempo quase real. Para o treinamento da

rede neural diferentemente da aplicação do *smooth spline* existe a necessidade de consistência dos dados previamente monitorados (fornecidos por meio da aplicação de um controle de qualidade básico). Novamente opta-se pela utilização de uma abordagem bidirecional para a solução do problema de controle de qualidade que detecta as anomalias utilizando três dados anteriores e três posteriores ao dado analisado.

A grande diferença entre a aplicação anterior do método *smooth spline* a dados de cota fluviométrica e a aplicação da rede SOM a dados de precipitação, é que devido à complexidade dos dados de precipitação e das anomalias serem relativamente maiores que dos dados de cota, esta consistência é realizada em grupos de estações próximas e semelhantes entre si. Desta forma, a fim de se avaliar o método são analisadas séries históricas de 11 postos de monitoramento pertencentes ao estado de Minas Gerais, fornecidas pela CEMIG, formando dois grupos de quatro estações e cada, e outro grupo com três estações, denominados GA, GB e GC. Na tabela 4, são apresentados os nomes das estações pertencentes a cada grupo bem como suas coordenadas geográficas de latitude e longitude.

Tabela 4 - Grupos de estações e suas coordenadas

Grupos	Estações	Latitude	Longitude
GA	Nova Ponte	-19.133	-47.694
	Fazenda Guariroba	-19.237	-47.802
	Fazenda Cambaúba	-19.414	-47.043
	Ponte BR146	-19.304	-46.834
GB	Porto das Andorinhas	-19.281	-45.289
	Porto Indaiá	-18.677	-45.631
GB	Porto Mesquita	-19.173	-44.702
	Porto Pará	-19.287	-45.110
GC	Grão Mogol	-16.592	-42.916
	UHE Irapé	-16.741	-42.571
	Vila Terra Branca Jusante	-17.315	-43.213

Os dados de precipitação de cada posto são acumulados em séries horárias a fim de unificar a aplicação e a avaliação do método, pois muitos deles possuem registros em diferentes frequências. Para processamento e análise da metodologia proposta faz-se uso da função *som* do pacote *kohonen* pertencente ao software R (Team, 2012).

Analisando os resultados obtêm-se indicadores de anomalias por meio de normalização através de funções pertencentes ao pacote *multic*, transformam-se os indicadores de anomalias em probabilidades dos dados serem anômalos, ou seja, encontra-se uma medida da tendência do dado ser uma anomalia. Após a obtenção dos indicadores de anomalias constroem-se novamente curvas ROC e calculam-se os valores de AUC.

A figura 2 representa a curva ROC construída a partir dos resultados obtidos com a aplicação da rede SOM aos grupos de estações monitoradas pela CEMIG. Os valores ótimos, iguais a um, das áreas obtidas para os três grupos, GA, GB e GC, passaram por uma análise (tanto através da aplicação do controle de qualidade básico quanto pela análise visual) pela qual se concluiu que pouquíssimos dados na série não consistida são realmente anômalos, fazendo com que a rede facilmente os detectasse e obtivesse uma taxa de erro insignificante, demonstrando que a taxa de acerto alcançada pela rede é muito alta se comparada com a taxa de falso alarme. Assim, pode-se concluir que o SOM pode ser utilizado a fim de detectar anomalias em uma série de dados de precipitação, se for devidamente calibrado.

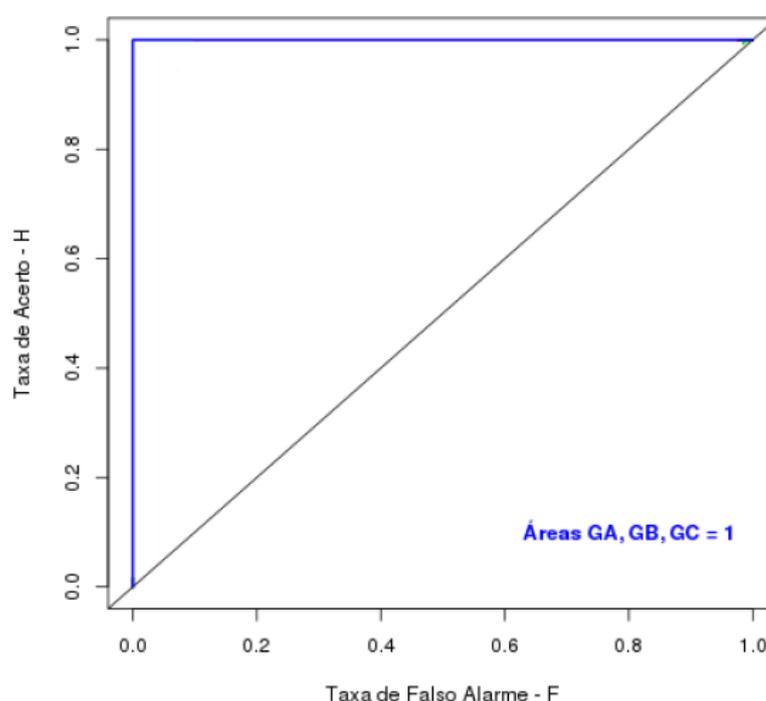


Figura 2 - Curva ROC dos grupos de estações monitoradas pela CEMIG

A tabela 5 exemplifica os resultados obtidos para o grupo GA, formado por quatro estações da CEMIG, em que as colunas p1o, p2o, p3o, p4o, representam os dados de precipitação referentes ao dia 19/11/2013 da 00 hora às 09 horas, nas quais se percebe claramente a presença de duas anomalias nos dados da estação representada por p1o, nas horas 02 e 05. Por sua vez, as colunas P1, P2, P3, P4, representam as respectivas probabilidades aproximadas dos dados de cada uma das estações serem anômalos, obtidas pela aplicação do método proposto, nelas pode-se notar a certeza, por meio das altas probabilidades, de que os referidos dados das horas 02 e 05 da primeira estação são realmente classificados como anômalos pela rede neural SOM, os campos de precipitação nos quais constam os valores NA significam que este dado é faltante, portanto a probabilidade associada a ele também será NA.

Tabela 5 - Resultados: exemplo de probabilidades do grupo GA da CEMIG

Data	Hora	p1o	p2o	p3o	p4o	P1	P2	P3	P4
19/11/13	00	0	0	0	NA	0	0	0	NA
	01	4	0	0	NA	0	0	0	NA
	02	156	0	0	0	0,99	0	0	0
	03	4	0	0	0	0	0	0	0
	04	0	0	0	0	0	0	0	0
	05	156	0	0	NA	0,85	0	0	NA
	06	0	0	0	NA	0	0	0	NA
	07	0	0	0	0	0	0	0	0
	08	0	0	0	0	0	0	0	0
	09	0	0	0	0	0	0	0	0

3.1 Sugestões para preenchimento e correção das anomalias apontadas

Com dados de precipitação, a tarefa de manter séries históricas devidamente consistidas torna-se ainda mais trabalhosa devido à natureza dos dados, as precipitações acumuladas em escalas horárias podem ser consideradas muito heterogêneas, com isso nesta etapa torna-se inviável gerar sugestões de valores para registros faltantes ou reprovados assim como foi relatado para os dados de cota fluviométrica.

4 | CONCLUSÕES

O trabalho de consistência de dados hidrológicos em geral, tem-se tornado cada vez mais árduo devido ao grande crescimento no número de postos de monitoramento ocasionando um acúmulo das informações obtidas. Com isso os principais objetivos deste trabalho são: aplicar métodos de interpolações de funções (múltiplos *smooth splines*) em dados de cota fluviométrica com o intuito de estimar probabilidades relacionadas a dados anômalos, bem como sugerir valores para sua correção, e aplicar uma rede neural artificial (SOM) aos dados de precipitação com o mesmo objetivo de estimar probabilidades, porém devido à sua heterogeneidade sem sugestões de correção.

Por meio de tratamentos estatísticos, envolvendo curvas ROC, avaliações destas aplicações são realizadas no sentido de justificar sua utilização, já que, de maneira geral, todos os resultados obtidos são considerados satisfatórios. Com isso, espera-se utilizar os métodos propostos como parte integrante de um sistema de suporte à decisão na identificação de dados anômalos, compondo o processo de consistência dos dados hidrológicos, tornando-os úteis aos mais diversos sistemas.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) pelos recursos

providos através de projeto de pesquisa e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

BREDA, Â. (2012). **Tipos de inconsistências encontradas em série de chuva registradas por pluviômetros de báscula**. In *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Gramado, Set. 2012.

BREDA, Â. (2013). **Recordar, repetir e elaborar: padrões de inconsistências no monitoramento automático de cota fluviométrica**. In *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves, Nov. 2013.

JOLLIFFE I., STEPHENSON D. (2003). **Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science**. Wiley, England.

KOHONEN, T. (2001). **Self-Organizing Maps**. Springer, Berlin.

OLIVEIRA, A. L. I. (2004). **Neural networks forecasting and classification based techniques for novelty detection in time series**. Tese de Doutorado. UFPE, Recife, Dez. 2004.

RIBEIRO, A. R. (2014). **Métodos numéricos aplicados à detecção de anomalias em dados de vazão**. Dissertação de Mestrado. UFPR, PPGMNE, Curitiba, Fev. 2014.

RIBEIRO, A. R.; LEITE, E. A.; GOBBI, M. F.; COSTA, D. M. B. (2014). **Smooth splines aplicados à detecção de anomalias em dados de cota fluviométrica**. In *Anais do IV Simpósio de Métodos Numéricos Computacionais*, Curitiba, Nov. 2014.

RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L. da R. (1996). **Cálculo Numérico: Aspectos Teóricos e Computacionais**. Pearson, São Paulo.

TEAM R.C. (2012). **R: A language and environment for statistical computing**. In <http://www.R-project.org/>.

CONCEPÇÃO SISTÊMICA PARA SOLUÇÕES DE CONTROLE DE CHEIAS URBANAS EM VILA VELHA, ES

Paulo Canedo de Magalhães

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Matheus Martins de Sousa

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Oswaldo Moura Rezende

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Victor Augusto Almeida Fernandes de Souza

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Marcelo Gomes Miguez

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento
Cidade – Estado

RESUMO: O município de Vila Velha, localizado na região metropolitana de Vitória, estado do Espírito Santo, Brasil, apresenta uma situação crônica de inundações urbanas, intensificada pela sua localização em uma região urbana com cotas muito baixas e próximas ao nível do mar, onde a drenagem ocorre por uma rede de

canais com capacidade de descarga limitada pelas variações de maré. Nesse contexto, foi realizado um extenso estudo da região, com uso de ferramenta de modelagem matemática para simulação do funcionamento do sistema e diagnóstico da situação atual, que mostra como a ocupação urbana não adequadamente planejada criou situações de risco para a cidade. O objetivo consequente buscou propor soluções distribuídas, concebidas de maneira sistêmica, baseadas na concepção de armazenagem das águas pluviais, propondo um novo zoneamento da cidade, preservando áreas estratégicas para o amortecimento das cheias. Portanto, este capítulo apresenta uma análise da situação atual do sistema de macrodrenagem de Vila Velha, a solução sistêmica adotada com a integração dos canais a duas áreas inundáveis e demonstra a sua capacidade de absorver os efeitos das cheias sobre o sistema, de maneira mais eficiente que uma solução de concepção clássica baseada no aumento da capacidade de condução dos canais.

PALAVRAS-CHAVE: controle de inundações, modelo de células, MODCEL.

ABSTRACT: The municipality of Vila Velha, located in the the Vitória metropolitan region, at Espírito Santo state, suffers from intense and frequent urban flooding. This situation is aggravated by the fact that this region developed

into an urban area almost at the sea level, where the drainage occurs through a water channels network limited by tides movement. In this context, a complete study of the region has been done using mathematical modeling tools in order to simulate the current situation, showing how an inadequate urban planning put the city in risky conditions. The objective of this research was to propose distributed solutions conceived on a systematic way, based on the rainwater storage concept. The research also proposed a new urban zoning that preserves strategic areas to dampen flood peaks. Therefore, this chapter presents: an analysis of the current Vila Velha drainage system situation; the systemic solution adopted, functionally integrating the water channels two new controlled flooding areas, demonstrating the efficiency of this approach to mitigate the floods when compared to the classic drainage concept, based only in end-of-pipe measures.

KEYWORDS: flood control, cell modelling, MODCEL.

1 | INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a vida e desempenha um papel central na história da cidade. As inundações urbanas, no entanto, são capazes de causar perdas severas, degradar os ambientes natural e construído e aparecem como um dos mais importantes desastres “naturais”, totalizando 43% de todos os desastres registrados no mundo, entre 1995 e 2015, tendo afetado 56% de todas as pessoas atingidas nesse período (UNISDR, 2015). Note-se que a utilização do termo desastres “naturais” segue uma tendência de nomenclatura histórica, que corresponde a forma como esse desastre aparece nas bases de dados internacionais. É importante destacar, porém, que as inundações são fenômenos naturais, mas que são modificados e intensificados pelas ações antrópicas. A transformação de chuva em vazão, que determina a consequente inundação, depende da bacia que recebe a chuva. Quanto mais urbanizada a bacia, em geral, devido às importantes mudanças de uso do solo inerentes ao processo de urbanização, com a substituição de vegetação por área construída, maiores são as vazões geradas. Por esse motivo, as inundações podem, de fato, ser classificadas como desastres sócio-naturais.

Segundo a Base de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT), as catástrofes hidrológicas estão entre os acidentes naturais mais prejudiciais e foram as que mais contribuíram para a ocorrência de desastres naturais em 2015 (GUHA-SAPIR *et al.*, 2016), totalizando 156 inundações e 19 movimentos de massa de origem hidrológica. Uma catástrofe é registrada na EM-DAT se, pelo menos, um dos seguintes critérios for cumprido: 10 ou mais pessoas declaradas mortas; 100 ou mais pessoas relatadas como afetados; estado de emergência declarado; assistência internacional chamada (*ibid.*). Estatísticas da indústria de seguros também mostram regularmente que as inundações estão entre os mais prejudiciais desastres naturais (MONTGOMERY e KUNREUTHER, 2017). A publicação do Banco Mundial intitulada “Cidades e

Inundações: Um Guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI” (JHA *et al.*, 2012), destaca que o número de grandes eventos de inundações tende a aumentar ao longo do tempo e, considerando apenas o ano de 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas pelas inundações.

A ocorrência de inundações afeta sensivelmente as cidades e seus sistemas, induzindo uma tendência atual de integração do gerenciamento do risco de inundações com o processo de planejamento urbano. De fato, as inundações fazem parte do ciclo natural da água num processo sazonal que desempenha um papel ambiental importante. No entanto, as ações feitas pelo homem são capazes de agravar este processo, aumentando picos de inundação, volumes e velocidades de escoamento. Além disso, o processo de urbanização expôs mais bens e pessoas à ocorrência de inundações, especialmente devido ao planejamento urbano inadequado e à ocupação descontrolada do território, sem a devida atenção para os limites impostos pela própria natureza, que precisa também de espaço para desenvolver seus processos, como no caso das inundações. Neste contexto, as inundações podem perturbar os sistemas urbanos, afetando habitação, saneamento, mobilidade, saúde pública e atividades econômicas. Por outro lado, a própria urbanização pode, como já discutido, agravar as inundações que, conseqüentemente, degradam o ambiente da cidade, que havia sido responsável pelo próprio incremento destas inundações. Forma-se um ciclo de degradação que precisa ser quebrado.

As inundações em ambientes urbanos estão geralmente associadas a uma configuração complexa. Os ambientes urbanos podem ser responsáveis por uma infinidade de possibilidades de escoamentos quando os sistemas de drenagem falham. É bastante comum que a água que extravasa do sistema de drenagem possa causar inundações em vastas áreas, neste caso, estruturas urbanas podem interagir com as estruturas hidráulicas, compondo uma rede de escoamentos não planejada sobre as superfícies urbanas, principalmente através de ruas, as quais passam a funcionar como canais (MIGUEZ *et al.*, 2015). Ao mesmo tempo, vários reservatórios indesejados são criados no sistema, com parques, praças públicas e edifícios temporariamente alagados de uma forma indesejável, uma vez que não foram concebidos para esta função.

Essa complexidade demanda o apoio de modelos matemáticos para uma melhor compreensão do comportamento sistêmico que integra a rede de drenagem e a paisagem urbana, bem como para posterior proposição de medidas de controle, cujo efeito também sistêmico precisa ser avaliado.

Outro aspecto em relação às discussões sobre o manejo das águas pluviais é o paradigma de mudança associado com o dimensionamento de alternativas de controle de inundação. Burian e Edwards (2002) revisaram a evolução dos sistemas de drenagem de 3000 AC até o presente. Neste trabalho, os autores apontam duas teorias interessantes: os sistemas de drenagem urbana muitas vezes evoluíram através de modificações de tentativa e erro, após a construção inicial dos sistemas;

e as mudanças na perspectiva da drenagem urbana em uma cidade foram causadas mais frequentemente por surtos de doenças, descobertas científicas, ou avanços técnicos em planejamento, projeto e construção.

A abordagem tradicional utilizada no projeto de drenagem busca o aumento da capacidade hidráulica do sistema, o que frequentemente recai sobre o uso de obras de canalização e retificação dos cursos de água (focando na adaptação da rede de drenagem às novas descargas geradas pelo processo de urbanização). Esta abordagem ganhou força durante o desenvolvimento da cidade industrial, quando os sistemas de drenagem foram concebidos para enfrentar problemas de saneamento, transportando conjuntamente águas pluviais e águas residuais. O crescimento urbano da cidade industrial ocorreu com poucos controles (BENEVOLO, 2006), levando a várias deficiências na infraestrutura urbana. Embora o conceito higienista relacionado com o projeto tradicional de drenagem urbana fosse importante para enfrentar problemas de saúde pública, naquela época, esta abordagem mostrou-se insustentável. A própria urbanização limita os alargamentos da canalização fluvial, por exemplo. Além disso, uma vez que o crescimento da cidade aumenta a geração de escoamento superficial, esta aproximação tende a transferir problemas à região mais a jusante da bacia hidrográfica.

Andoh (2002) revisou as práticas de drenagem urbana e de esgoto, afirmando a necessidade de uma mudança de um quadro reativo da abordagem tradicional, que trabalhava nas consequências das vazões crescentes, para uma abordagem preventiva, centrada em princípios sustentáveis. Para tanto, este autor discute a adoção de medidas distribuídas sobre a bacia, para atenuar e/ou armazenar e gerenciar as águas pluviais urbanas, lidando com o problema em seus estágios iniciais.

Nesse contexto, nas últimas décadas, foram desenvolvidas diversas abordagens, a fim de melhor ajustar os padrões de escoamento superficial no espaço e no tempo. Entre essas abordagens, é possível mencionar (não sendo exaustivo): desenvolvimento de baixo impacto (US EPA, 2000; AHIABLAME *et al.*, 2012); sistemas de drenagem urbana sustentáveis (WOODS-BALLARD *et al.*, 2007, CHOCAT *et al.*, 2007, BARBOSA *et al.*, 2012, MIGUEZ *et al.*, 2012); e cidades sensíveis à água (ARGUE, J.R., 2004, WONG e BROWN, 2008; JOHNSTONE, 2011); entre outros, com objetivos semelhantes.

Assim, as novas tendências da drenagem urbana apontam para medidas distribuídas na bacia hidrográfica (não apenas na rede de drenagem) com o objetivo de gerenciar a geração de fluxo e minimizar os impactos da urbanização sobre os padrões de escoamento natural.

As cidades costeiras enfrentam um problema adicional: apresentam uma alta vulnerabilidade a possíveis consequências de mudanças climáticas, especialmente quando se trata de risco de inundação. Mudanças nos padrões hidrológicos, com aumento de 20% no volume das chuvas, juntamente com uma elevação média do

mar entre 18 cm e 59 cm até o final do século XXI, segundo o IPCC (2007), agravam problemas e dificuldades dessas cidades no manejo de águas pluviais. Essa situação é ainda mais ameaçadora em países periféricos, que sofreram o processo de industrialização tardio e acelerado, mudando sensivelmente o uso do solo nos centros urbanos como consequência de um êxodo rural também acelerado. O aumento vertiginoso na população das cidades ocorreu sem investimentos adequados em infraestrutura urbana devido à falta ou à ineficiência do planejamento urbano. Essa situação trouxe diversos impactos negativos para a qualidade de vida, entre eles, um crescente risco de inundação. Os maiores riscos ocorrem, principalmente, devido a mudanças no uso do solo, com a disseminação de áreas impermeáveis, o que aumenta o volume e a velocidade do escoamento de águas pluviais no sistema de drenagem, bem como o aumento do número de pessoas e bens materiais expostos a inundações.

O desenvolvimento urbano nas cidades costeiras brasileiras, em geral, não ocorreu de forma comprometida com o manejo sustentável de águas pluviais. O projeto dos sistemas de drenagem urbana nestas cidades tem sido historicamente tratado através da concepção clássica de canalização, visando a melhoria da capacidade hidráulica do sistema. A cidade de Vila Velha, localizada na região metropolitana de Vitória, no estado do Espírito Santo, não escapou a esse padrão de desenvolvimento e apresenta uma situação crítica de inundação urbana. Não é possível aumentar a capacidade do sistema de forma livre, uma vez que o mar atua na restrição desta capacidade, limitando as saídas finais de drenagem.

O município abrange uma área de 210 km², dos quais 55 km² estão situados em perímetro urbano, que concentra a maior parte dos seus quase 500 mil habitantes, a segunda maior população do estado.

A cidade, assentada em uma região de planície costeira, tem uma área muito densamente ocupada, limitada pelo oceano, a leste, pelo estuário do rio Santa Maria, ao norte, pelo Rio Jucu, ao sul e por uma região montanhosa a oeste. Uma parte das terras urbanas possui altitude muito baixa, em alguns pontos até abaixo do nível médio do mar, e é drenada por uma rede razoavelmente integrada de canais, que pode ser subdividida em quatro sub-bacias principais: bacia do Canal Guaranhuns; bacia do Canal de Ariribi; bacia do Canal da Costa; e bacia do Canal Marinho. Essa região e os principais canais podem ser vistos na Figura 1.

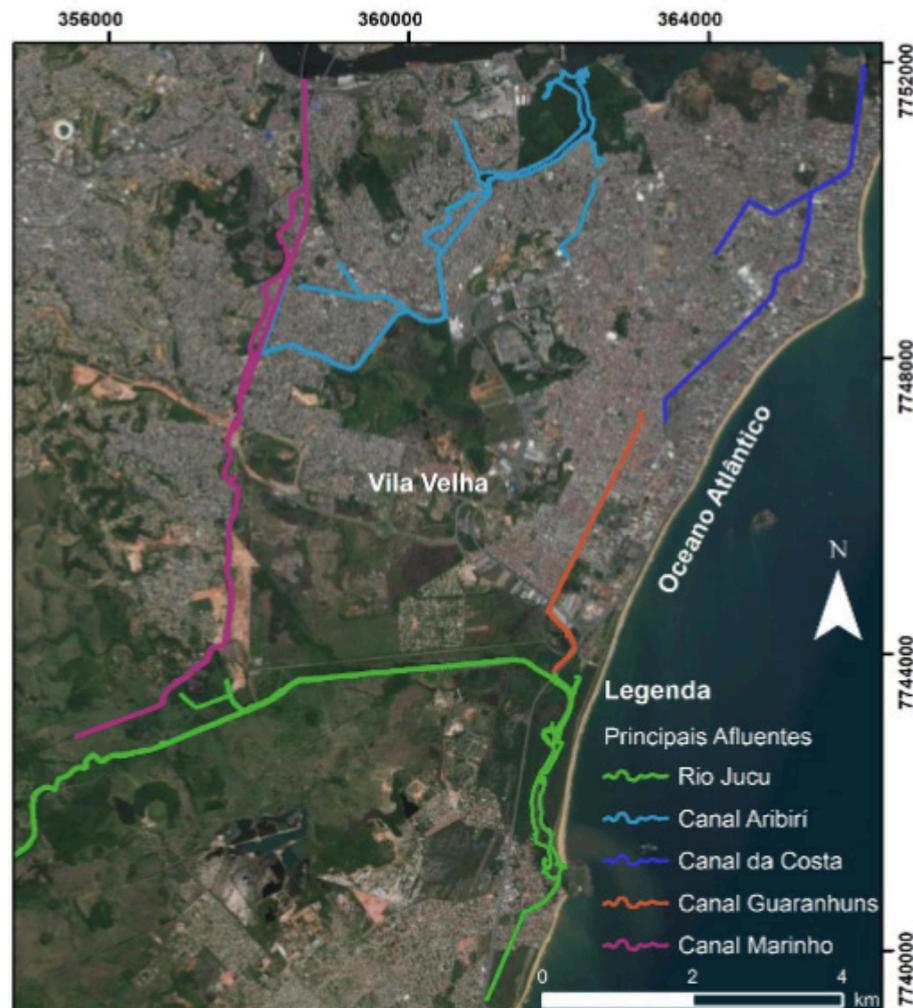


Figura 1. Imagem de satélite que mostra em destaque os principais canais do município.

Em 2013, um intenso evento de tempestade na cidade inundou grande parte da região ocupada por várias semanas, mostrando uma falha evidente das soluções convencionais de drenagem adotadas para proteger as áreas urbanas das inundações. Neste sentido, realizou-se um estudo de eventos de enchente, utilizando uma ferramenta de modelagem matemática para simular o funcionamento do sistema e diagnosticar a situação atual. O objetivo principal foi propor soluções distribuídas projetadas de forma sistêmica, baseadas no conceito de armazenamento de águas pluviais, evitando depender substancialmente da descarga (quase sempre limitada) no mar. Primeiramente, foi feito o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação e, considerando este mapa, foi proposto um novo zoneamento urbano, preservando áreas estratégicas para o armazenamento das cheias.

Na sequência do zoneamento, as medidas propostas, propriamente ditas, visam aproveitar a operação integrada dos canais que drenam a cidade, maximizando essa integração quando necessário e otimizando a operação de duas áreas selecionadas para o armazenamento de águas excedentes. A capacidade de armazenamento introduzida no sistema é muito importante para gerenciar o período de cheia do Rio Jucu, que limita a drenagem da região urbana quando eleva seus níveis d'água,

e/ou marés altas. Portanto, a saída direta dos canais para o Rio Jucu deve ser controlada por comportas unidirecionais (tipo *flap-gate*) e o Canal da Costa deve ser integrado ao Canal Garunhus, por meio de uma estação de bombeamento, para aliviar excedentes deste canal. A conexão entre os canais de Marino e Aribiri precisa ser otimizada e os sistemas Marinho / Aribiri e Canal da Costa / Garunhus devem operar juntos através da criação de um parque inundável. Além disso, o Canal Aribiri, que drena uma das áreas mais baixas da cidade, precisa de um segundo parque inundável, para reduzir os níveis locais de inundação.

A premissa norteadora do projeto visa mitigar os efeitos combinados de uma intensa tempestade local com uma grande duração de inundação na bacia do Rio Jucu e uma situação de maré alta, situação semelhante ao evento que resultou no desastre de janeiro de 2013. Ao adotar essa situação crítica como referência, a solução proposta é capaz de lidar com os principais efeitos danosos à macrodrenagem observados na ocasião.

2 | METODOLOGIA

Para a simulação do sistema com as soluções distribuídas de controle de cheias de Vila Velha, foi utilizado como ferramenta de modelagem o Modelo de Células de Escoamento para bacias urbanas – MODCEL (MIGUEZ, 2001), com apoio de um modelo hidrológico capaz de gerar vazões a partir de chuvas de projeto, o sistema HIDROFLU, desenvolvido por Magalhães (2005). O MODCEL é basicamente um modelo *quasi-2D* (CUNGE *et al.*, 1980) que representa o espaço urbano através de compartimentos homogêneos, denominados por células e interligados por meio de equações hidráulicas, compondo uma rede hidrodinâmica de escoamentos. O conceito de células de inundação foi inicialmente desenvolvido por Zanobetti e Lorgeré (1968) e consagrado por Cunge *et al.* (1980). Uma célula ou um grupo de células pode representar as características topográficas e urbanas de uma região, permitindo a simulação do escoamento de águas pluviais, tanto no leito dos rios quanto em suas planícies marginais, sejam elas urbanizadas ou não.

A primeira versão de um modelo celular desenvolvido no Brasil foi construída para representar o pantanal matogrossense, um grande pântano na região centro-oeste do Brasil (MASCARENHAS e MIGUEZ, 1993). Posteriormente, este modelo foi adaptado a um ambiente urbano, ganhando uma série de novas instalações, sendo apresentado em uma versão inicial por Mascarenhas e Miguez (2002), que está em contínuo aperfeiçoamento, se apresentando como uma alternativa consistente para simular eventos hidrológicos em áreas urbanas complexas. Algumas aplicações anteriores deste modelo podem ser encontradas na literatura (ver, por exemplo, MIGUEZ *et al.*, 2014; BARBEDO *et al.*, 2015, MIGUEZ *et al.*, 2015, NARDINI e MIGUEZ, 2016). Uma descrição mais atual do MODCEL pode ser encontrada em

Miguez et al. (2017).

O seguinte processo metodológico foi adotado:

1. Levantamento de dados em campo;
2. Definição do Modelo de Células de Escoamento como ferramenta de simulação;
3. Simulação do projeto considerando a situação atual e calibração com base nas manchas de inundação da cheia de 2013.
4. Simulação dos cenários de drenagem clássica e do sistema proposto, funcionando integrado e com reservatórios temporários de retenção dos escoamentos;
5. Otimização de projeto.

3 | MODELAGEM HIDROLOGICA

Os cálculos das chuvas de projeto consideraram os estudos hidrológicos elaborados para o Plano Diretor de Drenagem Urbana Sustentável de Vila Velha, desenvolvido pela Fundação Vale. Para obtenção das relações IDF, foi utilizada a equação de Vila Velha, dada por:

$$I = \frac{973,47 \cdot TR^{0,19}}{(t + 20)^{0,77}}$$

Onde:

I – intensidade da chuva em mm/h

TR – tempo de recorrência em anos

t – duração da chuva em min

As premissas para o cálculo das vazões de projeto foram:

- Tempo de recorrência de 25 anos para a chuva precipitada sobre a área das bacias urbanas;
- Duração da chuva de projeto aproximadamente igual a 3,50 horas, equivalente ao maior tempo de concentração encontrado, no caso, para a Bacia do Rio Aribiri, que possui tempo de concentração igual a 3,39 horas;
- A distribuição temporal das precipitações foi realizada através do Método dos Blocos Alternados, que propõe a distribuição de totais de chuvas em intervalos de tempo contidos na duração total. No caso, a chuva total foi discretizada em intervalos regulares de 10 minutos, para duração total de 3,50 horas. Essa configuração tem por objetivo avaliar diversas intensidades em um mesmo evento, simulando eventos com duração equivalente a tempos de concentração inferiores e, assim, testando sub-bacias de drenagem sob um maior estresse de funcionamento. A Figura 2 apresenta a chuva de projeto calculada.

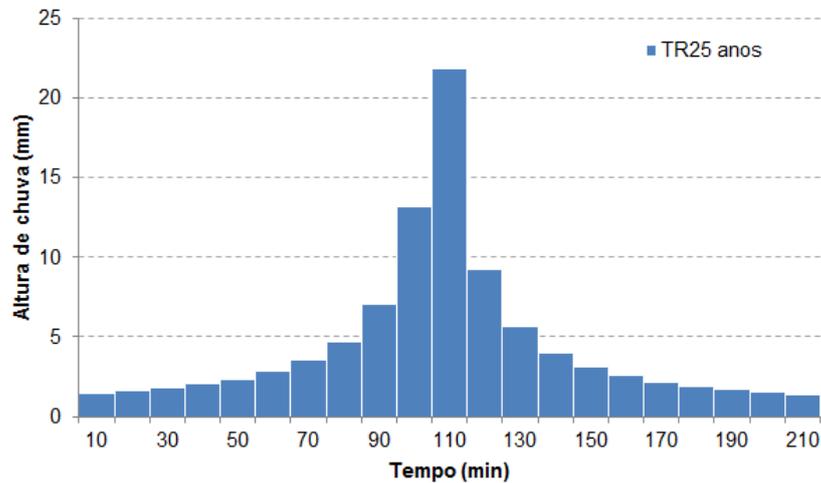


Figura 2. Chuva de projeto com TR25 anos e 3,50 horas de duração

4 | MODELAGEM MATEMÁTICA

A região das bacias urbanas foi dividida em 340 células, ligadas conforme as características topográficas analisadas nas cartas topográficas, apresentada na Figura 4, com destaque para ligações do tipo escoamento em canal, escoamento superficial, escoamento em galerias, escoamento sobre vertedouros, escoamento através de comportas flap e bombeamento.



Figura 3. Esquema de divisão de células.

5 | ESTUDO DE SOLUÇÕES

A solução proposta visa aproveitar o funcionamento integrado dos canais que drenam a cidade, maximizando essa integração quando necessário, cortando a comunicação do sistema com o rio Jucu, de grande porte, quando comparado com os rios e canais urbanos, e que tem potencial para alagar a cidade com suas cheias, e otimizando o funcionamento de duas áreas alagáveis selecionadas para o armazenamento temporário das águas precipitadas na cidade, durante períodos de cheias no rio Jucu e/ou de maré alta. Para isso, a saída direta dos canais para o rio Jucu é interrompida por comportas de sentido único (tipo FLAP), o canal da Costa é integrado ao canal Garanhus, por meio de uma estação de bombeamento, a ligação entre os canais Marinho e Aribiri é otimizada e os sistemas Marinho/Aribiri e Canal da Costa/Garanhus passam a funcionar juntos pela área do Parque Inundável 1. Além disso, o canal Aribiri, que drena uma das regiões mais baixas da cidade,

passa a contar com o Parque Inundável 2, para reduzir seus níveis de cheia locais. A localização dos parques inundáveis pode ser observada na Figura 4.



Figura 4 – Mapa das Intervenções na bacia urbana de Vila Velha.

Com isso, foram elaborados três cenários, utilizados para apoio no processo de tomada de decisões, para definição do projeto de mitigação de inundações mais apropriado para o caso de estudo. Os cenários de simulação são:

Cenário 0: Situação atual do sistema de drenagem de Vila Velha.

Cenário 1: Projeto de canalização convencional voltada à implantação de canais em solo e com o uso de bombeamento. As principais intervenções adotadas nesse cenário são:

- O canal marinho será interrompido junto a foz do rio Formate, que passa a estar ligado ao rio Jucu e separado dos demais rios urbanos.
- O canal Aribiri está parcialmente ligado ao canal Marinho por uma comporta já existente.
- O Canal Marinho será dragado, desde seu novo início, próximo à foz do rio Formate, até a foz no estuário do rio Santa Maria. Os canais da Costa, Guaranhus e Aribiri serão dragados em toda a sua extensão com as seções máximas compatíveis com a urbanização.
- O Canal da Costa terá uma estação de bombeamento de $2\text{m}^3/\text{s}$, junto à av. Champagnat, para o mar.
- O Canal Guaranhus terá uma estação de bombeamento de $2\text{m}^3/\text{s}$, junto à rua Itapetinga, para o mar.
- O Canal Guaranhus terá sua foz isolada da cheia do rio Jucu por meio de um conjunto de 3 comportas *flap*.

Cenário 2: Projeto sistêmico das bacias urbanas de Vila Velha, onde os cinco principais canais funcionam de forma integrada e com áreas de amortecimento temporárias. Serão acrescentados ao cenário 1 as seguintes medidas:

- Dragagem de um canal de drenagem ligando o canal Marinho à foz do canal Guaranhuns. Esse canal permite que as vazões excedentes de ambos os canais possam acessar a região de baixa cota absoluta que será considerada como Parque Inundável 1.
- A ligação entre o canal marinho e Aribiri será restaurada permitindo o escoamento livre entre os canais.
- A margem esquerda do canal Aribiri será rebaixada no trecho junto à rua Grande Vitoria, permitindo a vazão excedente do canal acessar a região de baixa cota absoluta que será considerada como Parque Inundável 2.
- O Canal da costa será integrado ao Canal Guaranhuns por meio de uma estação de bombeamento de $2\text{m}^3/\text{s}$, ao longo da rua 34.

6 | RESULTADOS

Após simulações dos cenários, foram avaliados os níveis d'água ao longo dos canais do sistema. As envoltórias de níveis d'água máximos foram obtidas para os três cenários. Os canais Garunhus e Marinho são apresentados na Figura 5 e os canais da Costa e Aribiri, na Figura 6.

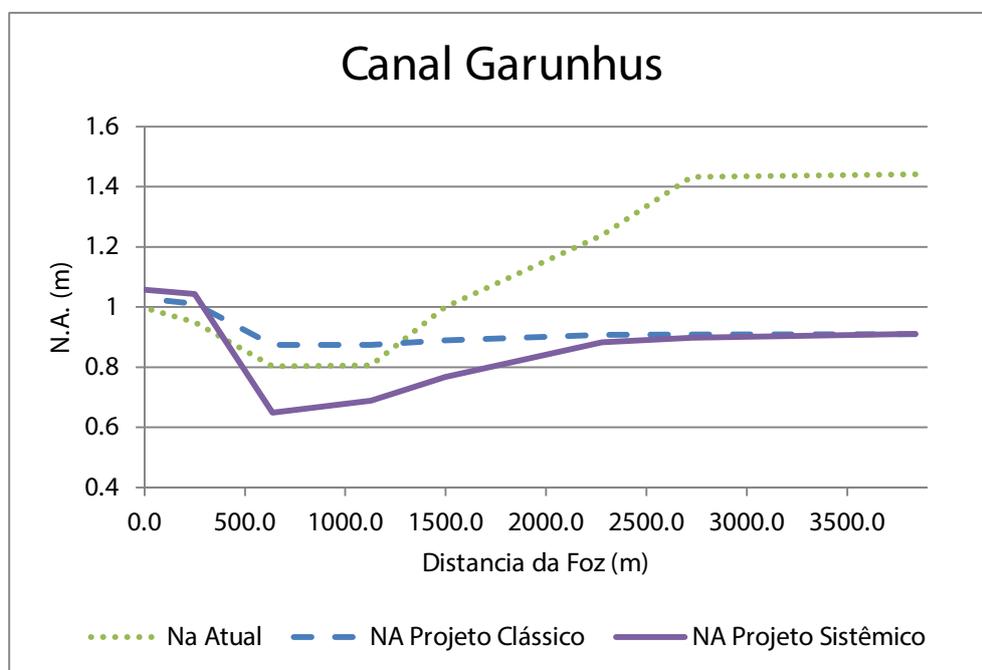


Figura 5 – Comparação entre os três cenários no Canal Garunhus.

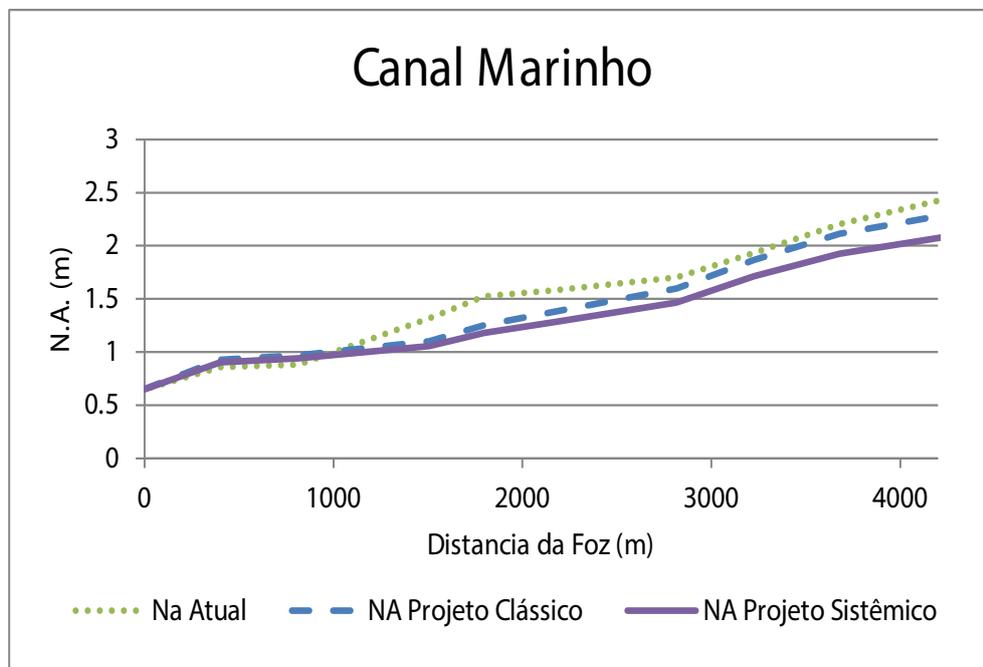


Figura 6 – Comparação entre os três cenários no Canal Marinho.

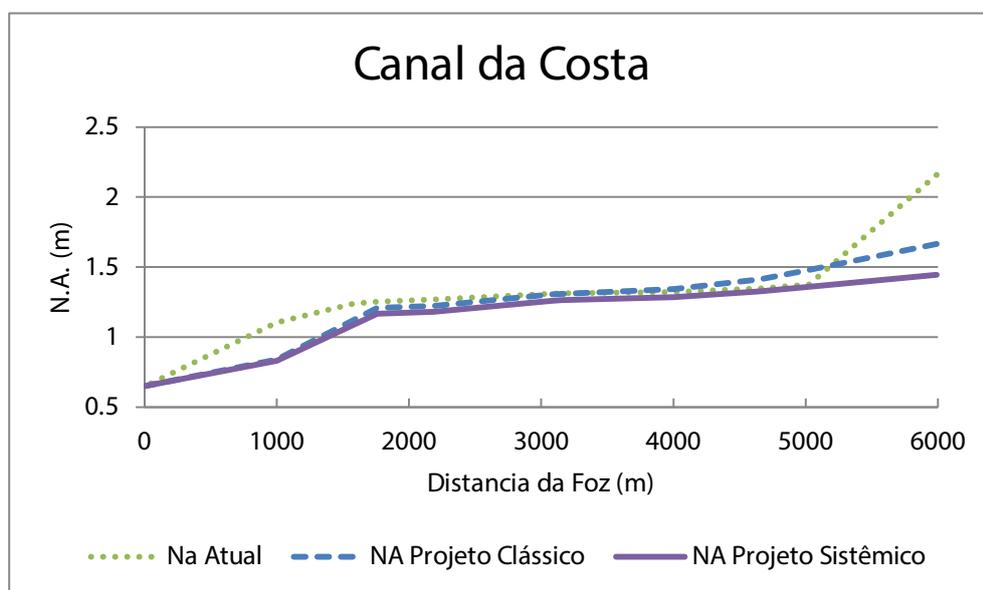
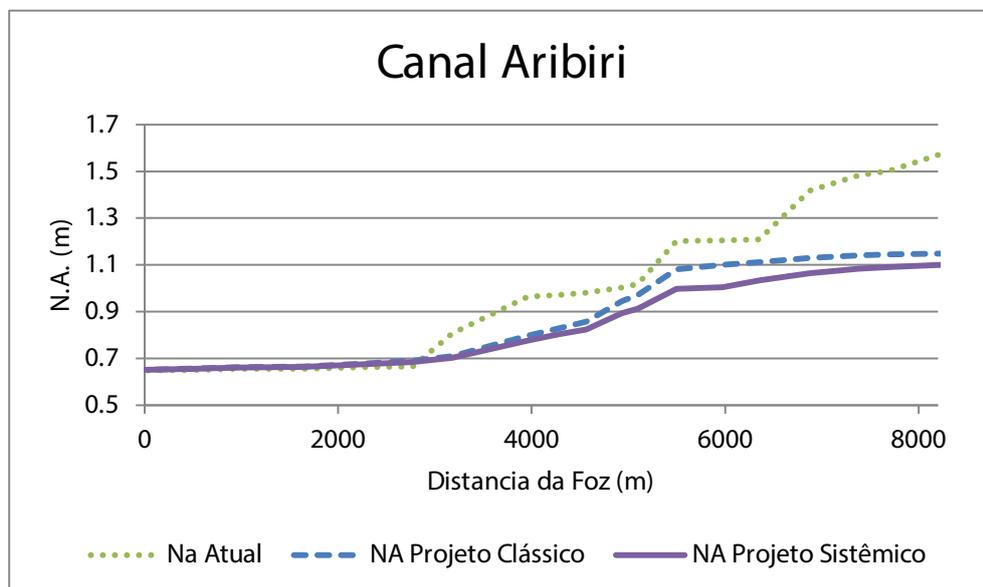


Figura 7 – Comparação entre os três cenários no Canal da Costa.



7 | CONCLUSÃO

Levando-se em consideração os resultados apresentados neste estudo, concluímos que, para a complexa bacia urbana hidrográfica do município de Vila Velha, a solução clássica de projetos de drenagem, simulada no Cenário 1, não se mostra tão eficiente quanto a solução apresentada no projeto com armazenagem. O Cenário 2 ainda se mostra mais viável, uma vez que, integrando o sistema, permite a implantação de seções mais econômicas. Com o uso da ferramenta de modelagem, foi possível otimizar os reservatórios do projeto sistêmico e verificar que a melhoria não ocorre somente nas planícies de inundação dos canais, mas também na grande maioria do território da cidade, onde são verificados alguns alagamentos pontuais que sinalizam falta ou falha de microdrenagem. Apesar disso, o projeto sistêmico se mostrou eficiente para uma chuva de tempo de recorrência de 25 anos.

O processo de avaliação das cheias na região de Vitória mostra a importância do uso de ferramentas com capacidade de representação de toda a bacia funcionamento como um sistema integrado. Regiões de baixa declividade, com grande influência de níveis d'água de jusante e complexa rede de drenagem não podem ser representadas parcialmente, inviabilizando a abordagem clássica de avaliação de redes de macrodrenagem, a qual trata isoladamente cada bacia.

Destaca-se ainda que a cidade de Vila Velha é representativa de outras tantas cidades costeiras, cujos sistemas de drenagem sofrem influência do mar, limitando, em maior ou menor escala, suas descargas. Portanto, a concepção de projeto aqui proposta contém contribuições e conceitos que podem ser úteis em situações semelhantes, em outras aplicações.

REFERÊNCIAS

AHIABLAME, L. M.; ENGEL, B. A.; CHAUBEY, I. Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research. *Water, Air e Soil Pollution*, 2012, Vol. 223, n.7. Netherlands.

ANDOH, R.Y.G. Urban Drainage and Wastewater Treatment for the 21st Century. In: 9th International Conference on Urban Drainage - ICUD, 8-13 September, Portland, OR/USA International Water Association (IWA), 2002.

ARGUE, J.R. **WSUD: Basic Procedures for 'Source Control' of Stormwater – a Handbook for Australian practice**. Adelaide: Urban Water Resources Centre, University of South Australia, 2004.

BARBEDO, J. MIGUEZ, M., VAN DER HORST, D., CARNEIRO, P., AMIS, P., e IORIS, A. Policy dimensions of land-use change in peri-urban floodplains: the case of Paraty. *Ecology and Society*, v. 20, n. 1, 2015.

BARBOSA, A.E.; FERNANDES, J. N.; DAVID, L. M. Key issues for sustainable urban stormwater

management. In: **Water Research**. In Press, Corrected Proof, Available online 25 May 2012.

BENEVOLO, L. **Storia della città. Vol. 4: La città contemporânea**, 2nd ed.; Gius. Laterza & Figli, Roma-Bari, Italia, 2006; p. 332.

BURIAN, S. J.; EDWARDS, F. G. Historical Perspectives of Urban Drainage. In: 9th International Conference on Urban Drainage - ICUD. 8-13 September, Portland, OR/USA. International Water Association (IWA), 2002.

CHOCAT, B.; ASHLEY, R. ; MARSALEK, J.; MATOS , M. R.; RAUCH , W.; Schilling, W.; Urbonas , B. Toward the Sustainable Management of Urban Storm-Water. **Indoor and Built Environment**, 2007, 16 (3), 273-285.

CUNGE, J. A., HOLLY, F. M.; VERWEY, A. **Practical aspects of computational river hydraulics**. 1980

GUHA-SAPIR D.; HOYOIS Ph; Below R.. EM-DAT. **Annual Disaster Statistical Review 2015**, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). 2016.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; Lamond, J. **Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century**. The World Bank, 2012

JOHNSTONE, P. Water Sensitive Cities – Science-Policy Partnership. In: 12th International Conference on Urban Drainage - ICUD, 10-15 September, Porto Alegre/Brazil. International Water Association (IWA), 2011.

MAGALHÃES, P. C.; COLONESE, B. L.; BASTOS, E. T.; MASCARENHAS, F. C. B.; MAGALHÃES, L. P. C.; MIGUEZ, M. G. Sistema HIDRO-FLU para apoio a Projetos de Drenagem. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH, João Pessoa, 2005.

MASCARENHAS, F. C. B., MIGUEZ, M. G. Large Flood Plains Modeling by a Cell Scheme: Application to the Pantanal of Mato Grosso. In: **Engineering Hydrology**. ASCE, 1993. p. 1212-1217.

MASCARENHAS, F. C. B., MIGUEZ, M.G. Urban flood control through a mathematical cell model. **Water International**, v. 27, n. 2, p. 208-218, 2002.

MIGUEZ, M. G., 2001, Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.

MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B.; MAGALHÃES, L.P.C. Multifunctional landscapes for urban flood control in developing countries. WIT Transactions on **Ecology and the Environment**, v. 2, 2007.

MIGUEZ, M.G.; VERÓL, A.P.; CARNEIRO, P.R.F., Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design, Urban Land Control and River Revitalisation Aspects. In: Muhammad Salik Javaid. (Org.). **Drainage Systems**. 1ed.Rijeka/Croatia: InTech - Open Access Publisher, 2012, v. 1, p. 21-54.

MIGUEZ, M. G., REZENDE, O. M., & VERÓL, A. P. City growth and urban drainage alternatives: Sustainability challenge. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 141, n. 3, p. 04014026, 2014.

MIGUEZ, M. G., VERÓL, A. P., SOUSA, M. M., & REZENDE, O. M. Urban floods in lowlands—levee systems, unplanned urban growth and river restoration alternative: a case study in Brazil. **Sustainability**, v. 7, n. 8, p. 11068-11097, 2015.

MIGUEZ, M. G.; REZENDE, O. M.; VERÓL, A. P. **Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à**

Sustentabilidade. Elsevier Brasil, 2015.

MIGUEZ, M.G., BATTEMARCO, B.P., SOUSA, M.M., REZENDE, O.M., VERÓL, A.P., & GUSMAROLI, G. Urban Flood Simulation Using MODCEL—An Alternative Quasi-2D Conceptual Model. **Water**, v. 9, n. 6, p. 445, 2017.

MONTGOMERY, M.; KUNREUTHER, H. Pricing storm surge risks in Florida: Implications for determining flood insurance premiums and evaluating mitigation measures. 2017

NARDINI, A., & MIGUEZ, M. G. An Integrated Plan to Sustainably Enable the City of Riohacha (Colombia) to Cope with Increasing Urban Flooding, while Improving Its Environmental Setting. **Sustainability**, v. 8, n. 3, p. 198, 2016.

US EPA – United States Environmental Protection Agency. **Low Impact Development – A Literature Review**. EPA-841-B-00-005. Washington, DC: Office of Water USA, 2000.

WONG, T.; BROWN, R. Transitioning to Water Sensitive Cities: Ensuring Resilience through a new Hydro-Social Contract. In: 11th International Conference on Urban Drainage, 31 August-5 September, Edinburgh, UK. International Water Association (IWA), 2008.

WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; MARTIN, P.; BRAY, R.; SHAFFER, P. **The SUDS Manual**. CIRIA C697. London: CIRIA, 2007.

SOBRE O ORGANIZADOR

LUIS MIGUEL SCHIEBELBEIN Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1997) e mestrado em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2006), Doutorado em Agronomia - Fisiologia, Melhoramento e Manejo de Culturas, pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2017). Atualmente é Professor dos Cursos de Agronomia, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Superior Tecnológico em Radiologia e de Pós-Graduação em Agronegócio e Gestão Empresarial do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). É revisor da Revista de Ciências Agrárias - CESCAGE, Professor Colaborador do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) . Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: Agricultura de Precisão, Geoprocessamento, Modelagem e Ecofisiologia da Produção Agrícola, Agrometeorologia, Hidrologia, Mecanização, Aplicação em Taxa Variável, Fertilidade do Solo e Qualidade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-024-7

