



Publicações Acadêmicas UFVJM



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil

Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas

Reg.: 120.2.095 – 2011 – UFVJM

ISSN: 2238-6424

QUALIS/CAPES – LATINDEX

Nº. 16 – Ano VIII – 10/2019

<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TODOS OS SANTOS

Prof. Dr. Daniel Brasil Ferreira Pinto
Doutor em Engenharia de Água e Solo
Universidade Federal de Lavras – UFLA - Brasil
Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Minas Gerais - UFVJM - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3334660549386178>
E-mail: daniel.brasil@ufvjm.edu.br

Pedro Henrique Vieira Vecchi Pacheco
Engenheiro Civil
Graduando em Engenharia Hídrica - Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri
Minas Gerais - UFVJM – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2090307461736682>
E-mail: pedrohvpacheco@hotmail.com

Prof. Dr. Rafael Alvarenga Almeida
Doutor em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Viçosa – UFV - Brasil
Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Minas Gerais - UFVJM - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8152873933826249>
E-mail: rafael.almeida@ufvjm.edu.br

Resumo: O conhecimento do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é de fundamental importância quando se busca desenvolver estudos que visam melhoramento e conhecimento dos recursos hídricos de determinada região. Conhecer os parâmetros morfométricos auxilia no desenvolvimento de diversos estudos hidrológicos para o melhoramento e gerenciamento de tais recursos. Neste contexto, objetivou-se com este estudo, obter os parâmetros morfométricos e desenvolver um estudo de vazões mínimas e máximas da bacia hidrográfica do rio Todos os Santos, situado na cidade de Teófilo Otoni no estado de Minas Gerais. Os parâmetros morfométricos foram obtidos através do uso de SIG e as vazões foram determinadas utilizando o modelo probabilístico de Gumbel. A determinação das vazões mínimas é de fundamental importância para o desenvolvimento de outorgas, e as vazões máximas para dimensionamento de obras hidráulicas como bueiros, galerias de águas pluviais, barragens, entre outros. Para a delimitação da bacia hidrográfica utilizou-se o ponto de seção de controle da estação fluviométrica Francisco Sá situada a jusante do município. Os resultados obtidos mostraram um fator de forma de 0,0303 e um coeficiente de compactidade de 2,49, o que demonstra que a bacia hidrográfica do rio Todos os Santos, apresenta baixa ocorrência a enchentes. A vazão mínima de 7 dias consecutivos com tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) encontrada foi de 0,280 m³/s e a vazão máxima ($Q_{máx}$) para um tempo de retorno de 500 anos foi de 317,04 m³/s.

Palavras-chave: Caracterização morfométrica. Hidrologia. Outorgas. SIG. Probabilidade.

Introdução

Com o avanço da tecnologia e crescimento da população, a utilização dos recursos hídricos aumentou drasticamente. Dessa forma, um aumento da preocupação em relação ao melhor manejo destes recursos fez-se necessária, já que, ignorar este crescimento pode no futuro acarretar severos danos as bacias e micro bacias.

Com advento da lei nº 9433 a qual elaborou a Política Nacional dos Recursos Hídricos, desenvolveu noções de que a água é um bem de domínio público, recurso limitado e dotada de valor, que em sua escassez a prioridade do uso deste recurso é o consumo humano. Ainda de acordo com essa lei, para o gerenciamento de recursos hídricos, bacias hidrográficas deverão ser consideradas como unidades territoriais.

Uma bacia hidrográfica são grandes redes de drenagem que promovem um balanço de águas, ou seja, o volume de entrada menos o volume de saída é igual ao balanço de água. As bacias hidrográficas também são conhecidas como bacias de

drenagem e oferecem grande simplicidade no balanço de águas possibilitando desenvolver muitos estudos de caracterização hidrológica em torno das bacias.

Desta forma o entendimento dos parâmetros morfométricos só é possível mediante o conhecimento do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica onde os mesmos são funções de suas características geomorfológicas (topografia, área, solo, geologia, cobertura vegetal e etc).

O desenvolvimento das características morfométricas permite melhor compreensão da bacia hidrográfica estudada, uma vez que tais parâmetros possibilitam a geração de estudos proeminentes da bacia que se deseja fazer estudo, podendo potencializar o uso dos recursos disponíveis. O estudo de morfometriação de bacias hidrográficas é essencial para o planejamento do uso e conservação de diversos recursos naturais onde um bom gerenciamento pode ser feito através da utilização de ferramentas como os SIGs.

Neste contexto torna importante o emprego de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), ferramentas poderosas as quais devem ser adotadas no gerenciamento dos recursos hídricos. A modelagem da bacia hidrográfica por um SIG é baseada no modelo digital de elevação do terreno (DEM), sendo que, para que haja confiabilidade nos resultados o DEM utilizado deve ser hidrológicamente consistente.

Diante do exposto, objetivou-se realizar um estudo hidrológico na Bacia Hidrográfica do Rio Todos os Santos utilizando Sistemas de Informações Geográficas.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Todos os Santos, abrangendo 3 municípios, Poté, Teófilo Otoni e Carlos Chagas. O município de Teófilo Otoni pertence à mesorregião do Vale do Mucuri sob as coordenadas geográficas 17°51'27" de latitude Sul e 41°30'19" de longitude Oeste, à nordeste da capital do estado. Ocupa uma área de aproximadamente 3.242 km², sendo que 19,54 km² estão no perímetro urbano, com população estimada em 2016, em 141.502 habitantes (IBGE, 2017).

A área de estudo ainda pertence a mesorregião do Vale do Mucuri e é banhada por diversos rios e córregos, sendo o principal o Rio Todos os Santos, a bacia hidrográfica em questão faz parte da bacia hidrográfica do Rio Mucuri, pertencente à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH – MU1. (IGAM, 2016). Nas Figuras 1 e 2 apresentam-se a localização da área de estudo dentro do estado de Minas Gerais e na UPGRH MU1.

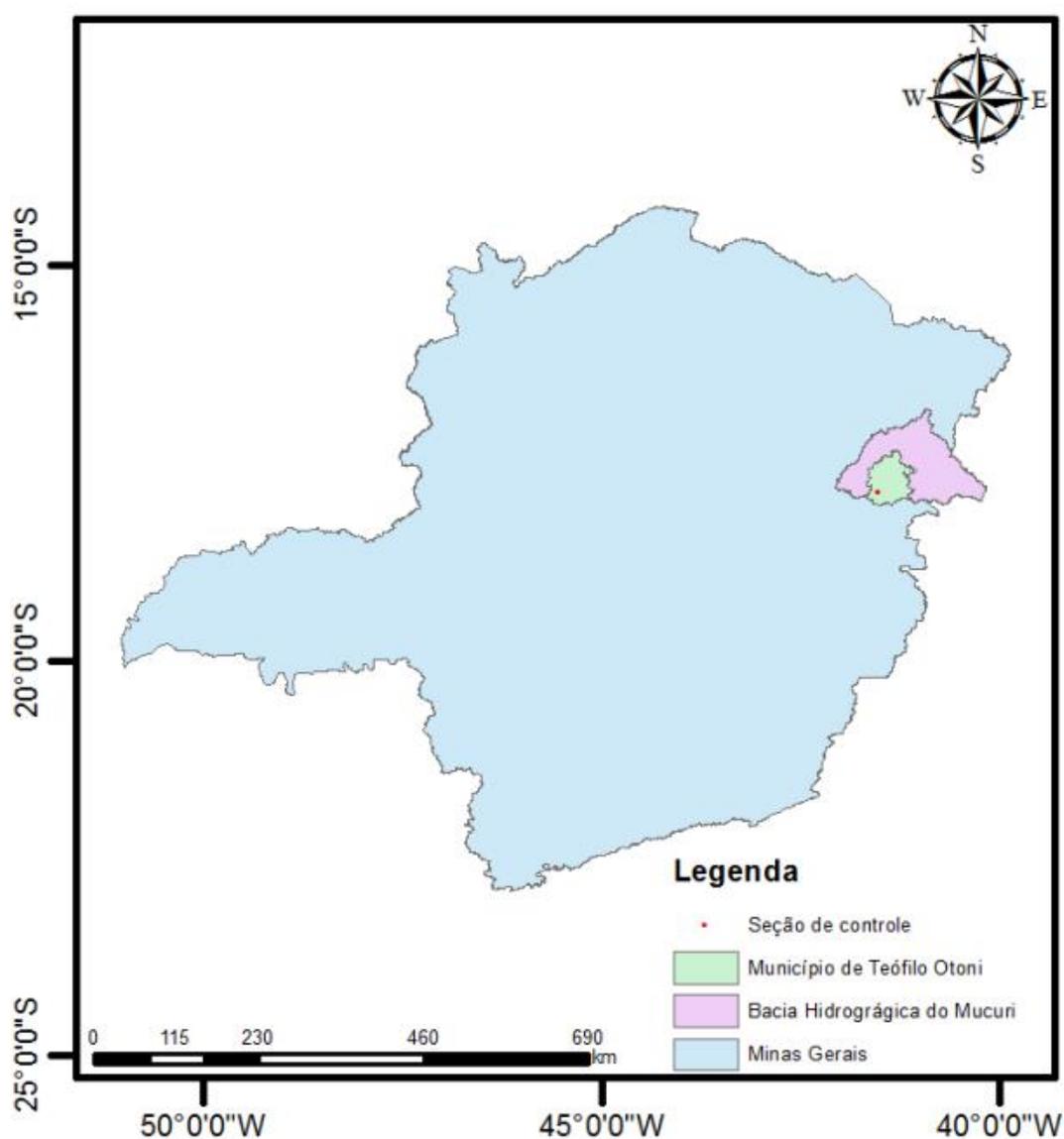


Figura 1: Mapa de Minas Gerais com a Bacia do Mucuri e o município de Teófilo Otoni.

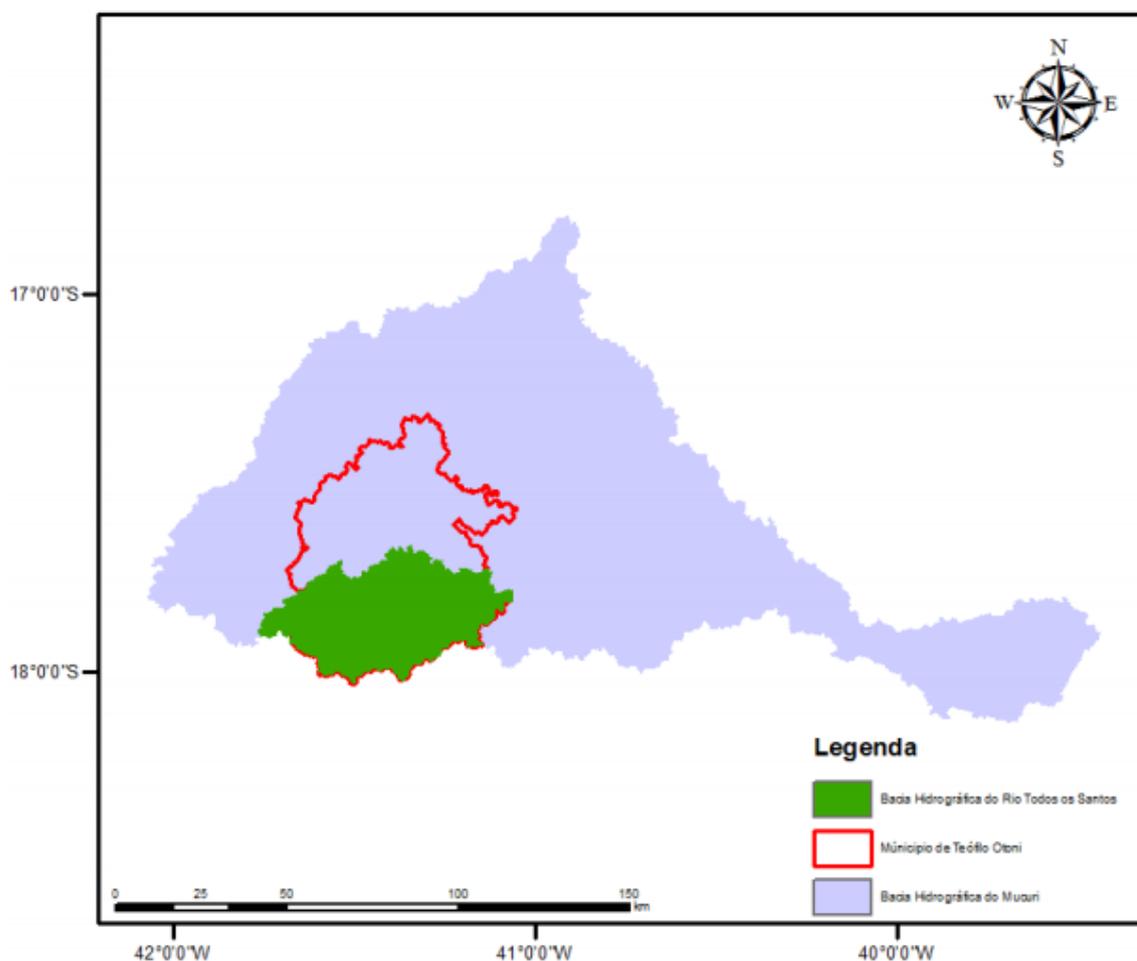


Figura 2: Bacia do Mucuri e Bacia do Rio Todos os Santos

Já o clima no Vale do Mucuri é caracterizado como tropical quente semiúmido tipo Aw segundo classificação Köppen (KOTTEK et al., 2006). Para o Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais (ZEE-MG, 2008), a região está caracterizada como C1 – subúmido seco, com intervalo do índice de umidade entre -33,3 e 0, onde são verificados índices de chuvas acumuladas, em média durante o ano, na ordem de 850 a 1100 mm. Possui temperaturas médias anuais relativamente mais baixas com relação ao clima semiárido compreendendo uma faixa que pode variar de 21 a 28°C, que levam a demanda de evapotranspiração relativamente menor, a qual, por sua vez, gera índices de umidade pouco maiores dependendo da época do ano (ZEE-MG, 2008, p. 93).

De acordo com o plano diretor de Teófilo Otoni elaborado pela UFVJM em seu capítulo 3, a vegetação predominante na região de Teófilo Otoni é uma vegetação rasteira, especialmente pastagens com gramíneas do tipo braquiária,

colonião e meloso, além de muita capoeira. Ainda segundo o plano diretor é possível encontrar alguma quantidade de mata nativa preservada em algumas comunidades.

De acordo com o mapa de solos do Estado de Minas Gerais disponibilizado por CETEC (2010), os tipos de solos da região são:

- LVAd1 – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.
- LVAd15 – Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.
- AR1 – Afloramento rochoso.

A economia na região do Vale do Mucuri ainda integra a economia estadual e nacional por meio de especialização no comércio de pedras preciosas, semipreciosas e exportação de produtos agropecuários com baixo valor agregado como pecuária leiteira e mandioca. No ano de 2004 os vales do Mucuri e Jequitinhonha contribuíram com 1,87% do Produto Interno Bruto (PIB) estadual (GEPAM UFVJM, 2010).

Base de Dados

Imagens SRTM

Para obtenção das imagens foi utilizado dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), os quais se encontram disponibilizados no site EARTHEXPLORER, da United States Geological Survey (USGS), onde se delimitou um polígono de quatro pontos compreendendo toda área da bacia do rio Todos os Santos, e em seguida fez-se o download das seis imagens com resolução espacial de 30 m e Datum WGS-84.

Dados Hidrológicos

Os dados hidrológicos das vazões encontram-se disponibilizados pelo site da hidroweb vinculado à Agência Nacional das Águas (ANA). No presente trabalho foi feito download dos dados de vazões referentes às séries históricas do Rio Todos os Santos da estação fluviométrica Francisco Sá, os dados foram obtidos desde 01/01/1945 até 31/12/2015. Cabe ressaltar que foram excluídos os anos com falhas no monitoramento.

Geração do MDEHC

A delimitação da bacia hidrográfica do Rio Todos os Santos, fez se mediante a utilização de um computador com sistema operacional Windows 10 junto do software ArcGIS 10.3, onde utilizou a ferramenta ArcHydro.

O procedimento para gerar o MDEHC obedeceu a seguinte metodologia: primeiramente foi feito a inserção de um ponto com as coordenadas da seção de controle da estação fluviométrica Francisco Sá. Em seguida foi feito um polígono com 4 pontos incluindo o ponto da seção de controle, tal polígono teve por objetivo cobrir toda área da bacia de contribuição.

Posteriormente fez se o download de seis imagens SRTM no site da USGS, tais imagens estavam na resolução espacial de 30 metros e datum WGS-84. O passo seguinte foi efetuar a junção das seis imagens SRTM para formar um mosaico de imagens, e através do mesmo realizou-se a conversão do datum WGS-84 para o datum SIRGAS-2000.

Desta forma objetivou-se eliminar os erros sistemáticos da imagem SRTM, eliminando os pixels negativos. Ao executar os comandos fill, flow direction e basin foi possível obter um modelo hidrológicamente consistente. Portanto a delimitação da bacia fez se o uso da ferramenta ArcHydro Tools conforme Merwade (2012).

Caracterização Morfométrica

A caracterização morfométricos correlaciona os parâmetros físicos e as características da área de estudo. Tais parâmetros como já descritos anteriormente são melhores entendidos a seguir.

O coeficiente de compacidade (K_c) é um fator adimensional e pode ser obtido utilizando a equação 1; onde P é o perímetro da bacia em m e A é a área da bacia em m² (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

O fator de forma (K_f) é um fator adimensional e é descrito pela equação 2, onde A é a área da bacia em m² e L o comprimento da bacia em m (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

O índice circularidade (I_c) é um índice adimensional e é descrito pela equação 3, onde A é a área da bacia em m^2 e P o perímetro da bacia em m (VILLELA; MATTOS, 1975).

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

A densidade de drenagem (D_d) é expressa em km^{-1} e é apresentada pela equação 4 onde L é o comprimento total dos cursos d'água da bacia e A área de drenagem (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (4)$$

A sinuosidade (Sin) é adimensional e é a relação entre o comprimento do rio principal L e comprimento do talvegue L_t , apresentada na equação 5 (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$Sin = \frac{L}{L_t} \quad (5)$$

Estudo de Vazões

Vazões Mínimas

Para o cálculo das vazões mínimas optou-se por utilizar o método probabilístico de Gumbel. Segundo Naghetinni e Pinto (2007) a distribuição de Gumbel para mínimos é uma distribuição extremamente utilizada na análise de frequência de eventos hidrológicos mínimos anuais. A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada pela equação 6 onde α representa um parâmetro de escala e β o parâmetro de posição. Tal equação é válida para o intervalo $(-\infty < z < \infty, -\infty < \beta < \infty, \alpha > 0)$.

$$F_z(z) = 1 - \exp \left[- \exp \left(\frac{z - \beta}{\alpha} \right) \right] \quad (6)$$

De acordo com os autores α representa o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição, β também é a moda de Z , desta forma através da equação 7 podemos determinar a função densidade da distribuição de Gumbel.

$$f_z(z) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[\frac{z - \beta}{\alpha} - \exp \left(\frac{z - \beta}{\alpha} \right) \right] \quad (7)$$

Desta forma os valores esperados, a variância e o coeficiente de assimetria de Z são, respectivamente dados pelas equações (8), (9) e (10).

$$E[Z] = \beta - 0,5772\alpha \quad (8)$$

$$Var[Z] = \sigma_Z^2 = \frac{\pi^2 \alpha^2}{6} \quad (9)$$

$$\gamma = -1,1396 \quad (10)$$

A inversa da FAP de Gumbel, ou função de quantis, é expressa pela equação 11, na qual, T denota o período de retorno em anos e F representa a probabilidade anual de não superação. Para o caso de mínimos anuais a equação 12 deve ser satisfeita.

$$z(F) = \beta + \alpha \ln[-\ln(1 - F)] \text{ ou } y(T) = \beta + \alpha \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (11)$$

$$T = \frac{1}{P(Z \leq z)} = \frac{1}{F_Z(Z)} \quad (12)$$

Vazões máximas

A determinação das vazões máximas foi realizada através do método da distribuição dos valores extremos também conhecida como distribuição de Gumbel para valores máximos.

De acordo com Naghetinni e Pinto (2007) a distribuição de Gumbel para máximos é a distribuição extremal mais utilizada em análise de frequência hidrológica, com inúmeras aplicações na determinação da intensidade duração e frequência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchente. A equação utilizada para probabilidades acumuladas da distribuição de Gumbel é dada pela equação 13, onde devem ser satisfeitos o seguinte intervalo ($-\infty < y < \infty$, $-\infty < \beta < \infty$, $a > 0$).

$$F_y(y) = \exp\left[-\exp\left(\frac{y-\beta}{\alpha}\right)\right] \quad (13)$$

Deve salientar que de maneira análoga ao método dos mínimos neste caso α representa o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição, β também é a moda de Y, desta forma através da equação 14 podemos determinar a função densidade da distribuição de Gumbel.

$$f_z(z) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{y-\beta}{\alpha} - \exp\left(\frac{y-\beta}{\alpha}\right)\right] \quad (14)$$

Desta forma valor esperado, a variância e o coeficiente de assimetria de Y são, respectivamente dados pelas equações (15), (16) e (17).

$$E[Y] = \beta + 0,5772\alpha \quad (15)$$

$$Var[Y] = \sigma_y^2 = \frac{\pi^2 \alpha^2}{6} \quad (16)$$

$$\gamma = 1,1396 \quad (17)$$

Através das equações acima fica claro que a distribuição de Gumbel para máximos possui um coeficiente de assimetria constante e positivo. A inversa da FAP de Gumbel, ou função de quantis, é expressa pela equação 18, na qual, T denota o período de retorno em anos e F representa a probabilidade anual de não superação.

$$y(F) = \beta + \alpha \ln[-\ln(F)] \text{ ou } y(T) = \beta - \alpha \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (18)$$

Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS)

Para verificação da aderência estatística das distribuições de probabilidades foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, tanto para as vazões mínimas quanto para as vazões máximas. De acordo com Naghetinni e Pinto (2007) o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS) é um teste não paramétrico, cuja a estatística de teste tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas. Desta forma o teste não se aplica a variáveis aleatórias discretas.

Para a implementação do teste KS, inicialmente, deve se classificar os elementos da amostra adotada (X_1, X_2, \dots, X_n) em ordem crescente afim de se construir uma sequência ($x(1), x(2), \dots, x(m), \dots, x(n)$), onde $1 \leq m \leq N$ indica a ordem de classificação. Portanto para cada elemento $x(m)$, a distribuição empírica $F_N(x_m)$ é calculada pela proporção de valores amostrais que não excedem $x(m)$ conforme apresentado na equação 19.

$$F_N(x_m) = \frac{m}{N} \quad (19)$$

O passo seguinte segundo Naghtinni e Pinto (2007) consiste em calcular as probabilidades teóricas, segundo $F_X(x)$, tendo como argumento os valores $x(m)$. Dessa forma a estatística do teste de KS é dado pela equação 20, e corresponde, portanto, entre as maiores probabilidades empírica e teóricas.

$$D_N = \sup_{-\infty < X < \infty} |F_N(x) - F_X(x)| \quad (20)$$

Resultados e Discussão

Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)

O modelo digital de elevação hidrologicamente consistente da bacia hidrográfica do Rio Todos os Santos é representado pela Figura 3, cabe a ressalva que este modelo como já dito anteriormente possui uma resolução espacial de 30m, esta escolha foi em virtude de se obter uma maior quantidade de detalhes da carta já que a bacia do Rio Todos os Santos pode ser considerada um micro bacia do Mucuri.

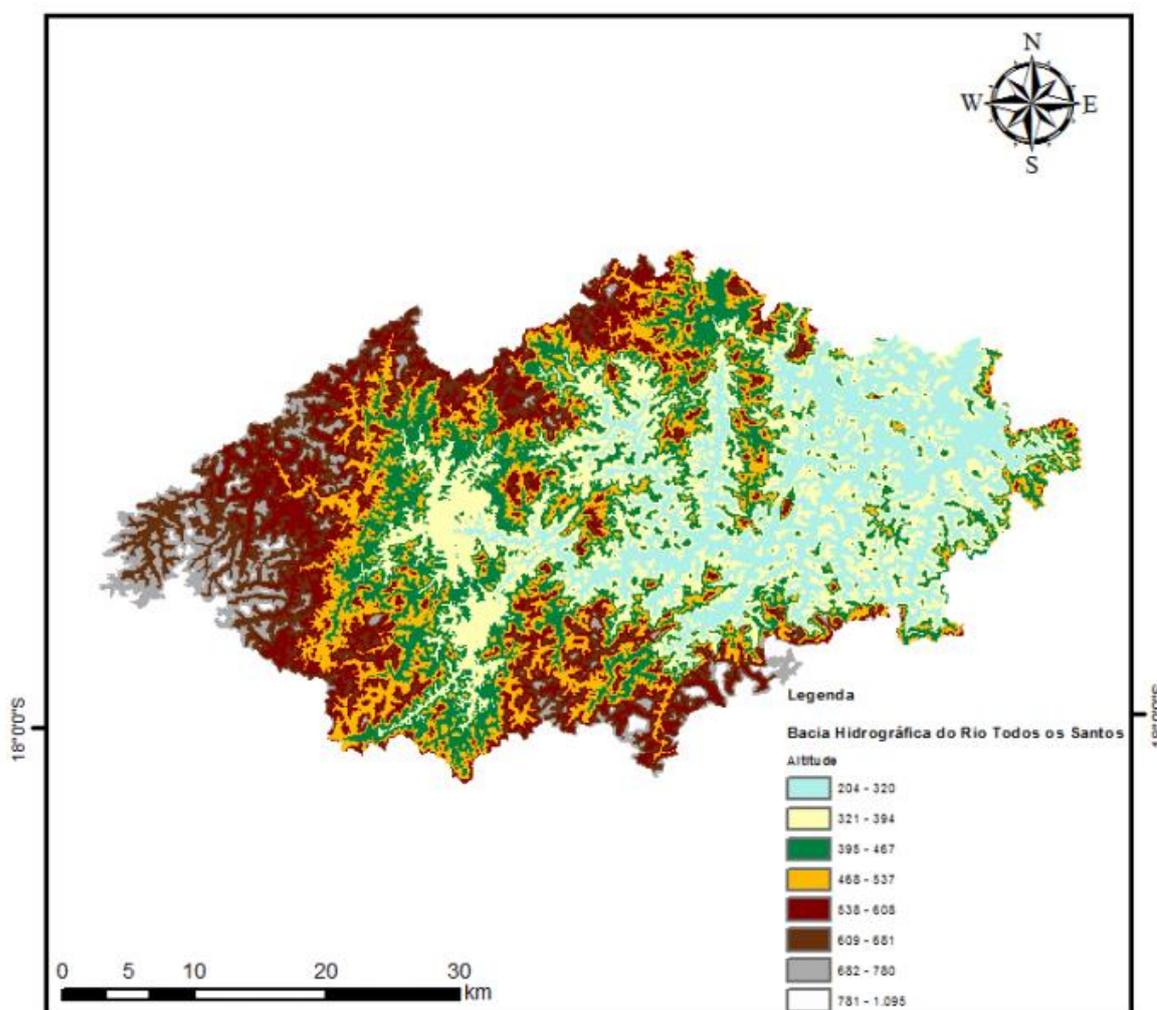


Figura 3: Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).

A bacia do Rio Todos os Santos, possui uma altitude mínima de 204 metros e máxima de 1099 metros acima do nível do mar.

Rede de drenagem e ordem dos cursos d'água da bacia hidrográfica da bacia do Rio Todos Santos.

A metodologia utilizada para classificação dos cursos d'água foi a de Strahler, através da Figura 4 é possível observar que a classificação dos cursos d'água foi de quinta ordem, o que segundo Villela e Mattos (1975) indica que a bacia é pouco ramificada.

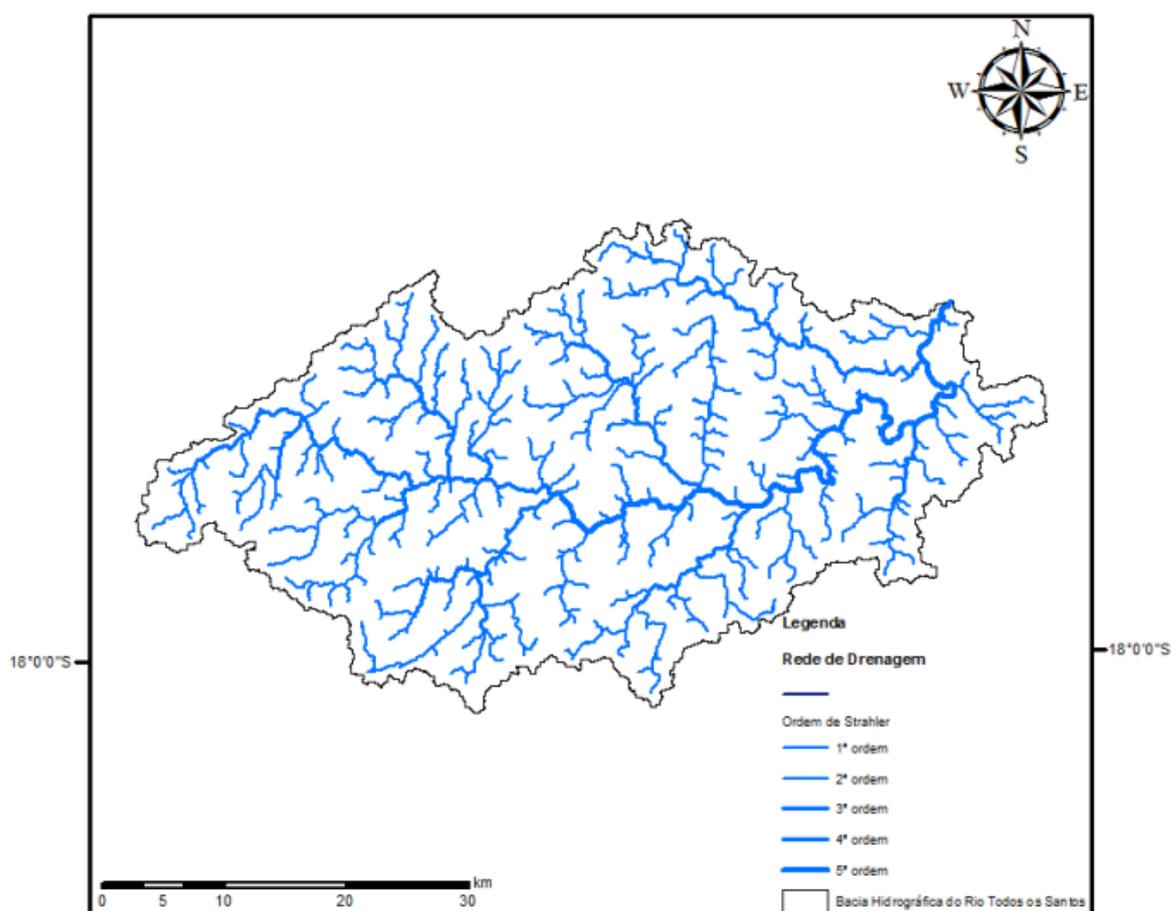


Figura 4: Classificação dos cursos d'água.

Características físicas da bacia Hidrográfica do Rio Todos os Santos

No Quadro 1 são apresentados os resultados da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Todos os Santos. O coeficiente de compacidade (K_c) encontrado foi de 2,49, para Villela e Mattos (1975) este valor nos indica o quão irregular e mais distante de um círculo é a bacia, e ainda pode se afirmar que a bacia é pouco susceptível a enchentes. Segundo Mello e Silva (2013) um coeficiente

de compacidade superior a 1,5 representa uma bacia hidrográfica não sujeita a grandes enchentes.

Quadro 1: Parâmetros morfométricos.

Parâmetros morfométricos da Bacia do Rio Todos os Santos	
Área de drenagem	1706,03 km ²
Perímetro	367,44 km
Coefficiente de compacidade	2,49
Fator de forma	0,303
Densidade de drenagem	0,79 km/km ²
Sinuosidade	1,784
Índice de circularidade	0,16
Comprimento de talvegue	67,874 km
Comprimento do curso principal	121,048 km

Já o valor encontrado para o fator de forma (K_f) foi de 0,303. Segundo Mello e Silva (2013) valores inferiores a 0,5, caracteriza a bacia como não sujeita a enchentes.

Para a densidade de drenagem (D_d) encontrou-se o valor de 0,79 km/km² que segundo Villela e Mattos (1975) é possível concluir que a bacia possui uma densidade de drenagem regular e que de acordo com Santos et al. (2006) o valor encontrado indica o quão lento o volume de d'água das chuvas chegará ao final da bacia sem levar em consideração o cálculo do tempo de concentração.

O índice de circularidade da bacia, (I_c), foi de 0,16 de acordo com Santos et al. (2006) tal valor nos indica o quão a bacia está longe de ser circular, ou seja, podese afirmar com este valor que a mesma tem a forma de um polígono indefinido.

A sinuosidade da bacia é de 1,784, de acordo com Villela e Mattos (1975) é um fator controlador da velocidade de escoamento, ou seja, para Neto et al. (2013) o valor de sinuosidade igual a 1 indica que não existe sinuosidade na bacia, como tal valor foi muito acima da unidade podemos afirmar que a bacia do Rio Todos Santos é bem sinuosa.

Vazão mínima de 7 dias sequentes, estimada para um período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) do Rio Todos os Santos.

Segundo Silva et al. (2006) os Estados de Minas Gerais e Paraná utilizam a vazão $Q_{7,10}$ como referência no estabelecimento das vazões outorgáveis. O estado de Minas Gerais, extremamente conservador, estabelece a vazão outorgável de 30% da $Q_{7,10}$. Entretanto a partir de 2012 a vazão outorgável no estado de Minas Gerais passou a ser de 50% da $Q_{7,10}$.

Para o cálculo da $Q_{7,10}$ fez-se uso do método probabilístico de Gumbel para mínimos e verificou-se que pelo teste de Kolmogorov-Smirnov conforme recomendado por Tucci (2007), que o maior valor de ΔF com nível de significância de 2% foi de 0,19, o que foi satisfatório pois mostrou que o modelo adotado está correto.

O cálculo da $Q_{7,10}$ se desenvolveu após a coleta de dados de vazão de 64 anos da estação fluviométrica Francisco Sá, é importante salientar que por alguns anos possuem ausência de dados em determinados meses, os mesmos tiveram de ser excluídos para fins do não comprometimento dos dados encontrados.

A Figura 5 representa a distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos, e indica que os valores de frequência observada se ajustam na curva da frequência esperada, o que permite concluir que os valores encontrados nos cálculos estão coerentes com o modelo adotado.

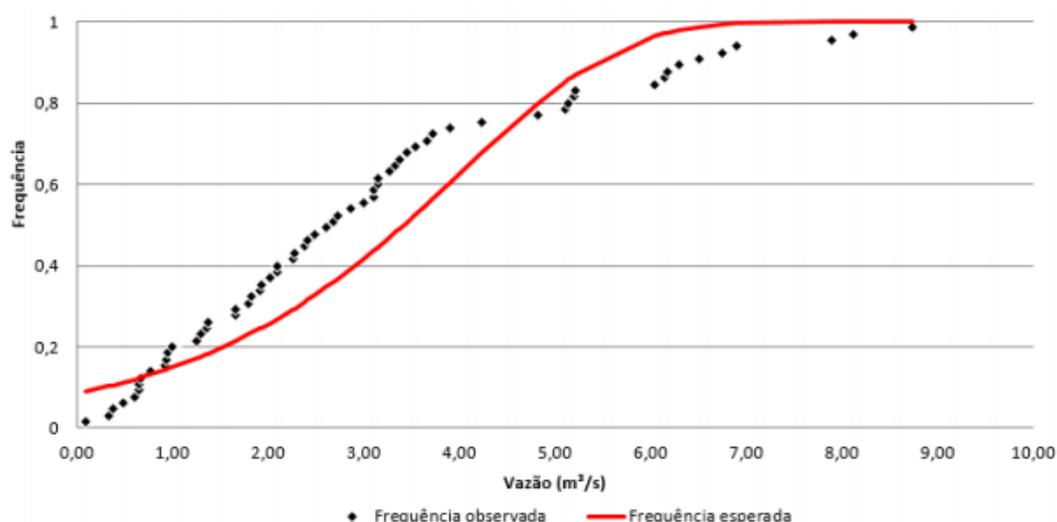


Figura 5: Distribuição de probabilidade de Gumbel para mínimos.

Para o cálculo da $Q_{7,10}$ vazão encontrada foi de 0,280 m³/s ou 280 litros/s. Se considerarmos que apenas 50% deste valor pode ser utilizado para abastecimento público teremos uma vazão de 0,140 m³/s ou 140 l/s.

Isso quer dizer que se considerarmos o município de Teófilo Otoni com a população de 141.502 habitantes IBGE (2017) e um consumo médio diário por habitante de 200 l/dia, a vazão para suprir toda a população deveria ser de no mínimo 328 l/s, o que não é alcançado nem com a utilização 100% da $Q_{7,10}$. Portanto para atender a população de Teófilo Otoni é necessário um volume além dos 50% da $Q_{7,10}$ de 188 l/s.

Silva et al (2006) utilizaram a distribuição de Gumbel para determinar a vazão mínima de 7 dias consecutivos com tempo de retorno de 10 anos para região do Alto Rio Grande, MG. Estes autores concluíram que a distribuição supracitada mostra-se adequada para cálculo de vazões mínimas.

Vazão máxima ($Q_{máx}$) do Rio Todos os Santos

De acordo com Villela e Mattos (1975) e Tucci (2007) o cálculo da $Q_{máx}$ é extremamente importante pois o mesmo é utilizado para realização de diversas obras hidráulicas como: pequenas e grandes barragens para abastecimento de água, bueiros, vertedores, galeria de águas pluviais e etc.

O desenvolvimento do cálculo da $Q_{máx}$ fez se uso do método probabilístico de Gumbel para máximos e verificou-se que pelo teste de Kolmogorov-Smirnov conforme recomentado por Tucci (2007), que o maior valor de ΔF com nível de significância de 2% foi de 0,19, de acordo com o nível de significância pode-se concluir que o método adotado foi adequado.

De maneira análoga ao cálculo da $Q_{7,10}$ o cálculo da $Q_{máx}$ se desenvolveu após a coleta de dados de vazão de 64 anos da estação fluviométrica Francisco Sá, é importante salientar que por alguns anos possuírem ausência de dados em determinados meses, estes anos tiveram de ser excluídos para fins do não comprometimento dos dados encontrados.

A Figura 6 é oriunda do gráfico frequência por vazão, e indica que os valores de frequência observada se ajustam na curva da frequência esperada, o que nos indica que os valores encontrados nos cálculos estão coerentes com o modelo adotado.

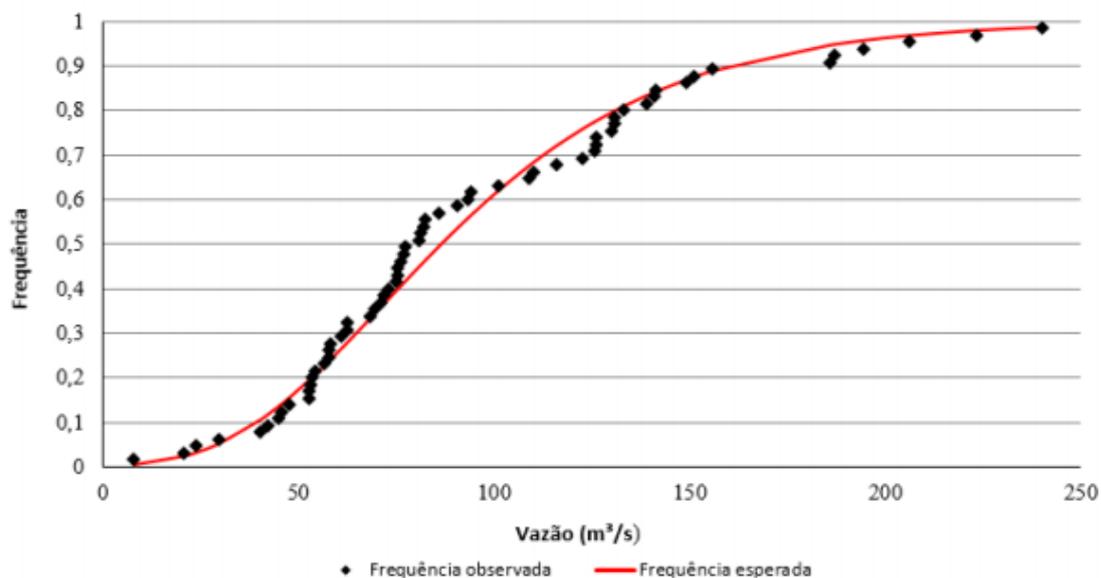


Figura 6: Distribuição de Probabilidade de Gumbel para máximos.

As vazões máximas foram obtidas através de diferentes tempos de retorno conforme apresentado no Quadro 2, cabe ressaltar que os diferentes tempos de retorno são em função do tipo de obra desejada como conforme proposto por Tucci (2007) caso deseje se fazer uma barragem de concreto o tempo de retorno deve ser de 500 anos.

Quadro 2: Vazões Máximas no Rio Todos os Santos.

Tempo de retorno (anos)	$Q_{m\acute{a}x}$ (m³/s)
2	86,39
5	131,10
10	160,70
20	189,10
50	225,85
100*	253,39*
500*	317,04*
1000*	344,40*

Ainda de acordo com a Quadro 2 para o tempo de retorno de 500 anos a vazão máxima encontrada foi de 317,04 m³/s ou 317040 litros/s. Entretanto os valores das vazões máximas para os tempos de retorno de 100, 500 e 1000 anos não são recomendados para uso uma vez que os mesmos são valores de séries sintéticas já que o a série histórica atual possui apenas 64 dados.

Ainda segundo Tucci (1997) as enchentes das cidades brasileiras são acarretadas devido a uma falta de disciplinamento da ocupação urbana e que a medida preventiva se desenvolve com um bom Plano Diretor de Drenagem Urbana que deve ser feito mediante o estudo das vazões máximas.

Mello et al. (2010) ao utilizarem distribuição de Gumbel para vazões máximas observaram que a distribuição de Gumbel para máximos aplicada para as devidas séries históricas teve se resultados bem satisfatórios com boa precisão dos ajustes de distribuição de probabilidades.

Conclusões

A utilização de SIG ArcGIS junto da ferramenta ArcHydro Tools foi adequada para geração do de um MDEHC da bacia hidrográfica do Rio Todos os Santos.

Os parâmetros morfométricos encontrados indicam que a bacia hidrográfica do Rio Todos os Santos possui pouca suscetibilidade a enchentes.

A vazão mínima foi determinada pelo método probabilístico de Gumbel, e o valor foi de 280 l/s. Já o valor da vazão máxima também foi encontrado mediante o método probabilístico de Gumbel e o valor encontrado para um tempo de retorno de 50 anos foi de 225 m³/s.

Referências

CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais) et al. - **Mapa de Solos de Minas Gerais. Folha 2**, 2010.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=316860>>. Último Acesso: 20 de janeiro de 2017.

IGAM. **Instituto Mineiro de Gestão das Águas**. Disponível em: <http://igam.mg.gov.br>. Último Acesso: 18 de janeiro de 2017.

KOTTEK, M; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F.; World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, **Meteorologische Zeitschrift, Germany**, 2006, pp. 259-263.

MELLO, C. R; VIOLA, M. R; BESKOW, S. **Vazões máximas e mínimas para a bacias hidrográficas da região do Alto Rio Grande, MG**. Ciênc. agrotec., Lavras, v.34, n2, p. 494-502, mar/abr., 2010.

MERWADE, V. **Watershed and Stream Network Delineation using ArcHydro Tools**. Purdue University: School of Civil Engineering, 2012.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NETO, S. A. F; GUIMARÃES, C. L; ARAÚJO, J. S; ARAÚJO, F. S; **Geotecnologias para a caracterização morfométrica de bacia hidrográfica**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

Plano de desenvolvimento territorial rural sustentável: território da cidadania Vale do Mucuri-MG / Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Pró-reitora de Extensão. Grupo de Pesquisa em Agricultura Familiar. – Teófilo Otoni: UFVJM, 2010. 120p.; il.

SILVA, A. M. da; MELLO, C.R, de; **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras-MG, Editora UFLA, 2013, 455p.

SILVA, A. M. da; OLIVEIRA, P. M. de; MELLO, C. R. de; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.10, n.2, p.374–380, 2006.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: Ciência e Aplicação** (4ª ed.). Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

VILLELA, S. MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 244p.

ZEE. **Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.zee.mg.gov.br/pdf/componentes_geofisico_biotico/4clima.pdf>. Último acesso: 12 de janeiro de 2017.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 10/2019

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

www.facebook.com/revistavozesdosvales

UFVJM: 120.2.095-2011 - QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524 - ISSN: 2238-6424

Periódico Científico Eletrônico divulgado nos programas brasileiros *Stricto Sensu*

(Mestrados e Doutorados) e em universidades de 38 países,

em diversas áreas do conhecimento.