

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PARDO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO
DO SOLO**

RODRIGO LACERDA BRITO NETO

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA
BAHIA – BRASIL
OUTUBRO – 2018

RODRIGO LACERDA BRITO NETO

**SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PARDO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO
DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Cristiano Tagliaferre (UESB)

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA
BAHIA – BRASIL
OUTUBRO – 2018

B875s

Brito Neto, Rodrigo Lacerda.

Simulação hidrológica para a bacia hidrográfica do rio pardo em diferentes cenários de uso e ocupação do solo. / Rodrigo Lacerda Brito Neto, 2018.

69f.

Orientador (a): D. Sc. Cristiano Tagliaferre.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Vitória da Conquista, 2018.

Inclui referências. 61 - 62.

1. Bacia hidrográfica – Rio Pardo. 2. Caracterização fisiográfica de bacias. 3. Modelo hidrológico. 4. Uso do solo. I. Tagliaferre, Cristiano. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. III. T.

CDD: 551.483

RODRIGO LACERDA BRITO NETO

**SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO PARDO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO
DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Apresentada em outubro de 2018.

Comissão Examinadora:

Prof. Felizardo Adenilson Rocha (D.Sc., Engenharia Agrícola) – IFBA

Prof. Odair Lacerda Lemos (D.Sc., Agronomia) – UESB

Prof. Cristiano Tagliaferre (D.Sc., Engenharia Agrícola) – UESB
Orientador

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus de Vitória da Conquista, pela oportunidade de crescimento profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao meus pais José e Pedrina, pelo apoio de sempre.

Ao meu orientador Cristiano Tagliaferre, por transmitir de forma clara os conhecimentos que serviram de base para a elaboração deste trabalho, pela competência, disposição e agilidade em questões relativas à orientação, e pelos momentos de descontração junto à turma do laboratório de Hidráulica da UESB.

À minha amiga Lorena, pelas risadas compartilhadas nos momentos de alegria e abraços fortes nos momentos de tristeza.

Ao meu namorado Hagnus Mendes, pela companhia durante meses seguidos em que estive na frente do computador durante a fase de obtenção de dados deste trabalho.

Aos meus amigos Pedro – que está na Bélgica, Murilo – em São Paulo, e Matheus – no Canadá, e mesmo assim tecnologicamente estiveram próximos nos momentos que precisei.

Aos colegas e funcionários do Programa (PPGCIFLOR) pelos momentos de descontração, força e apoio no mestrado.

Aos professores da banca de defesa Felizardo Adenilson Rocha e Odair Lacerda Lemos, pela disponibilidade e solicitude.

*A ciência é muito mais do que um corpo de conhecimento. **É uma maneira de pensar.** E isso é fundamental para o nosso sucesso. A ciência nos convida a aceitar os fatos, mesmo quando eles não estão de acordo com nossos preconceitos. Ela nos aconselha a levar hipóteses alternativas em nossas cabeças e ver quais são as que melhor correspondem aos fatos. Impõe-nos um equilíbrio perfeito entre a abertura sem obstáculos a novas ideias, por mais heréticas que sejam, e o mais rigoroso escrutínio cético de tudo – estabelecendo novas ideias e sabedoria. Precisamos da ampla apreciação desse tipo de pensamento. Funciona. É uma ferramenta essencial para uma democracia em uma era de mudança. Nossa tarefa não é apenas treinar mais cientistas, mas também aprofundar a compreensão pública da ciência.*

(Carl Edward Sagan, cientista, astrônomo, astrofísico, cosmólogo, escritor e divulgador científico norte-americano. No artigo “Why we need to understand science”, publicado no The Skeptical Inquirer, em 1990, grifo nosso).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Ciclo hidrológico e bacias hidrográficas	3
2.2. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas	5
2.3. Importância dos estudos de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas	5
2.4. Modelagem hidrológica	8
2.5. A bacia hidrográfica do rio Pardo	13
REFERÊNCIAS	15
3. ARTIGOS CIENTÍFICOS	19
ARTIGO 1: Análise morfométrica e uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Pardo	19
ARTIGO 2: Aplicação do modelo MGB-IPH na bacia hidrográfica do rio Pardo em diferentes cenários de uso e ocupação do solo	49
4. CONCLUSÃO GERAL	63
ANEXOS	64

RESUMO

BRITO NETO, Rodrigo Lacerda, M. Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, outubro de 2018. **Simulação hidrológica para a bacia hidrográfica do rio pardo em diferentes cenários de uso e ocupação do solo.** Orientador: Cristiano Tagliaferre.

Definir as características de uma bacia e como sua área está sendo ocupada são pontos de partida importantes para avaliar as condições atuais dos diversos componentes do ciclo hidrológico e sua dinâmica. Desta forma, objetiva-se com este estudo realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo, avaliar as mudanças no uso e ocupação no solo entre 2001 e 2016 e calibrar e validar o modelo MGB-IPH de forma a verificar a resposta da vazão simulada para os diferentes usos do solo. A metodologia consistiu na determinação de parâmetros geométricos, de relevo e de rede de drenagem. As informações de uso e ocupação do solo foram levantadas por meio de dados da plataforma online do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas) para os anos de 2001 e 2016, sendo avaliadas alterações relativas às classes: floresta, formações naturais não florestais, agropecuária, áreas sem vegetação e água. Com essas informações acerca da bacia e com os dados climáticos disponíveis, foi realizada a calibração e a validação para os cenários de uso e ocupação do solo em 2001 e 2016, por meio do modelo geral de grandes bacias MGB-IPH, que tiveram seus desempenhos verificados. As mudanças nas vazões mensais médias, totais, máximas e mínimas simuladas pelos diferentes cenários foram comparadas por meio de teste de média para amostras dependentes e avaliação das vazões anuais máximas, médias e mínimas. As características de geometria, relevo e rede de drenagem da bacia do rio Pardo indicam que esta possui baixa propensão à ocorrência de enchentes e tendência à conservação, com a maior parte de sua área estando entre 600 e 1000 m de altitude, predominando declividades onduladas e suave-onduladas. Seu rio principal de 6ª ordem possui uma baixa tendência a assoreamento devido à alta sinuosidade. A área dedicada às atividades agropecuárias aumentou durante o período avaliado e ocupa a maior parte da bacia, enquanto a de florestas sofreu redução, sendo a segunda em tamanho. As duas classes ocupam mais de 96% da área de captação e poucas são as áreas ocupadas pelas classes de áreas não vegetadas, vegetação natural não florestal e água. O MGB-IPH foi validado de forma satisfatória para a estação 53880000 da Agência Nacional de Águas, tendo problemas de subestimativa de picos de vazões máximas. Entretanto ele representou adequadamente os dados observados em termos da sazonalidade das vazões, da diferenciação de anos mais úmidos e anos mais secos e dos picos de cheias de média e pequena intensidade, sendo sensível ao identificar o impacto das mudanças do uso e ocupação do solo nas vazões simuladas para a bacia hidrográfica do rio Pardo.

Palavras-chave: Caracterização fisiográfica de bacias, hidrologia, modelo hidrológico, uso do solo.

ABSTRACT

BRITO NETO, Rodrigo Lacerda, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, October, 2018. **Pardo river basin hydrological simulation in different scenarios of land use and occupation.** Advisor: Cristiano Tagliaferre.

Defining the characteristics of a basin and how its area is being occupied are important starting points for assessing the current conditions of the various components of the hydrological cycle and their dynamics. The objective of this study was to perform the morphometric characterization of the Pardo river basin, to evaluate changes in land use and occupation between 2001 and 2016 and to calibrate and validate the MGB-IPH model in order to verify the flow response simulated for the different uses of the soil. The methodology consisted in the determination of geometric, relief and drainage network parameters. Land use and occupation information was collected using data from the online mapping platform of the Brazilian Soil Coverage and Land Use Mapping (MapBiomas) for the years 2001 and 2016, with changes in the forest, non-forest natural formations, agriculture and cattle ranching, areas without vegetation and water. With this basin information and climatic data available, calibration and validation for land use and land use scenarios were carried out in 2001 and 2016 using the general model of large basins MGB-IPH, which had their performance verified. The changes in average, total, maximum and minimum monthly flows simulated by the different scenarios were compared using mean test for dependent samples and evaluation of maximum, average and minimum annual flows. The characteristics of geometry, relief and drainage network of the Pardo river basin indicate that it has low propensity to floods and tendency to conservation, with most of its area being between 600 and 1000 m of altitude predominating undulating slopes and smooth -enabled. Its main river of 6^a order has a low tendency to silting due to the high sinuosity. The area devoted to agricultural activities increased during the period evaluated and occupy most of the basin, while the area of forests suffered reduction, being the second in size. The two classes occupy more than 96% of the catchment area and few are the areas occupied by classes of non-vegetated areas, non-forest natural vegetation and water. The MGB-IPH was satisfactorily validated for the 53880000 station of the National Water Agency, having problems of underestimation of peak flows. However, it adequately represented the observed data in terms of the seasonality of flows, the differentiation of wetter years and drier years, and the peaks of medium and low intensity floods, being sensitive in identifying the impact of changes in land use and occupation in the simulated flows to the Pardo river basin.

Keywords: river basin characterization, hydrology, hydrological model, land use.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A água é o fator principal para o estabelecimento e manutenção da vida, de modo que a história nos revela que, em geral, os homens se estabelecem onde ela é abundante. As primeiras grandes civilizações surgiram nos vales de grandes rios – vale do Nilo, no Egito; vale do Tigre-Eufrates, na Mesopotâmia; vale do Indo, no Paquistão; vale do rio Amarelo, na China. De forma mais contemporânea, pode-se observar sua importância no contexto da urbanização, com sistemas de abastecimentos de água, na geração de energia hidrelétrica, como material usado em processos industriais, bem como na irrigação de culturas diversas.

No Brasil, a demanda pelo uso deste recurso é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas e previsão de que até 2030 a retirada aumente em 30% (BRASIL, 2017).

O regime hídrico de uma região é diretamente afetado pela dinâmica e manejo da vegetação, que podem contribuir tanto para sua manutenção quanto para sua distribuição no planeta (VIEIRA, 2000). Essa dinâmica da vegetação inclui as mudanças naturais e as antrópicas, sendo as últimas muito mais impactantes e modificadoras da paisagem, a exemplo da retirada da cobertura vegetal, que é a prática mais comum. Todas essas modificações podem ser analisadas sob diversos aspectos de regionalização, porém em Hidrologia, a área comumente utilizada para realizar estudos relacionados ao ciclo hidrológico é a bacia hidrográfica.

Definida como a unidade básica onde a água precipitada converge para um único ponto, sendo disponibilizada por meio de rios, riachos, lagos e poços, a bacia hidrográfica tem seu comportamento hidrológico explicado em função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 1976).

Entender as características de uma bacia hidrográfica e como sua área está sendo ocupada são pontos de partida importantes para avaliar as condições atuais dos diversos componentes do ciclo hidrológico e sua dinâmica. Um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais é a análise das características morfométricas, visto que por meio desta é possível obter

informações como forma, altimetria, declividade, distribuição e número de canais, dados que, segundo Antonelli e Thomaz (2007), permitem a diferenciação de áreas homogêneas, bem como podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, sendo uma etapa imprescindível para a qualificação das alterações ambientais.

É importante perceber que a bacia hidrográfica é ainda uma unidade que sofre mudanças na dimensão temporal, ou seja, a cobertura do solo é dinâmica e essas alterações, que podem tanto ser naturais como antrópicas, causam impactos que, segundo Périco et al. (2011), refletem na estrutura física dos canais, no regime hídrico, no fluxo de matéria e energia e na unidade ecossistêmica e morfológica como um todo.

Cada componente de uma bacia hidrográfica (trechos de rio, confluências, reservatórios, sub-bacias, etc.) pode ser representado por equações que tentam estimar as variáveis hidrológicas com valores mais próximos da realidade. Porém, tão importante quanto mensurar, é entender que o comportamento temporal e a simulação através da utilização de modelos se apresenta como uma poderosa ferramenta para tal fim.

Um modelo é uma representação simplificada de algum objeto ou sistema, desenvolvido com o objetivo de entender e prever as respostas deste em diferentes circunstâncias. Inicialmente, os modelos hidrológicos representavam a bacia hidrográfica de forma concentrada e conceitual. Com a introdução das tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento, começaram a surgir modelos que representam a bacia hidrográfica de forma espacialmente distribuída, utilizando relações de base física, além de relações conceituais. Esses modelos são chamados de Modelos Distribuídos de Base Física e Conceitual. O modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2007) é um exemplo destes tipos de modelos.

Diante do exposto, objetiva-se, com este estudo, realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo, avaliar as mudanças no uso e ocupação do solo entre 2001 e 2016, bem como calibrar e validar o modelo MGB-IPH de forma a verificar a resposta da vazão simulada para os diferentes usos do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Ciclo hidrológico e bacias hidrográficas

Avanços da instrumentação científica têm contribuído para o entendimento do ciclo hidrológico e sua relação com os componentes inseridos na área de captação. Como exemplos de contribuintes desse avanço, pode-se citar Horton (1919), com os primeiros estudos em que analisou a interceptação da precipitação pelas copas das árvores; Penman (1948; 1959; 1963), avaliando a relação entre o balanço energético e balanço hídrico, detalhando o processo de evaporação; e Chow (1964), apresentando métodos de análise de frequência hidrológica em bacias hidrográficas.

Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo, o vertical e o horizontal (Figura 1). O primeiro é representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo, e o segundo pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) do subsolo (escoamento subterrâneo).

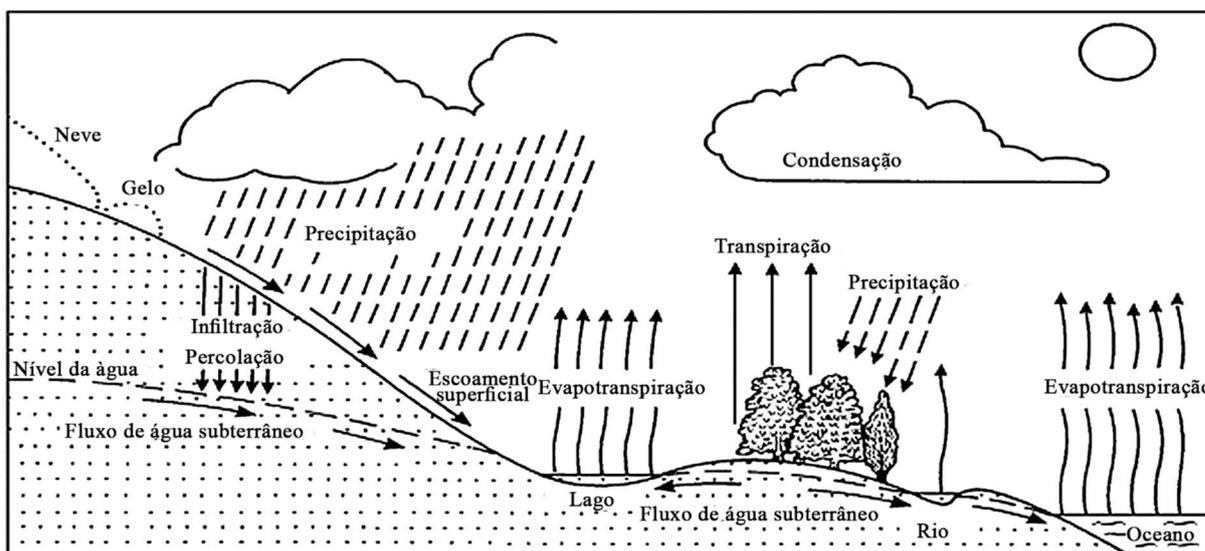


Figura 1 – Processos hidrológicos.
Fonte: IGBP, 1993.

Dentro dos processos verticais, Tucci e Clarke (1997) citam que, inicialmente, o balanço de volumes de água na bacia é dependente deles, sendo que a vegetação exerce um importante papel no balanço de energia e fluxo de volumes de água, sendo responsável por reter a parcela inicial da precipitação. Logo, quanto maior for a

superfície de folhagem, maior o volume de água retido. Esse volume é evaporado assim que houver capacidade potencial de evaporação. Após esse processo, ocorre a perda de umidade para o ambiente por meio da transpiração, retirando essa umidade do solo através das raízes, influenciando, assim, o balanço hídrico do solo. Como é praticamente impossível distinguir o vapor d'água proveniente da evaporação da água no solo e da transpiração das plantas, surge o conceito de evapotranspiração, que é definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera, por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas (TUCCI, 2004).

Nos processos horizontais, da parcela de precipitação que atinge o solo, a mesma pode infiltrar ou escoar superficialmente, dependendo da capacidade de infiltração do solo, que varia de acordo com a quantidade de umidade já existente, das características do solo e da sua cobertura. A água que infiltra pode percolar para o aquífero, onde é armazenada e transportada até os rios, criando condições para manter os rios perenes nos períodos de longa estiagem; ou gerar um escoamento subsuperficial ao longo dos canais internos do solo, até a superfície ou um curso d'água. Em suma, os escoamentos superficiais e subsuperficiais podem contribuir de forma aditiva para o aumento da vazão.

A capacidade de infiltração depende do tipo e do uso do solo. Normalmente, a capacidade de infiltração de solos com florestas é alta (MENDONÇA et al., 2009), o que produz pequena quantidade de escoamento superficial. Porém, em solos com superfície desprotegida e que sofrem a ação de compactação, a capacidade de infiltração pode diminuir, resultando em maior escoamento superficial. Essa mesma capacidade de infiltração varia com o tipo de solo e com suas condições de umidade. Um solo argiloso pode ter uma alta capacidade de infiltração quando estiver seco, no entanto após receber umidade, pode se tornar quase que impermeável.

As alterações que podem ocorrer na entrada e saída dos sistemas hidrológicos são definidas como a variabilidade hidrológica, que depende da precipitação e da evapotranspiração (que depende de outras variáveis climáticas), que vai impactar nas principais variáveis de saída, ou seja, o nível e a vazão de um rio. Estes efeitos estão relacionados à variabilidade natural dos processos climáticos, com o impacto das mudanças climáticas locais e globais e o efeito do uso da terra e as alterações dos sistemas hídricos (COLLISCHONN, 2001).

Como se observa, a interface entre o solo-vegetação-atmosfera tem uma forte influência no ciclo hidrológico, sendo importante destacar que associada aos processos descritos existe também a ação antrópica. Aliado a isso, pode-se observar grande heterogeneidade dos sistemas envolvidos, ou seja, a grande variabilidade do solo e cobertura vegetal contribui para uma maior dificuldade em representar os processos hidrológicos.

2.2. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas

A caracterização morfométrica é definida como uma análise quantitativa do arranjo dos elementos de uma bacia hidrográfica, que geram sua expressão e configuração espacial (CHRISTOFOLETTI, 1999). Nas análises hidrológicas que têm como objetivo auxiliar as questões voltadas para a dinâmica ambiental, a caracterização morfométrica é considerada o procedimento mais basal a ser executado (TEODORO et al., 2007).

Dessa forma, os parâmetros morfométricos de uma bacia hidrográfica são: área total; perímetro total; coeficiente de compactidade (kc); fator de forma (kf); índice de circularidade (Ic); declividade (mínima, média e máxima); coeficiente de rugosidade (CR); amplitude altimétrica, altitude (mínima, média e máxima); declividade média do curso d'água principal; comprimento do curso d'água principal; comprimento total dos cursos d'água; densidade de drenagem (Dd); ordem dos cursos d'água; Índice de sinuosidade (Is), entre outros (se existem mais). Tais parâmetros são resultados da relação entre esses atributos e o relevo de uma bacia, sendo agrupados em características geométricas, geomorfológicas e rede de drenagem. De acordo com Tonello (2005), os atributos geométricos abordam as características relacionadas às dimensões da bacia; os geomorfológicos tratam do relevo, além de correlacioná-lo à rede de drenagem e à bacia hidrográfica; a rede de drenagem trata somente dos atributos da drenagem.

2.3. Importância dos estudos de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas

De acordo com Collischonn (2001), as alterações na superfície da bacia têm impacto direto no escoamento, que por sua vez influencia no armazenamento de água

no solo, afetando, ao final, no comportamento das enchentes, nas vazões mínimas e média, além das condições ambientais locais e a jusante.

As modificações sobre o uso e manejo do solo da bacia podem ser classificadas de acordo com Tucci (2002) quanto ao tipo de mudança, tipo de uso da superfície e a forma de desmatamento:

Tabela 1 – Classificação sobre a mudança e uso do solo

Classificação	Tipo
Mudança da superfície	Desmatamento Reflorestamento Impermeabilização
O uso da superfície	Urbanização Reflorestamento para exploração sistemática Desmatamento: extração de madeira, cultura de subsistência; culturas anuais; culturas permanentes
Método de alteração	Queimada Manual Equipamentos

Fonte: Tucci (2002).

Atualmente, ainda ocorre um grande esforço científico para esclarecer a influência do uso e ocupação do solo sobre os componentes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica. Sobre este aspecto, Tucci e Clarke (1996, 1997) e Bruijnzeel (1996) apresentam revisões bibliográficas chegando às afirmações descritas a seguir:

- As florestas absorvem mais radiação solar do que os outros tipos de cobertura vegetal. Em consequência, a energia disponível para a evapotranspiração é maior em florestas.
- A interceptação em florestas é maior. Com isso, a evaporação direta da água interceptada tende a ser maior.
- As florestas retiram do solo mais umidade do que as pastagens ou o solo nu.
- O desmatamento de florestas naturais produz aumento da vazão média na bacia hidrográfica. Isso é uma consequência das afirmações anteriores.
- O aumento do escoamento é ainda maior se o desmatamento for realizado com tratores e, no uso posterior do solo, for utilizada mecanização. Isso ocorre porque aumenta a compactação da camada superficial do solo e diminui a infiltração da água da chuva.

- As condições de escoamento podem retornar às condições anteriores ao desmatamento após vários anos, se houver crescimento da vegetação. Em outras palavras, o sistema natural pode retornar ao estado inicial.
- Quando o solo, após o desmatamento, é utilizado para plantação permanente (café, chá, etc.), a modificação do escoamento é menor; no entanto, quando o solo é utilizado para agricultura intensa, como culturas anuais e a prática agrícola utilizar mecanização, a alteração do escoamento tende a ser permanente. As culturas anuais, especialmente se não for utilizada a técnica de plantio direto, deixam o solo completamente sem vegetação durante as etapas de preparo do solo e colheita.

Além dos exemplos citados, a distribuição da chuva ao longo do ano, a profundidade do solo e a declividade do terreno também são aspectos fundamentais na análise de mudanças de uso do solo (TUCCI e CLARKE, 1997). Quanto a estes aspectos, Collischonn (2001) relata que nas regiões onde as precipitações ocorrem principalmente durante o verão, que é a época de maior evapotranspiração, os impactos da mudança de cobertura vegetal tendem a ser maiores. Em regiões de solos pouco profundos, a mudança de cobertura vegetal tende a ter menos impacto sobre o escoamento, pois nestas condições o armazenamento de água no solo pouco influencia a geração de escoamento. Em regiões de relevo acidentado, em que o escoamento superficial ocorre com maior facilidade, os impactos das mudanças de cobertura vegetal também tendem a ser menores.

Essas informações levam à percepção de que o impacto do uso do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias é fundamental na preservação e uso dos recursos hídricos (SOUZA, 2016).

2.4. Modelagem hidrológica

A maior parte do conhecimento em hidrologia tem sido aplicado a soluções de problemas como a estimativa de cotas de inundação, a estimativa de volumes necessários para a regularização de vazão, o dimensionamento de canais e a estimativa de vazões mínimas (COLLISCHONN, 2001). Todos esses problemas envolvem processos locais, de pequena escala. Porém problemas e desafios que se manifestam em grande escala começaram a surgir ao longo das últimas décadas. As mudanças climáticas, as alterações de uso do solo e o desenvolvimento das técnicas de previsão de tempo e clima motivaram o desenvolvimento da hidrologia de grandes bacias. Concomitantemente, o avanço da tecnologia computacional e novas técnicas de medição e obtenção de dados permitiram o desenvolvimento de modelos hidrológicos de forte base física que representam a bacia hidrográfica de forma espacialmente distribuída.

Modelos que permitem a simulação dos processos hidrológicos no tempo e no espaço são chamados de Modelos Distribuídos. Nestes modelos, Haghnegahdar et al. (2015) informam que os processos hidrológicos são representados em subunidades da bacia hidrográfica, que podem ser células regulares ou irregulares baseadas na topografia, considerando as diferentes unidades de respostas hidrológicas – CRHs (“Classes de Respostas Hidrológicas”). Estas CRHs são regiões da bacia com comportamento hidrológico semelhante, normalmente representadas pelo mesmo tipo de solo e cobertura vegetal. Admite-se que uma dada CRH tenha o mesmo comportamento hidrológico, independentemente de onde esteja localizada dentro da bacia. Assim, o balanço hidrológico é calculado para cada CRH de cada minibacia e as vazões estimadas em cada CRH são posteriormente somadas e propagadas até a rede de drenagem (Figura 2).

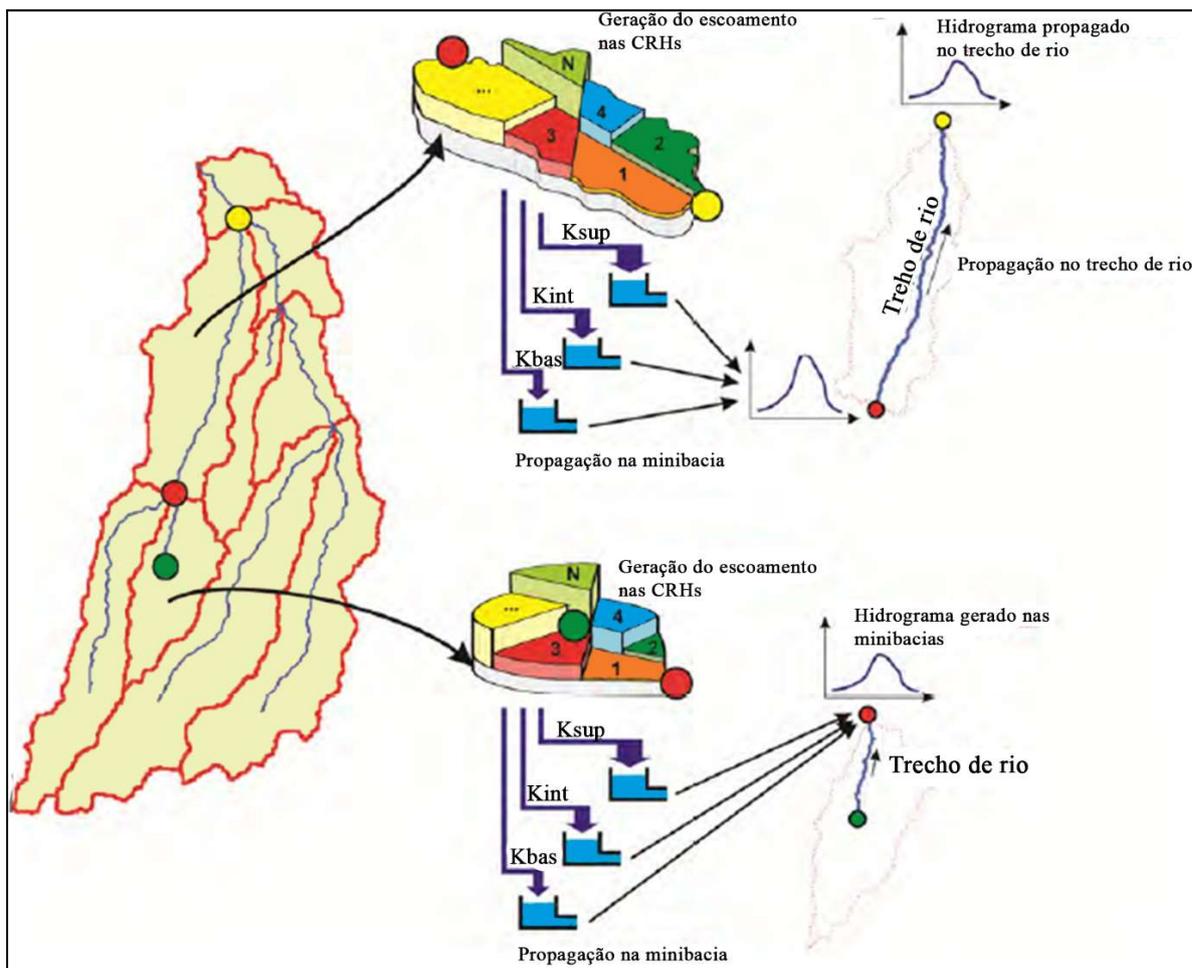


Figura 2 – Representação hipotética da bacia hidrográfica em unidades menores e das classes de respostas hidrológicas.
 Fonte: Collischonn et al. (2007).

De acordo com Pontes (2016), inicialmente esses modelos simulavam os processos hidrológicos utilizando relações conceituais, e a partir da década de 1970, surgiram novos modelos que começaram a utilizar também relações de base física. Estes são chamados de modelos distribuídos de base física e conceitual (MDBF). Como exemplo desses modelos, pode-se citar os modelos SWAT (NEITSCH et al., 2011) e o modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH (COLLISCHONN, 2001). Estes modelos estão divididos em dois módulos: um que simula os processos hidrológicos verticais (balanço hídrico no solo, interceptação e evapotranspiração) e outro que simula os horizontais (escoamento superficial, subsuperficial, subterrâneo, propagação da vazão nos rios e na planície de inundação e propagação em reservatórios).

Segundo Beven (1985), os MDBFs têm aplicação potencial em previsões como:

- consequências nas modificações no uso e ocupação do solo;
- heterogeneidade espacial de variáveis de entrada e saída;
- movimento de poluentes e sedimentos;
- hidrologia em bacias sem dados para a calibração de modelos conceituais.

O MGB-IPH foi desenvolvido em 2001, por Walter Collischonn, como um modelo distribuído de base física e conceitual que simula o processo de transformação precipitação-vazão. Este permite a simulação hidrológica em bacias cujas áreas sejam tipicamente maiores que 10.000 km², incorporando informações de características físicas importantes das bacias, como o relevo e os tipos de solos, bem como sua distribuição no espaço (COLLISCHONN, 2001).

O modelo MGB-IPH é composto dos seguintes algoritmos:

- Balanço de água no solo: é realizado de maneira independente para cada bloco de uso onde o escoamento superficial é gerado por excesso de capacidade de armazenamento, com uma relação probabilística entre a umidade do solo e a fração de área do solo saturada (onde a infiltração é nula);
- Evapotranspiração: utiliza a equação de Penman-Monteith para estimar a evaporação e transpiração, de modo semelhante a utilizada por Wigmosta et al. (1994);
- Interceptação ou retenção da água da chuva pela vegetação: é simulada através de um reservatório de volume dependente da cobertura vegetal;
- Escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo na célula, que no modelo recebem os nomes de D_{sup} , D_{int} e D_{bas} , respectivamente: são processos, representados através das relações com o volume de água no solo, no caso do escoamento interno da célula.
- Escoamento na rede de drenagem: realiza a propagação nos trechos de rio utilizando o método de Muskingum-Cunge (TUCCI, 1998), que relaciona a vazão de saída de um trecho de rio, em um intervalo de tempo qualquer, às vazões de entrada e saída no intervalo de tempo anterior e à vazão de entrada no intervalo atual.

O modelo MGB-IPH já foi aplicado em várias regiões do Brasil na previsão de vazões e simulação hidrológica nas bacias do rio Taquari e Antas - RS, na bacia hidrográfica do rio Solimões - AM (PAIVA, 2009), nos rios Taquari - MS e Uruguai - RS (COLLISHONN, 2001), e na bacia do rio dos Sinos - RS (PEREIRA et al., 2012). Utilizado para simulações de qualidade da água, na dispersão de poluentes nos corpos d'água, na bacia do rio Taquari-Antas - RS (LARENTIS, 2004) e nas bacias do rio Ijuí - RS e do rio São Francisco - MG (FAN, 2013), e para a modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Piracicaba - MG (DE MELO, 2014). Também já foi aplicado com sucesso em estudos sobre impactos de mudanças climáticas em bacias hidrográficas, incluindo o rio Grande (NÓBREGA et al. 2011), no rio Ibicuí, importante afluente do rio Uruguai (ADAM e COLLISCHONN, 2013), no rio Quaraí, entre o RS e o Uruguai (PAIVA et al., 2011), e no rio Paraguai, na região do Pantanal (BRAVO et al., 2014).

Recentemente, o modelo ganhou uma interface que utiliza dados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o que permitiu melhorar as etapas de pré e pós-processamento. Técnicas específicas de pré-processamento a partir de dados do relevo de modelos digitais de elevação foram desenvolvidas e testadas e o modelo foi integrado a um software livre de SIG, facilitando a interpretação de resultados e as etapas de pós-processamento (FAN et al., 2015).

A aplicação do modelo hidrológico MGB-IPH requer a preparação de alguns planos de informação, como o Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistido (MDEHC), direções de fluxo, áreas acumuladas de drenagem, comprimentos e declividades dos trechos de rio e uso e tipos de solo (FAN, 2011).

A partir do MDEHC é realizada a divisão (discretização) em bacia, sub-bacias e minibacias, conforme está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Os níveis de subdivisão da bacia adotados pelo modelo MGB-IPH

Unidade	Descrição
Bacia Hidrográfica	Região hidrográfica de estudo simulada pelo modelo
Sub-bacia hidrográfica	Subdivisão da bacia hidrográfica de estudo em grandes áreas de drenagem.
Minibacias hidrográficas	Subdivisão da bacia hidrográfica em pequenas regiões formadas pela área de drenagem de cada trecho da rede de drenagem.

Fonte: Fan (2011).

Os parâmetros de vegetação das CRHs (Tabela 3) podem ser obtidos em bibliografia (COLLISCHONN, 2001) e não são calibrados, embora apresentem variação ao longo do tempo, e de acordo com Fan (2013), possuem valores relacionados à vegetação, que podem ser medidos, mas que não interferem de forma significativa nos resultados.

Tabela 3 – Parâmetros de vegetação do modelo MGB-IPH

Parâmetro Fixo	Descrição
Índice de Área Foliar (IAF)	Relação entre a área das folhas de todas as plantas e da área de uma parcela de solo. É um parâmetro adimensional ($m^2.m^{-2}$) e que, em geral, pode ser medido ou estimado a partir de informações na bibliografia.
Albedo	Parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal.
Resistência Superficial	Representa a resistência ao fluxo de umidade do solo, através das plantas, até a atmosfera. É diferente para os diversos tipos de plantas e depende de variáveis ambientais, como a umidade do solo, a temperatura do ar e a radiação recebida pela planta.
Altura do Dossel	A altura média da vegetação é utilizada no modelo hidrológico para estimar a resistência aerodinâmica, que atua no controle da evapotranspiração.

Fonte: Fan (2011).

Os parâmetros de solo (Tabela 4), que estão associados às propriedades físicas das CRHs ou diretamente às minibacias, podem ser alterados durante a calibração do modelo, buscando um bom ajuste entre os dados de vazão observados e os calculados (COLLISCHONN, 2001).

Tabela 4 – Parâmetros de solo do modelo MGB-IPH

Parâmetro Calibrável	Descrição
Capacidade de Armazenamento do Solo (W_m)	Capacidade de armazenamento de água no solo.
Forma da relação entre armazenamento e saturação (b)	Parâmetro empírico que define a variabilidade da capacidade de armazenamento do solo em torno de W_m .
Taxa de percolação para aquífero (K_{bas})	Parâmetro que controla a taxa de percolação para o aquífero durante a estiagem. Valores mais altos implicam em maior escoamento subterrâneo.
Quantidade de água que esco subsuperficialmente (K_{int})	Parâmetro controla a quantidade de água da camada de solo que esco subsuperficialmente.
Forma da curva de redução da drenagem intermediária (XL)	Controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou subsuperficial do solo.

Fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial (CAP)	Controla a possibilidade de retorno de água subterrânea para a camada de solo.
Armazenamento Residual (W_c)	Limita o armazenamento residual e subterrâneo.
Calibração da propagação superficial (CI)	Parâmetro para calibração da propagação superficial nas minibacias.
Calibração da propagação subsuperficial (CS)	Parâmetro para calibração da propagação subterrânea nas minibacias.
Retardo do reservatório subterrâneo (CB)	Parâmetro que representa o retardo do reservatório subterrâneo.
Vazão de Base (QB)	Parâmetro que representa o fluxo de base da minibacia.

Fonte: Fan (2011).

Ao final da calibração, o modelo hidrológico pode ser utilizado com todos os conjuntos de parâmetros encontrados, gerando uma família de hidrogramas, que define uma banda de incerteza das vazões previstas (COLLISCHONN, 2001).

O modelo exige a calibração de alguns parâmetros que são alterados a cada aplicação, buscando um bom ajuste entre os dados de vazão observados e calculados. Para isso, são utilizados dados hidrológicos e meteorológicos, os quais consistem em arquivos que contenham informações de vazão, chuva e clima, sendo este último constituído de dados de temperatura, pressão, insolação, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Estes dados são associados aos centroides das minibacias por interpolação dos postos com dados mais próximos. O método de interpolação utilizado é a interpolação de Thiessen (COLLISCHONN, 2001).

2.5. A bacia hidrográfica do rio Pardo

A bacia hidrográfica do rio Pardo (BHRP) abrange parte dos estados de Minas Gerais e Bahia, englobando um total de 30 municípios.

Tabela 5 – Municípios pertencentes à bacia do rio Pardo

Estado	Municípios	% da área do município pertencente a bacia
BA	Barra do Choça	100
	Belo Campo	53,14
	Caatiba	80,26
	Camacan	100
	Cândido Sales	100
	Encruzilhada	100
	Itambé	98,95
	Itapetinga	80,92

	Itarantim	52,47
	Macarani	100
	Maiquinique	53,7
	Mascote	59,41
	Nova Canaã	23,88
	Pau Brasil	100
	Planalto	74,08
	Potiraguá	100
	Ribeirão do Largo	100
	Tremedal	10,97
	Vitória da Conquista	77,94
	<hr/>	
	Águas Vermelhas	100
	Berizal	100
	Curral de Dentro	100
	Divisa Alegre	100
	Indaiatuba	100
	Montezuma	100
MG	Ninheira	99,13
	Rio Pardo de Minas	100
	Santa Cruz de Salinas	36,49
	Santo Antônio do Retiro	100
	São João do Paraíso	100
	Taiobeiras	69,07
	<hr/>	

Fonte: Santos (2017).

Destaca-se como uma das bacias mais importantes da região, com seu rio principal denominado de rio Pardo. Por situar-se em dois estados, a BHRP possui gestão compartilhada, porém não possui nenhum comitê de bacia hidrográfica instalado (INEMA, 2014), organização de suma importância para o gerenciamento e manejo da bacia. Essa deficiência contribui em grande parte para o uso não controlado dos recursos hídricos e aumento da degradação ambiental, fato já destacado por Sampaio e Vargas (2011), que relatam que as diversas alterações da ocupação e uso do solo estão contribuindo para a poluição dos rios da bacia, sendo provocada, principalmente, pelas atividades pastoris e agrícolas, ocupação irregular, lançamento do lixo doméstico, tanto às margens como dentro do próprio rio.

Segundo Gasser (2012), a pluviosidade da bacia varia de acordo com sua localização, com a precipitação na parte oeste se concentrando no verão, e os maiores valores de precipitação total anual ocorrendo na parte leste.

REFERÊNCIAS

- ADAM, K. N.; COLLISCHONN, W. Análise dos Impactos de Mudanças Climáticas nos Regimes de Precipitação e Vazão na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 69-79, 2013.
- ANTONELI, V; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, jun. 2007.
- BEVEN, K. J. Distributed models. In: ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. **Hydrological forecasting**. Wiley, Chichester, 1985, 604 p.
- BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; PAZ, A. R.; ALLASIA, D.; DOMEQ, F. Impact of projected climate change on hydrologic regime of the Upper Paraguay River basin. **Climatic Change**, v. 127, p. 27-41, 2014.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017, 169 p.
- BRUIJNZEEL, L. A. Predicting the hydrological impacts of land cover transformation in the humid tropics: the need for integrated research. **Amazonian deforestation and climate**, p. 15, 1996.
- CHOW, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. McGraw Hill, NY, 1964, 1467 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo, Blucher, 1999, 256 p.
- COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica De Grandes Bacias**. Porto Alegre-RS: UFRGS, 2001, 194 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, n. 5, p. 878-895, 2007.
- DE MELO, M. M. A. P. **Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba-MG**. Belo Horizonte-MG: UFMG, 2014, 164 p. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais.
- FAN, F. M. **Acoplamento entre SIG e modelos hidrológicos: Integração do modelo MGB-IPH**. Porto Alegre-RS: UFRGS, 2011, 179 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FAN, F. M. **Simulação dos impactos de lançamento de poluentes sobre a qualidade da água de bacias hidrográficas integrada com sistema de informação geográfica**. Porto Alegre-RS: UFRGS, 2013, 241 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

FAN, F. M.; FLEISCHMANN, A. S.; COLLISCHONN, W.; AMES, D. P.; RIGO, D. Large-scale analytical water quality model coupled with GIS for simulation of point sourced pollutant discharges. **Environmental Modelling & Software**, v. 64, p. 58-71, 2015.

GASSER, R. S. **Caracterização Geológica, Petrográfica, Geoquímica e Potencialidades Metalogenéticas da Formação Água Preta, bacia do rio Pardo, BA**. Salvador-BA: UFBA, 2012, 88 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal da Bahia.

HAGHNEGAHDAR, A.; TOLSON, B. A.; CRAIG, J. R.; PAYA, K. T. Assessing the performance of a semi-distributed hydrological model under various watershed discretization schemes. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 18, p. 4018-4031, 2015.

HORTON, R. E. Rainfall interception. **Monthly weather review**, v. 47, n. 9, p. 603-623, 1919.

IGBP. Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle. The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change, **Report**, n. 27, 1993, 103 p.

INEMA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004**. Resolução CNRH N° 32/2003, Resolução CONERH N° 32/2003 e Banco de Dados do INEMA, 2014.

LARENTIS, D. G. **Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: sistema Taquari-Antas – RS**. Porto Alegre-RS: UFRGS, 2004, 177 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LIMA, W. P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, ESALQ. USP, 1976.

MENDONÇA, L. A. R.; VÁSQUEZ, M. A. N.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, J. F. D.; FRANCA, R. M. D.; VÁSQUEZ, E. M. F.; FRISCHKORN, H. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 89-98, 2009.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009**. Texas, Texas Water Resources Institute, 2011, 647 p.

NÓBREGA, M. T.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; PAZ, A. R. Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 585-595, 2011.

PAIVA, R. C. D. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso:** bacia do rio Solimões. Porto Alegre-RS: UFRGS, 2009, 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; SCHETTINI, E. B. 2011 The Case Studies: Climate Change Impacts on Water Resources in the Quaraí river basin. In: FUNG, F.; LOPEZ, A.; NEW, M. **Modelling the impact of climate change on water resources.** Wiley-Blackwell, 2011, 187 p.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. In: ROYAL SOCIETY (GREAT BRITAIN). **Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.** Londres, The Royal Society, 1948. p. 120-145.

PENMAN, H. L. Notes on the water balance of the Sperbelgraben and Rappengraben. Mitt. Schweiz. **Anst. Forst. Versuchswes**, v. 35, p. 99-109, 1959.

PENMAN, H. L. Vegetation and hydrology. **Soil Science**, v. 96, n. 5, p. 357, 1963.

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. In: **Rega:** revista de gestão del agua de America Latina. Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 21-33, 2012.

PÉRICO, E.; CEMIN, G.; AREND, U.; REMPEL, C.; ECKHARDT, R. R. Análise fisiográfica da bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 1200-1207.

PONTES, P. R. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia do Rio da Prata.** Porto Alegre-RS: UFRGS, 2016, 210 p. Tese de Doutorado (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH.

SAMPAIO, N.; VARGAS, M. A. M. As paisagens do rio Pardo desvendada pela comunidade Ribeirinha no Sudoeste da Bahia: Conversações entre o percebido e o vivido. **Ateliê Geográfico**, v. 4, n. 4, p. 147-177, 2011.

SANTOS, L. C. O. **Influência dos usos consuntivos da água e do uso e cobertura da terra na vazão da bacia hidrográfica do rio Pardo.** Vitória da Conquista-BA: UESB, 2017, 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

SOUZA, K. B. **Influência do uso e ocupação do solo na vazão da bacia do Rio Uruçuí-Preto.** Bom Jesus-PI: UFPI, 2016, 80 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí.

TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, 2007.

TONELLO, K. C. **Análise Hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. Viçosa-MG: UFV, 2005, 69 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, ABRH Editora da UFRGS, 1998, 669 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. **Impactos das mudanças ambientais nas vazões dos rios**. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 1996, 81 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 2. n.1. p. 135-152, 1997.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. In: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – Câmara Temática de Recursos Hídricos, Brasília, **Anais...** 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, 2004, 943 p.

VIEIRA, C. P. Alterações na cobertura vegetal: interferência nos recursos hídricos. **Silvicultura**, v. 20, n. 82, p. 26-27, 2000.

WIGMOSTA, M. S.; VAIL, L. W.; LETTENMAIER, D. P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. **Water Resources Research**, v. 30, n. 6, p. 1665-1679, 1994.

1 **3. ARTIGOS CIENTÍFICOS**

2 **ARTIGO 1:**

3 **ANÁLISE MORFOMÉTRICA E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA**
4 **HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO¹**

5

6

7

1 RESUMO

8

9 Este estudo objetiva caracterizar morfometricamente a bacia hidrográfica do rio Pardo, bem
10 como avaliar as mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas entre 2001 e 2016. A
11 metodologia consistiu na determinação dos parâmetros geométricos: área, perímetro,
12 comprimento axial, fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade;
13 informações de relevo: declividade e altitude; e da rede de drenagem: hierarquização dos cursos
14 d'água, densidade de drenagem e índice de sinuosidade. As informações de uso e ocupação do
15 solo foram levantadas por meio de dados da plataforma online do Projeto de Mapeamento Anual
16 da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas). As características de geometria, relevo e
17 rede de drenagem da bacia do rio Pardo indicam que esta possui baixa propensão à ocorrência
18 de enchentes e tendência à conservação. Grande parte de sua área encontra-se entre 600 e 1000
19 m de altitude e com predominância de declividades onduladas e suave-onduladas. A área
20 dedicada às atividades agropecuárias aumentou durante o período avaliado e ocupa a maior
21 parte da bacia, enquanto a de florestas sofreu redução, sendo a segunda em tamanho. As duas
22 classes ocupam mais de 96% da área de captação.

23

24 **Palavras-chave:** Caracterização fisiográfica de bacias, hidrologia, SIG.

¹ Artigo editado conforme as normas da revista IRRIGA (Anexo B)

25

26

MORPHOMETRIC ANALYSIS AND LAND USE AND OCCUPATION IN THE

27

PARDO RIVER HYDROGRAPHIC BASIN

28

29

30

2 ABSTRACT

31

32 This study aims to characterize morphometrically the Pardo river basin, as well as to obtain
33 information about changes in land use and occupation occurred between 2001 and 2016. The
34 methodology consisted in determining the geometric parameters: area, perimeter, axial length,
35 factor shape, compactness coefficient and circularity index; important information: slope and
36 altitude; and the drainage network: hierarchization of water courses, drainage density and
37 sinuosity index. Land use and occupation information was collected using data from the online
38 mapping platform of the Brazilian Soil Coverage and Land Use Mapping (MapBiomas). The
39 geometry, relief and drainage network characteristics of the rio Pardo basin indicate that it has
40 low propensity to floods and tendency to conservation. Much of its area is between 600 and
41 1000 m of altitude and with predominance of undulating and soft-wavy slopes. The area
42 devoted to agricultural activities increased during the period evaluated and occupy most of the
43 basin, while the area of forests was reduced, the second in size; these two classes occupy more
44 than 96% of the catchment area.

45

46

Keywords: river basin characterization, hydrology, GIS.

47

48

3 INTRODUÇÃO

49

50

51 Entende-se como bacia hidrográfica uma área que é topograficamente delimitada,
52 drenada por um sistema interconectado de cursos de água, de tal forma que toda a vazão efluente
53 seja descarregada em um único ponto conhecido como exutório (TUCCI, 2004), e se constitui
54 na unidade básica dos estudos hidrológicos. Suas diversas características – vegetação, fauna,
55 solo, relevo, forma e clima – que dinamicamente permanecem em constante interação, são de
56 grande importância nos processos do ciclo hidrológico. As diversas manifestações destas
57 características influenciam a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a
58 evapotranspiração e os escoamentos superficial e subsuperficial para determinada região
59 (ALVES; CASTRO, 2003).

60 Uma das primeiras análises executadas em estudos hidrológicos ou ambientais é a
61 caracterização morfométrica. Por meio desta, é possível obter informações como forma,
62 altimetria, declividade, distribuição e número de canais, que, segundo Antonelli e Thomaz
63 (2007), permitem a diferenciação de áreas homogêneas, bem como podem revelar indicadores
64 físicos específicos para um determinado local, sendo uma etapa imprescindível para
65 qualificação das alterações ambientais.

66 Com a consolidação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) é possível
67 realizar a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas utilizando um MDE (Modelo
68 Digital de Elevação), que é um modelo digital da superfície de um terreno criado a partir de
69 dados de elevação capturados pelo satélite, onde, por meio de programas de SIG, é possível
70 utilizá-lo para diversas análises em hidrologia, desde a delimitação de uma bacia, até a
71 realização de análises temporais de uso e ocupação do solo. Para utilizar o MDE em análises
72 hidrológicas, deve-se inicialmente realizar uma série de pré-tratamentos com a finalidade de

73 torná-lo um modelo digital de elevação hidrograficamente consistido (MDEHC). Por meio
74 deste é possível obter as características morfométricas das bacias de drenagem, utilizando para
75 isso programas de computador voltados ao processamento digital de imagens e sensoriamento
76 remoto. Segundo Chaves (2002), modelar digitalmente uma superfície de modo consistente
77 significa representar o relevo de forma a reproduzir com precisão o caminho do escoamento
78 superficial da água conforme observado no mundo real.

79 A bacia hidrográfica do rio Pardo destaca-se como uma das bacias mais importantes da
80 região, com seu rio principal denominado de rio Pardo; situa-se entre dois estados e possui
81 gestão compartilhada, porém não existe nenhum comitê de bacia hidrográfica instalado
82 (BRASIL, 2017), órgão de suma importância para o gerenciamento e manejo da bacia. Essa
83 deficiência contribui em grande parte para o uso não controlado dos recursos hídricos e aumento
84 da degradação ambiental, fato já destacado por Sampaio e Vargas (2011), que relatam que as
85 diversas alterações da ocupação e uso do solo ao longo do tempo estão contribuindo para a
86 poluição dos rios da bacia, sendo provocada principalmente pelas atividades pastoris e
87 agrícolas, ocupação irregular e lançamento do lixo doméstico, tanto às margens como dentro
88 do próprio rio.

89 Diante do exposto, este estudo tem como objetivos caracterizar morfometricamente a
90 bacia do rio Pardo e avaliar as mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas entre 2001 e
91 2016.

92

93

94

95

96

4 MATERIAL E MÉTODOS

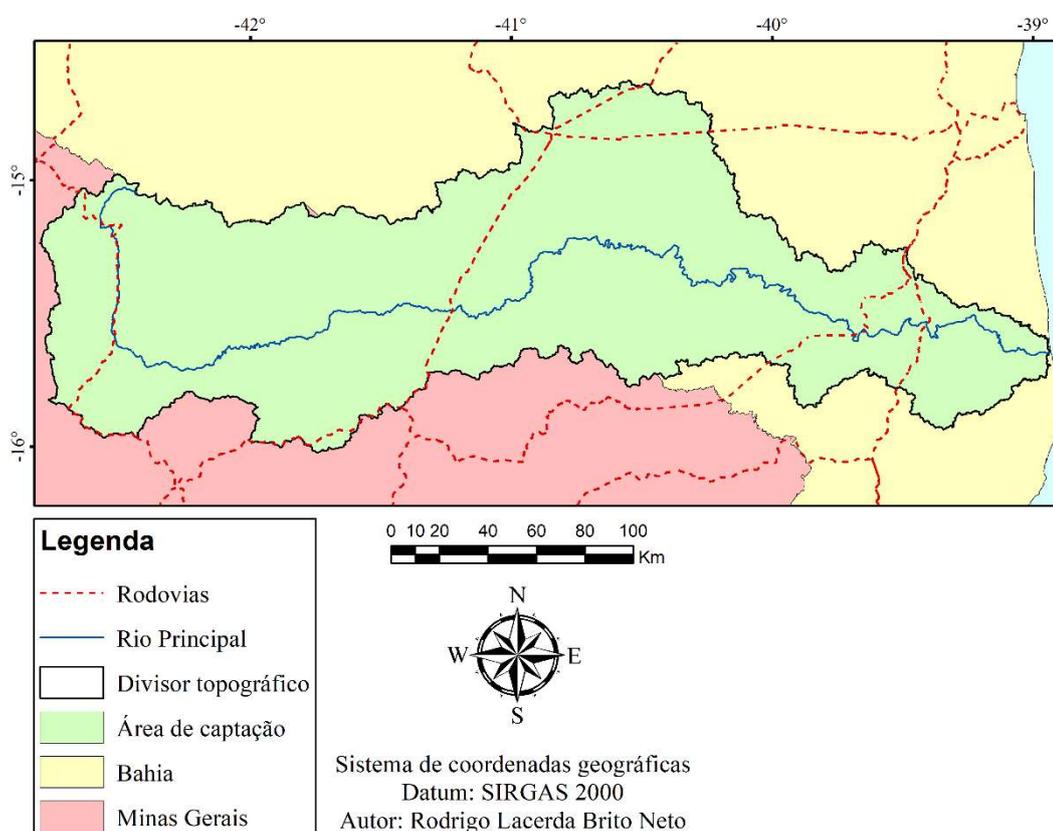
97

98

99 A bacia hidrográfica do rio Pardo é uma bacia federal, com nascente no município de
100 Montezuma, em Minas Gerais, e foz em Canavieiras, na Bahia (Figura 1). Em sua área de
101 captação estão inseridos um total de 32 municípios, dos quais 19 estão situados no estado da
102 Bahia e 13 no estado de Minas Gerais (SANTOS, 2017).

103

104 **Figura 1.** Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Pardo, Brasil.



105

106 **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

107 As precipitações médias anuais variam de 703,72 mm, na região central da bacia, a
108 1325,05 mm, mais próximo à foz, sendo a precipitação média anual de longa duração de 886,25
109 mm. Em trabalho realizado por Santos (2017), é relatado que a vazão média mensal para a bacia
110 do rio Pardo variou de 10,8 m³/s (setembro) a 55,6 m³/s (dezembro), sendo a vazão média anual

111 de 22,9 m³/s e os meses de novembro, dezembro e janeiro os que apresentaram maiores valores
112 de precipitação e de vazão.

113 Os MDEs utilizados para gerar o modelo digital de elevação hidrologicamente
114 consistido foram obtidos por meio das imagens SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* –
115 disponibilizadas gratuitamente na plataforma online do projeto TOPODATA, do Instituto
116 Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com resolução espacial de 30 m. Foram selecionadas
117 oito cartas de MDE: 14S42_ZN, 14S405_ZN, 14S435_ZN, 15S39_ZN, 15S42_ZN,
118 15S405_ZN, 15S435_ZN e 16S42_ZN. O software utilizado para a manipulação das imagens
119 SRTM e obtenção do MDEHC foi o ArcGIS® 10.2 do ESRI.

120 Inicialmente, os dados do STRM foram projetados para o sistema UTM zona 24S e
121 *datum* SIRGAS 2000, tomando-se o cuidado de transformar todas as células geradas para a
122 resolução espacial de 30 m, resolução radiométrica de números inteiros de 16 bits e os valores
123 identificados como “*no data*” (células não possuem nenhuma informação geográfica devido ao
124 processo de interpolação ou obtenção da imagem por satélite) foram redefinidos para uma
125 altitude estipulada de 1 metro. Em seguida, foi utilizado o *plug-in ArcHydro* para ArcGIS®
126 10.2, que se trata de um conjunto de algoritmos para a geração de banco de dados hidrológicos
127 e análises espaciais de gestão de recursos hídricos. Para o processamento do terreno dentro do
128 *ArcHydro*, a sequência de passos utilizados foi: preenchimento das depressões espúrias
129 (incluindo as células com altitude 1 m nas regiões de “*no data*”), criação do grid de direção de
130 escoamento, criação do grid de fluxo acumulado e criação da drenagem numérica com acúmulo
131 inicial de 2000 células, valor adotado segundo metodologia descrita por Jardim et al. (2017).

132 Foi realizada verificação e correção da hidrografia, que visa suavizar a rede de drenagem
133 orientando-a no sentido nascente-foz. Para isso, foram adicionadas algumas regras topológicas
134 como as descritas por Elesbon et al. (2011): a) não devem existir cursos de água com

135 comprimentos inferiores a três células do grid, b) o rio não pode intersectar-se e c) a hidrografia
136 deve apresentar trechos contínuos. Para garantir que o escoamento correspondesse à realidade,
137 foi utilizada a carta de declividade SD-24, no formato *shapefile*, do Serviço Geológico do
138 Brasil, escala 1:300.000, em que a rede de drenagem gerada anteriormente foi manualmente
139 corrigida e orientada em locais onde não havia correspondência com a declividade observada.

140 O último procedimento realizado para a obtenção do MDEHC foi o *stream burning*,
141 presente no complemento *ArcHydro*, que, de acordo com Chaves (2002), consiste em forçar o
142 escoamento a seguir o caminho da drenagem corrigida, gerando assim um novo MDE com o
143 relevo aprofundado nas células pertencentes à hidrografia. Para a realização desta última etapa,
144 foi utilizada a rede de drenagem corrigida por meio da carta de declividade, adequando-se às
145 exigências estabelecidas por Saunders (2000). Obtido o MDE com a hidrografia aprofundada,
146 refaz-se todo o procedimento, desde o preenchimento de depressões espúrias que porventura
147 possam ter sido geradas, até a obtenção de um novo fluxo acumulado. A partir deste ponto,
148 considera-se que o MDE está hidrologicamente consistido.

149 As características morfométricas analisadas foram agrupadas conforme Tonello (2005),
150 em características geométricas, do relevo e de rede de drenagem.

151

152 **Características geométricas:**

153 a) Área (A): toda a área de drenagem inclusa entre os divisores topográficos de uma
154 bacia hidrográfica projetada em plano horizontal.

155 b) Perímetro (P): comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas.

156 c) Comprimento axial (C): maior comprimento da bacia.

157 d) Fator de forma (Kf) (Equação 1): relaciona a forma da bacia com a de um retângulo,
158 correspondendo à razão entre a área de drenagem e o comprimento axial da bacia. Quanto mais
159 baixo for o coeficiente, mais acentuada é a tendência a enchentes (TUCCI, 2004).

160

$$161 \quad Kf = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

162

163 Em que: L = comprimento axial (km) e A = área total da bacia (km²).

164 e) Coeficiente de compacidade (Kc) (Equação 2): constitui a relação entre o perímetro
165 da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia. Quanto mais irregular ela
166 for, maior será o coeficiente de compacidade, de maneira que um coeficiente mínimo igual a
167 uma unidade corresponderia a uma bacia circular, e quanto mais os valores se distanciam
168 positivamente de um, mais alongada é a bacia (TONELLO, 2005).

169

$$170 \quad Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

171

172 Em que: P = perímetro total da bacia (km) e A = área total da bacia (km²).

173 f) Índice de circularidade (Ic) (Equação 3): simultaneamente ao coeficiente de
174 compacidade, este índice tende para unidade à medida que a bacia se aproxima à forma circular
175 e diminui à medida que a forma se torna alongada (TUCCI, 2004).

176

$$177 \quad Ic = \frac{(12,57 \times A)}{P^2} \quad (3)$$

178

179 Em que: P = perímetro total da bacia (km) e A = área total da bacia (km²).

180 Os índices Kf, Kc e Ic podem ser divididos em classes que possibilitam dividir uma
181 bacia hidrográfica em redonda, ovalada, oblonga ou comprida (VILLELA; MATTOS, 1975),
182 conforme descrito na Tabela 1.

183

184 **Tabela 1.** Valores, formatos e interpretação do fator de forma (Kf), índice de circularidade (Ic)
185 e coeficiente de compacidade (Kc).

Kf	Ic	Kc	Formato	Interpretação ambiental
1,00 a 0,75	1,00 a 0,80	1,00 a 1,25	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,76 a 0,50	0,81 a 0,60	1,26 a 1,50	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
0,51 a 0,30	0,61 a 0,40	1,51 a 1,70	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
< 0,30	< 0,40	> 1,70	Comprida	Tendência à conservação

186 **Fonte:** Adaptado de Villela e Mattos (1975).

187

188 **Características de relevo:**

189 a) Declividade: por meio do MDEHC foi realizada a classificação conforme EMBRAPA
190 (1999), sendo: 0 a 3%, plano; 3 a 8%, suave ondulado; 8 a 20%, ondulado; 20 a 45%, forte
191 ondulado; 45 a 75%, montanhoso; e acima de 75%, forte montanhoso. Calculou-se ainda a
192 declividade do rio principal utilizando-se três diferentes métodos: S1, declividade obtida com
193 base na diferença de nível entre a nascente e a foz; S2, declividade obtida com base no critério
194 de equivalência de áreas; e S3, declividade equivalente constante obtida com base na velocidade
195 de deslocamento da água ao longo do perfil longitudinal do curso d'água.

196 b) Altitude: obtida por meio da extração direta dos valores de cada pixel do MDEHC.
197 A variação de altitude associa-se com a pluviosidade, evaporação e transpiração e,
198 conseqüentemente, com o deflúvio médio, pois grandes variações de altitude numa bacia

199 acarretam diferenças significativas na temperatura média, a qual, por sua vez, causa variações
200 na evapotranspiração.

201

202 **Características da rede de drenagem:**

203 a) Hierarquização dos cursos d'água: consiste na classificação de determinado curso
204 d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se
205 encontra, possibilitando o ordenamento de todos os canais inseridos em uma área de drenagem.
206 A metodologia utilizada neste trabalho foi proposta por Strahler (1952), em que os menores
207 canais sem tributários são considerados de primeira ordem; os canais de segunda ordem surgem
208 da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem; os
209 canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo
210 receber afluentes de canais de ordens iguais ou inferiores e, assim, sucessivamente.

211 b) Densidade de drenagem (Dd) (Equação 5): definida por Horton (1945), reflete a
212 influência da geologia, da topografia, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica. Está
213 relacionada ao tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia.

214

$$215 \quad Dd = \frac{Lr}{A} \quad (5)$$

216

217 Em que: Lr = comprimento total dos rios (km) e A = área total da bacia (km²).

218 França (1968) classificou a densidade de drenagem em: baixa, média, alta e super alta,
219 de acordo com a Tabela 2.

220

221

222

223 **Tabela 2.** Valores, classificação e interpretação dos resultados da densidade de drenagem

Dd (km/km ²)	Classificação	Interpretação ambiental
< 1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,5 a 2,5	Média	Tendência mediana de escoamento superficial
2,5 a 3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
> 3,0	Super alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão

224 **Fonte:** Adaptado de França (1968).

225

226 c) Índice de sinuosidade (Is) (Equação 6): é a relação entre a distância da desembocadura
 227 do rio e a nascente mais distante (talvegue), medida em linha reta (Lt), e o comprimento do
 228 canal principal (Lp). A sinuosidade pode ser classificada de acordo com o Is em: muito reto (Is
 229 < 20%), reto (20% a 29%), divagante (30% a 39%), sinuoso (40% a 49%) e muito sinuoso (Is ≥
 230 50%) (ROMERO; MARTINS; NORONHA, 2017).

231

$$232 \quad I_s = \frac{100(L_p - L_t)}{L_p} \quad (6)$$

233

234 Em que: L_p = comprimento do rio principal (km) e L_t = comprimento do talvegue (km).

235 Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos por meio da plataforma online do
 236 Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias), cujo
 237 objetivo é gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil.

238 As classificações de cobertura e uso do solo da coleção MapBiomias são baseadas em
 239 mosaicos de imagens Landsat. Cada mosaico é produzido pela integração espacial das distintas
 240 cenas Landsat presentes em cada carta e pela integração temporal pixel a pixel, pelo cálculo da
 241 mediana, a partir do conjunto de cenas disponíveis para um determinado intervalo temporal.

242 Estes intervalos temporais foram definidos em função da variação da fenologia das tipologias
243 vegetais em cada um dos biomas brasileiros, como estratégia para melhorar os resultados da
244 classificação (MAPBIOMAS, 2017).

245 Por meio da plataforma online, é possível realizar o download dos dados ao nível de
246 bioma na escala de 1:1.000.000 no formato GeoTiff, bem como verificar a qualidade dos dados.
247 Todos os mosaicos de cada ano são classificados em qualidade baixa, média e alta, de acordo
248 com as interferências (nuvem, neblina, sombra de nuvem, etc.) nas cenas Landsat. Quanto à
249 qualidade da classificação, é possível observar para cada bioma as informações de acurácia
250 global (é a estimativa da proporção de acerto global dos classificadores), discordância de área
251 (fração do erro conferida à quantidade de área atribuída incorretamente às classes pelo
252 mapeamento), e discordância de alocação (proporção de erros de deslocamento). Os valores da
253 qualidade da classificação variam de acordo com o nível de detalhamento das classes, que são
254 divididas em três níveis, sendo o nível 1 menos detalhado e com maiores valores de acurácia
255 global, e o nível 3 mais detalhado e com menores valores de acurácia global. Os níveis e classes
256 podem ser verificados em Mapbiomas (2017). Trata-se de uma iniciativa recente, porém alguns
257 trabalhos já estão utilizando o MapBiomas como fonte de dados (ROSA, 2017; SOUSA, 2017;
258 RODRIGUES, 2018; MARIANO et al., 2018).

259 Os anos para a análise de mudança temporal do uso e ocupação do solo foram escolhidos
260 neste trabalho observando os seguintes aspectos: um intervalo mínimo de dez anos entre si,
261 qualidade dos mosaicos que sobrepõem a área de drenagem da bacia com qualidade de média
262 a alta e cuja acurácia global fosse superior a 60% (Tabela 4). Foram realizados para os anos de
263 2001 e 2016 os downloads dos mapas de uso e ocupação do solo para os biomas que estão
264 inseridos na área de captação da bacia (Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga) para o nível 1.

265 Os mapas dos biomas foram inseridos no programa ArcMap 10.2, onde foram unidos,
 266 reprojetados para UTM e *datum* SIRGAS 2000 e recortados para o formato da bacia,
 267 considerando informações morfométricas obtidas, como área e perímetro. Todas as classes de
 268 nível 2 ou 3 foram reclassificadas para o nível 1, pois este é o nível onde se observou uma
 269 acurácia dentro do estabelecido previamente. Assim, as classes nível 1 ficaram definidas como:
 270 Floresta, Formações naturais não florestais, Agropecuária, Áreas sem vegetação e Água. Cada
 271 classe teve sua área calculada e comparada, com intuito de avaliar se houve alterações.

272

273 **Tabela 4.** Acurácia global e erros de área e deslocamento para os biomas Cerrado, Caatinga e
 274 Mata Atlântica, para os anos de 2001 e 2016, para o nível 1 de detalhamento de
 275 classes do MapBiomas.

Ano	Bioma	Acurácia	Discordância de Área	Discordância de Alocação
2001	Cerrado	88,29%	4,23%	7,48%
	Caatinga	64,20%	15,61%	20,19%
	Mata Atlântica	79,91%	14,99%	5,10%
2016	Cerrado	86,33%	5,60%	8,07%
	Caatinga	70,11%	12,15%	17,74%
	Mata Atlântica	85,86%	10,57%	3,57%

276 **Fonte:** Mapbiomas (2017).

277

278 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

279

280 Na Tabela 5, estão apresentados, em síntese, os parâmetros morfométricos obtidos neste
 281 estudo para a bacia do rio Pardo.

282

283

284 **Tabela 5.** Parâmetros morfométricos da bacia do rio Pardo.

Parâmetros Morfométricos		Valor
Geométricos	Área (km ²)	32649,867
	Comprimento axial da área de drenagem (km)	419,930
	Perímetro (km)	2154,180
	Fator de forma – Kf	0,185
	Índice de compactidade – Kc	3,338
	Índice de circularidade – Ic	0,088
Comprimento total da rede de drenagem (km)		14335,524
Comprimento do rio principal (km)		807,395
Comprimento do talvegue (km)		383,125
Índice de sinuosidade (%)		52,548
Total de canais		5312,000
Rede de Drenagem	1 ^a Ordem	6649,288
	2 ^a Ordem	3220,701
	3 ^a Ordem	1686,271
	Comprimento dos Canais (km)	4 ^a Ordem 883,393
	5 ^a Ordem	263,002
	6 ^a Ordem	564,453
Densidade de drenagem – Dd (km/km ²)		0,439
Densidade hidrográfica – Dh (canais/km ²)		0,163
Relevo	Altitude máxima (m)	1767,000
	Altitude mínima (m)	1,000
	Altitude média (m)	669,615

Altitude mediana (m)		810,000
Amplitude altimétrica (m)		1766,000
Declividade (m/km)	S1	1,320
	S2	1,076
	S3	0,898

285 **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

286

287 A área de drenagem obtida para a região de estudo foi de 32649,867 km², tendo seu
288 perímetro um comprimento total de 2154,180 km. Os valores de Kf, Kc e Ic obtidos foram
289 respectivamente de 0,185, 3,338 e 0,088; como estes valores distanciam-se da unidade, pode-
290 se inferir que a bacia possui tendência à conservação de acordo com a classificação de Villela
291 e Mattos (1975). Motta et al. (2018), na bacia do rio Subaé-BA, identificaram um Kc de 1,38,
292 que foi classificado como de baixa propensão a enchentes. Resultados semelhantes também
293 foram encontrados por Lopes et al. (2018), ao estudar a bacia do rio Uma, em Ibiúna-SP, e por
294 Souza et al. (2018), na bacia do rio Ivaí-PR. Em contraponto, Andrade, Ferreira e Silva (2014)
295 classificaram a bacia do Córrego São Pedro, Uberlândia-MG, com forte tendência à inundação,
296 pois apresenta Kc igual a 1,12.

297 Ao analisarem a bacia hidrográfica do Ribeirão do Veado-SP, Felipe et al. (2013)
298 identificaram Kf igual 0,38, enquanto que Abud et al. (2015), ao caracterizarem quatro sub-
299 bacias do município de Xapuri-AC, obtiveram valores de Kf entre 0,11 e 0,27. Quanto ao índice
300 de circularidade, Santos et al. (2012) encontraram Ic igual a 0,41 e 0,45 para as sub-bacias dos
301 rios Perdizes e Fojo, Campos do Jordão, SP. Nestes estudos, os autores citados consideraram a
302 área de drenagem como baixa probabilidade de enchentes. Diferentemente, Andrade, Ferreira

303 e Silva (2014) verificaram que a bacia do córrego São Pedro, em Uberlândia-MG, com Kf igual
304 a 1,02, possui grande probabilidade natural de ocorrência de enchentes.

305 É importante destacar que, por mais que os coeficientes Kf, Kc e Ic expressem uma
306 tendência por meio de relações geométricas, a fragilidade da bacia quanto a sua suscetibilidade
307 à inundação não depende apenas desses fatores (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). Esta afirmação
308 pode ser exemplificada ao relacionar os estudos realizados na bacia hidrográfica do Rio Itajaí-
309 SC, que indicam que as regiões do médio e alto vale do Rio Itajaí tiveram ocorrências frequentes
310 de enchentes durante os últimos dez anos (SANTOS; TORNQUIST; MARIMON, 2014;
311 FRAGA, 2015; SILVA; SOUZA, 2016), porém a análise de Gerber et al. (2018) mostrou
312 valores de 1,51 para o Kc e 0,43 para o Kf para a mesma bacia, os quais indicariam uma baixa
313 propensão às enchentes.

314 A soma dos comprimentos de todos os canais totalizou 14335,524 km, destes, 807,395
315 km pertencem à maior extensão do rio principal (rio Pardo), que possui um talvegue de 383,125
316 km. Com sua nascente no município de Montezuma-MG e foz em Canavieiras-BA, o canal
317 principal possui um índice de sinuosidade de 52,5%, sendo classificado como muito sinuoso,
318 apresentando canais de até 6ª ordem, sendo assim bastante ramificado. Antoneli e Thomaz
319 (2007), Nardini et al. (2013) e Moreli, Pereira e da Silva (2014) relatam que uma alta
320 sinuosidade favorece um menor transporte de sedimento e, conseqüentemente, menores
321 chances de assoreamento em condições favoráveis.

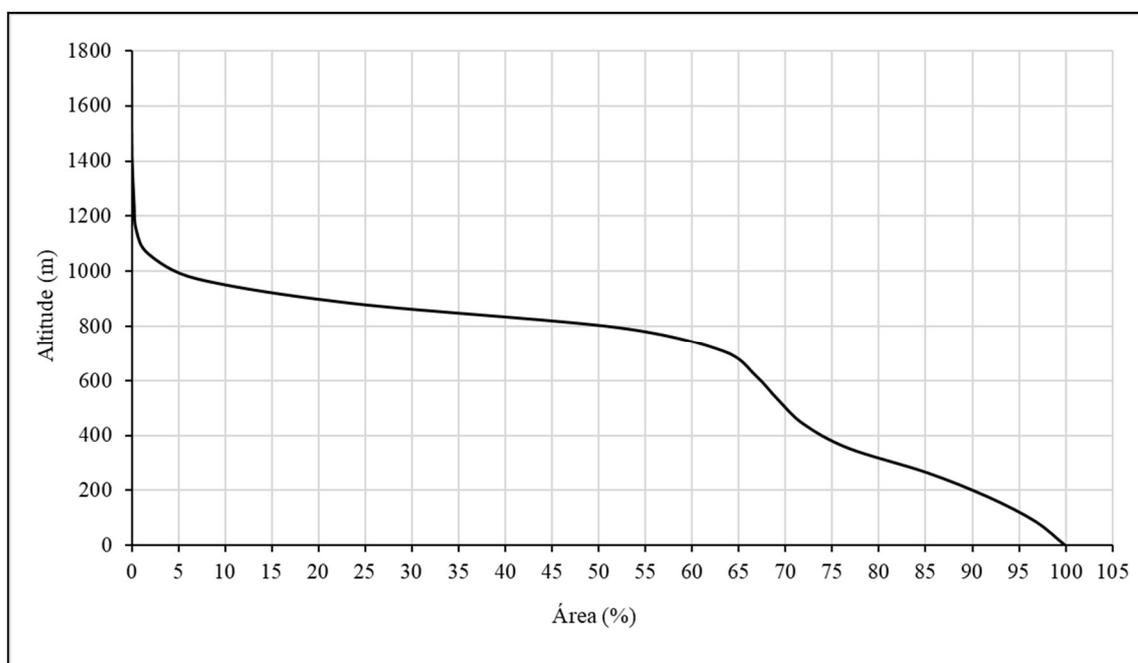
322 O valor encontrado para a densidade de drenagem foi de 0,439 km/km², com 0,16
323 canais/km², desta forma a bacia do rio Pardo caracteriza-se como tendo uma baixa capacidade
324 de drenagem, pois conforme estabelecido por Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem
325 pode variar de 0,5 km/km², em bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais em bacias
326 bem drenadas. Um valor baixo de Dd indica ainda a potencialização da infiltração das águas

327 subterrâneas, ampliando a recarga do lençol freático e reduzindo os efeitos dos picos de vazão,
328 diminuindo os riscos de extravasamento dos canais fluviais (FRAGA et al., 2014).

329 Os resultados das análises de altimetria revelaram que a altitude média foi de 669,615
330 m, com mínima de um e máxima 1767 m. A análise da curva hipsométrica demonstrou que a
331 altitude mediana foi de 810 m e que 0,49% da área da bacia do rio Pardo está acima de 1150 m,
332 bem como 63% da área encontra-se entre 600 e 1000 m de altitude (Figura 2).

333

334 **Figura 2.** Curva hipsométrica da bacia do rio Pardo, Brasil.



335

336 **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

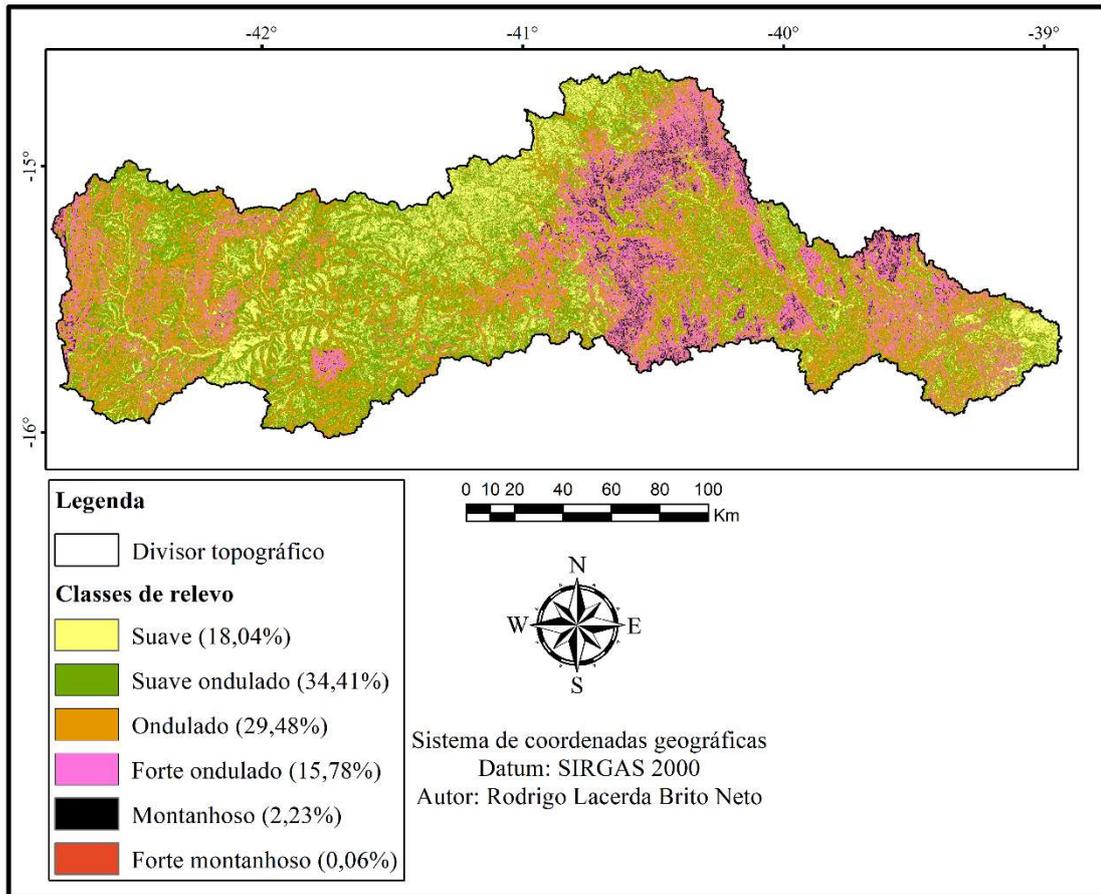
337

338 A análise da declividade da bacia revelou que 34,41% da área possui relevo na classe
339 suave-ondulado, 29,48% na classe ondulado, 18,04% possui relevo suave, 15,78% como sendo
340 forte-ondulado, 2,23% na classe montanhoso e 0,06% com relevo forte-montanhoso (Figura 3).

341

342

343 **Figura 3.** Declividade da bacia do rio Pardo, Brasil.



344

345 **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

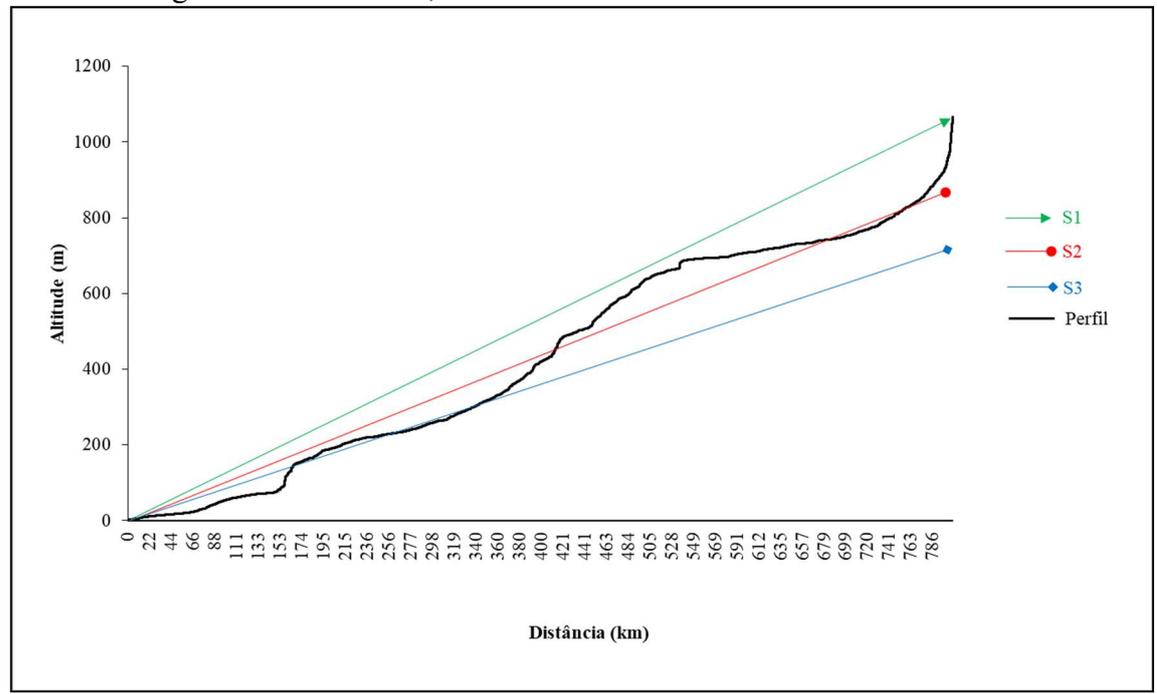
346

347 Segundo Felipe et al. (2013), é de fundamental importância conhecer o relevo nas ações
348 de planejamento e gestão de bacias hidrográficas. Rodrigues et al. (2011) relatam que, em áreas
349 de maior declividade e desprotegidas de vegetação, as possibilidades de degradação da bacia
350 hidrográfica aumentam. Estas informações são comprovadas por Pereira et al. (2015) e Silva et
351 al. (2017) que, ao quantificar a perda de solos por erosão laminar em diferentes bacias
352 hidrográficas, identificaram que as áreas mais críticas de perda de solos estão associadas às
353 elevadas declividades.

354 Na Figura 4 estão apresentados o perfil longitudinal do rio principal, bem como as
355 declividades S1, S2 e S3. Segundo Elesbon et al. (2011), o modelo S3 é aquele que melhor
356 representa a declividade do rio, porque leva em consideração o tempo de percurso da água ao
357 longo da extensão do perfil longitudinal, sendo estimada dividindo-se a extensão do rio em
358 diversos trechos retilíneos, obtendo-se valor de 0,898 m/km. Para as demais metodologias, os
359 valores obtidos foram de 1,320 m/km para S1 e 1,076 m/km para S2. Ao realizar a
360 caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Pancas-ES, Ferreira, Moura e Castro
361 (2015) encontraram o valor de 0,7, 0,52 e 0,12 m/km para as declividades S3, S1 e S2,
362 respectivamente.

363

364 **Figura 4.** Perfil longitudinal do rio principal e declividades pelos métodos S1, S2 e S3, na bacia
365 hidrográfica do rio Pardo, Brasil.



366

367 **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

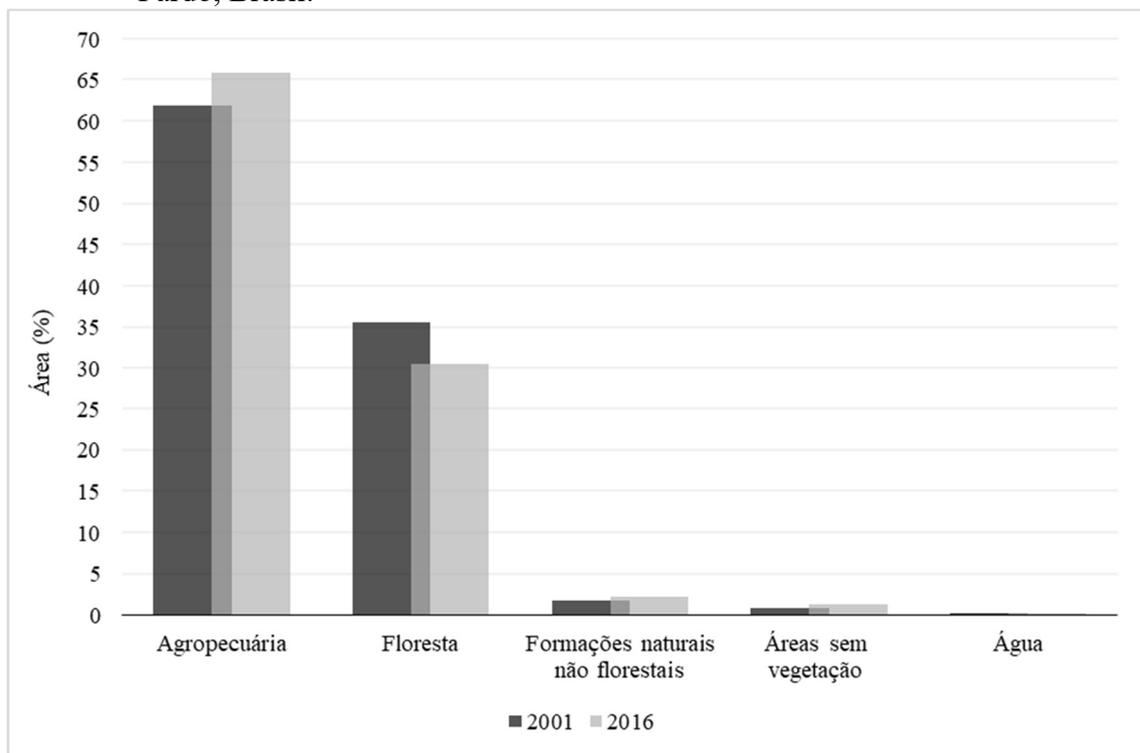
368

369 A cobertura do solo da bacia do rio Pardo foi alterada ao longo dos anos, sendo a classe
370 agropecuária e florestal as que demonstraram maior mudança entre os períodos analisados

371 (Figura 5). De 2001 a 2016 houve um aumento de 4,06% na área destinada à agropecuária e
372 uma redução de 5,04% na área de floresta. Com alterações menores, as classes de formações
373 naturais não florestais, áreas sem vegetação e água sofreram aumentos de 0,49%, 0,45% e
374 0,04%, respectivamente.

375

376 **Figura 5.** Uso e ocupação do solo para os anos de 2001 e 2016 na bacia hidrográfica do rio
377 Pardo, Brasil.



378

379 **Fonte:** Elaborado pelo autor (2018).

380

381 A relação da proporção de áreas sem vegetação (solo exposto e urbano) com áreas com
382 cobertura vegetal (arbóreas e não arbóreas) dentro de uma bacia hidrográfica influencia no
383 escoamento superficial, o que, conseqüentemente, acarreta respostas na erosão, produção e
384 transporte de sedimentos.

385 Ao avaliar a dinâmica sazonal da cobertura do solo agrícola na geração do escoamento
386 superficial na bacia drenada pelo alto vale do rio Marrecas-PR, Aguiar (2017) concluiu que há

387 forte correlação entre o acréscimo nos picos de vazão e a ocupação por solo exposto, picos estes
388 que variaram de 0,78 a 1,64 m³/s, por km² de solo exposto. Respostas do uso e ocupação de
389 solo na produção de sedimentos foram verificadas por Vanzela et al. (2018), relatando que o
390 uso e ocupação dos solos influenciaram significativamente a concentração de sólidos totais e
391 dissolvidos no período seco, bem como a condutividade elétrica e a vazão específica nos
392 períodos seco e úmido, tendo áreas antropizadas como as maiores contribuintes na produção de
393 sedimentos nas duas bacias hidrográficas do estudo. Da mesma forma, Cabral e Reis (2015)
394 relatam que áreas como a urbanização e os solos expostos foram as que mais produziram
395 sedimentos ao longo do ano de 2010, na bacia hidrográfica do rio Jacarecica-AL.

396 Uma alternativa que reduz o escoamento superficial e, conseqüentemente, o depósito de
397 sedimentos nos cursos d'água é o aumento de áreas com florestas. Marques, Vicente e Lima
398 (2016) concluíram que, apesar do aumento de 80,9% na área de urbanização na sub-bacia
399 Córrego do Luciano-SP, houve redução no escoamento superficial direto em virtude da redução
400 das áreas de solo exposto em aproximadamente 78,3%. Isso se deve pelo acréscimo de áreas de
401 vegetação arbórea, as quais compensaram o efeito da expansão urbana no regime hidrológico
402 da região.

403 Neste estudo, as áreas de floresta e sem vegetação, em 2016, ocupavam,
404 respectivamente, 30,5% e 1,2% do total, o que pode indicar que a bacia do rio Pardo possui
405 uma baixa produção de sedimentos e um possível escoamento superficial baixo; porém é
406 importante notar que 65,88% da bacia está ocupada por atividades agropecuárias e, a depender
407 das práticas de manejo adotadas, podem afetar o escoamento superficial e o aporte de sedimento
408 em bacias (WALLING, 1999; ZHANG et al., 2004).

409

410

6 CONCLUSÕES

411

412

413 As características de geometria, de relevo e da rede de drenagem da bacia do rio Pardo
414 indicam que a bacia possui baixa propensão à ocorrência de enchentes e tendência à
415 conservação. Grande parte de sua área encontra-se entre 600 e 1000 m de altitude e com
416 predominância de declividades onduladas e suave-onduladas. Seu rio principal de 6ª ordem
417 possui uma baixa tendência a assoreamento devido à alta sinuosidade.

418 A área dedicada às atividades agropecuárias aumentou durante o período avaliado e
419 ocupa a maior parte da bacia, enquanto a de florestas sofreu redução, sendo a segunda em
420 tamanho. As duas classes ocupam mais de 96% da área de captação e poucas são as áreas
421 ocupadas pelas classes de áreas não vegetadas, vegetação natural não florestal e água.

422

7 AGRADECIMENTOS

423

424

425 Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior)
426 pela concessão da bolsa durante todo o período de realização deste trabalho.

427

8 REFERÊNCIAS

428

429

430 ABUD, E. A.; LANI, J. L.; ARAÚJO, E. A.; AMARAL, E. F.; BARDALES, N. G.;
431 FERNANDES FILHO, E. I. Caracterização morfométrica das sub-bacias no município de
432 Xapuri: subsídios à gestão territorial na Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente e Água**, v. 10,
433 n. 2, p. 431-441, 2015.

434

435 AGUIAR, W. de. **Simulações hidrológicas de cenários de uso e ocupação do solo na bacia**
436 **drenada pelo alto vale do rio Marrecas – PR.** 2017. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia
437 Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2017.

438

439 ALVES, J. M. P., CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia
440 do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos análise de padrões de
441 lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, p. 117-127, 2003.

442

443 ANDRADE, S. L.; FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de
444 inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG.
445 **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 41, p. 1-16, 2014.

446

447 ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista,
448 Guamiranga-PR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, jun. 2007.

449

450 BRASIL. Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente (Org.). **Conjuntura dos**
451 **recursos hídricos no Brasil: informe 2017.** Brasília: ANA, 2017. 215 p. Disponível em:
452 <<http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

453

454 CABRAL, S. L.; REIS, R. S. Influência do uso e ocupação do solo na produção de sedimentos
455 na bacia do rio Jacarecica. **Revista de Geografia**, Recife, v. 32, n. 2, 2015.

456

457 CHAVES, M. de A. **Modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes para a**
458 **bacia Amazônica**. 2002. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal
459 de Viçosa, Viçosa, 2002.

460

461 ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; DA SILVA, D. D.; e DE CASTRO, I. Uso de dados
462 SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte
463 do Rio São Mateus-Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 3, p. 281-288, 2011.

464

465 EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de**
466 **classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio Janeiro, 1999. 412 p.

467

468 FELIPE, A. C.; CAMPOS, S.; PARIZOTO, N. M. S. F.; NARDINI, R. C.; TRAFICANTE, D.
469 P. Geoprocessing applied in morphometric of the Ribeirão do Veado watershed – Piratininga
470 (SP), seeking the conservation of the water resources. **Brazilian Journal of Applied**
471 **Technology for Agricultural Science**, v. 6, n. 2, p. 89-95, 2013.

472

473 FERREIRA, R.; MOURA, M.; e CASTRO, F. Uso de plataforma SIG na caracterização
474 morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Pancas-Brasil. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 210-216, 2015.

475

476 FRAGA, M. S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D. P.; BARROS,
477 F. M.; MARTINS, I, S, B. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Catolé
478 Grande, Bahia, Brasil. **Nativa**, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014.

479

480 FRAGA, N. C. Clima, gestão do território e enchentes no Vale do Itajaí-SC. **Terra Livre**. v. 1,
481 n. 20, p. 159-170, 2015.

482

483 FRANÇA, G. V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada**
484 **a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de
485 Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

486

487 GARCEZ, L. N; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher,
488 1988.

489

490 GERBER, D.; PERTILLE, C. T.; VIEIRA, F. S.; CORRÊA, B. J. S.; e DE SOUZA, C. F.
491 Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Itajaí–Santa Catarina. **Acta**
492 **Biológica Catarinense**, v. 5, n. 1, 2018.

493

494 HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical
495 approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 3, n. 56,
496 1945.

497

498 JARDIM, P. F.; FLEISCHMANN, A. S.; PELINSON, D.; OLIVEIRA, A. M.; SIQUEIRA, V.
499 A.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. **Manual de Exemplo de Aplicação do Modelo MGB-**
500 **IPH 2017 utilizando o IPH-Hydro Tools**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas,
501 2017.

502

503 LOPES, E. R. do N.; DE SOUZA, J. C.; DE SOUSA, J. A. P.; ALBUQUERQUE FILHO, J.
504 L.; e LOURENÇO, R. W. Modelagem ambiental de bacias hidrográficas: caracterização
505 morfométrica e pedológica da bacia do rio Una–Ibiúna, Brasil. **Geosul**, v. 33, n. 66, p. 105-127,
506 2018.

507

508 MAPBIOMAS, 2017, **Algorithm Theoretical Base Document e Results – MapBiomias**
509 **General “Handbook”**. Disponível em: <mapbiomas.org/pages/methodology> Acesso em: 21
510 jun. 2018.

511

512 MARIANO, D. A.; SANTOS, C. A. C. dos; WARDLOW, B. D.; ANDERSON, M. C.;
513 SCHILTMAYER, A. V.; TADESSE, T.; SVOBODA, M. D. Use of remote sensing indicators
514 to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in
515 Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 213, p. 129-143, 2018.

516

517 MARQUES, S; M.; VICENTE, G. Z.; LIMA, C. G. da R. Estudo da Cobertura Vegetal e
518 Modelo Chuva x Vazão na Sub-Bacia do Córrego do Luciano Município de Jardinópolis-SP.
519 **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 9, n. 17, dez. 2016.

520

521 MORELI, A. P.; PEREIRA, D. P.; DA SILVA, S. F. Caracterização morfométrica da sub-bacia
522 hidrográfica do córrego Cancã, município de Venda Nova do Imigrante-ES, Brasil. **Nucleus**, v.
523 11, n. 2, p. 385-395, 2014.

524

525 MOTTA, P. N. S. D.; GLOAGUEN, T. V.; SANTOS, M. S. T.; DA SILVA FERREIRA, A.
526 T.; e MOTTA, T. O. Análise Morfométrica da bacia hidrográfica Do Rio Subaé, Bahia.
527 **Ambiência**, v. 13, n. 2, p. 470-485, 2018.

528

529 NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; DE BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; e
530 GOMES, L. N. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma
531 microbacia hidrográfica. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 687, 2013.

532

533 PEREIRA, T.S.R.; SANTOS, K. A.; SILVA, B. F.; FORMIGA, K. T. M. Determinação e
534 Espacialização da Perda de Solo da bacia hidrográfica do Córrego Cascavel, Goiás. **Rev.**
535 **Geogr. Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 76-93, 2015.

536

537 RODRIGUES, S. B. **Espécies semeadas e colonizadoras garantem a trajetória sucessional**
538 **da restauração de florestas na bacia do Alto Xingu**. 2017. 48 f. Dissertação (Mestrado em
539 Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

540

541 RODRIGUES, V. M.; FENNER, P. T.; AMARAL, L. P.; AMARAL, C. A.; BLANCO, J. I. E.
542 O. E. Degradação ambiental da microbacia do Ribeirão Tamanduá em relação com sua
543 morfometria. **Revista Forestal Venezolana**, v. 55, n. 1, p. 23-28, 2011.

544

545 ROMERO, V.; MARTINS F. K. T.; NORONHA, M. F. F. Estudo hidromorfológico de bacia
546 hidrográfica urbana em Goiânia/GO. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 2, 2017.

547

548 ROSA, M. R. Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura
549 florestal da mata atlântica. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 95, p. 25-34, 2017.
550

551 SAMPAIO, N.; VARGAS, M. A. M. As paisagens do rio Pardo desvendada pela comunidade
552 Ribeirinha no Sudoeste da Bahia: Conversações entre o percebido e o vivido. **Ateliê**
553 **Geográfico**, Goiânia, v. 4, n. 4, p. 147-177, 2011.
554

555 SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das
556 sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil.
557 **Revista Ambiente e Água**. v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.
558

559 SANTOS, L. C. O. **Influência dos usos consuntivos da água e do uso e cobertura da terra**
560 **na vazão da bacia hidrográfica do rio Pardo**. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências
561 Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2017.
562

563 SANTOS, C. F. DOS; TORNQUIST, C. S.; MARIMON, M. P. C. Indústria das enchentes:
564 impasses e desafios dos desastres socioambientais no vale do Itajaí. **Geosul**. v. 29, n. 57, p.
565 197-216, 2014.
566

567 SAUNDERS, W. K. **Preparation of DEMs for Use in Environmental Modeling Analysis**.
568 Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic information Systems. ESRI
569 Press, USA, 2000.
570

571 SILVA, E. E. R.; LOPES, E. S.; DE SOUSA, L. R. P.; MACEDO, M. A.; DE CASTRO
572 BOLINA, C.; GOMES, M. I. L. Estimativa da erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão
573 João Leite–GO a partir de análise espacial de dados. **Revista Estudo e Debate**, v. 24, n. 3,
574 2017.

575

576 SILVA, P. R. da; SOUZA, F. de. Inundações no município de Rio do Sul: uma análise dos
577 eventos de 2011 e 2013 à luz da gestão de risco de desastres. **Revista Ordem Pública**, v. 9, n.
578 1, p. 163-179, 2016.

579

580 SOUSA, S. B. **Dinâmica territorial e padrões espaciais da pecuária brasileira**. 2017. 182 f.
581 Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

582

583 SOUZA, C. F.; PERTILLE, C. T.; CORRÊA, B. J. S.; E VIEIRA, F. S. Caracterização
584 morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí-Paraná. **Geoambiente On-line**, v. 1, n. 29, jan.
585 2018.

586

587 STRAHLER, A. N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Geological Society of**
588 **America Bulletin**, n. 63, p. 111-1141, 1952.

589

590 TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas,**
591 **Guanhães, MG**. 2005. 69 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal
592 de Viçosa, Viçosa, 2005.

593

594 TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da
595 UFRGS/ABRH, 2004.

596

597 VANZELA, L. S.; SOUZA, R. A. de; PITARO, F. A. da M.; SILVA, P. A. F.; SANCHES, A.
598 C. Influência da ocupação do solo e do excedente hídrico sobre a vazão e transporte de
599 sedimentos. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 181, 2018.

600

601 VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. McGraw-Hill, 1975.

602

603 WALLING, D.E. Linking land use, erosion, and sediment yields in river basins. **Hydrobiologia**,
604 v. 410, p. 223-240, 1999.

605

606 ZHANG, C.; NEARING, M. A.; GARBRECHT, J. D.; STEINER, J. L. Downscaling monthly
607 forecasts to simulate impacts of climate change on soil erosion and wheat production. **Soil Sci.**
608 **Soc. Am. J.**, v. 68, p. 1376-1385, 2004.

ARTIGO 2:

APLICAÇÃO DO MODELO MGB-IPH NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO ¹

APPLICATION OF THE MGB-IPH MODEL IN THE PARDO RIVER BASIN IN DIFFERENTSLAND USE AND OCCUPATION SCENARIOS

RESUMO

As alterações causadas pela ação do homem ao meio ambiente podem influenciar a disponibilidade de água em bacias hidrográficas, e mensurar os impactos causados por essa ação é imprescindível para a tomada de decisões por órgãos gestores. Desta forma, o objetivo deste estudo foi realizar a calibração e validação do modelo MGB-IPH para simular o comportamento da vazão na bacia hidrográfica do rio Pardo em diferentes cenários de uso e ocupação do solo. Para isso, foram usadas informações de uso e ocupação do solo que revelam que a bacia hidrográfica em estudo teve uma redução em sua área de floresta e aumento das áreas dedicadas às atividades agropecuárias, entre os anos de 2001 e 2016. Com essas informações acerca da bacia e com os dados climáticos e os tipos de solos disponíveis, foi realizada a calibração e a validação do modelo, que teve seus desempenhos verificados. As mudanças nas vazões mensais médias, totais, máximas e mínimas simuladas pelos diferentes cenários foram comparadas por meio de teste de média para amostras dependentes e avaliação das vazões anuais máximas, médias e mínimas dos valores testados. O MGB-IPH foi validado de forma satisfatória para a estação 53880000 da Agência Nacional de Águas, tendo problemas de subestimativa de picos de vazões máximas, porém conseguindo representar adequadamente os dados observados em termos da sazonalidade das vazões, da diferenciação de anos mais úmidos e anos mais secos e dos picos de cheias de média e pequena intensidade. O modelo foi sensível ao identificar o impacto das mudanças do uso e ocupação do solo nas vazões simuladas para a bacia hidrográfica do rio Pardo, com o cenário de 2016 apresentando maiores valores de vazões mensais médias, totais, máximas e mínimas que as encontradas no cenário de 2001.

Palavras-chave: modelo hidrológico; uso do solo; vazão; mapbiomas.

ABSTRACT

The changes caused by man's action on the environment can influence the availability of water in watersheds, measure the impacts caused by anthropic action in these is essential for decision making by management bodies. Thus, the objective of this study was to perform the calibration and validation of the MGB-IPH model to simulate flow behavior in the Pardo river basin in different land use and occupation scenarios. For this purpose, soil use and land use information was used to show that the studied watershed had a reduction in its area of forest and an increase in the areas dedicated to agricultural activities between 2001 and 2016. With this information of the basin and with the available climatic and soil type data was performed the calibration and the validation of the model that had their performances verified. The changes in average, total, maximum and minimum monthly flows simulated by the different scenarios were analyzed by mean test for dependent samples and evaluation of the maximum, average and minimum annual flows previously tested. The MGB-IPH was satisfactorily validated for the National Water Agency's 53880000 station, with problems of underestimation of maximum flow peaks, but managed adequately to represent the observed data in terms of the seasonality of flows, the differentiation of wetter years and years, and of medium and small intensity peaks. The model was sensitive to identify the impact of changes in land use and occupation on the simulated flows to the Pardo river basin, with the 2016 scenario presenting higher average, total, maximum and minimum monthly flow values than the 2001 scenario.

Keywords: hydrological model; land use; flow; mapbiomas.

INTRODUÇÃO

O processo de antropização de uma região envolve primordialmente o acesso à água, pois é por meio desta que se desenvolverão as práticas rurais e urbanas nas quais o ser humano, através da sua força de trabalho, ocupa e modifica o ambiente. Neste processo de ocupação, são definidos os usos do solo; áreas antes pertencentes à vegetações naturais poderão ser destinadas tanto às práticas agrícolas, urbanização, construção de estradas, como para conservação e preservação dos recursos naturais. As consequências da diminuição de áreas de florestas e

¹ Artigo editado conforme as normas da revista Ciências Florestais (Anexo C).

56 vegetações naturais não florestais em uma bacia hidrográfica são o aumento do escoamento superficial, perda de
57 solo por erosão, bem como redução da evapotranspiração e da interceptação das águas pluviais promovida pela
58 vegetação nativa (EUM; DIBIKE; PROWSE, 2016; SILVA; SILVA; SOUZA, 2016; LOTZ; OPP; HE, 2017). A
59 expansão de áreas destinadas a atividades agropecuárias tem sido relacionada à redução nas taxas de infiltração e
60 aumento da densidade aparente, proveniente de práticas não conservacionistas, como a utilização de máquinas
61 pesadas e pastejo não rotacionado; efeitos que contribuem para a potencialização do escoamento superficial e
62 dificulta o abastecimento dos lençóis freáticos (GÓMEZ; CAMACHO; VÉLEZ, 2013; FEITOSA et al., 2015;
63 SILVA; BIANCHINI; CUNHA, 2016).

64 Realizar a previsão do comportamento e dos impactos sofridos sobre bacias hidrográficas é um dos
65 desafios dos estudos hidrológicos. Para auxiliar nessa tarefa, Bayer e Collischonn (2013) evidenciam a
66 importância da simulação hidrológica que, segundo os autores, por meio de modelos é possível a tomada de
67 medidas preventivas através da análise do comportamento de diferentes cenários ou condições de ocupação de
68 solo sobre a bacia, contribuindo assim para a redução dos impactos.

69 Modelos que permitem a simulação dos processos hidrológicos no tempo e no espaço são chamados de
70 modelos distribuídos. Nestes modelos, Haghnegahdar et al. (2015) informam que os processos hidrológicos são
71 representados em subunidades da bacia hidrográfica, que podem ser células regulares ou irregulares baseadas na
72 topografia, considerando as diferentes classes de respostas hidrológicas (CRHs). Estas CRHs são regiões da bacia
73 que possuem comportamento hidrológico semelhante, que podem incorporar informações de características físicas
74 importantes das bacias, como o relevo e os tipos de solos, bem como sua distribuição no espaço e tempo.

75 O modelo hidrológico de grandes bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal
76 do Rio Grande do Sul (MGB-IPH) é um modelo distribuído que utiliza uma base física que se divide em dois
77 módulos: um que simula os processos hidrológicos verticais (balanço hídrico no solo, interceptação e
78 evapotranspiração) e outro que simula os horizontais (escoamento superficial, subsuperficial, subterrâneo,
79 propagação da vazão nos rios e na planície de inundação e propagação em reservatórios) (BAYER;
80 COLLISCHONN, 2013). A evapotranspiração no modelo é calculada pela equação de Penman-Monteith, e a
81 propagação na rede de drenagem é feita através do método de Muskingum-Cunge.

82 O MGB-IPH já foi aplicado em várias regiões do Brasil, na previsão de vazões e simulação hidrológica
83 nas bacias hidrográficas do rio Solimões-AM (PAIVA, 2009) e do rio dos Sinos-RS (PEREIRA; KAYSER;
84 COLLISCHONN, 2012). Utilizado para simulações de qualidade da água nas bacias do rio Ijuí-RS, São Francisco-
85 MG (FAN, 2013) e do rio Piracicaba-MG (MELO, 2014). Também já foi aplicado com sucesso em estudos sobre
86 impactos de mudanças climáticas em bacias hidrográficas, incluindo o rio Grande (NÓBREGA et al., 2011), rio
87 Ibicuí, importante afluente do rio Uruguai (ADAM; COLLISCHONN, 2013), rio Quaraí, entre o RS e o Uruguai
88 (PAIVA; COLLISCHONN; SCHETTINI, 2011) e no rio Paraguai, na região do Pantanal (BRAVO et al., 2014).

89 Devido à sua vasta aplicação e pela bacia não apresentar informações a respeito, este estudo teve como
90 objetivo realizar a calibração e a validação do modelo MGB-IPH para simular o comportamento da vazão na bacia
91 hidrográfica do rio Pardo em diferentes cenários de uso e ocupação do solo.

92 **MATERIAL E MÉTODO**

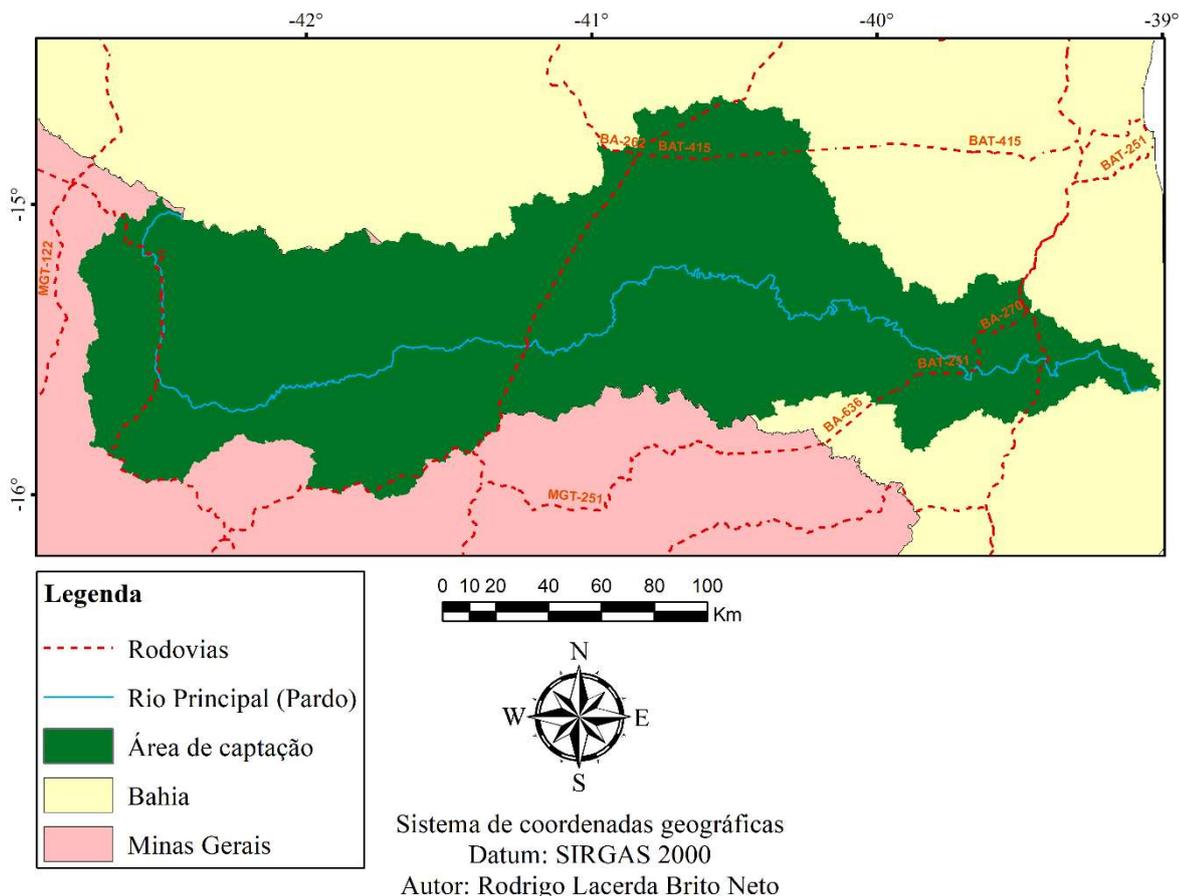
93
94
95 A bacia hidrográfica do rio Pardo possui área de drenagem de aproximadamente 32.649 km². Seu rio
96 principal, o rio Pardo, possui sua nascente no município de Montezuma-MG e foz em Canavieiras-BA (Figura 1).
97 A precipitação média anual varia de 703,72 mm, na região central da bacia, a 1.325,05 mm, mais próximo à foz,
98 sendo que o período mais chuvoso vai de outubro a abril, com precipitação superior a 60 mm (abril) e valores
99 acima de 163 mm (dezembro) e o mais seco vai de maio a setembro, onde os valores de precipitação média
100 mensais são inferiores a 60 mm (SANTOS, 2017).

101
102

103

104

105



106
107 FIGURA 1: Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Pardo, Brasil.
108
109 FIGURE 1: Geographical location of the Pardo river basin, Brazil.

110 Os procedimentos que seguem compõem a etapa de pré-processamento, que foram inteiramente realizados
111 pelo *plug-in* IPH-*Hydro tools* para *MapWindow GIS*, cujo objetivo é a geração das classes de resposta hidrológica
112 para os diferentes cenários de uso e ocupação do solo.

113 Para realizar este estudo, procedeu-se o download por meio do projeto Topodata (DE MORISSON; DE
114 FÁTIMA, 2012) de oito cenas do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* com resolução espacial de
115 aproximadamente 30 metros, que foram unidas para formar um único modelo digital de elevação (MDE). Este
116 modelo foi utilizado para obtenção da rede de drenagem, direções de escoamento, área de captação com exutório
117 no ponto de latitude $-15^{\circ}38'35''$ e longitude $-39^{\circ}00'47''$ e minibacias (área contribuinte de cada trecho de
118 drenagem na qual a água precipitada é conduzida diretamente para aquele segmento) (Figura 2).

119 As informações do tipo de solo foram retiradas do mapa de solos do Brasil (SANTOS et al., 2011), na
120 escala de 1:5.000.000, obtido online pelo repositório de Informação Tecnológica da Embrapa (Infoteca-e). Trata-
121 se de um mapa em formato PDF, cuja área correspondente à bacia hidrográfica anteriormente delimitada, foi
122 recortada e georreferenciada com o auxílio da aplicação ArcMap 10.2. Os tipos de solos foram reclassificados
123 para solos rasos e profundos, da seguinte forma: argissolos, chernossolos, espodosolos e latossolos como classe
124 de “solo profundo”; e cambissolos, gleissolos, luvisolos e neossolos como classe de “solo raso”.

125 Para gerar os mapas de uso e ocupação do solo que serão utilizados como cenários diferentes dentro do
126 modelo, utilizou-se os dados da coleção 2.3 da plataforma online do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura
127 e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas). Realizou-se o download dos anos de 2001 e 2016 dos mapas de uso e
128 ocupação para os biomas inseridos na área de captação (Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado) na escala de
129 1:1.000.000 no formato GeoTiff. Para cada ano, os mapas dos três biomas foram utilizados com entradas no
130 programa ArcMap 10.2, onde foram unidos, reprojutados para UTM e *datum* SIRGAS2000 e recortados para o
131 formato da bacia. As classes ficaram definidas como: floresta, vegetação natural não florestal, agropecuária, áreas
132 sem vegetação e água. Detalhes sobre a metodologia e classes dentro do MapBiomas podem ser consultados em
133 MAPBIOMAS (2017).

134 Os mapas dos tipos e usos/ocupação do solo foram então sobrepostos para formar os mapas das classes
135 de respostas hidrológicas (CRHs). Como existem dois mapas de uso e ocupação do solo, foram gerados os mapas

136 de CRHs para os anos de 2001 e 2016, configurando assim os dois diferentes cenários que podem ser visualizados
 137 na Tabela 1.

138
 139 TABELA 1: Porcentagem das áreas ocupadas pelas classes de resposta hidrológicas para os anos de 2001 e 2016
 140 na bacia hidrográfica do rio Pardo, Brasil.

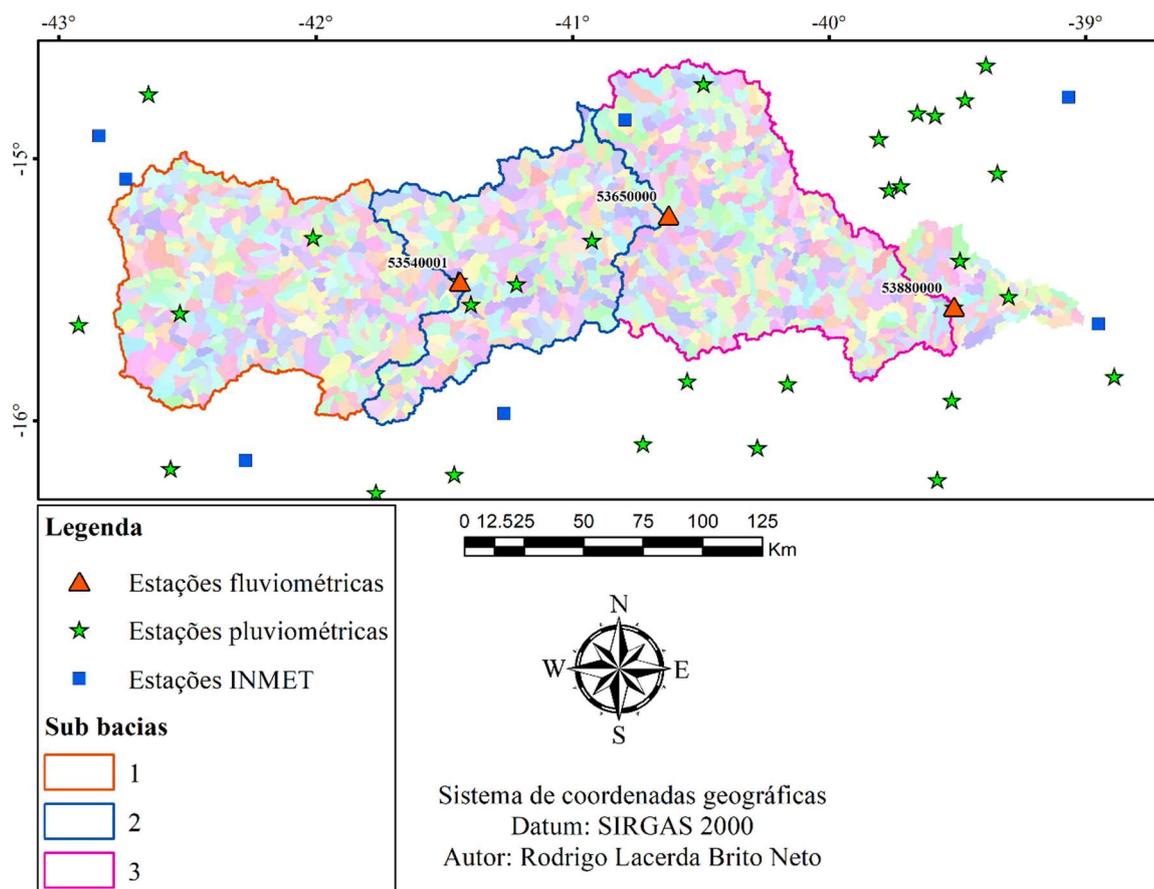
141 TABLE 1: Hydrological response classes areas for the years 2001 and 2016 in the Pardo river basin, Brazil.

CRHs	Área em 2001 (%)	Área em 2016 (%)
Floresta + solo profundo	27,58	22,78
Floresta + solo raso	7,70	7,46
Vegetação natural não florestal + solo profundo	0,77	1,13
Vegetação natural não florestal + solo raso	1,04	1,20
Agropecuária + solo profundo	57,40	61,36
Agropecuária + solo raso	4,61	4,69
Sem vegetação + solo profundo	0,74	1,20
Sem vegetação + solo raso	0,04	0,04
Água	0,12	0,15

142
 143 Os próximos procedimentos foram inteiramente realizados pelo *plug-in* MGB-IPH versão 4.1 para *QGIS*
 144 *Desktop*, sendo compostos das seguintes etapas: criação dos centroides de minibacias; preparação de dados de
 145 chuva, vazão e clima; parâmetros de vegetação; parâmetros de solo; criação de um projeto para simulação.

146 Por meio do mapa das minibacias foi gerado um arquivo *shapefile* no formato de pontos que se localizam
 147 no centro geométrico (centroide) de cada minibacia (Figura 2).

148



149
 150 FIGURA 2: Mapa das minibacias, das sub-bacias, das estações pluviométricas e fluviométricas na bacia
 151 hidrográfica do rio Pardo, Brasil.

152 FIGURE 2: Map of the minibasins, sub basins, rainfall and fluvial stations in the Pardo river basin, Brazil.

153

154 Os dados diários de chuva foram obtidos do banco de dados da HidroWeb da Agência Nacional de Águas
 155 (ANA), por meio do *plug-in ANA data acquisition*, presente no pacote de ferramentas do MGB-IPH. Realizou-
 156 se o *download* para 30 estações (Figura 2) e, observando-se a disponibilidade de dados, selecionou-se o período
 157 de 01/01/2000 a 31/12/2010.

158 Por meio do portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA) também foram obtidos dados diários
 159 de vazões observadas de 01/01/2000 a 31/12/2010 para três postos fluviométricos: 53540001, 53650000 e
 160 53880000. A escolha destes postos foi devido à disponibilidade de dados e estas estações foram utilizadas para
 161 delimitar as sub-bacias com exutórios concomitantes às suas localizações (Figura 2), sendo que, no sentido da
 162 jusante, têm-se: a sub-bacia 1, exutório na estação 53540001; a sub-bacia 2, exutório na estação 53650000 e a
 163 sub-bacia 3, exutório na estação 53880000. As vazões observadas nos postos fluviométricos foram utilizadas
 164 dentro do MGB-IPH para comparar às vazões simuladas e verificar a qualidade da simulação em cada sub-bacia.

165 Os dados de umidade relativa, insolação, pressão atmosférica, temperatura e velocidade do vento foram
 166 obtidos por meio das normais climatológicas (1981-2010) do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil
 167 (INMET) e inseridos na base de dados do MGB-IPH para as sete estações indicadas na Figura 2. Estes dados
 168 foram transformados em dados diários e então interpolados para cada centroide da minibacia.

169 Na calibração do modelo MGB-IPH foram considerados parâmetros de vegetação e parâmetros de solo.
 170 Os parâmetros de vegetação estão associados à vegetação existente em cada CRH, que são o albedo, a altura
 171 média da vegetação, o índice de área foliar (IAF) e a resistência superficial em boas condições de umidade do
 172 solo. No modelo, todos estes parâmetros, juntamente com o arquivo de dados de clima interpolados, foram
 173 utilizados no cálculo da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith.

174 Os parâmetros de vegetação utilizados para simulação da bacia hidrográfica do Rio Pardo encontram-se
 175 na Tabela 2. Os valores foram escolhidos de acordo com Bayer e Collischonn (2013), que fazem uma vasta revisão
 176 dos parâmetros do modelo MGB-IPH.

178 TABELA 2: Parâmetros de vegetação utilizados no MGB-IPH para a bacia do rio Pardo, Brasil.

179 TABLE 2: Vegetation parameters of the Pardo Brazilian river basin for the MGB-IPH.

CRH	Albedo	IAF	Altura média da vegetação (m)	Resistência superficial (s/m)
Floresta + solo profundo	0,10 - 0,18	1,50 - 4,00	12,00	70 - 180
Floresta + solo raso	0,10 - 0,18	1,50 - 4,00	12,00	70 - 180
Vegetação natural não florestal + solo profundo	0,18 - 0,23	0,50 - 1,00	1,00	60 - 80
Vegetação natural não florestal + solo raso	0,18 - 0,23	0,50 - 1,00	1,00	60 - 80
Agropecuária + solo profundo	0,20 - 0,26	0,50 - 4,00	0,50	40 - 80
Agropecuária + solo raso	0,20 - 0,26	0,50 - 4,00	0,50	40 - 80
Sem vegetação + solo profundo	0,10 - 0,35	1,00	0,10	100,00
Sem vegetação + solo raso	0,10 - 0,35	1,00	0,10	100,00
Água	0,08	1,00	0,00	0,00

180 Os parâmetros de solo também estão associados às CRH e são alteráveis durante o processo de
 181 modelagem, sendo estas alterações que caracterizam o processo de calibração. São parâmetros de solo:
 182 armazenamento máximo de água na camada de solo (W_m); relação entre saturação e armazenamento do modelo
 183 utilizado para balanço de água no solo (b); escoamentos subsuperficial (K_{int}) e subterrâneo (K_{bas}); tamanho dos
 184 poros do solo (XL); fluxo ascendente do aquífero (CAP); balanço de água no solo quando considera-se que a água
 185 subterrânea pode retornar por fluxo ascendente para a camada superficial (W_c) e coeficientes de ajuste para o
 186 tempo de retardo dos reservatórios lineares nas minibacias (C_s , C_i e C_b).

187 A calibração foi feita inicialmente por meio da modificação manual dos parâmetros de solo para cada uma
 188 das sub-bacias até a obtenção de um bom ajuste entre as vazões observadas e simuladas. Posteriormente, esta
 189 mesma configuração de parâmetros de solo foi utilizada como entrada na calibração automática presente no MGB-
 190 IPH. O período selecionado foi de janeiro de 2000 a dezembro de 2005. Os parâmetros de solo adotados após a
 191 calibração automática podem ser visualizados na Tabela 3 e os valores de C_s , C_i e C_b adotados para cada sub-
 192 bacia foram, respectivamente, 10, 50 e 3500 para a sub-bacia 1; 20, 40 e 900 para a sub-bacia 2; e 5, 55 e 4500
 193 para a sub-bacia 3.

194
 195
 196
 197

198 TABELA 3: Parâmetros de solo da bacia do rio Pardo utilizados no MGB-IPH para cada sub-bacia.
 199 TABLE 3: Soil parameters of the Pardo river basin for the MGB-IPH.

Sub-bacia	HRC	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	Floresta + solo profundo	852,80	0,01	1,07	20,00	0,60	0,00	0,10
	Floresta + solo raso	424,00	0,01	0,89	2,00	0,60	0,00	0,10
	Vegetação natural não florestal + solo profundo	852,80	0,01	1,07	20,00	0,60	0,00	0,10
	Vegetação natural não florestal + solo raso	424,00	0,01	0,89	2,00	0,60	0,00	0,10
	Agropecuária + solo profundo	852,80	0,01	1,07	20,00	0,60	0,00	0,10
	Agropecuária + solo raso	424,00	0,01	0,89	2,00	0,60	0,00	0,10
	Sem vegetação + solo profundo	852,80	0,01	1,07	20,00	0,60	0,00	0,10
	Sem vegetação + solo raso	424,00	0,01	0,89	2,00	0,60	0,00	0,10
	Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Floresta + solo profundo	1000,00	0,02	0,06	49,60	0,60	0,00	0,10
	Floresta + solo raso	500,00	0,02	0,05	12,79	0,60	0,00	0,10
	Vegetação natural não florestal + solo profundo	426,40	0,02	0,06	49,60	0,60	0,00	0,10
	Vegetação natural não florestal + solo raso	84,80	0,02	0,05	12,79	0,60	0,00	0,10
	Agropecuária + solo profundo	1000,00	0,02	0,06	49,60	0,60	0,00	0,10
	Agropecuária + solo raso	500,00	0,02	0,05	12,79	0,60	0,00	0,10
	Sem vegetação + solo profundo	426,40	0,02	0,06	49,60	0,60	0,00	0,10
	Sem vegetação + solo raso	84,80	0,02	0,05	12,79	0,60	0,00	0,10
	Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Floresta + solo profundo	266,50	0,08	0,68	12,40	0,60	0,00	0,10
	Floresta + solo raso	84,80	0,05	0,56	25,58	0,60	0,00	0,10
	Vegetação natural não florestal + solo profundo	266,50	0,08	0,68	12,40	0,60	0,00	0,10
	Vegetação natural não florestal + solo raso	84,80	0,05	0,56	25,58	0,60	0,00	0,10
	Agropecuária + solo profundo	266,50	0,08	0,68	24,80	0,60	0,00	0,10
	Agropecuária + solo raso	84,80	0,05	0,56	51,16	0,60	0,00	0,10
	Sem vegetação + solo profundo	266,50	0,08	0,68	12,40	0,60	0,00	0,10
	Sem vegetação + solo raso	84,80	0,05	0,56	25,58	0,60	0,00	0,10
	Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

200

201

202

203

204

205

206

A validação do modelo foi feita após o processo de calibração e consistiu na manutenção dos mesmos parâmetros da calibração para o período de janeiro de 2006 a dezembro de 2010.

Os resultados da calibração e validação tiveram seus desempenhos verificados por meio do coeficiente de eficiência de Nash Sutcliffe (ENS) e do coeficiente de Nash Sutcliffe dos logaritmos das vazões (ENSlog), Equações 1 e 2, respectivamente. Verificou-se ainda o erro percentual de volumes (E (%)) pela Equação 3.

207
$$ENS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{nt} (Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))^2}{\sum_{t=1}^{nt} (Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (1)$$

208

209
$$ENS_{log} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{nt} (\log(Q_{obs}(t)) - \log(Q_{cal}(t)))^2}{\sum_{t=1}^{nt} (\log(Q_{obs}(t)) - \overline{\log(Q_{obs})})^2} \quad (2)$$

210

211
$$E (\%) = \frac{\sum_{t=1}^{nt} (Q_{cal}(t) - Q_{obs}(t))}{\sum_{t=1}^{nt} (Q_{obs}(t))} \times 100 \quad (3)$$

212

213 onde: t é o intervalo de tempo; nt é o número de intervalos de tempo; V é o volume (m^3); E (%) é o erro relativo
 214 adimensional deste volume em porcentagem; Q_{cal} é a vazão calculada (simulada) no posto; Q_{obs} é a vazão
 215 observada; e $\overline{Q_{obs}}$ é a média das vazões observadas.

216 Os coeficientes ENS e ENSlog podem variar a partir de negativo infinito até 1, sendo 1 um ajuste perfeito.
 217 O valor de ENS é fortemente influenciado por erros nas vazões máximas e o de ENSlog nas vazões mínimas. Para
 218 o erro percentual de volumes E (%), valores negativos indicam que o modelo está subestimando a vazão
 219 observada, enquanto que para valores positivos o modelo está superestimando a vazão observada e quanto mais
 220 próximos de zero, menor o erro geral do modelo. Oliveira (2014) utilizou uma classificação dos resultados das
 221 variáveis mencionadas, conforme Tabela 4.

222
 223 TABELA 4: Classificação dos índices de desempenho.

224 TABLE 4: Performance indexes classification.

Classificação	ENS e ENSlog	E(%)
Muito bom	$0,75 < ENS \text{ e } ENSlog \leq 1,00$	$E(\%) < \pm 10$
Bom	$0,65 < ENS \text{ e } ENSlog \leq 0,75$	$\pm 10 \leq E(\%) < \pm 15$
Satisfatório	$0,50 < ENS \text{ e } ENSlog \leq 0,65$	$\pm 15 \leq E(\%) < \pm 25$
Insatisfatório	$ENS \text{ e } ENSlog \leq 0,50$	$E(\%) \geq \pm 25$

225 Fonte: Oliveira (2014).

226

227 Para avaliar a influência dos diferentes cenários na vazão da bacia hidrográfica do Rio Pardo, foram
 228 criados dois projetos para simulação, utilizando para isso os mesmos parâmetros calibrados e os períodos da
 229 calibração e validação (janeiro de 2000 a dezembro de 2010), com um projeto utilizando as CRHs de 2001 e o
 230 outro as CHRs de 2016.

231 Para avaliar se houve diferenças significativas entre os dados de vazão para os dois cenários, foi verificada
 232 inicialmente a normalidade dos dados pelo teste de Anderson-Darling, onde as hipóteses a serem testadas foram:
 233 H_0 , os dados seguem uma distribuição normal; e H_1 , os dados não seguem uma distribuição normal. Em caso de
 234 rejeição de H_0 , os dados foram transformados através da técnica Box Cox, com o objetivo de utilização da
 235 estatística paramétrica. Após esta etapa, avaliou-se a homogeneidade dos dados pelo teste F e então aplicou-se o
 236 teste t de Student para amostras dependentes (teste t pareado). As hipóteses testadas foram: H_0 , a média das
 237 diferenças na população é igual à zero; e H_1 , a média das diferenças na população não é igual à zero. Após rejeição
 238 de H_0 , avaliou-se as alterações nas vazões anuais médias, mínimas e máximas.

239

240 RESULTADOS E DISCUSSÃO

241

242 Calibração e validação

243 Os resultados da análise de desempenho para o período de calibração indicaram que as estações 53540001
 244 e 53650000 apresentaram desempenho insatisfatório ao representar as vazões de cheia e estiagem de acordo com
 245 os índices ENS e ENSlog, respectivamente, e os E (%) de volume apresentaram superestimativas e subestimativas
 246 dentro de um limite muito bom (Tabela 5). A estação 53880000 representou de forma satisfatória as vazões de
 247 cheias e com bom desempenho as vazões de estiagem durante a calibração e apresentou superestimativa dentro
 248 de um limite muito bom no erro total do volume.

249

250 TABELA 5: Índices de desempenho do MGB-IPH para três estações localizada na bacia do rio Pardo, Brasil.

251 TABLE 5: MGB-IPH performance indexes for three fluviometric stations in the Pardo river basin, Brazil.

Estação	Área monitorada (km^2)	Sub-bacia	Parâmetro	Calibração	Validação
53540001	10791,721	1	ENS	0,421	0,119
			ENSlog	0,296	-0,995
			E (%)	2,711	6,033
53650000	18439,686	2	ENS	0,333	0,236
			ENSlog	0,36	-0,329
			E (%)	-8,194	-8,037
65880000	29284,012	3	ENS	0,635	0,530

ENSlog	0,722	0,652
E (%)	2,687	4,313

252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290

É importante destacar que a calibração realizada para as sub-bacias a montante influencia a calibração das sub-bacias a jusante, ou seja, o resultado da calibração e validação observado na estação 53880000 inclui também as outras sub-bacias, pois esta localiza-se mais a jusante e monitora uma área de captação de 29284,012 km² (89,70%) dos 32649 km² totais.

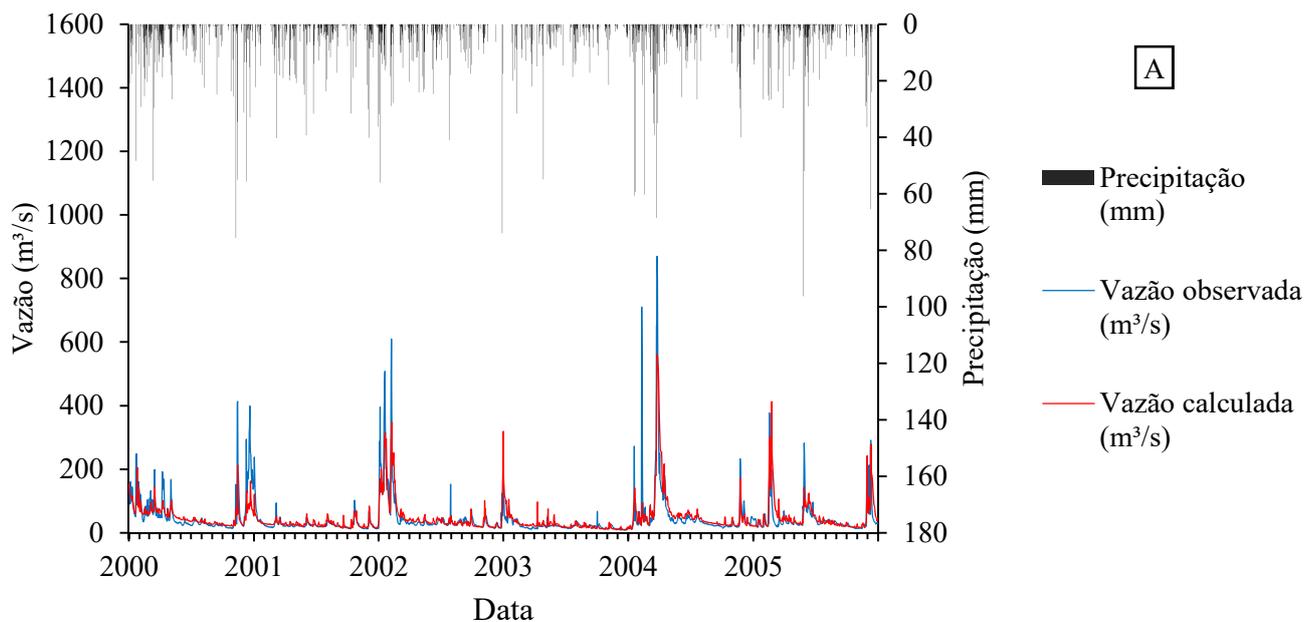
Ao realizar a calibração do modelo MGB-IPH na bacia Araguaia, com propagação Muskingum-Cunge, Pontes (2015) observou nas estações Conceição do Araguaia, Xambioá e Araguatins os valores de ENS de, respectivamente, 0,55, 0,63 e 0,70, ENSlog de 0,86, 0,85 e 0,88 com os E (%) sendo 18,02, 28,98 e 24,71. Estas três estações, assim como neste estudo, estão monitorando sub-bacias no sentido da jusante, e percebe-se o comportamento semelhante de aumento nos índices ENS e ENSlog à medida que as estações se aproximam da foz. Percebe-se também que os valores de ENSlog foram melhores que os obtidos neste estudo, mas por outro lado, os E (%) foram inferiores. Ao utilizar o MGB-IPH na bacia do rio Uruguai, Guimarães (2018) encontrou a calibração NSE variando de 0,74 a 0,89, NSlog de 0,75 a 0,89 e E (%) de -10,2 a 6,4.

Os valores de ENS e E (%) observados neste estudo foram superiores aos encontrados por Pimentel (2017), que, ao utilizar o modelo conceitual semi-distribuído (SWAT) na modelagem hidrológica da bacia do rio Jucu, no Espírito Santo, encontrou valores de ENS de 0,40 e E (%) de 28,82 para escala diária e ENS de 0,60 e E (%) de 11,83 para escala mensal na etapa de calibração.

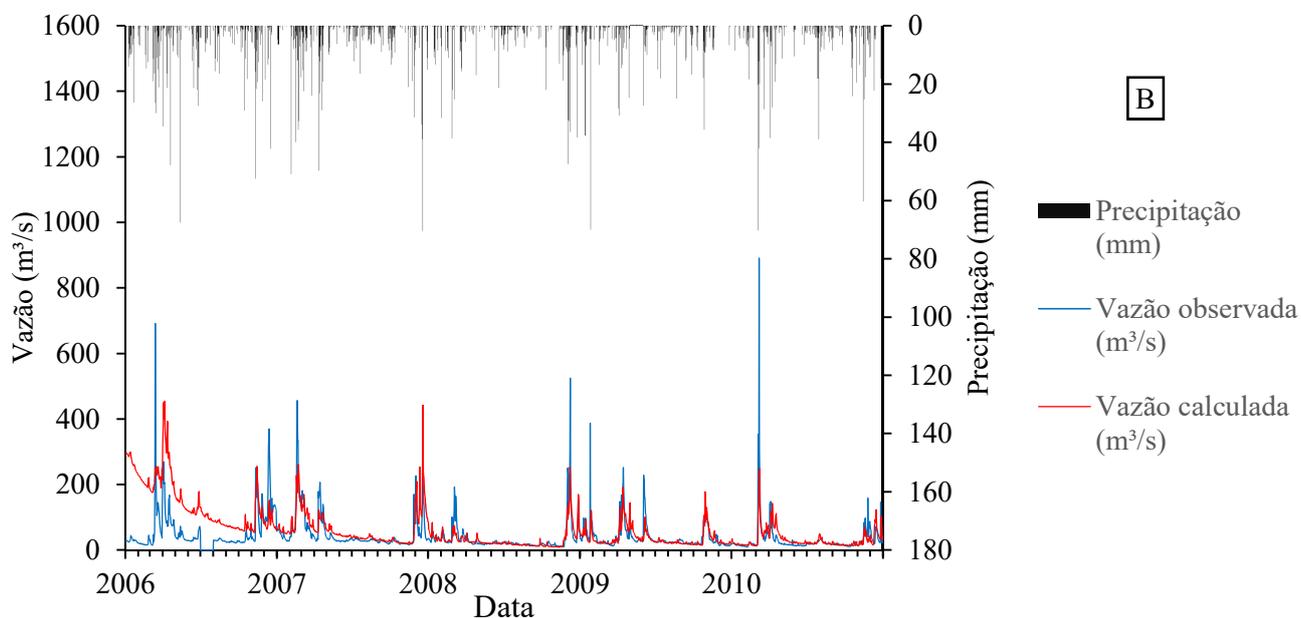
Para a validação (Tabela 5), as estações 53540001 e 53650000 representaram de forma insatisfatória as vazões de cheia e estiagem. Esse comportamento era esperado ao observar os resultados da calibração, sendo que os erros totais de volume permaneceram dentro de um limite muito bom. A estação 53880000 foi validada com desempenho satisfatório ao representar tanto as vazões de cheia quanto a de estiagem, mantendo-se o erro total dos volumes dentro do limite muito bom, obtido na calibração. Ao avaliar o desempenho geral do modelo, pode-se perceber que houve uma queda de desempenho da calibração para a validação.

Os resultados obtidos para a estação 53880000 foram semelhantes aos de Jati e Silva (2017), que ao aplicar o MGB-IPH para a bacia do rio Curuá-Uma, no Pará, observaram para a etapa de validação com um período de 6 anos, ENS de aproximadamente 0,53, ENSlog de 0,63, e E (%) de -6,00 %. Também durante a etapa de validação do MGB-IPH, Guimarães (2018) obteve NSE entre 0,47 e 0,83, NSlog de 0,40 a 0,80 e E (%) de -21,5 a 24,1. Os autores observaram que os resultados da validação foram, no geral, inferiores aos obtidos na validação, comportamento semelhante ao observado neste estudo. Para a estação 53880000, os valores de ENS e E (%) na validação foram superiores aos encontrados por Pimentel (2017), que para escala diária observou ENS de 0,52 e E (%) de 22,11, e para a escala mensal, ENS de 0,50 e E (%) de 14,83.

Ao analisar o hidrograma da Figura 3A, percebe-se uma subestimativa dos valores de picos de vazões máximas com diferenças de 663,82 m³/s (fevereiro de 2004) e 314,08 m³/s (dezembro de 2000), no período de calibração; e diferenças de 660,35 m³/s (março de 2010), 443,24 m³/s (março de 2006) e 342,09 m³/s (janeiro de 2009), nos picos de vazões máximas no período de validação (Figura 3B). Comportamento semelhante foi observado nos hidrogramas de calibração e validação encontrados por Collischonn (2011) para o MGB-IPH, por Oliveira (2014) e por Pimentel (2017) para o modelo SWAT.



291



292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

FIGURA 3: Vazões observadas e simuladas e o hietograma de precipitação para os períodos de calibração (A) e validação (B) da estação fluviométrica 53880000 da bacia do rio Pardo, Brasil.

FIGURE 3: Observed, simulated and precipitation hietogram for the calibration periods (A) and validation (B) for the fluviometric station 53880000 of the Pardo river basin, Brazil.

Alguns argumentos para as grandes diferenças encontradas de subestimativas nos picos de vazão podem estar relacionados à presença de períodos com inconsistências nas vazões observadas. Harmel, Smith e Migliaccio (2010) relatam que a incerteza de mensuração nos dados de vazão, como a presença de falhas e os curtos registros de vazão também podem resultar em problemas na modelagem hidrológica. Dessa forma, um melhor ajuste poderia ser obtido mediante a um número mais elevado de dados observados de vazão, e também de uma melhor consistência das séries de dados observados (OLIVEIRA, 2014). Em suma, mesmo com as diferenças observadas, o modelo MGB-IPH conseguiu reproduzir de forma satisfatória o comportamento geral do hidrograma observado, em termos da sazonalidade das vazões, da diferenciação de anos mais úmidos e anos mais secos, do instante de tempo de ascensão e recessão dos hidrogramas, e dos picos de cheias de média e pequena intensidade.

Comparação entre os cenários validados

As estatísticas mencionadas foram aplicadas somente à estação 53880000, que foi validada de forma satisfatória. Os resultados do teste de Anderson-Darling concluíram, para um nível de 95% de confiança, que os dados diários das vazões simuladas para os cenários CRHs2001 e CRHs2016 não apresentaram distribuição

312 normal. Deste modo, para utilização das estatísticas paramétricas, os 4015 valores de vazão diária foram alterados
 313 para 132 dados de vazões mensais médias, totais, máximas e mínimas, que, por fim, foram transformados por
 314 meio da técnica Box Cox para um $\lambda = -0,5$. Em seguida, aplicou-se o teste F para 95% de confiança, onde concluiu-
 315 se que as variâncias das vazões mensais médias, totais, máximas e mínimas transformadas são homogêneas.
 316 Aplicou-se então o teste t para amostras dependentes, onde se obteve diferença significativa entre as médias das
 317 vazões mensais médias, totais, máximas e mínimas para 95% de confiança (Tabela 6).
 318

319 TABELA 6: Resultados do teste t para amostras dependentes para os dados das vazões mensais médias, totais,
 320 máximas e mínimas dos diferentes cenários simulados pelo MGB-IPH para a bacia do rio Pardo,
 321 Brasil.

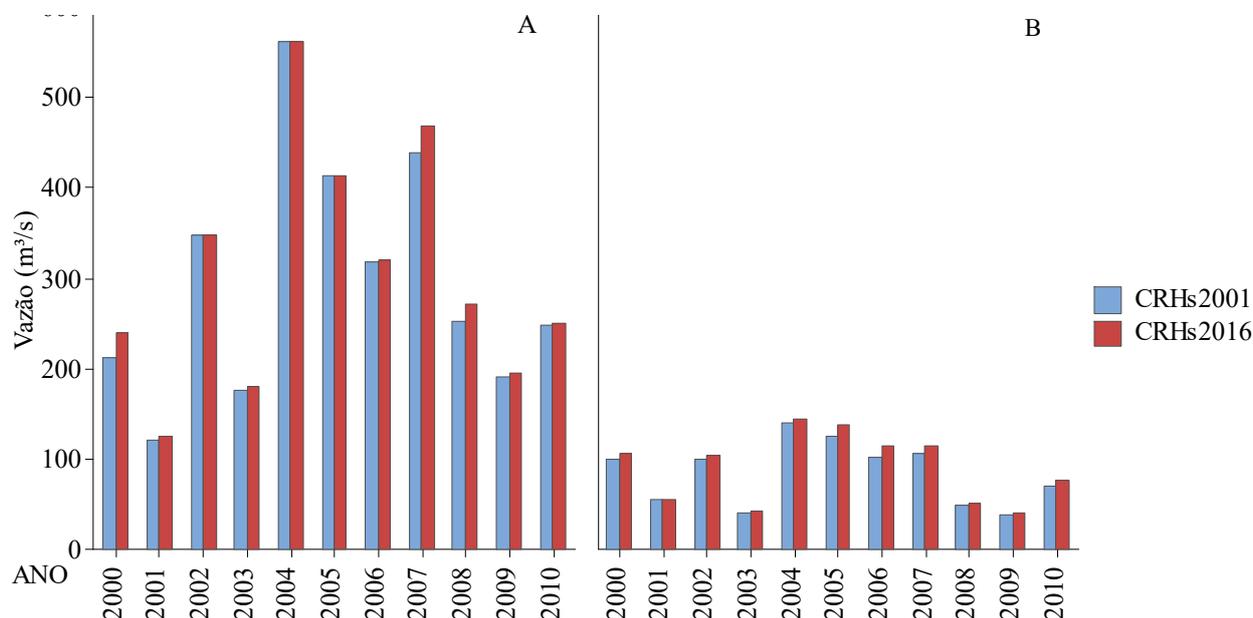
322 TABLE 6: T-test for dependent samples results for the mean, total, maximum and minimum monthly flow data
 323 of the different scenarios simulated by the MGB-IPH for the Pardo river basin, Brazil.

Cenários	n	Média (m ³ /s)	Total (m ³ /s)	Mínima (m ³ /s)	Máxima (m ³ /s)
CRHs 2001	132	33,606a	1022,040a	22,041a	59,446a
CRHs 2016	132	34,889b	1061,710b	22,741b	62,098b

324 Valores seguidos pela mesma letra na coluna não apresentam diferença significativa para 95% de confiança.
 325 Values followed by the same letter in the column do not present significant difference for 95% confidence interval.
 326

327 Por meio do teste t, verificou-se que as médias das vazões mensais médias, totais, máximas e mínimas do
 328 cenário CRHs2016 foram superiores ao do CRHs2001, assim os dados mensais foram transformados em vazões
 329 anuais médias, mínimas e máximas, por período de cheia e estiagem.

330 Ao analisar os picos de vazão para o período de cheias (Figura 4A) e estiagem (Figura 4B), percebe-se
 331 que o cenário CRHs2016 apresenta valores iguais ou superiores ao CRHs2001. Para o período de cheia, o cenário
 332 CHRs2016 apresentou um volume 2,92% superior, com os anos de 2002, 2004 e 2005 não apresentando diferença
 333 entre os cenários, e nos anos 2000 e 2007 apresentando, respectivamente, vazões de 26,51 e 30,45 m³/s maiores.
 334 Para o período de estiagem, o volume do cenário CRHs2016 foi 6,20% superior, com o ano 2001 não apresentando
 335 diferença entre os cenários, e 2005 e 2006 apresentando valores de vazões 12,70 e 12,88 m³/s superiores no
 336 CRHs2016.
 337



338 FIGURA 4: Pico de vazões anuais simuladas pelo modelo MGB-IPH para período de cheia (A) e estiagem (B),
 339 para a estação fluviométrica 53880000 da bacia do rio Pardo, Brasil.

341 FIGURE 4: Peak flow rates simulated by the MGB-IPH model for flood period (A) and dry (B) for fluviometric
 342 station 53880000 of the Pardo river basin, Brazil.
 343

344 Os resultados para os picos de vazão podem ser explicados pela diminuição de áreas de floresta e aumento
 345 de áreas dedicadas a atividades agropecuárias e sem cobertura vegetal no cenário das CRHs de 2016. Como
 346 explicam Lotz, Opp e He. (2017), ao estudarem a influência de diferentes cenários de uso e ocupação do solo nos

347 escoamentos da bacia Dongting Lake, na China, através do modelo SWAT, constatou-se que o cenário com maior
348 porcentagem de vegetação florestal demonstrou aumentos nas taxas de evapotranspiração e diminuição do
349 escoamento superficial, o que acarretou uma menor disponibilidade de água, semelhante ao observado para os
350 resultados do cenário CRHs2001 neste trabalho. Para a situação de diminuição de áreas de florestas, Aguiar et al.
351 (2018) concluíram que, para cenários com redução na cobertura por vegetação nativa em áreas de preservação
352 permanente, os picos de vazão simulados pelo modelo HEC-HMS tiveram acréscimo de até 30,7%; resultados
353 que corroboram com os encontrados neste estudo para o cenário CRHs2016.

354 No que tange às modificações nas áreas agropecuárias, é importante destacar que a depender do sistema
355 de cultivo utilizado, os impactos serão diferentes. No caso de sistemas convencionais de plantio, a alteração no
356 escoamento é mais intensa em comparação com o plantio direto. Napoli, Massetti e Orlandini (2017), ao
357 analisarem a dinâmica do escoamento superficial na bacia do rio Elsa, na província de Florence, na Itália,
358 utilizando o modelo SWAT, considerando 50 anos de mudanças no uso e ocupação do solo, concluíram que o
359 aumento de áreas de agricultura, onde eram praticados sistemas de cultivos não conservacionistas, como o plantio
360 convencional, estava associado a aumentos nos picos de vazão, sendo estes advindos do aumento do escoamento
361 superficial.

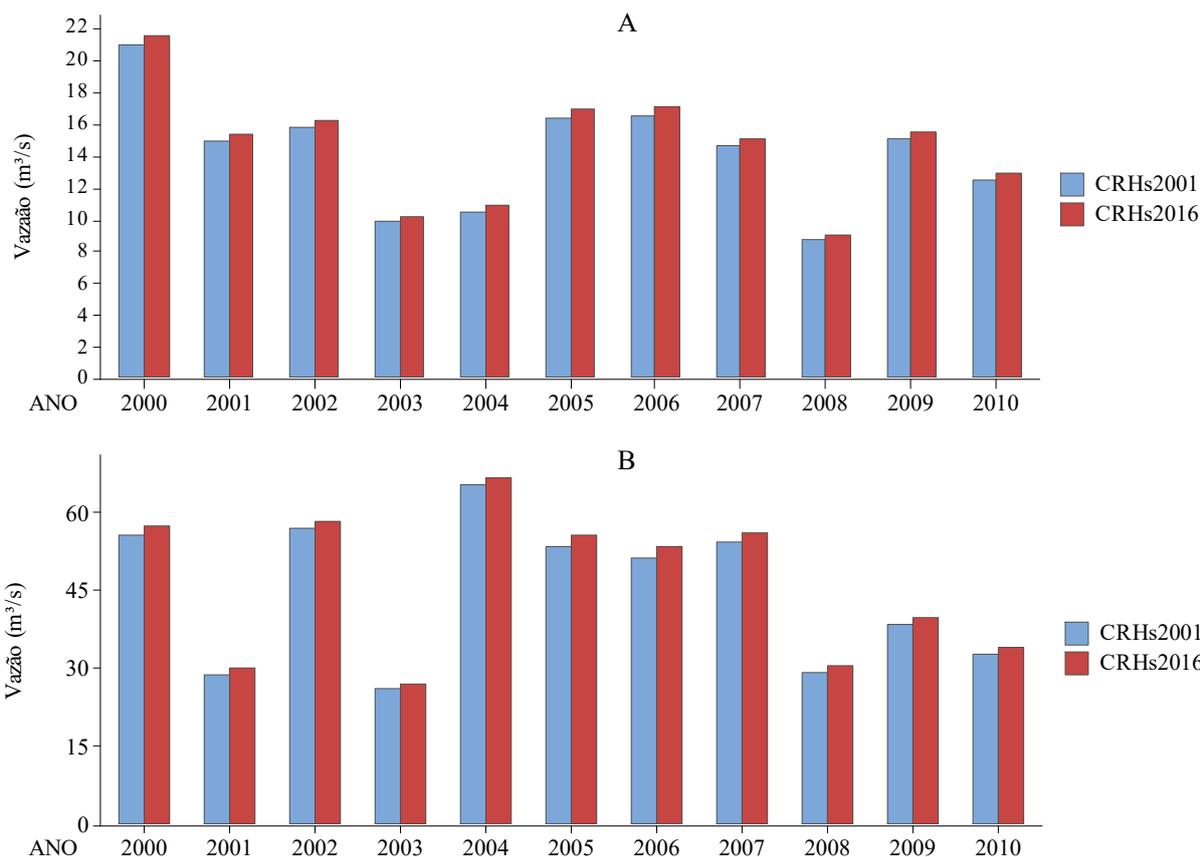
362 É sabido que o solo exposto no preparo para o plantio e os vários estágios de desenvolvimento das culturas
363 anuais podem modificar a dinâmica do escoamento superficial ao longo do ano, o que acaba refletindo nos picos
364 de vazão (ZHAO et al., 2014). Esta afirmação é exemplificada também nos estudos de Aguiar (2017), que avaliou
365 a dinâmica sazonal da cobertura do solo agrícola na geração do escoamento superficial por meio do modelo HEC-
366 HMS, na bacia drenada pelo alto vale do rio Marrecas, no Paraná, concluindo que a relação entre uso do solo e
367 escoamento superficial foi quantificada por taxas de aumento nos picos de vazão, que variaram de 0,78 a 1,64
368 m³/s por km² de solo exposto.

369 Por meio destes estudos, é possível que os maiores picos de vazões observados no cenário CRHs2016
370 possam estar relacionados ao aumento de áreas de cultivo que utilizam sistemas não conservacionistas de preparo
371 do solo ou pela intensificação do pastejo entre 2001 e 2016, na bacia do rio Pardo.

372 Os resultados deste trabalho diferem de Jati e da Silva (2017), que verificaram que o cenário com
373 diminuição de áreas de vegetação e aumento de áreas de solo exposto e antropização demonstrou picos de vazões
374 menores quando comparados ao cenário inverso, embora os autores não tenham deixado clara a explicação deste
375 comportamento.

376 As vazões mínimas (Figura 5A) e médias (Figura 5 B) anuais demonstram comportamento semelhante às
377 máximas, com o cenário CRHs2016 apresentando vazões superiores ao CRHs2001. As vazões mínimas anuais
378 do cenário CRHs2016 apresentaram volume total 3,56% superior, com amplitude das diferenças de 0,26 m³/s em
379 2008 a 0,59 m³/s em 2006. Para as vazões médias anuais, o cenário CRHs2016 apresentou volume total 3,56%
380 superior, com amplitude das diferenças de 0,88 m³/s em 2003 a 2,16 m³/s em 2005.

381
382



383
 384 FIGURA 5: Vazões mínimas (A) e médias (B) anuais simuladas pelo modelo MGB-IPH para estação
 385 fluviométrica 53880000 da bacia do rio Pardo, Brasil.
 386 FIGURE 5: Minimum (A) and mean (B) annual simulated flows by the MGB-IPH model for the fluviometric
 387 station 53880000 of the Pardo river basin, Brazil.
 388

389 Mesmo havendo diferença significativa entre as vazões mensais dos diferentes cenários, ao observar os
 390 valores em escala anual percebe-se que as diferenças são pequenas, não ultrapassando o valor de 2,2 m³/s para as
 391 médias, e de 0,6 m³/s para as mínimas. Pequenas variações nas vazões médias e mínimas também foram
 392 observadas por Pimentel (2017), que, ao avaliar a resposta da vazão ao incremento de áreas florestais obteve uma
 393 variação muito pequena, menor que 1% de diferença entre os cenários de menor (56% da bacia com floresta) e
 394 maior (23% da bacia florestada) da Qmed simulada.

395 Os resultados obtidos neste trabalho com o cenário com menor porcentagem de área coberta por florestas
 396 apresentando maiores valores de vazão foram não esperados, pois é sabido que a cobertura com florestas é
 397 responsável por aumentar as vazões médias e/ou mínimas, pois ajudam na restauração e melhoria das funções
 398 hidrológicas do solo, auxiliando na infiltração, reduzindo o escoamento superficial, protegendo o solo da
 399 compactação por meio da interceptação da água da chuva e proporcionando a recarga dos aquíferos (MENDES,
 400 2016; OLIVEIRA, 2014b). Porém é importante destacar que o aumento de áreas de floresta também está associado
 401 ao aumento da evapotranspiração, bem como à retenção de água precipitada, ocasionada pela interceptação por
 402 meio do dossel. Neste sentido, Pimentel (2017) também verificou diminuição da vazão para cenários com
 403 incremento de área de floresta por meio do modelo SWAT, e destaca que, como a evapotranspiração e
 404 interceptação são expressivamente superiores às de outras classes, o impacto final sobre as vazões pode ser
 405 positivo, negativo ou inexpressivo.

406 Como exemplo de impacto negativo e diferente deste estudo, Rodrigues et al. (2015) observaram um
 407 aumento da vazão mínima para a simulação na bacia do vale do rio Pará, em Minas Gerais. Deste modo, conforme
 408 houve o acréscimo na área de floresta, foi apresentada uma maior vazão. Por outro lado, os resultados de Oliveira
 409 (2014b) e Smethurst et al. (2015) são semelhantes aos deste trabalho, em que ocorre diminuição da vazão
 410 conforme há o aumento de área de floresta.
 411
 412
 413
 414

415 **CONCLUSÃO**

416

417 O MGB-IPH foi validado de forma satisfatória para a estação 53880000 da Agência Nacional de Águas,
418 apresentado subestimativa de picos de vazões máximas, porém representou adequadamente os dados observados
419 em termos da sazonalidade das vazões, da diferenciação de anos mais úmidos e anos mais secos e dos picos de
420 cheias de média e pequena intensidade.

421 O modelo foi sensível ao identificar o impacto das mudanças do uso e ocupação do solo nas vazões
422 simuladas para a bacia hidrográfica do rio Pardo, com o cenário de 2016 apresentando maiores valores de vazões
423 mensais médias, totais, máximas e mínimas do que o cenário de 2001.

424

425 **AGRADECIMENTOS**

426

427 Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de
428 bolsa por meio do seu Programa de Demanda Social (DS) durante todo o período de realização deste trabalho.

429

430 **REFERÊNCIAS**

431

432 ADAM, K. N.; COLLISCHONN, W. Análise dos Impactos de Mudanças Climáticas nos Regimes de Precipitação
433 e Vazão na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 69-79,
434 2013.

435 AGUIAR, W. de. **Simulações hidrológicas de cenários de uso e ocupação do solo na bacia drenada pelo alto**
436 **vale do rio Marrecas (PR)**. 2017. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do
437 Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

438 AGUIAR, W. de; SAMPAIO, S. C.; PAISANI, J. C.; e DOS REIS, R. R. Implicações nos picos de vazão perante
439 as alterações no código florestal brasileiro. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 2, 2018.

440 BAYER, D. M.; COLLISCHONN, W. Análise de sensibilidade do Modelo MGB-IPH a mudanças de uso da terra.
441 RBRH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, p. 165-179, 2013.

442 BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; PAZ, A. R.; ALLASIA, D.; DOMECCO, F. Impact of projected climate
443 change on hydrologic regime of the Upper Paraguay River basin. **Climatic Change**, v. 127, p. 27-41, 2014.

444 DE MELO, M. M. A. P. **Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba-MG**.
445 2014. 164 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal
446 de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

447 DE MORISSON, V. M.; DE FÁTIMA R. D. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data.
448 **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 300-309, 2012.

449 EUM, H. I.; DIBIKE, Y.; PROWSE, T. Comparative evaluation of the effects of climate and land-cover changes
450 on hydrologic responses of the Muskeg River, Alberta, Canada. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 8,
451 p. 198-221, 2016.

452 FAN, F. M. **Simulação dos impactos de lançamento de poluentes sobre a qualidade da água de bacias**
453 **hidrográficas integrada com sistema de informação geográfica**. 2013. 241 f. Dissertação (Mestrado em
454 Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

455 FEITOSA, J. R.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R. Influência da pressão interna dos
456 pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades
457 físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 117-127, 2015.

458 GÓMEZ, R. K.; CAMACHO, T. J. H.; VÉLEZ, S. J. E. Changes in water availability in the soil due to tractor
459 traffic. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 6, p. 1156-1164, 2013.

460 GUIMARÃES, G. M. Análise da previsibilidade de cheias na bacia do rio Uruguai através do Modelo MGB-IPH.
461 Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia,
462 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

463 HAGHNEGAHDAR, A.; TOLSON, B. A.; CRAIG, J. R.; PAYA, K. T. Assessing the performance of a semi-
464 distributed hydrological model under various watershed discretization schemes. **Hydrological Processes**, v. 29,
465 n. 18, p. 4018-4031, 2015.

466 HARMEL, R. D.; SMITH, P. K.; MIGLIACCIO, K. W. Modifying goodness-of-fit indicators to incorporate both
467 measurement and model uncertainty In model calibration and validation. **American Society of Agricultural and**
468 **Biological Engineers**, St. Joseph, v. 53, n. 1, p. 55-63, 2010.

469 JATI, D. A.; DA SILVA, J. T. Estudos geo-hidrológicos da bacia do rio Curuá-Una, Santarém, Pará: Aplicação
470 do modelo hidrológico de grandes bacias (MGB-IPH). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p.
471 1296-1311, 2017.

472 LOTZ, T.; OPP, C.; HE, X. Factors of runoff generation in the Dongting Lake basin based on a SWAT model and
473 implications of recent land cover change. **Quaternary International**, v. 434, p. 1-9, 2017.

474 MAPBIOMAS. Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil, 2017. **Algorithm**
475 **Theoretical Base Document e Results - MapBiomass General "Handbook"**. Disponível em:
476 <mapbiomas.org/pages/methodology>. Acesso em: 21 jun. 2018.

477 MENDES, N. G. D. S. **Estudo das vazões na bacia hidrográfica do rio Itapemirim**. Jerônimo Monteiro.
478 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo
479 Monteiro, 2016.

480 NAPOLI, M.; MASSETTI, L.; ORLANDINI, S. Hydrological response to land use and climate changes in a rural
481 hilly basin in Italy. **Catena**, v. 157, p. 1-11, 2017.

482 NÓBREGA, M. T.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; PAZ, A. R. Uncertainty in climate change impacts
483 on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 585-595,
484 2011.

485 OLIVEIRA, L. T. **Aplicação do modelo SWAT para simular vazões em uma bacia hidrográfica em Aracruz,**
486 **ES**. 2014. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito
487 Santo, 2014.

488 OLIVEIRA, K. D. **Modelagem hidrológica da bacia do rio Jucu Utilizando o modelo DHSVM**. 2014. 177 f.
489 Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014b.

490 PAIVA, R. C. D. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias**. Estudo de caso: bacia do rio
491 Solimões. 2009. 182 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas
492 Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

493 PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; SCHETTINI, E. B. The Case Studies: Climate Change Impacts on Water
494 Resources in the Quaraí river basin. In: FUNG, F.; LOPEZ, A.; NEW, M. **Modelling the impact of climate**
495 **change on water resources**. Wiley-Blackwell, 2011. 187 p.

496 PEREIRA, M.; KAYSER, R. B.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias
497 MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água.
498 **Rega: revista de gestión del agua de America Latina**. Porto Alegre, v. 9, n. 2 p. 21-33, 2012.

499 PIMENTEL, S. M. **Modelagem hidrológica da bacia do rio Jucu sob diferentes cenários de cobertura**
500 **florestal**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo,
501 Espírito Santo, 2017.

502 PONTES, P. R.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C.; BUARQUE, D. C. Modelagem hidrológica
503 e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.
504 20, n. 4, p. 888-904, 2015.

505 RODRIGUES, E. L.; ELMIRO, M. A. T.; JACOBI, C. M.; LAMOUNIER, W. L. Aplicação do modelo SWAT
506 na avaliação do consumo de água em áreas de florestas plantadas na bacia do rio pará, Alto São Francisco, em
507 Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 3, p. 485-500, 2015.

508 SANTOS, H. G.; CARVALHO JÚNIOR, W.; DART, R. O.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S.; PARES, J. G.;
509 FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S. e OLIVEIRA, A. P. **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**.
510 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p.

511 SANTOS, L. C. O. **Influência dos usos consuntivos da água e do uso e cobertura da terra na vazão da bacia**
512 **hidrográfica do rio Pardo**. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual
513 do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2017.

514 SILVA, V. P. R.; SILVA, M. T.; SOUZA, E. P. Influence of land use change on sediment yield: a case study of
515 the sub-middle of the São Francisco river basin. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 6, p. 1005-1015, 2016.

516 SILVA, W. M.; BIANCHINI, A.; CUNHA, C. A. Modeling and correction of soil penetration resistance for
517 variations in soil moisture and soil bulk density. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 449-459, 2016.

518 SMETHURST, P. J.; ALMEIDA, A. C.; LOOS, R. A. Stream flow unaffected by Eucalyptus plantation harvesting
519 implicates water use by the native forest streamside reserve. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 3, p.
520 187-198, 2015.

521 ZHAO, X.; HUANG, J.; WU, P.; GAO, H. The dynamic effects of pastures and crop on runoff and sediments
522 reduction at loess slopes under simulated rainfall conditions. **Catena**, v. 119, p. 1-7, 2014.

523

4. CONCLUSÃO GERAL

As características de geometria, relevo e rede de drenagem da bacia do rio Pardo indicam que esta possui baixa propensão à ocorrência de enchentes e tendência à conservação. Grande parte de sua área encontra-se entre 600 e 1000 m de altitude e com predominância de declividades onduladas e suave-onduladas. Seu rio principal de 6ª ordem possui uma baixa tendência a assoreamento devido à alta sinuosidade.

A área dedicada às atividades agropecuárias aumentou durante o período avaliado e ocupa a maior parte da bacia, enquanto a de florestas sofreu redução, sendo a segunda em tamanho. As duas classes ocupam mais de 96% da área de captação e poucas são as áreas ocupadas pelas classes de áreas não vegetadas, vegetação natural não florestal e água.

O MGB-IPH foi validado de forma satisfatória para a estação 53880000 da Agência Nacional de Águas, tendo problemas de subestimativa de picos de vazões máximas, porém conseguiu representar adequadamente os dados observados em termos da sazonalidade das vazões, da diferenciação de anos mais úmidos e anos mais secos e dos picos de cheias de média e pequena intensidade.

O modelo foi sensível ao identificar o impacto das mudanças do uso e ocupação do solo nas vazões simuladas para a bacia hidrográfica do rio Pardo, com o cenário de 2016 apresentando maiores valores de vazões mensais médias, totais, máximas e mínimas do que o cenário de 2001.

ANEXOS

ANEXO A – Relatório antiplágio

CopySpider Scholar

Exportar relatório Referências ABNT Visualizar ▾

SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.docx (30/11/2018):

Documentos candidatos

- ufrgs.br/lsh/wp-cont... [0,52%]
- uwspace.uwaterloo.ca... [0,32%]
- ipcc.ch/pdf/technica... [0,21%]
- 19january2017snapsho... [0,09%]
- health2016.globalcha... [0,08%]
- watercalculator.org/... [0,08%]
- onlinelibrary.wiley... [0,07%]
- 19january2017snapsho... [0,06%]
- scribd.com/document/... [0,05%]

Arquivo de entrada: SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO EM DIFERENTES CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.docx (14113 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)	
ufrgs.br/lsh/wp-cont...	Visualizar	14700	151	0,52
uwspace.uwaterloo.ca...	Visualizar	24867	127	0,32
ipcc.ch/pdf/technica...	Visualizar	10642	53	0,21
19january2017snapsho...	Visualizar	1918	15	0,09
health2016.globalcha...	Visualizar	5172	16	0,08
watercalculator.org/...	Visualizar	1468	13	0,08
onlinelibrary.wiley...	Visualizar	314	11	0,07
19january2017snapsho...	Visualizar	2823	11	0,06
scribd.com/document/...	Visualizar	157	8	0,05
researchgate.net/pro...	-	-	-	-

Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado.
HTTP response code: 429

ANEXO B – Normas da revista IRRIGA

EDIÇÃO DO TEXTO:

- **Software:** O artigo deverá ser editado apenas no software Word;
- **Fonte:** “Times New Roman”, tamanho 12;
- **Texto:** alinhamento justificado;
- **Títulos:** em negrito, centralizados, numerados e em caixa alta, em fonte “Times New Roman”, tamanho 12, deve-se dar o espaçamento de duas linhas antes do título e uma linha abaixo do título;
- **Parágrafo:** 1,25 cm (tabulação)
- **Página:** papel A4, orientação retrato, espaçamento duplo e linhas numeradas continuamente;
- **Margens:** superior, inferior e esquerda: 3 cm e direita: 2 cm;
- **Tabelas:** largura de 10 ou 15 cm, em fonte “Times New Roman”, tamanho 12, inserido logo abaixo do parágrafo em que foram citados, o título da tabela deve estar acima da mesma, o termo “Tabela” deve ser em negrito, numerado e ser seguido de ponto (Exemplo: Tabela 1. Revista Irriga), a fonte da tabela deve vir logo abaixo da mesma, em “Times New Roman”, tamanho 10, o termo “Fonte” deve ser em negrito e ser seguido de dois pontos (Exemplo: Fonte: Irriga (2017));
- **Gráficos e figuras:** largura de 10 ou 15 cm, com resolução mínima de 300 bpi, inserido logo abaixo do parágrafo em que foram citados, o título deve estar acima da mesma, o termo “Gráfico” ou “Figura” deve ser em negrito, numerado e ser seguido de ponto (Exemplo: Figura 1. Revista Irriga), a fonte deve vir logo abaixo da mesma, em “Times New Roman”, tamanho 10, o termo “Fonte” deve ser em negrito e ser seguido de dois pontos (Exemplo: Fonte: Irriga (2017)). Recomenda-se o uso de cores para facilitar a compreensão das informações expressas, não devem ter bordadura;
- **Referências e citações:** De acordo com as normas ABNT.

COMPOSIÇÃO SEQUENCIAL:

- **Título:** fonte “Times New Roman”, tamanho 12, negrito, centralizado e caixa alta. O título do trabalho, em maiúsculas, centralizado e em negrito não incluindo nomes científicos das espécies, a menos que não haja nome comum no idioma em que foi redigido. Os títulos das seções devem ser em maiúsculas, centralizados, em negrito e numerados (Ex: 3 INTRODUÇÃO); os subtítulos devem ser alinhados à esquerda (Ex: 3.1 Solo);
- **Nome dos autores:** por extenso, fonte “Times New Roman”, tamanho 12, negrito, centralizado, caixa alta, separados por ponto-vírgula (;) e último autor pela conjunção “E” (Exemplo: RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN; JOÃO CARLOS CURY SAAD E RAFAELA MARIA VIZENZZOTTO). O artigo deverá conter no máximo 6 (seis) autores, **ATENÇÃO:** o nome dos autores não deverá constar no artigo no ato da

submissão, tendo em vista que o artigo será disponibilizado aos avaliadores, assegurando que o mesmo seja avaliado às cegas;

- **Afiliações dos autores:** abaixo do nome dos autores deverá conter em fonte “Times New Roman”, tamanho 10 e em itálico, a afiliação completa dos autores, na ordem: departamento, instituição de origem, endereço e e-mail, ATENÇÃO: a afiliação dos autores não deverá constar no artigo no ato da submissão, tendo em vista que o artigo será disponibilizado aos avaliadores, assegurando que o mesmo seja avaliado às cegas;
- **Resumo:** não devem conter mais de 200 palavras.
- **Palavras-chave:** no mínimo 3 (três) e no máximo 5 (cinco), separadas por vírgula, fonte “Times New Roman”, tamanho 12, todas em minúscula. Estas nunca devem repetir termos para indexação que já estejam no título;
- **Abreviatura dos nomes dos autores:** nome dos autores conforme constaria nas referências bibliográficas, fonte “Times New Roman”, tamanho 12, negrito, centralizado, caixa alta, separados por ponto-vírgula (;), (Exemplo: SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; SAAD, J. C. C.; VIZENZZOTTO, R. M.)
- **Título em inglês;**
- **Abstract;**
- **Key words:** separadas por vírgula, fonte “Times New Roman”, tamanho 12, todas em minúscula, devendo ser uma tradução fiel das palavras-chave;
- **Introdução;**
- **Material e métodos;**
- **Resultados e discussão;**
- **Conclusões;**
- **Agradecimentos:** facultativo;
- **Referências:** de acordo com as normas ABNT.

ANEXO C – Normas da revista Ciência Florestal

Diretrizes para Autores - julho/2018

- 1.** A revista CIÊNCIA FLORESTAL publica artigos técnico-científicos inéditos, resultantes de pesquisa de interesse da área florestal. Também são aceitas notas técnicas e artigos de revisão. Os textos podem ser redigidos em português, inglês ou espanhol.
- 2.** Para submeter um trabalho para publicação são cobrados os seguintes valores:
 - a)** Taxa de submissão: R\$50,00 (cinquenta reais). O pagamento dessa taxa não garante a publicação do trabalho.
 - b)** Taxa de publicação: R\$250,00 (duzentos e cinquenta reais). Esse valor deve ser recolhido somente quando solicitado pelo editor.
 - c)** Os valores devem ser depositados na conta corrente n. 38588-3, da agência do Banco do Brasil n. 1484-2 (FATEC - CNPJ: 89.252.431/0001-59). O comprovante do depósito da taxa de submissão deverá ser postado como documento suplementar, na submissão do trabalho. O comprovante da taxa de publicação deverá ser enviado a CIÊNCIA FLORESTAL, quando solicitado, via e-mail. Os valores depositados não serão devolvidos.
- 3.** Os manuscritos devem ser submetidos à revista via online por meio da PLATAFORMA SEER. O autor que submete o artigo assume toda e qualquer responsabilidade pelas informações, que os demais autores estão de acordo com a submissão e que o artigo é inédito. Os conceitos e afirmações emitidas no artigo são de exclusiva responsabilidade dos autores. Contudo, o Conselho Editorial reserva-se o direito de solicitar ou sugerir modificações no texto original.
- 4.** Os artigos devem ser organizados da seguinte forma:
 - a)** Artigo científico e nota técnica: Título, Resumo, Introdução com Revisão de Literatura e objetivos, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusões, Agradecimentos (quando houver) e Referências. Antes do item Referências, quando apropriado, mencionar a aprovação pela Comissão de Ética e Biossegurança da Instituição.
 - b)** Artigo de revisão bibliográfica: Título, Resumo, Introdução, Desenvolvimento, Considerações finais, Agradecimentos (quando houver) e Referências.
- 5.** O manuscrito deve ser editado no Microsoft Word, com espaço simples, linhas numeradas continuamente e sem os nomes dos autores, fonte Times New Roman, tamanho 11, tabulação de 1,25 cm, formato A4, com 2 cm de margens esquerda, inferior e superior, e 1,5 cm de margem direita, orientação retrato e máximo de 12 páginas.
- 6.** O Título do manuscrito, com no máximo duas linhas, deve ser centralizado e em negrito, com letras maiúsculas (exceto nomes científicos), redigido em português ou espanhol, seguido da versão em inglês (em não-negrito).
- 7.** O Resumo deve ser apresentado em um único parágrafo, contendo o máximo de 300 palavras) e redigido em dois idiomas, sendo um deles o inglês. As palavras RESUMO e ABSTRACT devem ser redigidas em letras maiúsculas, negrito e centralizadas.
- 8.** Logo após o texto do Resumo e do Abstract devem ser incluídos os termos Palavras-chave e Keywords, respectivamente, com alinhamento à esquerda, seguidas de dois pontos e em negrito, contendo até quatro termos (não contidos no título), separados por ponto e vírgula.

9. Os grandes itens (INTRUDUÇÃO, MATERIAL E MÉTODO, RESULTADOS E DISCUSSÃO, CONCLUSÃO, AGRADECIMENTOS e REFERÊNCIAS) devem ser escritos em letras maiúsculas, negrito e alinhados à esquerda. Os demais obedecem a seguinte sequência:
- MATERIAL E MÉTODO - (item primário) - todo em maiúsculas e negrito.
Caracterização do local - (item secundário) - só a inicial maiúscula e em negrito.
Solo - (item terciário) - só a inicial maiúscula, em negrito e itálico.
Horizonte A - (item quaternário) - só a inicial maiúscula, em itálico.
10. As siglas e abreviaturas, ao aparecerem pela primeira vez no trabalho, deverão ser colocadas entre parênteses, precedidas do nome por extenso.
11. Figuras (gráficos e fotografias) PODENDO SER EM CORES, porém sem-contorno. As dimensões (largura e altura) não podem ser maiores que 17 cm, sempre com orientação da página na forma retrato (fonte: Times New Roman, tamanho da fonte: 11, não-negrito e não-itálico).
12. As figuras e tabelas devem ser auto-explicativas e alocadas no texto logo após sua primeira chamada, no formato de imagem. A identificação destas deve ser expressa em dois idiomas (a usada na versão do trabalho e o inglês e, se o trabalho for em inglês, a outra será o português). As tabelas também devem ter sua versão no formato Excel e vir como Documento Suplementar, com a denominação Tabela e o número correspondente. As figuras, além de estarem no texto, devem vir como Documento Suplementar, em formato de imagem, com resolução superior a 300 dpi, com denominação de Figura e o número correspondente. Para tabelas com conteúdo numérico, as vírgulas (ou pontos) devem ficar alinhadas verticalmente e os números centralizados na coluna.
13. Nomes científicos devem ter gênero e espécie escritos por extenso (Ex: *Araucaria angustifolia*) e em itálico (e acompanhar o estilo ao qual estão inseridos).
14. Fórmulas devem vir no texto em forma de imagem e, no Documento Suplementar, editadas pelo módulo Equation Editor, do Microsoft Word, devem obedecer à fonte do texto, com símbolos, subscrito/sobrescrito etc., em proporções adequadas, nunca superior a fonte 11. No documento suplementar devem receber a denominação Equação e o número correspondente.
15. Citações bibliográficas serão feitas de acordo com a NBR 10520 da ABNT, usando o sistema "autor-data". Todas as citações mencionadas no texto obrigatoriamente devem ser relacionadas na lista de Referências (e vice-versa), de acordo com a norma NBR 6023 da ABNT. Já no item REFERÊNCIAS o autor deve colocar todas as citações feitas no trabalho, fazendo uso somente das referências mais relevantes dos últimos 10 anos e em número máximo de 30 citações.
16. No momento apropriado o autor será solicitado a inserir os nomes de todos os participantes, que devem ser posicionados logo abaixo do título em inglês, e identificados com número sequencial sobrescrito. O chamamento dos autores deve ser indicado no rodapé da primeira página, antecedido do número de identificação, devendo conter: título de graduação (Ex: Engenheiro Florestal), maior titulação (Ex: Dr.), descrição da função/profissão (Ex: Professor do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria), endereço (Ex: Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil.) e e-mail (Ex: cienciaflorestal@ufsm.br) sem o ponto final.
17. Os manuscritos submetidos à revista passam pela triagem inicial do comitê de área, são enviados para revisores *ad hoc*, devolvidos aos autores para correções e, posteriormente, passam pela avaliação final do Conselho Editorial. Além disso ainda passam pelas correções de língua estrangeira (inglês e espanhol), língua portuguesa

e referências. Os artigos aceitos são publicados na ordem de aprovação e para os não-aceitos é feita a comunicação aos autores. Os artigos são disponibilizados no formato "pdf", no endereço eletrônico da revista (www.ufsm.br/cienciaflorestal).

- 18.** Em caso de dúvidas sobre formatação, consultar os artigos já publicados no site ou o e-mail cienciaflorestal@ufsm.br.
- 19.** Consulte também, no item AJUDA, "Um Trabalho Exemplo" no rodapé da janela superior CAPA.