

Análise morfométrica dos afluentes principais da bacia hidrográfica do rio Uruguai e sua influência nas inundações na cidade de Itaqui, Rio Grande do Sul, Brasil

RESUMO

Jéssica Fernanda Ogassawara
ogassawarajessica@gmail.com
orcid.org/0000-0003-1729-591X
Universidade Federal de Pelotas (UFPeL),
Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Sidnei Luís Bohn Gass
sidneibohngass@gmail.com
orcid.org/0000-0001-5197-7506
Universidade Federal do Pampa
(UNIPAMPA), Itaqui, Rio Grande do Sul,
Brasil.

O presente trabalho teve como objetivo estudar as três regiões delimitadas ao longo da bacia (alto, médio e médio baixo) do rio Uruguai, aplicando os parâmetros morfométricos, analisando a declividade e altitude das distintas regiões, com intuito de identificar a influência das mesmas nas inundações que ocorrem na cidade de Itaqui, localizada no estado do Rio Grande do Sul. Aplicando os parâmetros morfométricos de compacidade, circularidade e forma nas 19 sub-bacias que compõe as três regiões do rio Uruguai, constatou-se que 18 destas sub-bacias possui pouca propensão a grandes enchentes. Através da curva hipsométrica e analisando a declividade do rio Uruguai, foi possível observar que as maiores altitudes se encontram na região do alto rio Uruguai com a predominância de um relevo ondulado, e as baixas altitudes, em relação ao nível do mar, se encontram no médio baixo rio Uruguai sendo que a classe de declividade com maior ocorrência desta região é o suave ondulado. Esses parâmetros possuem influência em relação à velocidade do escoamento superficial da bacia. Dessa maneira, foi possível constatar que as intensificações da ocorrência de inundações na cidade de Itaqui sucedem em função do represamento das águas tanto no rio Ibicuí, localizado a jusante da área urbana, quanto no próprio rio Uruguai, levando em consideração a declividade e a altitude da região.

PALAVRAS-CHAVE: Impactos ambientais. Escoamento superficial. Parâmetros morfométricos. Relevo. Altitude.

INTRODUÇÃO

Conforme Tucci (2008), os cursos de água possuem dois leitos principais: o leito menor e o leito maior. No leito menor, as águas escoam na maioria do tempo, sendo considerado como o nível de normalidade dos leitos fluviais. Já o leito maior refere-se à superfície acima do nível médio das águas, sendo regularmente inundada em ocasiões de cheias.

De acordo com Tominaga et al. (2009), as cheias ocorrem quando há o aumento do nível d'água no canal de drenagem da bacia devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima, ou seja, o leito maior, porém sem transbordamento. O transbordamento representa as inundações, onde as águas atingem as áreas marginais, conhecidas como planície de inundação ou área de várzea. Já o acúmulo de água nos perímetros urbanos, são determinados como alagamentos, onde muitas vezes ocorrem devido a problemas de drenagem.

Os constantes episódios de inundações em grandes centros, na maioria das vezes, estão relacionados ao aumento populacional e ao crescimento urbano desordenado (TUCCI; BERTONI, 2003). Conseqüentemente, a população que habita as margens do rio acaba ficando vulneráveis a este fenômeno. Diante disto, vale ressaltar que as inundações na região banhada pelo rio Uruguai são constantes e atingem, na maioria das vezes, as populações ao longo de seu canal principal e de seus afluentes.

Tucci (1997) ressalta que este problema encontra-se em muitos municípios brasileiros, principalmente nas áreas urbanas, devido ao assoreamento do leito dos rios, impermeabilização das áreas de infiltração na bacia de drenagem, fatores climáticos, entre outras causas.

Desde a promulgação da Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a bacia hidrográfica passou a ser definida como a unidade territorial para a gestão dos recursos hídricos, aderindo a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo. Portanto, é de grande importância para gestores e pesquisadores o entendimento do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões.

As definições propostas para bacia hidrográfica e suas subdivisões assemelham-se ao conceito dado por Barrella (2001), onde:

uma bacia hidrográfica constitui-se de um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes. Seu contorno é limitado pelas partes mais altas do relevo, conhecidas como divisores de água. As águas que caem das chuvas escoam superficialmente ou infiltram-se no solo para a formação de nascentes e do lençol freático. As cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas, e à medida que as águas descem juntam-se com a de outros riachos aumentando o volume formando os primeiros rios.

As características físicas da bacia hidrográfica compõem elementos de grande magnitude para estudos hidrológicos em relação ao seu comportamento, dessa maneira, a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica se trata de procedimentos triviais e efetivos em análises hidrológicas, como finalidade, a capacidade de explicar diversas questões associadas ao entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2015).

Conforme Christofolletti (1999), a análise morfométrica compreende conjuntos de procedimentos que caracterizam aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, servindo como parâmetros relacionados à forma, ao arranjo estrutural e a interação entre as vertentes e a rede de canais fluviais da bacia hidrográfica.

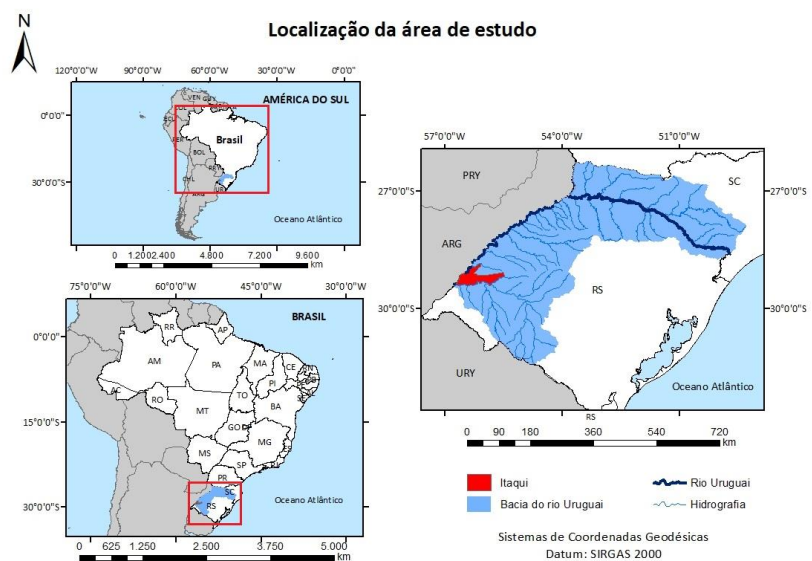
Sendo assim, o estudo morfométrico de bacias hidrográficas é definido como a análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica, auxiliando como indicadores para previsão do grau de vulnerabilidade da bacia em relação a fenômenos como enchentes, inundações, erodibilidade e outros, uma vez que, os parâmetros morfométricos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (VILLELA; MATTOS, 1975; CARDOSO et al., 2006; NUNES et al., 2006).

Partindo deste pressuposto, o presente trabalho objetivou analisar a morfometria das sub-bacias da porção do rio Uruguai que se encontra em território brasileiro, bem como, as mudanças de declividade e variação de altitude ao longo da bacia, com a finalidade de indentificar a influência das mesmas nas inundações causadas na área urbana e em regiões ribeirinhas no município de Itaqui - RS.

ÁREA DE ESTUDO

O rio Uruguai localiza-se na divisa entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Brasil), sendo formado pela confluência dos rios, a saber: Canoas e Pelotas, localizados na província geomorfológica da Serra Geral. Também, é considerado um rio fronteiro, pois delimita a fronteira entre o Brasil e a Argentina depois de sua confluência com o rio Peperi-Guaçu, e logo após receber a afluência do rio Quaraí marca a tríplice fronteira entre o Brasil, a Argentina e o Uruguai, desaguando no rio da Prata. Pode-se observar o mapa de localização da porção da bacia do rio Uruguai em estudo na Figura 1.

Figura 1 - Mapa de localização da porção da bacia do Rio Uruguai em estudo

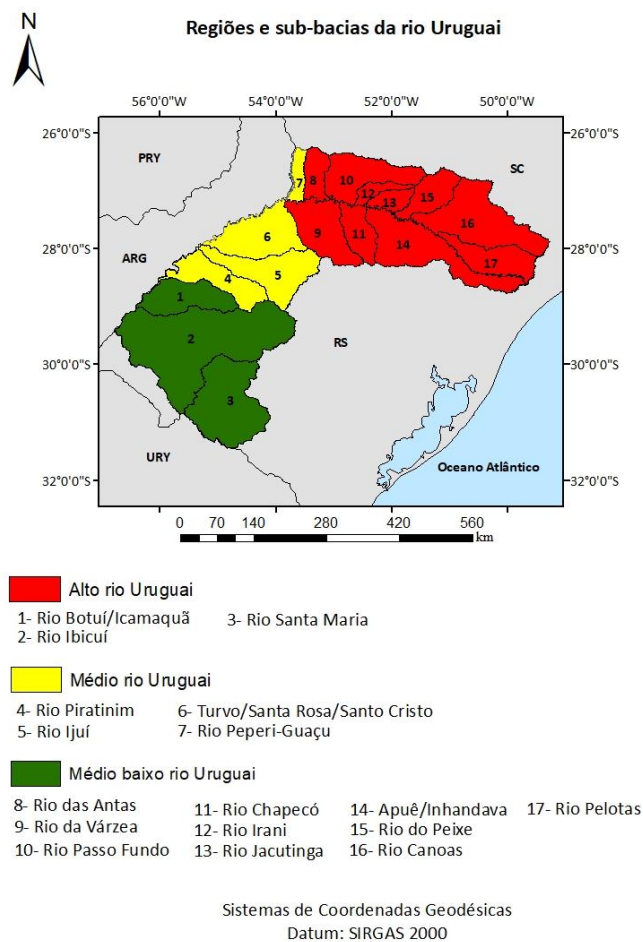


Fonte: Autoria própria (2018).

O município de Itaqui localiza-se na Fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul, na divisa com a Argentina, sendo banhado pelo Rio Uruguai e tem como cidades limítrofes: Alegrete, Maçambará, Manoel Viana, São Borja e Uruguiana (Figura 1). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a cidade possui uma população com 38.159 habitantes, sendo que 33.311 reside em área urbana e 4.848 em área rural, em uma área de 3.404,037 km². A localização do município de Itaqui na porção da bacia do rio Uruguai em estudo pode ser observada na Figura 1.

Ao longo do rio Uruguai podem ser identificadas três regiões distintas, as quais estão associadas ao relevo regional e às bacias hidrográficas que compõem a bacia do rio Uruguai, a saber: a) Alto rio Uruguai: caracterizado por um forte gradiente topográfico, o qual possui grande potencialidade para construções de hidrelétricas; b) Médio rio Uruguai: região propícia para a agricultura de soja e milho devido ao clima e ao relevo que ocorrem nesta região; c) Médio baixo rio Uruguai: abrange as áreas da Campanha Gaúcha, onde suas águas são utilizadas para irrigação da cultura de arroz (BRASIL, 2006). As três regiões mencionadas estão identificadas na Figura 2.

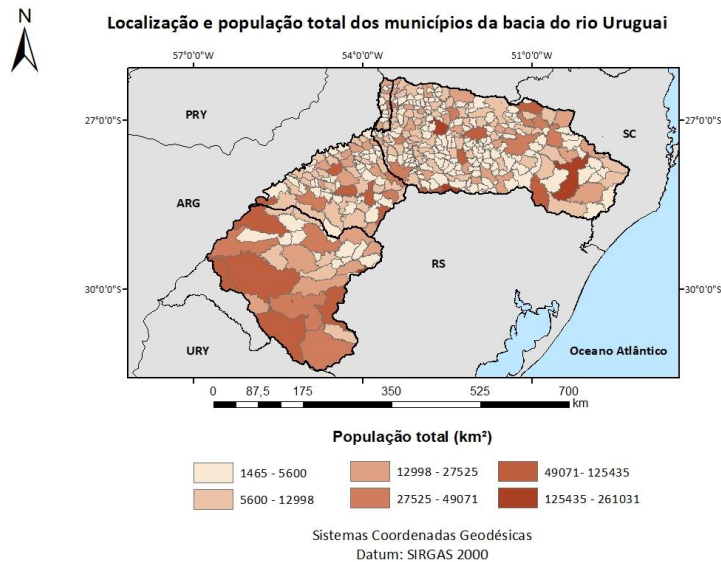
Figura 2 - Regiões da bacia do Rio Uruguai associadas ao relevo regional e seus afluentes principais



Lemos (2006) relata que a bacia Hidrográfica do rio Uruguai compreende a área de aproximadamente 384.000 km², dos quais 176.000 km² se localizam no Brasil. Sua porção brasileira encontra-se na região sul, cerca de 46.000 km² localizam-se no estado de Santa Catarina e 130.000 km² no estado do Rio Grande do Sul. Devido a sua grande extensão, muitos municípios acabam sofrendo grandes impactos pelas inundações, visto que o rio Uruguai e seus afluentes banham no total 405 municípios, 204 no estado do Rio Grande do Sul e 201 no estado de Santa Catarina (ANA, 2015).

A população total é de, aproximadamente 6,2 milhões de habitantes (IBGE, 2010), desta 61% se concentra nos centros urbanos. A densidade demográfica da região é de 22,8 hab./km², similar a média brasileira que é de 22,4 hab./km² (ANA, 2015). Na Figura 3 é possível observar os municípios que são banhados pela área de estudo, bem como a população total dos mesmos segundo o censo demográfico do IBGE (2010).

Figura 3 – Localização e população total dos municípios da bacia do rio Uruguai conforme IBGE (2010)



Fonte: Autoria própria (2018).

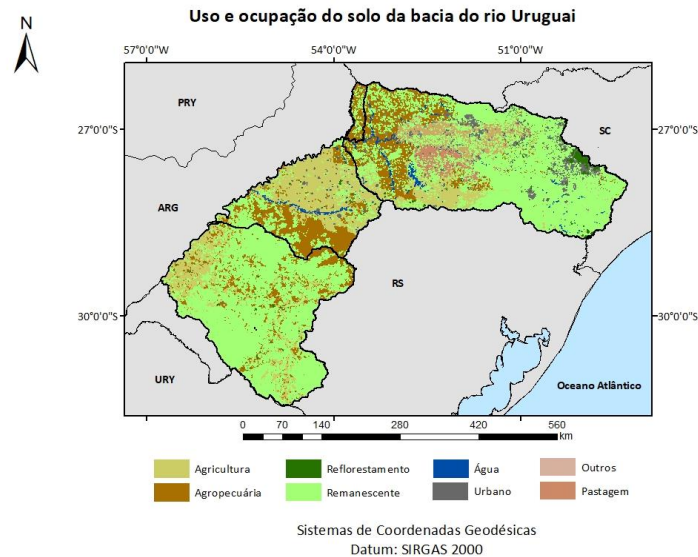
No tocante aos eventos de enchentes, alagamentos, enxurradas e inundações, em 2013, 67 municípios que são banhados pela bacia em estudo decretaram situações de emergência ou estado de calamidade pública, devido a eventos de cheia (16% dos municípios) (ANA, 2015).

Tucci (2002), relata que as ações do homem sobre o uso e ocupação do solo pode produzir alterações substanciais nos processos hidrológicos terrestre, como por exemplo no aumento da vazão de uma bacia hidrográfica, devido aos processos de degradação ambiental, como o desmatamento para práticas agrícolas e o crescimento urbano desorganizado, fatores estes que influenciam ocorrências de inundações.

Conforme citado anteriormente, muitas são as atividades desenvolvidas ao longo da bacia do rio Uruguai, diante disto é possível observar na Figura 4 o mapa de uso e ocupação do solo da área em estudo, com predominância de 34,83% da área total de atividades agropecuárias, 33,94% de remanescente florestais, 23,47%

de agricultura, 3,92% de pastagem, 2,02% de reflorestamento, 1,31% de água, 0,49% de área urbana e 0,01% classificados como outros (IBGE, 2010).

Figura 4 – Uso e ocupação do solo da bacia do rio Uruguai conforme IBGE (2010)



Fonte: Autoria própria (2018).

MÉTODOS

O trabalho se iniciou com a delimitação da área de contribuição da bacia em estudo utilizando o software ArcGIS 10.2.2[®] ESRI (*Environmental Systems Research Institute Inc*, 2014). Esse processo foi realizado a partir dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), os quais são disponibilizados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

Para a delimitação da porção da bacia do rio Uruguai em estudo, foram considerados os afluentes principais em relação às regiões distintas da bacia (alto, médio e médio baixo rio Uruguai), desde sua nascente no rio Pelotas em Santa Catarina até a foz do rio Ibicuí no Rio Grande do Sul, sendo também considerados os afluentes do território Argentino, priorizando a influência dos mesmos nas enchentes no município de Itaqui-RS. É possível observar a delimitação da bacia em estudo e de seus afluentes principais na Figura 2.

Vale ressaltar, que antes do procedimento citado anteriormente, fez-se necessário a correção das altitudes equivocadas que poderiam estar presentes no MDE, devido ao processo de interpolação para a geração do mesmo (ELESBON et al., 2011). A partir desta correção foi obtido o Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC), o qual representa o relevo de forma fidedigna e assegura a convergência do escoamento superficial ao longo da drenagem mapeada (PINHEIRO et al., 2012).

Após serem aplicados os parâmetros morfométricos na área de estudo, obteve-se a forma da bacia e das sub-bacias, a qual é determinada por índices que se relacionam com formas geométricas conhecidas, aplicando o fator de forma (F), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc). Quanto maior for o

coeficiente de compacidade, mais irregular é a bacia e quanto mais baixo for o fator de forma, menos sujeita a enchentes ela está (VILLELA; MATTOS, 1975).

O Coeficiente de Compacidade (Kc): Relaciona a bacia com um círculo de mesma área da bacia, sendo que quanto mais próximo da unidade, maiores as chances de inundação. É definido pela relação entre o perímetro da bacia e o perímetro do círculo de igual área. Assim, sendo A a área da bacia, P o seu perímetro e r o raio do círculo (VILLELA; MATTOS, 1975). O coeficiente é:

$$Kc = \frac{P}{2\pi r} = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

O Índice de Circularidade (Ic): Tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular, onde é definido pela relação entre o perímetro e a área da bacia. Assim, sendo A a área da bacia e P o seu perímetro (MULLER, 1953). O índice é:

$$Ic = \frac{4\pi A}{P^2} = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad (2)$$

O Fator de Forma (F): É a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (Lax), onde, o comprimento axial é comprimento do curso d'água principal da bacia mais a distância da sua nascente ao divisor topográfico (VILLELA; MATTOS, 1975). É calculado por:

$$Ic = \frac{A}{L_{ax}^2} \quad (3)$$

A forma de uma bacia hidrográfica é essencial na designação do tempo necessário para que toda a bacia contribua para a sua saída após uma precipitação, sendo assim denominado de tempo de concentração. Quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975).

Também foi possível determinar a variação de elevação e a altitude média das três regiões do rio Uruguai, sendo que estas são responsáveis por influenciar na quantidade de radiação recebida, na evapotranspiração, na temperatura e na precipitação (CASTRO; LOPES, 2001). Quando ocorrem grandes alterações de elevação e altitude também ocorrem grandes alterações na temperatura, que, por sua vez, também causa variação na evapotranspiração. Dessa forma, a análise da altitude foi de total importância para as observações de diferentes elementos climáticos e de diferentes áreas de acumulação e erosão (TONELLO et al., 2006).

Analisou-se ainda a declividade do rio Uruguai, sendo esse fator muito importante para os estudos de bacias e sub-bacias hidrográficas, pois a inexistência de cobertura vegetal, o tipo de solo, e a intensidade das precipitações, agregado a maior declividade, acarretará maior velocidade de escoamento superficial, pois, o solo irá saturar rapidamente diminuindo a infiltração de água e aumentando, conseqüentemente, o escoamento superficial. Este fator pode, portanto, resultar em grandes enchentes e inundações levando a bacia à degradação. (SILVA et al., 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia em estudo possui área de 239.898 Km², dos quais 176.000 Km² localizados no Brasil e 63.898 Km² localizados na Argentina. A distribuição da área de estudo está assim composta: 94.565,86 Km² no alto rio Uruguai, 57.307,86 Km² no médio rio Uruguai e 88.024,27 Km² no médio baixo rio Uruguai.

Após a determinação dos afluentes principais, foram aplicados os parâmetros morfométricos nos mesmos, sendo possível analisar os valores resultantes destes parâmetros nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros morfométricos para o alto rio Uruguai

Sub-bacias	Coefficiente de compacidade (Kc)	Coefficiente de circularidade (Ic)	Fator de forma (F)
Rio das Antas	1,7409	0,3252	0,3190
Rio da Várzea	1,7264	0,3306	0,3148
Rio Passo Fundo	1,6015	0,3842	0,2749
Rio Chapecó	1,8422	0,2904	0,1916
Rio Irani	1,9969	0,2471	0,1133
Rio Jacutinga	1,7188	0,3336	0,3234
Rio Apuê	1,7410	0,3251	0,4510
Rio Inhandava	1,8763	0,2799	0,2594
Rio do Peixe	1,7762	0,3124	0,2139
Rio Canoas	1,9532	0,2583	0,1836
Rio Pelotas	2,2483	0,1950	0,2813

Fonte: Autoria própria (2015).

Tabela 2 - Resultados dos parâmetros morfométricos para o médio rio Uruguai

Sub-bacias	Coefficiente de compacidade (Kc)	Coefficiente de circularidade (Ic)	Fator de forma (F)
Rio Piratinim	1,9491	0,2594	0,2716
Rio Ijuí	1,7887	0,3080	0,2032
Rio Turvo	2,0596	0,2323	0,1427
Rio Santa Rosa	1,9507	0,2590	0,1763
Rio Santo Cristo	1,7576	0,3190	0,2095
Rio Peperi-Guaçu	1,6569	0,3590	0,2751

Fonte: Autoria própria (2015).

Tabela 3 - Resultados dos parâmetros morfométricos para o médio baixo rio Uruguai

Sub-bacias	Coefficiente de compacidade (Kc)	Coefficiente de circularidade (Ic)	Fator de forma (F)
Rio Botuí	1,7992	0,3044	0,2294
Rio Icamaguã	1,9668	0,2548	0,1995
Rio Ibicuí	1,7619	0,3175	0,2694
Rio Santa Maria	1,5920	0,3848	0,3812

Fonte: Autoria própria (2015).

Os valores de Ic para as sub-bacias da região do alto, médio e médio baixo rio Uruguai variaram, respectivamente, entre 0,1950 para o rio Pelotas à 0,3842 para o rio Passo fundo, 0,2323 para o rio Turvo à 0,3590 para o rio Peperi-Guaçu e,

0,2548 para o rio Icamaquã à 0,3848 para o rio Santa Maria. Analisando estes resultados é possível observar que a maioria dos índices de circularidade apresentam valores afastados da unidade, indicando, conforme Villeta e Mattos (1975), que a maioria das sub-bacias possuem formatos mais alongados.

De acordo com Villeta e Mattos (1975), quanto menor for a relação de áreas entre a sub-bacia e o comprimento do curso d'água principal, mais alongada será a sub-bacia. Dessa maneira, quanto maior o fator de forma, maior poderá ser a propensão a enchentes e inundações, por ter uma área de captação transversal grande direcionada para um curso d'água pequeno (BARIANI; BARIANI, 2016).

Analisando os valores obtidos do fator de forma para as sub-bacias da região do alto Uruguai, percebe-se que os valores variam de 0,1133 (rio Irani) à 0,4510 (rio Apuê). Para a região do médio rio Uruguai o valores variam de 0,1427 (rio Turvo) à 0,2751 (rio Peperi-Guaçu). Já para a região do médio baixo rio Uruguai a variação é de 0,1995 (rio Icamaquã) à 0,3812 (rio Santa Maria). Estes valores confirmam os resultados obtidos pelo Ic de que a maioria das sub-bacias possuem o formato mais alongado e, que, conseqüentemente, são cursos d'água com extensões (BARIANI; BARIANI, 2016) e tempos de concentração de água maiores (VILLELA; MATTOS, 197).

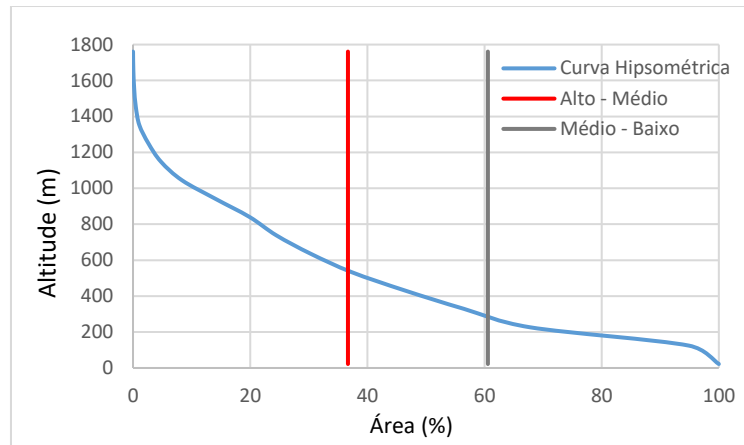
Cardoso et al. (2006) e Tonello et al. (2006) , relatam que os valores obtidos do coeficiente de compacidade podem ser analisados da seguinte maneira: a) $1,0 < Kc < 1,25$: indica que as sub-bacias possuem maior propensão a grandes enchentes; b) $1,25 < Kc < 1,50$: indica que as sub-bacias possuem tendência mediana a grandes enchentes; c) $Kc > 1,50$: indica que as sub-bacias possuem menor propensão a grandes enchentes.

Partindo deste pressuposto, salienta-se que todos os valores de Kc encontrados para as sub-bacias das três regiões do rio Uruguai foram maiores que 1,50, indicando que as sub-bacias possuem menor propensão a grandes enchentes, visto que os valores variam de 1,6015 (rio Passo Fundo) á 2,2483 (rio Pelotas) para a região do alto Uruguai, 1,6569 (rio Peperi-Guaçu) à 2,0596 (rio Turvo) para a região do médio rio Uruguai e, 1,5920 (rio Santa Maria) á 1,9668 (Rio Icamaquã) para a região do médio baixo Uruguai.

A curva hipsométrica (Gráfico 1) da bacia foi elaborada com o intuito de representar graficamente a variação da elevação dos terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar. Sabendo-se que a área do alto, do médio e do médio baixo rio Uruguai correspondem a 39,42%, 23,89% e 36,69% respectivamente da área total da bacia, foi possível perceber que as maiores altitudes se encontram na região do alto rio Uruguai, logo, o médio baixo rio Uruguai se encontra em áreas rebaixadas apresentando baixas altitudes, o que favorece a amplitude das inundações nesta região.

A intensificação das inundações na região do médio baixo rio Uruguai está associada a amplitude altimétrica e a velocidade de escoamento de uma bacia hidrográfica, ou seja, quanto maior a variação de altitude de uma região mais rápido será o escoamento superficial, reduzindo assim o acúmulo de água nas sub-bacias a montante e aumento do acúmulo de água nas sub-bacias a jusante (BRUBACHER et al., 2011).

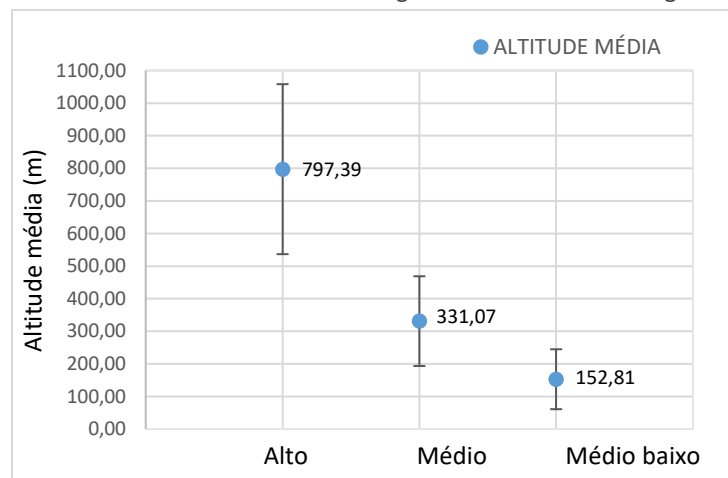
Gráfico 1 - Curva hipsométrica da bacia do rio Uruguai em estudo



Fonte: Autoria própria (2015).

Na sequência do trabalho, foi executado o cálculo da altitude média de cada região da bacia do rio Uruguai. Para verificar a dispersão destes valores foi calculado o desvio padrão de ambos, obtendo-se: a) $797,39 \pm 260,80$ altitude do alto rio Uruguai, b) $331,07 \pm 137,67$ altitude do médio rio Uruguai, c) $152,81 \pm 92,00$ altitude do baixo médio rio Uruguai. Os resultados obtidos podem ser verificados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Altitude média das regiões da bacia do rio Uruguai



Fonte: Autoria própria (2015).

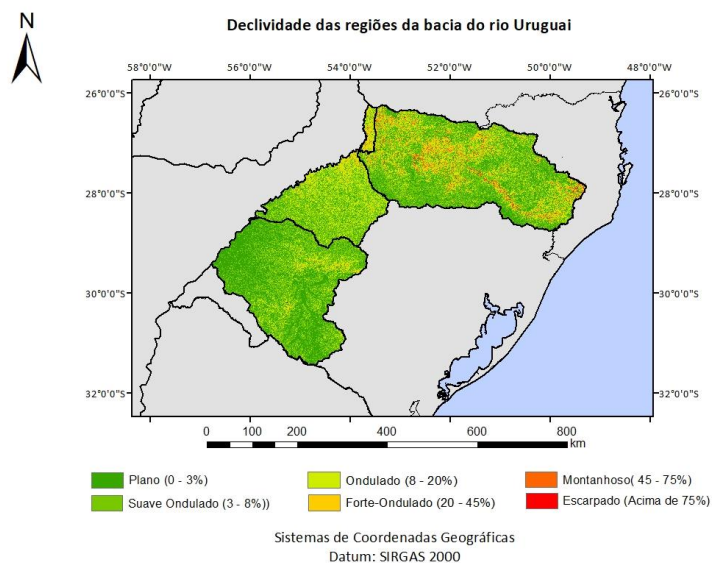
De acordo com Castro e Lopes (2001), as altitudes elevadas tendem a receber maior quantidade de precipitação, além da perda de água ser menor. Nessas regiões, a precipitação normalmente excede a evapotranspiração, ocasionando um suprimento de água, indicando condições mais propícias a escoamento das águas nas áreas de maior altitude e de acumulação hídrica para as áreas de menor altitude (RIGHI; ROBAINA, 2010). Sendo assim, o escoamento de água das regiões do alto e médio Uruguai, regiões que possuem maiores variações de elevação e altitudes, acabam se acumulando na região do baixo médio Uruguai, propiciando na alteração do deflúvio médio das sub-bacias desta região.

A declividade é um fator importante para a compreensão da dinâmica natural de uma bacia hidrográfica, pois revela o grau de inclinação de uma superfície.

Segundo Villela e Matos (1975), também podemos relacionar a declividade com a velocidade do escoamento superficial de uma bacia, que por sua vez, acaba afetando o tempo de concentração das precipitações nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias, sendo que os picos de enchente, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia.

Corroborando o exposto, foi analisada a declividade de cada região da bacia do rio Uruguai, sendo possível observar a predominância das classes, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (SANTOS et al., 2013), nas referidas regiões de estudo (Figura 5).

Figura 5 – Declividade do alto, médio e médio baixo rio Uruguai



Fonte: Autoria própria (2018).

Analisando a Figura 5 e Tabela 4, é possível perceber que a região do alto rio Uruguai apresenta a predominância da classe de relevo ondulado com 40,46% da área total da região. Também se destaca a classe forte-ondulado em 25,30% de sua área, além de possuir uma inclinação suave ondulado em 19,68% de sua área.

Também é possível perceber que na região do médio rio Uruguai (Figura 5 e Tabela 5) há predominância da classe de relevo ondulado com 41,52% da área total, além de possuir 29,42% e 16,14% de sua área classificada como suave ondulado e plano respectivamente. Dessa maneira, observa-se que a inclinação do alto rio Uruguai e médio rio Uruguai é significativa, o que acaba atuando no rápido escoamento superficial, podendo assim exercer influência na ação erosiva causadas nos relevos desta região.

A declividade do médio baixo rio Uruguai (Figura 5 e Tabela 6) apresenta um relevo plano e um relevo suave ondulado com 28,42% e 30,35% de sua área respectivamente, porém seu relevo com maior ascendência é o suave ondulado com 37,12% de sua área total. Dessa maneira, observa-se que a inclinação nesta região não é significativa aumentando o tempo de concentração das precipitações nos leitos fluviais, que por sua vez não contribui nas ocorrências de inundações.

Tabela 4 - Declividade do alto rio Uruguai conforme Santos et al. (2013)

Declividade (alto rio Uruguai)	Área em Km ²	% da Área
Plano (0 – 3%)	10.835,97	11,46
Suave Ondulado (3 – 8%)	18.607,55	19,68
Ondulado (8 – 20%)	38.258,85	40,46
Forte Ondulado (20 – 45%)	23.920,53	25,30
Montanhoso (45 – 75%)	2.800,36	2,96
Escarpado (Acima de 75%)	142,61	0,15
Área total das classes	94.565,87	100

Fonte: Autoria própria (2015).

Tabela 5 - Declividade do médio rio Uruguai conforme Santos et al. (2013)

Declividade (médio rio Uruguai)	Área em Km ²	% da Área
Plano (0 – 3%)	9.252,13	16,14
Suave Ondulado (3 – 8%)	16.859,95	29,42
Ondulado (8 – 20%)	23.793,14	41,52
Forte Ondulado (20 – 45%)	6.976,10	12,17
Montanhoso (45 – 75%)	417,44	0,73
Escarpado (Acima de 75%)	9,10	0,02
Área total das classes	57.068,92	100

Fonte: Autoria própria (2015).

Tabela 6 - Declividade do médio baixo rio Uruguai conforme Santos et al. (2013)

Declividade (médio baixo rio Uruguai)	Área em Km ²	% da Área
Plano (0 – 3%)	25.013,09	28,42
Suave Ondulado (3 – 8%)	32.671,91	37,12
Ondulado (8 – 20%)	26.714,16	30,35
Forte Ondulado (20 – 45%)	3.406,36	3,87
Montanhoso (45 – 75%)	209,04	0,24
Escarpado (Acima de 75%)	9,72	0,01
Área total das classes	88.024,27	100

Fonte: Autoria própria (2015).

Sendo assim, o município de Itaqui acaba sendo prejudicado pela ocorrência de inundações, pois a maior velocidade das águas nas regiões do alto e médio rio Uruguai, associada à grande área de contribuição, pode fazer com que esse escoamento influencie no represamento das águas tanto no rio Ibicuí, que está localizado no município, quanto no próprio rio Uruguai, aumentando o nível de água em ambos. Como a cidade de Itaqui se encontra em um relevo menos acentuado a velocidade de escoamento é menor, assim, o rio Uruguai e o rio Ibicuí demoram a atingir o seu nível normal, intensificando o efeito das inundações no município de Itaqui. As Figuras 6 e 7 ilustram, respectivamente, as inundações de novembro de 2009 e dezembro de 2015, com cotas fluviométricas, aproximadamente, de 10,8m e 11,09m, na Rua Independência com Saldanha da Gama (MEYER, 2009 apud SAUERESSIG, 2012; BARBOSA, 2015).

Figura 6 – Foto da inundação de novembro de 2009



Fonte: Meyer (2009 apud SAUERESSIG, 2012, p. 74).

Figura 7 – Foto da inundação de dezembro de 2015



Fonte: Barbosa (2015).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2015), as áreas urbanas mais impactadas localizadas na porção de estudo são: Marcelino Ramos, Itá e Iraí no alto rio Uruguai, Itaqui e São Borja no baixo médio rio Uruguai. Nas áreas rurais, o impacto maior dos eventos de cheia ocorre no baixo médio Uruguai, em que a topografia é mais suave e a planície de inundação é mais extensa, principalmente na fronteira oeste gaúcha (ANA, 2015), onde se encontra o município de Itaqui.

CONCLUSÕES

Após a obtenção e análise dos resultados, torna-se possível estabelecer a relação de qual região é mais propensa à ocorrência de enchentes e também a influência destas regiões, juntamente com seus afluentes principais, nas inundações causadas na cidade de Itaqui-RS.

De acordo com os índices morfométricos propostos por Muller (1953) e Villela e Mattos (1975), as regiões do alto e médio rio Uruguai são menos propícias a grandes inundações, com predominância de declividade ondulada, além de

possuírem altitudes elevadas em relação ao médio baixo rio Uruguai, fatores estes que contribuem para o rápido escoamento superficial. A região do médio baixo rio Uruguai também apresentou resultados de sub-bacias com baixa tendência a grandes inundações, porém a declividade é de uma região mais plana.

Na maioria das vezes, no interior de sub-bacias com elevadas altitudes e declividade acentuada, ocorrem poucas enchentes de longa duração, pois mais rápido é o escoamento superficial, porém, esse fluxo em alta velocidade pode promover o efeito das enchentes à jusante das sub-bacias, ou seja, podendo acentuar à ocorrência de inundações na região do médio baixo rio Uruguai.

Além dos fatores abordados, é importante ressaltar que parte da expansão urbana da cidade de Itaquí, bem como a histórica ocupação das regiões ribeirinhas, em especial por famílias de pescadores, vem ocorrendo às margens do rio Uruguai, colocando tal população em situação de vulnerabilidade perante a ocorrência das inundações.

Por fim, tomando por base a dimensão da bacia hidrográfica do rio Uruguai (aproximadamente 384.000 Km²), as inundações que nela ocorrem são de pequena proporção se avaliadas pelo aspecto dimensional. Contudo, os processos de ocupação humana que ocorrem ao longo do seu leito principal, pelo impacto que sofrem com as enchentes, devem ser considerados e reavaliados pelos processos de planejamento municipal.

Morphometric analysis of the main tributaries from Uruguai basin and its influence in floods in the Itaqui city, Rio Grande do Sul, Brazil

ABSTRACT

This work aimed to study the three regions defined along the basin (high, medium and medium low Uruguay River), applying the morphometric parameters, analyzing the slope and altitude differences in the defined regions, aiming to identify the influence of those in the floods occurring in the city of Itaqui, located in the state of Rio Grande do Sul. Overall, it was found that the study area has little propensity to flooding. With the hypsometric curve, and analyzing the slope of the Uruguay River, it was observed that the highest peaks are found in the upper Uruguay River region with the predominance of a wavy relief, and the low altitudes, compared to sea level, are found on medium low Uruguay river, and the slope class with the highest occurrence of this region is the wavy gently. These parameters have influence on the speed of runoff basin. Thus, it was found that the intensification of the occurrence of floods in the city of Itaqui, occur due to the damming of waters both in the river Ibicuí, located downstream from the urban area, and in the river itself Uruguay, taking into account the slope and the altitude of the region.

KEYWORDS: Environmental impacts. Surface runoff. Morphometric parameters. Terrain relief. Altitude.

REFERÊNCIAS

ANA. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Regiões hidrográficas brasileiras**. Brasília, p. 149-152, 2015.

BARIANI, C. J. M. V.; BARIANI, N. M. V. Aplicação de dados SRTM para a caracterização de microbacias hidrográficas urbanas. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 20, n. 2, p. 135-146, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/2236499417040>

BARBOSA, J. Prefeito Declara situação de emergência em razão da cheia do rio Uruguai. Prefeitura Municipal de Itaqui: Notícias, Itaqui, 30 dez. 2015. Disponível em: <<http://www.itaqui.rs.gov.br/noticias/2015/12/prefeito-declara-situacao-de-emergencia-em-razao-da-cheia-do-rio-uruguai.html>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

BARRELLA, W.; PETRERE JUNIOR., M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. F. A. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/470365.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

BRASIL. Caderno da Região Hidrográfica do Uruguai. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. Disponível em: <http://www.mmma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011023025.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2017.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, p. 1863-1870, 2011.

CASTRO, P.; LOPES, J.D.S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, p. 84, 2001.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus-Brasil. **Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 3, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672011000300005>.

®ESRI. ArcGIS for Desktop, version 10.2.2. Environmental Systems Research Institute Inc, California, EUA, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=431560>>. Acesso em: 28 de jun. 2018.

LEMOS, C. A. Hidrelétricas na bacia do rio Uruguai: guia para ONGs e movimentos sociais. Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra/Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/4315.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

MULLER, V.C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area**. New York: Virginia and Tennessee. Dept. of Geology. n. 3, p. 30, 1953.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba-Paraná. SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 2006.

PINHEIRO, H. S. K.; CHAGAS, C. da S.; CARVALHO JÚNIOR, W. de; ANJOS, L. H. C. dos. Modelos de elevação para obtenção de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1384-1394, 2012.

RIGHI, E.; ROBAINA, L. E. S. Enchentes do Rio Uruguai no Rio Grande do Sul entre 1980 e 2005: uma análise geográfica. **Sociedade & Natureza**, v.22, p. 35-54, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132010000100004>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. **rev. e ampl.** Brasília: Embrapa, p. 353, 2013.

SAUERESSIG, S. R. **Zoneamento das áreas de risco a inundação da área urbana de Itaquí-RS**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade de Santa Maria, Santa Maria.

SILVA, F. D.; RODRIGUES, V. A.; OLIVEIRA, A. M. dos S.; JIMÉNEZ, F. Organismos de bacias hidrográficas: experiências na América Latina e América Central. In: RODRIGUES, V. A.; BUCCI, L. A. (Orgs.). **Manejo de microbacias hidrográficas: experiências nacionais e internacionais**. Botucatu: FEPAF, p. 162, 2006.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, 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 ReBraM**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2015. <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236>

TOMINAGA L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 1. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. In: Aldo da Cunha REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas Doces no Brasil**. São Paulo: Escrituras, 1997.

TUCCI, C. E. M. Gestão integrada das águas urbanas. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 5, n. 2, p. 71-81, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>.

TUCCI, Carlos EM. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas—Câmara Temática de Recursos Hídricos, Brasília, 2002.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto alegre: ABRH, p. 471, 2003.

VILLELA, S. M. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, p. 245, 1975.

Recebido: 11 jan. 2018

Aprovado: 01 ago. 2018

DOI: 10.3895/rbgeo.v6n3.7615

Como citar: OGASSAWARA, J. F.; GASS, S. L. B. Análise morfométrica dos afluentes principais da bacia hidrográfica do rio Uruguai e sua influência nas inundações na cidade de Itaqui, Rio Grande do Sul, Brasil. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 222-240, jul/set. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Jéssica Fernanda Ogassawara

Rua Marcílio Dias, 1618, CEP 96020-480, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

