

# **COOPERAÇÃO EM TECNOLOGIAS PARA ANÁLISES HIDROLÓGICAS EM ESCALA NACIONAL**

**SUBPROJETO – BASES DE DADOS HIDROLÓGICAS E BHO**

**MANUAL TÉCNICO SOBRE NOVOS PARÂMETROS HIDROLÓGICOS  
NO DESENVOLVIMENTO DE BASES DE DADOS PARA BASES  
HIDROGRÁFICAS OTTOCODIFICADAS NO PGHYDRO**

**AUTORES: Mino Viana Sorribas, Stefany Gonçalves Lima, Maria Eduarda  
Alves Pereira, Fernando Mainardi Fan, Rodrigo Cauduro Dias de Paiva**

**COMO CITAR: Sorribas, M. V.; Lima, S. G.; Alves, E. M.; Fan, F. M.;  
Paiva, R. C. D. 2024. Manual Técnico sobre Novos Parâmetros  
Hidrológicos no Desenvolvimento de Bases de Dados para Bases  
Hidrográficas Ottocodificadas no pgHydro**

**Abril de 2024**



# Sumário

<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVOS DO SUBPROJETO</b> .....	<b>6</b>
<b>3. ORGANIZAÇÃO DO SUBPROJETO</b> .....	<b>7</b>
<b>4. PRODUTOS ESPERADOS</b> .....	<b>8</b>
<b>5. CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>6. BASES DE DADOS E TECNOLÓGICAS</b> .....	<b>11</b>
6.1. BASES HIDROGRÁFICAS .....	11
6.2. MODELO DIGITAL DE TERRENO – ANADEM .....	13
6.3. QGIS .....	14
6.4. POSTGRESQL.....	15
6.5. POSTGIS.....	16
6.6. POSTGIS RASTER.....	17
6.7. PGHYDRO.....	17
<b>7. DESENVOLVIMENTO DA EXTENSÃO PARA CÁLCULO DE ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS.....</b>	<b>20</b>
7.1. INTRODUÇÃO .....	20
7.2. ESTRUTURA GERAL DA EXTENSÃO .....	22
7.3. CONSULTAS E FUNÇÕES.....	24
7.4. INTERAÇÃO COM PGHYDRO .....	30
7.5. ATRIBUTOS E TABELA DE INTELIGÊNCIA.....	36
<i>Grupo I</i> .....	36
<i>Grupo II</i> .....	36
<i>Dependências</i> .....	37
7.6. ELEMENTOS PRINCIPAIS E NOMENCLATURA DE ATRIBUTOS.....	39
7.7. DESCRIÇÃO DE ATRIBUTOS DO PGHHGM.....	44
7.8. FUNÇÕES DO PGHHGM .....	51
7.9. EXEMPLOS PRÁTICOS PARA INTRODUÇÃO AO PGHHGM.....	58
7.10. EXEMPLOS AVANÇADOS.....	67
7.11. FÓRMULAS DOS ATRIBUTOS DO PGHHGM .....	72
7.11.1. <i>Profundidade em calha cheia</i> .....	72
7.11.2. <i>Largura em calha cheia</i> .....	72
7.11.3. <i>Área</i> .....	72
7.11.4. <i>Perímetro</i> .....	72
7.11.5. <i>Comprimento e Distância</i> .....	73
7.11.6. <i>Comprimento Total da Drenagem</i> .....	73
7.11.7. <i>Densidade de Drenagem</i> .....	73
7.11.8. <i>Densidade Hidrográfica</i> .....	74
7.11.9. <i>Circularidade</i> .....	74
7.11.10. <i>Compacidade</i> .....	74
7.11.11. <i>Comprimento axial</i> .....	75
7.11.12. <i>Comprimento axial – contorno exterior</i> .....	75
7.11.13. <i>Comprimento axial – assumindo o comprimento do rio</i> .....	75
7.11.14. <i>Fator de forma (“form factor”)</i> .....	75
7.11.15. <i>Fator de forma – contorno exterior (“form fator – exterior ring”)</i> .....	76
7.11.16. <i>Fator de forma – assumindo o comprimento do rio (“form fator – river”)</i> .....	76
7.11.17. <i>Gradiente do canal</i> .....	76
7.11.18. <i>Razão de relevo</i> .....	78

7.11.19.	<i>Razão de relevo – anel exterior + exutório (“relief ratio - .....</i>	78
7.11.20.	<i>Razão de relevo – assumindo o comprimento do rio (“relief ratio – river”) .....</i>	78
7.11.21.	<i>Sinuosidade.....</i>	79
7.11.22.	<i>Shape factor.....</i>	79
7.11.23.	<i>Tempo de Concentração .....</i>	80
7.11.24.	<i>Declividade do canal principal .....</i>	82
7.11.25.	<i>Desnível de elevação.....</i>	86
7.11.26.	<i>Estatísticas de elevação.....</i>	88
7.11.27.	<i>Propagação de onda em rios .....</i>	88
7.11.28.	<i>Tempo de viagem e dispersão longitudinal - Modelo de Jobson .....</i>	90
<b>8.</b>	<b>EXEMPLO DE APLICAÇÃO .....</b>	<b>95</b>
8.1.	PGHYDROTOOLS.....	96
8.2.	PGH-HGM.....	100
<b>9.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>107</b>

## 1. Introdução

O presente documento apresenta o “MANUAL TÉCNICO” do subprojeto “Novas bases de dados hidrológicas para a BHO” resultante do Termo de Execução Descentralizada (TED) de cooperação técnica entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) e a Agência Nacional de Águas (ANA) para o desenvolvimento e aplicação de ferramentas e técnicas para estudo de hidrologia em escala nacional no Brasil.

Este subprojeto foi concebido após reuniões entre os técnicos da ANA e pesquisadores do HGE-IPH-UFRGS, em 2021, onde identificou-se temas específicos onde a cooperação auxiliaria diretamente, a curto e médio prazo, as atividades da ANA na área de mudanças climáticas e recursos hídricos e novas bases de dados hidrológicas. Foram avaliadas demandas da ANA e possibilidades de execução pelo HGE-IPH-UFRGS, se identificando a possibilidade de colaboração nos seguintes temas: (i) Estudos para apoio ao PNRH e 1º Relatório de Conjuntura de Mudanças Climáticas em Recursos Hídricos da ANA, (ii) Sensibilidade de vazões de cheias e estiagens a mudanças e variabilidade climática, (iii) Impactos de mudanças climáticas em extremos de vazão (cheias e estiagens), (iv) Mudanças Climáticas e Segurança hídrica relacionado a disponibilidade de água e estiagens, (v) Modelo Digital do Terreno para América do Sul e (vi) Novas bases de dados hidrológicas para a BHO.

Especificamente sobre o item “(vi) Novas bases de dados hidrológicas para a BHO”, que trata o presente documento, a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) é utilizada pela ANA como referência para estudos hidrológicos e gestão de recursos hídricos. A BHO conta com atributos/informações úteis para estudos hidrológicos e tomada de decisão em gestão de recursos hídricos (e.g. comprimentos dos rios, área de drenagem). Entretanto, existem diversas informações a implementar como atributos na BHO, como largura e profundidade dos rios, tempo de trânsito médio de ondas de cheia ou constituintes etc.

Neste contexto, o presente subprojeto visa ao desenvolvimento de novas bases de dados hidrológicos para serem atribuídos para a BHO da ANA, levantando um referencial bibliográfico robusto sobre o tema, propondo novas variáveis para serem atribuídas para a BHO, bem como a respectiva metodologia para atribuição desta. No decorrer do projeto estas técnicas foram implementadas para a produção de novos atributos para a BHO através de uma ferramenta denominada “pghHGM” (acrônimo para PGHydro HidroGeoMorfológico).

Os desenvolvimentos apresentados foram feitos até março de 2023.

Este é o manual técnico para referência da metodologia empregada no desenvolvimento de novas bases de dados na Base Hidrográfica Ottocodificada.

## 2. Objetivos do subprojeto

Desenvolvimento de novas bases de dados como novos parâmetros hidrológicos para a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) da ANA.

### 3. Organização do subprojeto

Este subprojeto é desenvolvido através das seguintes etapas.

#### Etapa 1: Revisão de literatura

- Revisão bibliográfica sobre a BHO-ANA e seus atributos;
- Revisão bibliográfica sobre bases de dados hidrológicas existentes (SWORD, GRWL etc.);
- Revisão bibliográfica sobre métodos de estimativa de parâmetros geométricos, topográficos, geometria de rios e tempos de trânsito de ondas de cheia e constituintes.

#### Etapa 2: Métodos

- Treinamento em PostgreSQL/PostGIS (PGHydro) aplicado à BHO/ANA;
- Definição justificada de métodos de estimativa de parâmetros geométricos, topográficos, geometria de rios e tempos de trânsito de ondas de cheia e constituintes.

#### Etapa 3: Estimativa de parâmetros hidrológicos

- Implementação de estimativas de parâmetros geométricos, topográficos, geometria de rios e tempos de trânsito de ondas de cheia e constituintes.

#### Etapa 4: Outros parâmetros hidrológicos

- Investigação e pesquisa sobre outros parâmetros hidrológicos úteis para tomada de decisão e gestão de recursos hídricos (e.g. concentração de sedimentos, cor da água, temperatura da água, informações úteis para PAEs etc.).

#### Etapa 5: Análise dos resultados

- Análise crítica da representatividade dos parâmetros hidrológicos;
- Validação dos resultados.

#### Etapa 6: Síntese dos resultados e transferência de conhecimento

- Geração de mapas e base de dados espaciais com parâmetros hidrológicos na Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) da ANA;
- Publicação de base de dados nos sites da ANA e IPH-UFRGS;
- Elaboração de manuais técnicos para uso da base de dados;
- Minicurso sobre o uso da base de dados para técnicos da ANA e público geral.

**O presente relatório constitui-se da elaboração de manuais técnicos e suporte ao minicurso para transferência de conhecimento (Etapa 6).**

## 4. Produtos Esperados

Pretende-se neste subprojeto desenvolver os seguintes produtos:

- Bases de dados da BHO atualizada com novos atributos hidrológicos;
- Manuscrito de artigo(s) científico(s);
- Relatórios parciais;
- Manual técnico descrevendo a metodologia empregada e a base de dados desenvolvida;
- Minicurso sobre uso da base de dados desenvolvida;
- Relatório final.

**O presente produto constitui-se do Manual Técnico que descreve a metodologia empregada para o desenvolvimento das bases de dados.**



## 5. Contextualização

À medida que a gestão de recursos hídricos requer o uso de informações obtidas, normalmente, por sistemas de informações geográficas (SIG), a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO), disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), é composta por planos de informações geográficas como trechos de drenagem, polígonos de áreas de contribuição hidrográfica, entre outras informações, tais como comprimentos dos trechos, valores das áreas de drenagem, ottocodificação, topologia entre trechos, domínio, distância até o próximo curso de água ou foz e nome do rio.

As bases hidrográficas produzidas e disponibilizadas pela ANA são utilizadas como referência para estudos hidrológicos e tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, entretanto, ainda existe oportunidade para incluir mais informações, implementados como atributos nas bases hidrográficas. Podemos mencionar, por exemplo, estimativas de largura, profundidade e sinuosidade dos rios, tempo de trânsito médio de ondas de cheia ou constituintes, bem como características hidrogeomórficas das bacias hidrográficas, tais como perímetro e outros índices relacionados a forma geométrica e relevo. Assim foi proposto o projeto para Desenvolvimento de novas bases de dados como novos parâmetros hidrológicos para a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) da ANA.

Após um levantamento de referências bibliográficas e debates em reuniões, as equipes da ANA e IPH/ANA definiram a lista de atributos prioritária apresentada na Tabela 1. O esquema de cores de fundo adotado na tabela serve para identificar mais facilmente categorias de atributos. O detalhamento dos atributos é apresentado na seção 7.11.

As funções de cálculo dos parâmetros foram realizadas prioritariamente para as áreas de contribuição local e trechos de drenagem do pgHydro, sendo posteriormente consideradas também implementações na perspectiva da bacia à montante, na área e/ou rio principal a montante.

*Tabela 1. Lista de atributos definidas para elaboração na extensão. O esquema de cores de fundo adotado na tabela serve para identificar mais facilmente o tipo de variável.*

<b>Atributo</b>
<b>Hidrogeomorfométricos</b>
Compacidade de bacias hidrográficas
Fator de forma de bacias hidrográficas
Circularidade de bacias hidrográficas
Relação de relevo de bacias hidrográficas
Sinuosidade dos trechos de drenagem
Gradiente dos trechos de drenagem
Densidade de drenagem
Hidrodensidade (número de trechos)

Distância média do escoamento superficial

#### **Desníveis e declividades**

Desnível de máx-min do trecho, entre elevações máxima e mínimo

Desnível de extremos do trecho, entre elevações no ponto inicial e final

Desnível s15-85 do trecho, entre elevações nos percentis 15 e 85% do comprimento

Desnível p15-p85 do trecho, entre percentis 15 e 85% das elevações

Declividade de máx-min do trecho

Declividade de extremos do trecho

Declividade s15-85 do trecho

Declividade p15-p85 do trecho

Declividade ponderada

Declividade por regressão linear

Declividade harmônica ou equivalente

#### **Relações Geomorfológicas**

w = Largura (m) com base em relações Geomorfológicas para o Brasil

h = Profundidade (m) com base em relações Geomorfológicas para o Brasil

#### **Velocidades e Propagação de onda de cheia**

Velocidade pela eq. de Manning (seção transversal) (m/s)

Celeridade pela eq. de Manning (seção transversal) (m/s)

Tempo de propagação de onda de cheia (h) (m/s)

Velocidade de onda dinâmica (m/s)

Tempo de propagação de onda dinâmica (segundos)

#### **Tempos de concentração**

Tempo de concentração pela equação de Kirpich

Tempo de concentração pela equação de U.S. Army Corps

Tempo de concentração pela equação de Watt & Chow

Tempo de concentração pela equação de Carter

Tempo de concentração pela equação de Dooge

#### **Modelo de Jobson (dispersão de poluentes)**

Velocidade de pico (Eq. 12) - modelo completo:  $F(A', Q', S, Q, A)$

Velocidade Máxima provável (Eq. 13) - modelo completo:  $F(A', Q', S, Q, A)$

Tempo de pico (horas)

Tempo de chegada – “Leading edge” (horas)

No decorrer do primeiro ano do projeto a equipe da ANA realizou um treinamento para a equipe do IPH/UFRGS sobre o pgHydro, a ferramenta utilizada na elaboração das bases hidrográficas na agência, bem como sobre o sistema de gerenciamento de banco de dados PostgreSQL e a extensão espacial PostGIS utilizados.

A partir dessas competências obtidas no treinamento e, ao longo do tempo, a equipe do IPH/UFRGS seguiu com o desenvolvimento de consultas e funções para a elaboração de cálculos dos novos atributos hidrológicos e geomorfológicos para redes hidrográficas, em linguagem SQL (Structured Query Language) e, posteriormente, em PL/pgSQL (Procedural Language em PostgreSQL). O processo de desenvolvimento teve acompanhamento e sempre considerou as orientações técnicas fornecidas pela equipe da ANA.

Dado que o processamento da BHO pela ANA é executado com e dentro da plataforma de ferramentas do pgHydro, considerou-se importante e necessário expandir os desenvolvimentos de cálculo em uma extensão e “schema” (i.e. coleção de objetos em banco de dados) compatível com o pgHydro.

Assim, surgiu o esquema intitulado “pghHGM” que cria objetos em sistema de banco de dados espaciais para a geração de informações hidrogeomorfológicas para ajudar na tomada de decisão em recursos hídricos.

Este módulo permite cálculos de funções hidrogeomorfológicas considerando os atributos do trecho ou da bacia que o define, a depender da variável calculada.

O usuário priorizado para a ferramenta é o construtor da BHO e/ou BHAE, ou seja, um especialista. Outro usuário esperado para o pghHGM seria um desenvolvedor com conhecimentos em PostgreSQL e PostGIS que poderá compreender, utilizar as suas funcionalidades existentes e criar outras mais específicas. Por fim, como as informações geradas pelo pghHGM podem ser incorporadas e disponibilizadas nas bases BHO e/ou BHAE publicadas, um terceiro usuário dessas informações seria aquele que já utiliza essas bases hidrográficas, tais como engenheiros, analistas e pesquisadores.

## 6. Bases de dados e Tecnológicas

### 6.1. Bases Hidrográficas

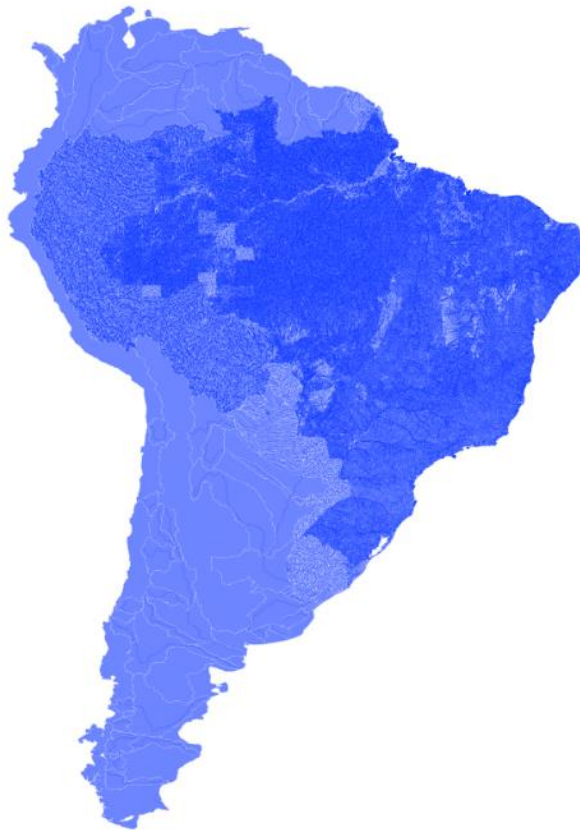
De acordo com a base de metadados da ANA, a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) utilizada pela ANA na gestão de recursos hídricos é obtida a partir do Mapeamento Sistemático Brasileiro. A BHO é gerada a partir da cartografia digital da hidrografia do país e organizada de modo a gerar informações hidrologicamente consistentes. Para tanto, a BHO representa a rede hidrográfica em trechos entre os pontos de confluência dos cursos d'água de forma unifilar. Cada trecho é associado a uma superfície de drenagem denominada ottobacia, à qual é atribuída a codificação de bacias de Otto Pfafstetter. Uma característica essencial dessa representação é ser topologicamente consistente, isto é, representar corretamente o fluxo hidrológico dos rios, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo.

A Base Hidrográfica Atlas-Estudos (BHAE) é derivada da Base Hidrográfica Ottocodificada 6 (BHO 6) e é constituída pelos trechos de drenagem e áreas de drenagem dos cursos de água com área maior ou igual a 10 km<sup>2</sup> OU cursos d'água de domínio da União.

Ambas as bases hidrográficas são composta por um conjunto de arquivos em formato geopackage (.gpkg) com as seguintes informações:

- Representação linear unifilar do fluxo água principal de um corpo água sob a forma de trechos de drenagem provenientes da cartografia. Essa representação é compatível com a codificação de bacias de Otto Pfafstetter.
- Representação poligonal das áreas de contribuição hidrográfica, ottobacia, para cada trecho de drenagem, com seu código de bacia obtido a partir da metodologia de Otto Pfafstetter.
- Representação linear do curso água principal da bacia, sob a forma de cursos água, com sua codificação de curso água derivada da codificação de bacias de Otto Pfafstetter.
- Representação dos nós da rede de drenagem, que podem ser dos tipos: início do curso água, fim do curso água ou foz marítima.
- Representação linear da linha de costa.
- Bacias hidrográficas por nível Otto de 01 a 07

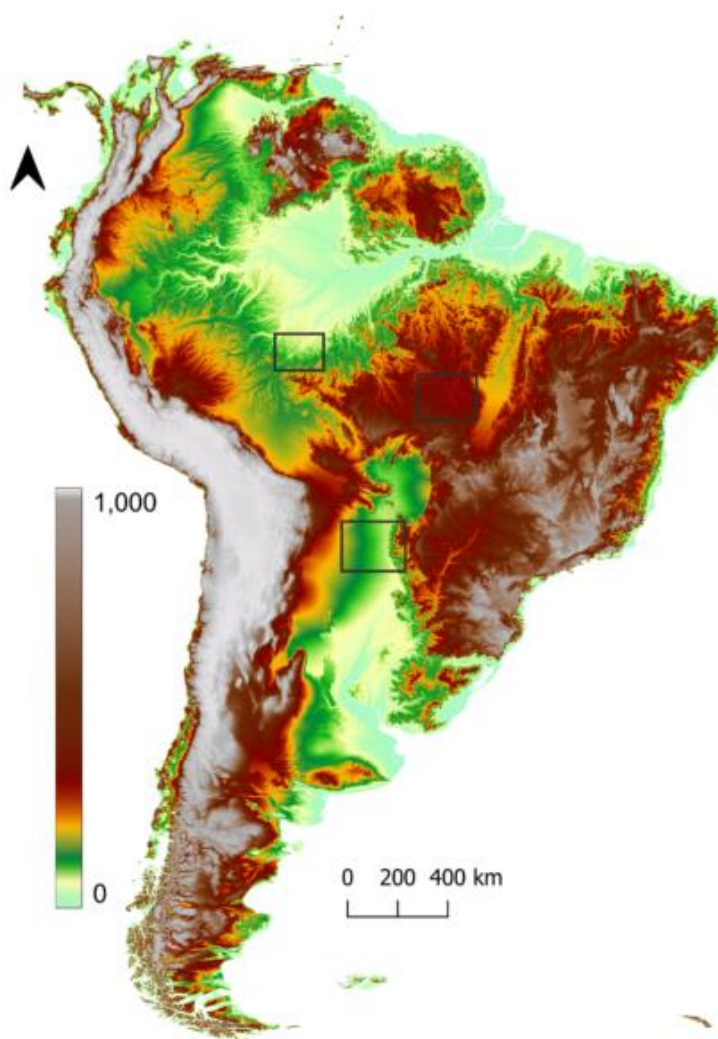
Por exemplo, a Figura 1 apresenta o domínio da BHAE, na representação de áreas de contribuição local (i.e. bacias hidrográficas incrementais entre confluências) e trechos de drenagem.



*Figura 1. Trechos de drenagem e áreas de contribuição da BHAE*

## 6.2. Modelo Digital de Terreno – ANADEM

O ANADEM é um modelo digital do terreno (MDT) que representa a topografia sem o efeito da vegetação, obtido a partir do processamento do modelo Copernicus DEM GLO-30, com a remoção de viés utilizando técnicas de aprendizado e máquina a partir da combinação de dados altimétricos derivados da missão GEDI (Global Forest Canopy Height) e dados da missão Landsat-8. O MDT ANADEM foi processado para toda a América do Sul e está disponível gratuitamente para uso. A validação foi realizada com dados de altimetria ICESat-2, e a performance foi comparada com os principais modelos digitais de superfície disponíveis globalmente. Os resultados demonstraram que o MDT ANADEM apresenta erros similares ou inferiores aos apresentados pelos demais MDTs disponíveis globalmente. O modelo ANADEM foi desenvolvido em subprojeto específico no item (v) “Modelo Digital do Terreno para América do Sul”, com artigo da metodologia publicado por Laipelt et al. (2024) e nota técnica da ANA (2023). A Figura 2 ilustra o ANADEM.



### 6.3. QGIS

O QGIS é um sistema de informação geográfica (SIG) de código aberto que permite visualizar, editar e analisar dados geoespaciais. Ele é bastante utilizado por cartógrafos, geógrafos, planejadores urbanos, cientistas ambientais e outros profissionais que lidam com dados espaciais. Aqui estão algumas das principais características e funcionalidades do QGIS:

**Interface de Usuário Amigável:** O QGIS possui uma interface intuitiva que facilita a visualização e manipulação de dados geoespaciais. Ele é projetado para ser acessível a usuários iniciantes, mas também oferece funcionalidades avançadas para usuários mais experientes.

**Suporte a Diferentes Tipos de Dados:** O QGIS suporta uma ampla variedade de formatos de dados geoespaciais, incluindo shapefiles, arquivos GeoTIFF, arquivos raster e vetoriais, entre outros. Isso permite aos usuários trabalhar com diferentes tipos de dados sem a necessidade de conversões complicadas.

**Ferramentas de Análise Espacial:** O QGIS oferece uma variedade de ferramentas de análise espacial que permitem aos usuários realizar diversas operações, como buffering, sobreposição de camadas, análise de proximidade, interpolação, entre outras.

**Edição de Dados:** Os usuários podem editar dados geoespaciais diretamente no QGIS, incluindo a criação, edição e exclusão de elementos vetoriais, como pontos, linhas e polígonos. Isso permite aos usuários criar e modificar mapas de acordo com suas necessidades.

**Visualização Personalizável:** O QGIS oferece várias opções para personalizar a aparência dos mapas, incluindo a capacidade de alterar cores, estilos de linha e preenchimentos, adicionar rótulos e legendas, e ajustar a escala e a projeção do mapa.

**Plugins:** O QGIS possui um sistema de plugins que permite aos usuários estender as funcionalidades do software através da instalação de plugins adicionais. Esses plugins podem adicionar novas ferramentas, algoritmos de análise, conexões a serviços web e muito mais.

**Compatibilidade:** O QGIS é compatível com uma ampla variedade de sistemas operacionais, incluindo Windows, macOS e Linux, o que o torna acessível a uma grande base de usuários.

## 6.4. PostgreSQL

O PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional (RDBMS) de código aberto que oferece suporte a uma ampla gama de recursos SQL (Structured Query Language), incluindo consultas complexas, junções, subconsultas, agregações, transações, procedimentos armazenados, dentre outros. O PostgreSQL é conhecido por sua robustez e confiabilidade. Ele implementa o padrão ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade) para garantir a integridade dos dados e a consistência das transações. Além disso, podemos mencionar algumas outras características e funcionalidades importantes:

**Extensibilidade:** O PostgreSQL é altamente extensível, permitindo que os usuários criem e instalem facilmente extensões para adicionar novos recursos e funcionalidades ao sistema. Isso inclui extensões para dados geoespaciais (PostGIS), dados JSON (JSONB), pesquisa de texto completo (tsearch), entre outros.

**Suporte a Tipos de Dados Avançados:** Além dos tipos de dados padrão, como inteiros, strings e datas, o PostgreSQL oferece suporte a tipos de dados avançados, como arrays, tipos compostos, JSON, XML, UUIDs, geometrias (para PostGIS) e muito mais.

**Particionamento de Tabelas:** O PostgreSQL permite particionar grandes tabelas em partes menores, o que pode melhorar o desempenho e a escalabilidade ao lidar com grandes volumes de dados.

**Índices Avançados:** O PostgreSQL oferece suporte a uma variedade de índices avançados, incluindo índices B-tree, GIN (Generalized Inverted Index), GiST (Generalized Search Tree) e SP-GiST (Space-Partitioned Generalized Inverted Search Tree), permitindo otimizar consultas para diferentes tipos de dados e padrões de acesso.

**Compatibilidade com Padrões:** O PostgreSQL adere a muitos padrões SQL e oferece suporte a funcionalidades avançadas, tornando-o compatível com muitas aplicações e ferramentas SQL.

O PostgreSQL pode ser acessado por via de interface gráfica (pgAdmin) ou linha de comando (Figura 3 e Figura 4)

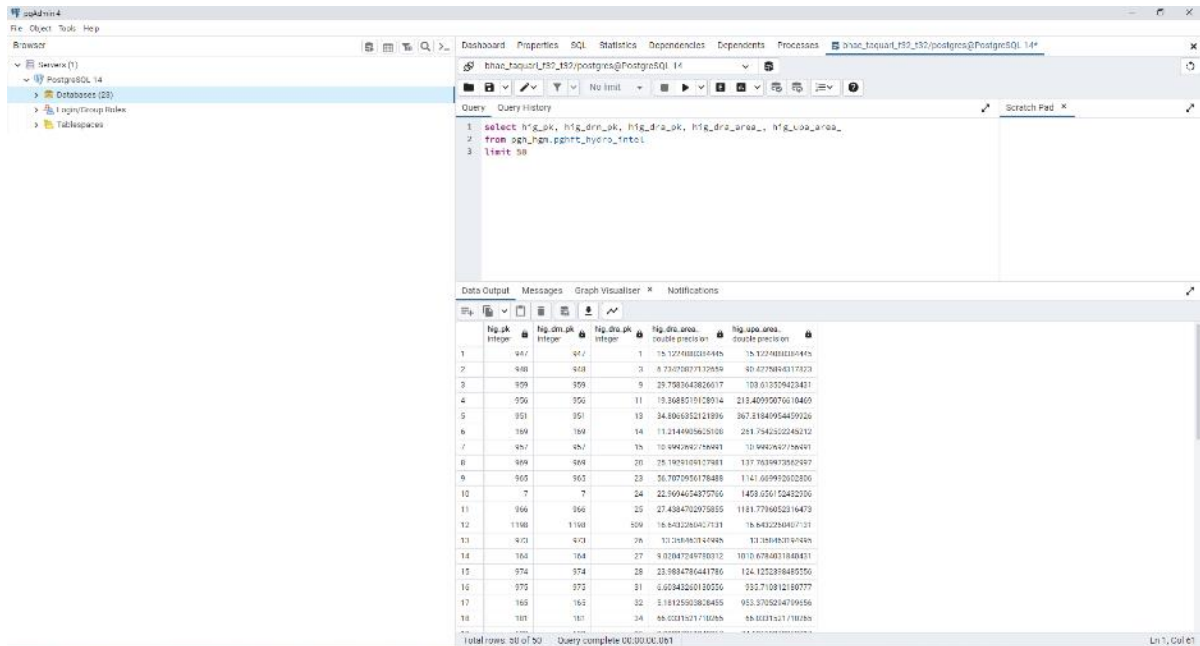


Figura 3. Interface gráfica pgAdmin 4 para utilização do PostgreSQL

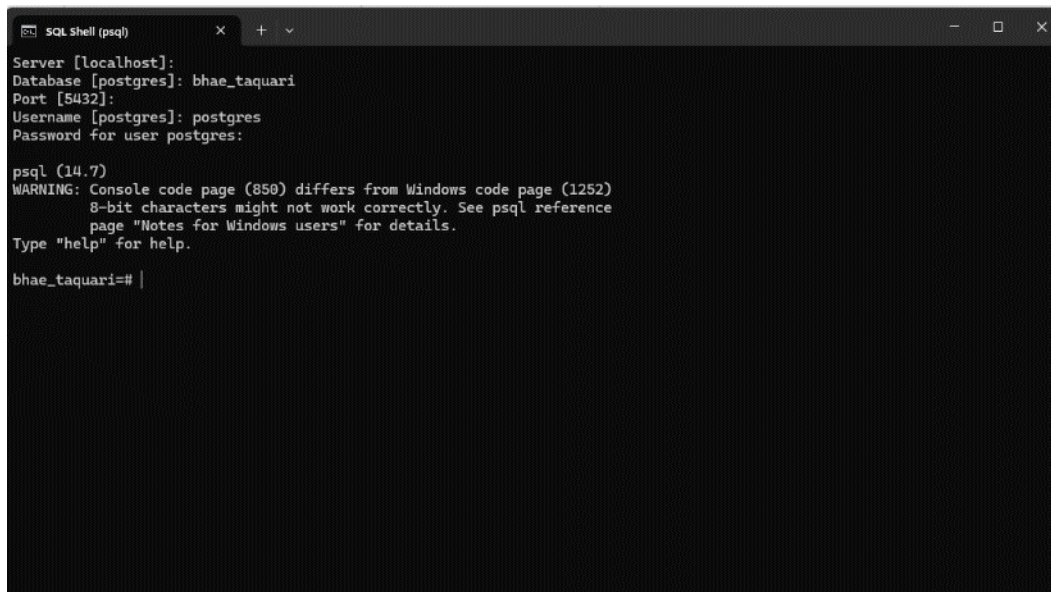


Figura 4. Interface de linha de comando para utilização do PostgreSQL

## 6.5. PostGIS

O PostGIS é uma extensão do PostgreSQL que adiciona suporte para dados geoespaciais, permitindo o armazenamento, consulta, análise e processamento de informações geográficas diretamente no banco de dados. Podemos mencionar as seguintes características relevantes:



**Armazenamento Geoespacial:** permite armazenar objetos geográficos como pontos, linhas, polígonos e multipolígonos diretamente no banco de dados PostgreSQL. Isso permite a integração de dados geoespaciais com outros tipos de dados, facilitando análises complexas.

**Consulta Geoespacial:** permite executar consultas espaciais avançadas, por exemplo, encontrar os pontos dentro de uma determinada área, calcular distâncias entre objetos, encontrar interseções entre geometrias, transformações entre sistemas de coordenadas. Em geral, o PostGIS fornece muitas funções e operadores espaciais que facilitam a manipulação de dados geoespaciais.

**Análise Espacial:** Além das consultas básicas, o PostGIS também oferece suporte a análises espaciais avançadas, como buffers, uniões, recortes, diferenças e muito mais. Isso permite realizar operações sofisticadas em seus dados geoespaciais diretamente no banco de dados, sem a necessidade de processamento externo.

**Integração com Ferramentas de GIS:** O PostGIS é compatível com várias ferramentas de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) como o QGIS, ArcGIS, GeoServer e muitas outras. Isso facilita a integração de dados geoespaciais armazenados no PostgreSQL com outras ferramentas de análise e visualização.

## 6.6. PostGIS Raster

O PostGIS Raster é uma extensão do PostGIS que adiciona suporte para armazenamento e manipulação de dados “raster” diretamente no banco de dados. Essa extensão oferece uma variedade de funções para análise de dados raster, incluindo interpolação, reclassificação, cálculo de estatísticas e análise de vizinhança. Isso facilita a realização de análises espaciais complexas em dados raster diretamente no banco de dados. Além disso, a compatibilidade com o PostGIS permite operações e análise integrada com os dados vetoriais em uma única plataforma.

A inserção de dados raster nos bancos de dados é realizada utilizando a ferramenta “[raster2pgsql](#)” que acompanha a extensão.

## 6.7. pgHydro

O pgHydro é composto por um conjunto de extensões ao PostgreSQL que oferecem funcionalidades para análises de rede de drenagem. As tabelas, procedimentos, funções ou visualizações desenvolvidas são utilizadas para construir uma rede fluvial consistente e calcular a direção do vetor de fluxo de água, sistema de

codificação de bacia de Otto Pfafstetter, seleção de trechos à montante/jusante, distância até a foz da bacia, área de cálculo a montante, ordem dos rios, níveis da bacia e outras informações que auxiliam na tomada de decisão dos recursos hídricos.

As principais funcionalidades compreendem:

- Consulta de trechos a jusante até a foz da bacia;
- Cálculo da distância até a foz da bacia;
- Consulta de trechos a montante;
- Cálculo da área a montante;
- Consulta seleção do trecho imediatamente a jusante do trecho;
- Consulta seleção do trecho imediatamente a montante do trecho;
- Codificação de bacias de Pfafstetter;
- Geração das informações hidrográficas finais.

As informações hidrográficas finais geradas no pgHydro compreendem:

- Código de bacia de Pfafstetter;
- Código de curso d'água derivado do código de bacia de Pfafstetter;
- Comprimento dos trechos de drenagem;
- Comprimento dos cursos d'água;
- Área de contribuição hidrográfica por trecho de drenagem;
- Área a montante;
- Distância a foz da bacia a partir do trecho;
- Distância a foz da bacia a partir do curso d'água;
- Direção do fluxo do trecho de drenagem de montante para jusante;
- Trecho a montante;
- Trecho a jusante;
- Trecho afluente;
- Ordem de curso d'água;
- Nível do código de bacia de Pfafstetter;
- Nível do código de curso d'água derivado do código de bacia de Pfafstetter;
- Nível da ordem de curso d'água

Por fim, cabe destacar que durante o desenvolvimento deste projeto, o pgHydro foi atualizado pela equipe da ANA com uma extensão nova denominada "pgh\_raster" que fornece o núcleo funcional para o armazenamento do modelo digital de elevação, bem como a extração de perfis longitudinais ao longo da rede de drenagem.



## 7. Desenvolvimento da extensão para cálculo de atributos hidrológicos

### 7.1. Introdução

As bases hidrográficas desenvolvidas pela ANA fornecem planos de informações hidrológicas úteis para a tomada de decisão em recursos hídricos. Essas bases hidrográficas são construídas com um modelo de dados hidrográficos em banco de dados geoespacial utilizando o pgHydro. O projeto pgHydro é uma extensão para o PostgreSQL que fornece funcionalidades adicionais para o tratamento e análise de objetos hidrográficos. Em síntese, o pgHydro incorpora um conjunto de tabelas, procedimentos, consultas e funções desenvolvidas para produzir uma rede de drenagem hidrológicamente consistente, fornecendo informações topológicas, codificação de bacias Otto Pfafstetter, áreas acumuladas, indexação de rios e bacias, entre outras informações.

Com o avanço científico e capacidade computacional, é possível que novas informações se qualifiquem para integração na BHO. Por exemplo, a integração da rede de drenagem e bacias hidrográficas com dados altimétricos obtidos de modelos digitais de elevação (MDE) permite o cálculo aproximado de atributos quantitativos relacionados à topografia (e.g. estatísticas e perfis de elevação). A extração do desnível altimétrico e comprimento da rede de drenagem permite obter estimativas de declividades do terreno, e outros índices de bacia relacionados a hidrogeomorfologia.

O pghHGM se fundamenta no desenvolvimento de novas bases de dados hidrológicas incluindo estimativas de largura e profundidade dos rios, atributos geométricos e hidrogeomorfológicos de feições das bacias hidrográficas (e.g. compacidade, circularidade, sinuosidade), tempo de concentração, o tempo de trânsito médio de ondas de cheia e velocidade do transporte de poluentes.

Atualmente existem meios tecnológicos de realizar essas estimativas e, dado o contexto, é oportuno e vantajoso para a ANA desenvolver sob a plataforma em que se encontra o pgHydro, utilizando também os recursos já disponíveis.

Assim, tem-se aqui o objetivo de desenvolver uma extensão PostgreSQL para cálculo de funções de hidrogeomorfologia – aqui intitulada “pghHGM” – que cria objetos em sistema de banco de dados espaciais para a geração de informações hidrogeomorfológicas para ajudar na tomada de decisão em recursos hídricos. Por motivos de integração com a arquitetura existente, o pghHGM apresenta as seguintes dependências: PostgreSQL, PostGIS, pgHydro e pghRaster.

A seguir apresenta-se o pghHGM considerando os seguintes itens:

- Estrutura geral da extensão
- Interação com pgHydro
- Dependências entre atributos
- Tabela de atributos
- Funções do pghHGM
- Exemplos de introdução
- Exemplos avançados
- Descrição e fórmulas dos atributos

A Figura 5 apresenta o esquema conceitual da integração tecnológica desse projeto. O pgHydro fornece o núcleo para o desenvolvimento das bases hidrográficas na ANA, combinando as diferentes ferramentas de bancos de dados e análise espacial. O PGH-HGM complementa essa plataforma, utilizando dados da base hidrográfica existente com informações do modelo digital de elevação e cálculos dos novos atributos hidrogeomorfológicos.

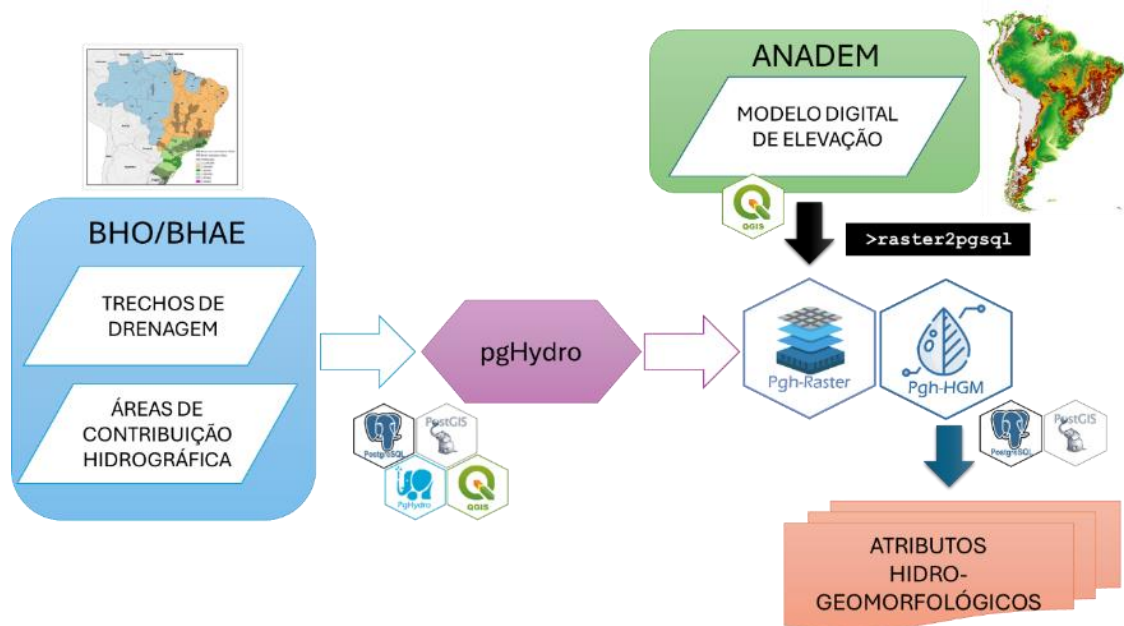


Figura 5. Esquema conceitual da Integração dos dados e tecnologias empregadas

## 7.2. Estrutura geral da extensão

O pghHGM é composto por três tabelas principais e cerca de 180 funções.

A Figura 6 ilustra um banco de dados com a extensão e schema “pgh\_hgm” e dependências (pgHydro + PostGIS) destacando as tabelas principais que serão introduzidas a seguir.

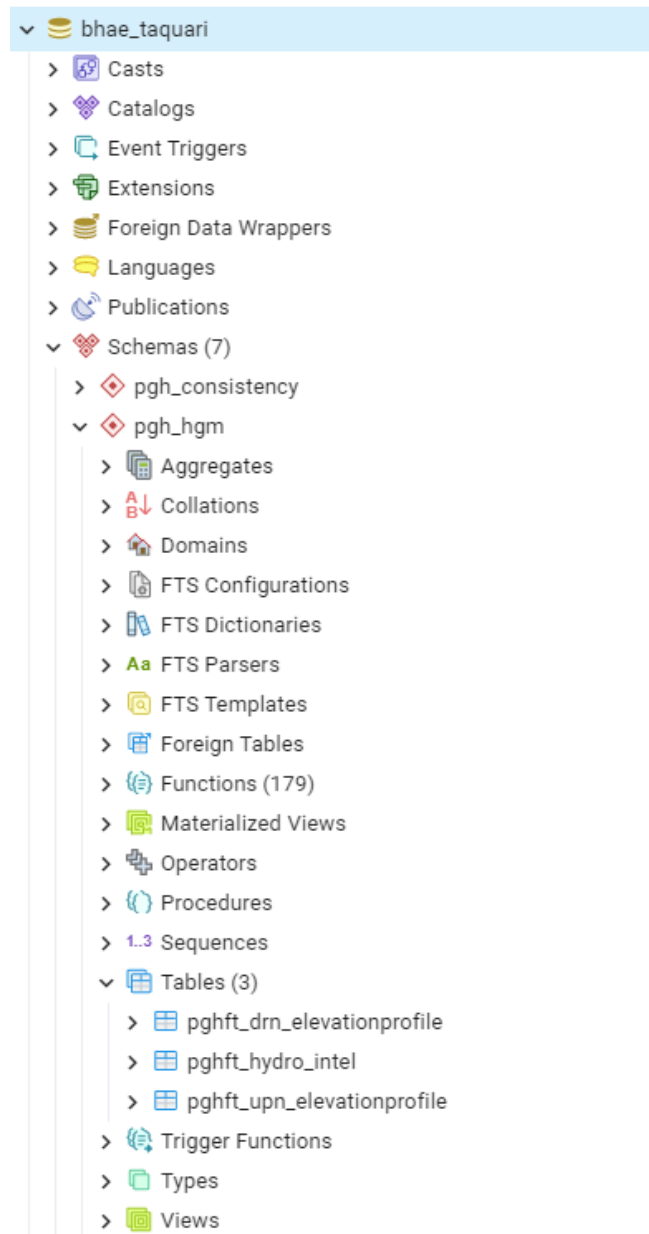


Figura 6. Estrutura geral de um banco de dados em PostgreSQL com pgHydro + pgh\_raster + pghHGM

O pghHGM apresenta três tabelas principais listadas na Tabela 2.

A tabela *pghft\_hydro\_intel* serve para realizar o armazenamento final de todos os atributos calculáveis pela extensão e funciona como uma “tabela de inteligência de dados”, seguindo as práticas do pghydro.

Além da tabela principal, existem duas tabelas para armazenamento de dados relacionados a perfis de elevação, cujos detalhes serão apresentados mais adiante.

*Tabela 2. Tabelas principais do pghHGM*

Tabela	Funcionalidade
pgh_hgm.pghft_hydro_intel	Armazenamento de atributos calculados
pgh_hgm.pghft_drn_elevationprofile	Perfil de elevação de trechos de drenagem
pgh_hgm.pghft_upn_elevationprofile	Perfil de elevação de rios principais

Uma vez que o pghHGM foi desenvolvido para fornecer novos atributos hidrológicos, sobretudo relacionados às áreas de contribuição e aos trechos de drenagem do pghydro, se faz necessário relacionar e indexar esses elementos de alguma forma.

Por simplicidade, a interface foi realizada por meio de atributos que se referem as chaves primárias dos elementos do pghydro (Tabela 3). Esses atributos são utilizados para realizar consultas com junção (JOIN) de tabelas, possibilitando o uso de recursos do pghydro.

*Tabela 3. Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados a indexação*

Atributo	Descrição
hig_pk	Sequência (hig_pk_seq) criada no pghHGM
hig_dra_pk	Chave primária da área de contribuição local (dra_pk) do pghydro
hig_drn_pk	Chave primária do trecho de drenagem (drn_pk) do pghydro
hig_wtc_pk	Chave primária do curso d'água (wtc_pk) do pghydro

A Figura 2 ilustra uma parte da tabela de inteligência, sendo possível observar que o prefixo *hig\_* foi adotado para todas as colunas. As colunas *hig\_drn\_pk* e *hig\_dra\_pk* são apresentadas em destaque e se referem as chaves primárias do trecho de drenagem e área de contribuição. Os valores são preenchidos na inicialização do pgh\_hgm, obtidos das tabelas originais do pghydro. Ou seja, o pgh\_hgm requer que o banco de dados contenha a extensão e schema pghydro, com os elementos hidrográficos devidamente processados.

	hig_pk integer	hig_dm_pk integer	hig_dr_pk integer	hig_wtc_pk integer	hig_dm_strahler integer	hig_dm_elevation_avg double precision	hig_dm_elevation_max double precision	hig_dm_elevation_min double precision	hig_dm_elevationdrop_max double precision	hig_dm_elevationdrop_s1585 double precision	hig_dm_e
1	1145	1145	2358	1	1	70.24984179045025	72	68.96399688720703	3.0360031127929688	2.031005859375	2
2	99	99	1234	2	1	56	58	54	4	4	4
3	87	87	794	3	1	83.5302007039388	84	82.9990005493164	1.0009994506835938	0.996002197265625	0
4	1310	1310	3310	4	1	197.55039375706724	204	188.9980010986328	15.001998901367188	12.99400329598438	1
5	3246	3246	2774	5	1	164.45861346905048	168	162.9929962158203	5.0070037841796875	2.0050048828125	2
6	2800	2800	2185	6	2	196.23621090975675	202	187.99099731445312	14.009002685546875	12.003005981445312	1
7	3137	3137	3481	6	1	203.96684681285512	211	197.99899291992188	13.001007080078125	13.001007080078125	1
8	2480	2480	1762	7	1	26.069104493553958	34	15.986000061035156	18.013999938964844	8.017999649047852	1
9	1372	1372	812	8	2	24.315882346209357	25.98900032043457	22.993999481201172	2.9950008392333984	2.99300030517578	2
10	4516	4516	4413	8	3	9.71085418264071	14	2.9709999561309814	11.029000043869019	2.99800144958496	1
11	1143	1143	4463	8	2	19.096600023905435	26	13	13	4.006999969482422	1
12	3234	3234	2765	8	1	37.503755989975815	55	25.98900032043457	29.01099967956543	23.972999572753906	2
13	2048	2048	442	9	1	70.66300048828126	78	63.98500061035156	14.014999389648438	10.014999389648438	1
14	845	845	116	10	2	82.16671468640462	96	74.9990005493164	21.000999450683594	5.9850006103515625	1
15	4630	4630	4589	10	3	68.41486820421721	78	52.974998474121094	25.025001525878906	22.02100372314453	2
16	4684	4684	4601	10	1	93.83234992980957	101	83.99099731445312	17.009002685546875	4.996002197265625	1
17	4207	4207	4034	11	1	13.543161269157164	16	12.98799991607666	3.012000083923394	0.01200008392339844	1
18	2840	2840	2246	12	1	140.78303082784018	147	134.99200439453125	12.00799560546875	3.0099945068359375	1
19	2689	2689	1996	13	1	113.60398086847043	123	104.98100280761719	18.018997192382812	13.998001098632812	1
20	4690	4690	4606	14	1	17.805083294709522	23	12.97399997711816	10.026000022888184	4.98900032043457	1
21	1103	1103	2306	15	1	47.44861307451802	58	38.98500061035156	19.014999389648438	15.01599884032031	1
22	4511	4511	4406	16	4	0.955826664630634	4	-0.726000109672546	4.726000010967255	0.976999901764095	1
23	2	2	259	16	3	17.999500274658203	18	17.999000549316406	0.00099945068359375	0.00099945068359375	0.00099945068359375
24	1106	1106	672	16	2	26.91784216228284	36	25.95400047302246	10.045999526977539	0.022001266479492188	0
25	1261	1261	1033	16	2	26.69502059696901	33	25.98200025095215	7.017999649047852	0.01199913024902438	0
26	785	785	545	16	1	39.9071177220812	59	27.988000869750977	31.011999130249023	24.994998931884766	1

Figura 7. Exemplo da Tabela de Inteligência de dados pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel

### 7.3. Consultas e Funções

O cálculo de atributos do pghHGM é realizado por meio de consultas SQL embutidas em funções PL/pgSQL no PostgreSQL. Toda consulta é realizada a partir de dados de uma tabela (ou junção de tabelas), com a cláusula SELECT/FROM seguido dos cálculos intermediários, em sub-consultas, até obter o valor ou objeto desejado.

Em geral, toda consulta contém uma cláusula WHERE que filtra a operação para um determinado índice de bacia (e.g., dra\_pk = 1).

Para fins de exemplo, vamos utilizar a consulta do atributo “sinuosidade” do trecho de drenagem, o que permite um entendimento geral do esquema adotado no desenvolvimento das demais funções da extensão.

A sinuosidade é dada pela divisão entre o comprimento total do trecho e o comprimento em linha reta entre o ponto inicial e final do trecho. Tipicamente um trecho de rio possui curvas, então a sinuosidade tende a ser maior do que 1. Uma forma de descrever o algoritmo para cálculo da sinuosidade é a seguinte:

- 1) Coletar da geometria vetorial, poli-linha, que representa o trecho
- 2) Identificar do ponto inicial da geometria
- 3) Identificar do ponto final da geometria
- 4) Calcular a distância entre o ponto inicial e final da geometria
- 5) Calcular o comprimento total ao longo da geometria
- 6) Calcular final da sinuosidade pela divisão das duas medidas de distância

A Figura 8 ilustra o procedimento de consulta desenvolvido para esse cálculo:



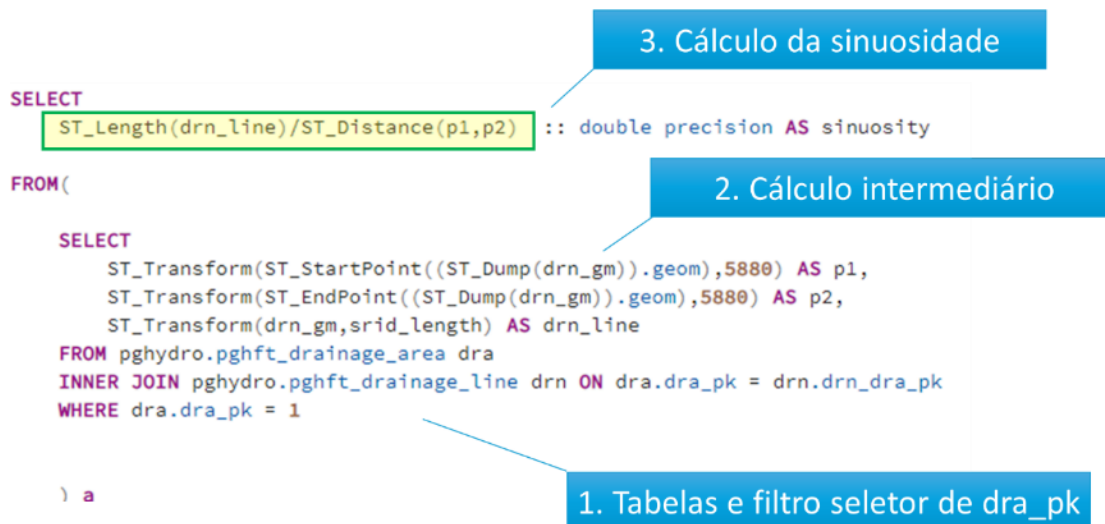


Figura 8. Exemplo de consulta para cálculo de sinuosidade do trecho de drenagem. Aqui a consulta é realizada a partir do identificador da área onde  $dra\_pk = 1$ .

Nesse caso, as operações são realizadas na geometria do trecho de drenagem. A coleta inicial da geometria do trecho de drenagem é realizado pelo atributo geométrico 'drn\_gm' da tabela pghydro.pghft\_drainage\_line.

A consulta no pghHGM é sempre realizada a partir do identificador de bacias ( $dra\_pk$ ), sendo possível obter a correspondência com a tabela pghydro.pghft\_drainage\_area.

Com a geometria do trecho de drenagem, o processo segue diretamente para a coleta dos pontos inicial (p1) e final (p2), usando funções ST\_StartPoint e ST\_EndPoint do PostGIS, respectivamente. Uma vez que o cálculo envolve medidas de comprimento, os objetos geométricos são convertidos para o sistema de referência 5880, que é a projeção policônica do IBGE. Por fim, realiza-se a aplicação da fórmula para obter a sinuosidade.

Essa não é a única forma possível de escrever a consulta e, talvez, fosse possível escrever o comando em menos linhas de código SQL. No entanto, a separação das etapas favorece a legibilidade, compreensão e manutenção da extensão. Essa é uma boa prática adotada no desenvolvimento das demais consultas. Em geral, todas as consultas possuem comentários informativos.

A Figura 9 apresenta um esquema geral do funcionamento das consultas desenvolvidas para o pghHGM. A consulta é realizada pelo índice da área de contribuição local ( $dra\_pk$ ), acessando as tabelas disponíveis da arquitetura pghydro, retornando um atributo. O exemplo anterior demonstra que a consulta é desenvolvida para um trecho de drenagem único desejado com o filtro WHERE.

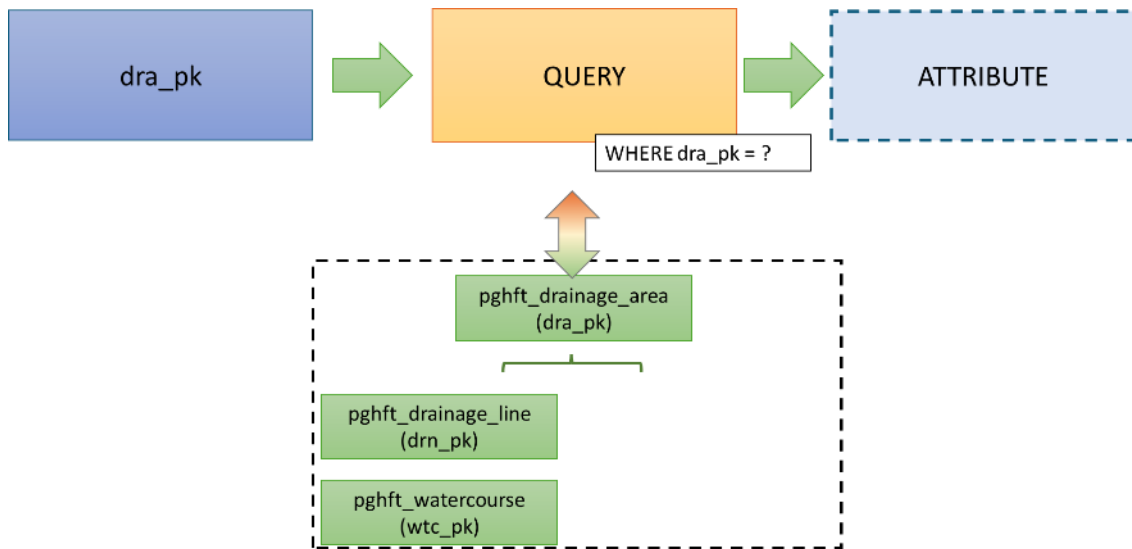


Figura 9. Esquema de consulta como base para cálculo de atributos

Em consultas mais simples o comando SQL poderia ser alterado sem grandes dificuldades para operar e retornar o atributo desejado em múltiplos trechos de drenagem ao mesmo tempo. Em algumas situações, isso poderia ser realizado com cláusulas do tipo GROUP BY, porém como identificou-se que muitas funções previstas no pghHGM possuem alta complexidade, uma abordagem alternativa foi adotada para aplicação sistemática.

A Figura 10 demonstra como é possível utilizar funções em linguagem PL/pgSQL no PostgreSQL para aproveitar consultas existentes, tornando um ou mais parâmetros flexíveis. Nota-se que dessa forma, é possível utilizar exatamente a mesma consulta original para o cálculo do atributo, mas o filtro WHERE agora aponta para uma bacia indexada por "dra\_pk", fornecido pelo cliente. É fácil ver no cabeçalho da função que esse é um dos argumentos de entrada (IN). Nesse caso específico, o usuário deve fornecer também o SRID (Spatial Reference Identifier) para garantir que o cálculo de comprimentos seja realizado numa projeção especificada, por exemplo, 5880 para o padrão do IBGE.

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION pgh_hgm.pghfn_drn_sinusoidy(
    IN dra_pk_integer,
    IN srid_length integer)
RETURNS TABLE(sinusoidy double precision) AS
$BODY$
/*
    QUERY DRAINAGE 'SINUOSITY'
    USING DRA_PK
*/

BEGIN
RETURN
QUERY

SELECT
    ss AS sinusoidy
FROM
    (
    SELECT
        ST_Length(drn_line)/ST_Distance(p1,p2)  :: double precision AS ss
    FROM(
        SELECT
            ST_Transform(ST_StartPoint((ST_Dump(drn_gm)).geom),srid_length) AS p1,
            ST_Transform(ST_EndPoint((ST_Dump(drn_gm)).geom),srid_length) AS p2,
            ST_Transform(drn_gm,srid_length) AS drn_line
        FROM pghydro.pghft_drainage_area dra
        INNER JOIN pghydro.pghft_drainage_line drn ON dra.dra_pk = drn.drn_dra_pk
        WHERE dra.dra_pk = dra_pk_
    ) a
    ) a;

RETURN;
END;
$BODY$
LANGUAGE plpgsql VOLATILE;

```

*Figura 10. Exemplo de função para consulta para cálculo de sinusoidade do trecho de drenagem*

A Figura 11 e a Figura 12 apresentam exemplos não exaustivos de como utilizar a função para realizar a consulta de sinusoidade da bacia para um ou múltiplos trechos. É possível observar que a abordagem adotada permite a realização de operações com bastante simplicidade. Assim, um cliente com conhecimentos básicos em banco de dados pode utilizar as funções prontamente. Por fim, é evidente que a declaração de funções permite o reaproveitamento de cálculos em quaisquer procedimentos com esforço relativamente baixo. Por exemplo, um cliente pode mapear os atributos desejados e preparar um script de consulta que executa o cálculo somente em locais desejados, usando comandos SQL básicos.

Query Query History

```
1 SELECT pgh_hgm.pghfn_drn_sinusoidy(1,5880);
```

Data Output Messages Notifications

	pghfn_drn_sinusoidy double precision
1	1.522744429873856

Figura 11. Exemplo da consulta de sinusoidade do trecho indexado na bacia com dra\_pk = 1

Query Query History

```
1 SELECT dra_pk, pgh_hgm.pghfn_drn_sinusoidy(dra_pk,5880)
2 FROM pghydro.pghft_drainage_area
```

Data Output Messages Notifications

	dra_pk [PK] integer	pghfn_drn_sinusoidy double precision
1	1712	1.24365233811456
2	258	1.0927618476563923
3	368	1.1008199148001616
4	497	1.2002862261791605
5	52	1.5274154262962407
6	53	1.149441988982154
7	54	2.031124307617291
8	55	1.2492873504244693
9	56	1.033430069475158
10	57	1.3640904354579912
11	58	1.1137372883210699
12	59	1.0791499953852475
13	60	1.1340169179767856
14	61	1.6525026545092998
15	62	1.1777755807213521
16	63	1.1413874733057165

Figura 12. Exemplo da consulta via função para múltiplos trechos

Por fim, a Figura 13 apresenta uma representação conceitual do processo básico para o desenvolvimento de funções utilizado no pghHGM. Num primeiro momento a consulta SQL é desenvolvida e, após testes e verificação dos argumentos adequados, se faz a adaptação para dentro de uma função. Em geral, cada função retorna um único

atributo, salvo em algumas exceções de ordem prática (e.g. estatística de máximo, mínimo, média)

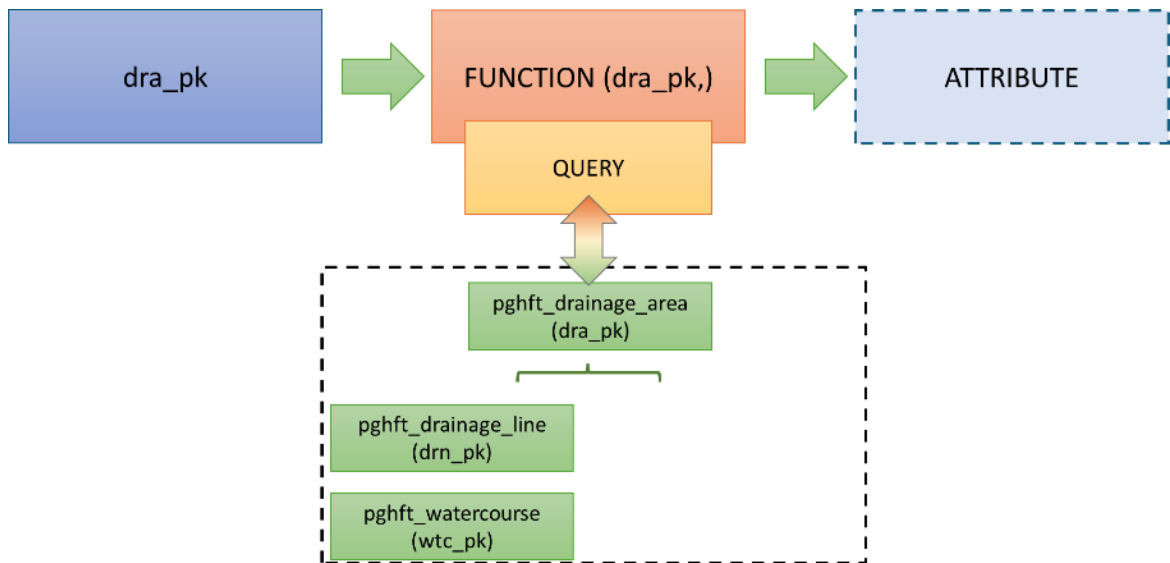


Figura 13. Esquema de uso de funções para operação de consultas que calculam atributos

## 7.4. Interação com pgHydro

Conforme descrito, a extensão pghHGM foi desenvolvida para ser compatível e permitir a interação com o pgHydro, mais especificamente, com objetos dos SCHEMAS “pghydro” e “pgh\_raster”.

O pghHGM utiliza três feições hidrográficas do pghydro (e.g. trechos de drenagem áreas e cursos de água) e o modelo digital de elevação carregado no pgh\_raster, descritos na Tabela 4.

*Tabela 4. Principais elementos lógicos do pgHydro utilizados no pghHGM*

Tabela	Chave-primária	Descrição	Tipo
pghydro.pghft_drainage_area	dra_pk	Áreas de contribuição local	Polígono
pghydro.pghft_drainage_line	drn_pk	Trechos de drenagem	Poli-linha
pghydro.pghft_watercourse	wtc_pk	Cursos d'água	Poli-linha
pgh_raster.pghrt_elevation	-	Modelo digital de relevação	Raster

Em geral, as funções desenvolvidas atuam sobre esses elementos tomando como referência principal a área de contribuição local, indexado pelo dra\_pk.

Existem casos especiais de bacias hidrográficas sem trechos, para os quais o pghHGM fornece funções alternativas para cálculo dos atributos. Nesses casos, é evidente que não faz sentido tentar calcular atributos relacionados aos trechos de drenagem (e.g. comprimento do trecho e sinuosidade), por outro lado, é possível calcular aqueles atributos que dependem somente da geometria, por exemplo, o perímetro e índices de circularidade e compacidade.

A Tabela 5 apresenta os atributos do pgHydro selecionados devido a utilidade na implementação do pghHGM, de onde podemos destacar:

- Chaves primárias das áreas de contribuição local (dra\_pk)
- Chaves primárias dos trechos de drenagem (drn\_pk)
- Chaves primárias dos cursos de água (wtc\_pk)
- Chaves que relacionam os trechos de drenagem e as respectivas áreas de contribuição local em que se encontram (drn\_dra\_pk)
- Chaves que relacionam os trechos de drenagem e os respectivos cursos de água em que se encontram (drn\_wtc\_pk)
- Valor calculado do comprimento de cada trecho de drenagem (drn\_gm\_length)
- Valor calculado das áreas de drenagem de cada polígono de bacia (dra\_gm\_area)
- Valor das áreas de drenagem a montante de cada trecho (drn\_nu\_upstream)
- Geometrias dos trechos de drenagem (drn\_gm\_geometry)
- Geometrias das áreas de contribuição (dra\_gm\_geometry)
- Número de Strahler dos trechos (nustrahler)

Tabela 5. Principais atributos do pgHydro utilizados em funções no pghHGM

Tabela	Atributo	Tipo
pghydro.pghft_drainage_area	dra_pk	Chave primária da tabela de polígonos
	dra_gm_area	Área da cont. local do trecho
	dra_gm_geometry	Geometria do polígono da área
pghydro.pghft_drainage_line	drn_dra_pk	Chave primária da área de contribuição local (dra_pk) onde se encontra o trecho (drn_pk)
	drn_pk	Chave primária da tabela de trechos
	drn_nu_upstreamarea	Área de drenagem (total) no trecho
	drn_gm_length	Comprimento do trecho
	drn_gm_geometry	Geometria do trecho
	drn_wtc_pk	Chave primária do curso de água (wtc_pk) onde se encontra o trecho (drn_pk)
pghydro.pghft_watercourse	wtc_pk	Chave primária do curso de água
pghydro.pghft_hydro_intel	nustrahler	Número de Strahler

A Tabela 6 apresenta as funções de consulta do pgHydro e pghRaster utilizadas no pghHGM.

Essas funções auxiliam o pghHGM nas seguintes tarefas:

- a consulta de trechos nos cursos d'água a montante permite a identificação dos trechos de drenagem que definem o rio principal
- o somatório de atributo a montante, por exemplo, permite o cálculo rápido do comprimento total da rede de drenagem
- a extração do perfil de elevações (de uma geometria qualquer) permite obter o perfil de elevações de trechos da rede de drenagem e do rio principal, ou qualquer outra feição composta por pontos.

Tabela 6. Funções do pgHydro e pghRaster utilizados no pghHGM

Função	Funcionalidade
pghydro.pghfn_main_watercourse_drainagelines	Seleciona trechos do curso d'água (a montante)
pghydro.pghfn_variableupstream	Calcula o somatório de um atributo em todos os trechos à montante (inclusive no trecho)
pgh_raster.pghfn_elevation_profile	Extrai valores do MDE na interseção com os pontos que compõe uma geometria, tipicamente um trecho de drenagem

Por fim, o conjunto de interações do pghHGM é melhor representado pela Figura 14, demonstrando como as funções e consultas fazem a interface com os outros schemas, pghydro e pgh\_raster.

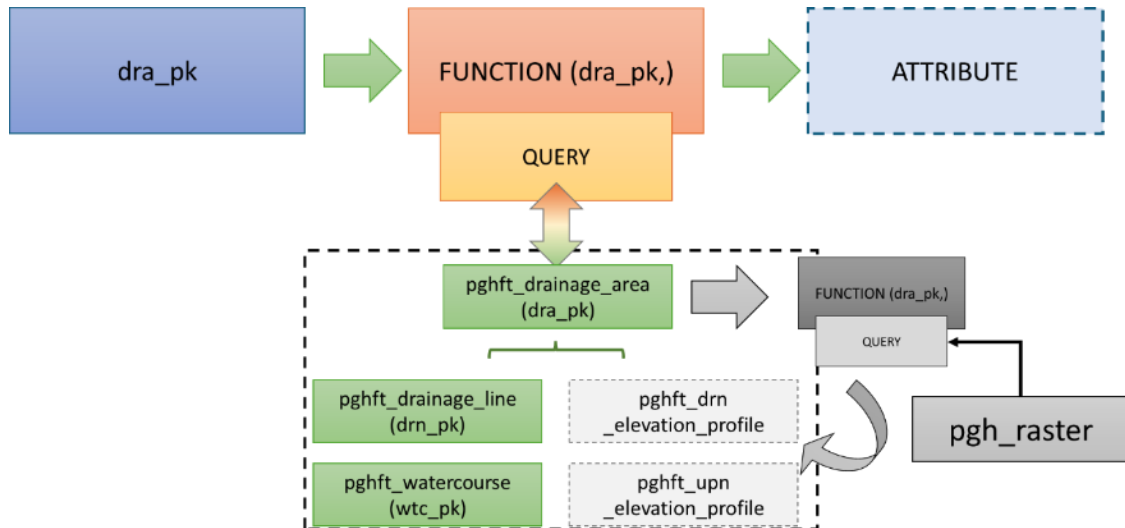


Figura 14. Esquema de uso de funções para operação de consultas que calculam atributos

O pghHGM apresenta duas tabelas para armazenamento temporário importantes, relacionadas ao perfil de elevações:

- pghft\_drn\_elevationprofile: tabela de perfil de elevações no trecho de drenagem
- pghft\_upn\_elevationprofile: tabela de perfil de elevações no rio principal a montante

A Figura 15 apresenta as tabelas no banco de dados e as colunas que armazenam o *dra\_pk* do trecho (ou de referência no caso do rio principal a montante), as distâncias ao longo do perfil longitudinal (*xy*), os valores de elevação (*z*) e a geometria de pontos (*gm*). Na Figura 16 é possível observar como a tabela é representada no PostgreSQL.



### Interface com pghRaster

Os perfis de elevações do pghHGM – por *dra\_pk* – são obtidos por funções que, em realidade, fazem interface para a extração do perfil de elevações que é realizado no pghRaster.

O pghRaster realiza a operação de extração de perfil para uma geometria fornecida.

O pghHGM fornece a geometria para o pghRaster, para atender a finalidade do pghHGM.

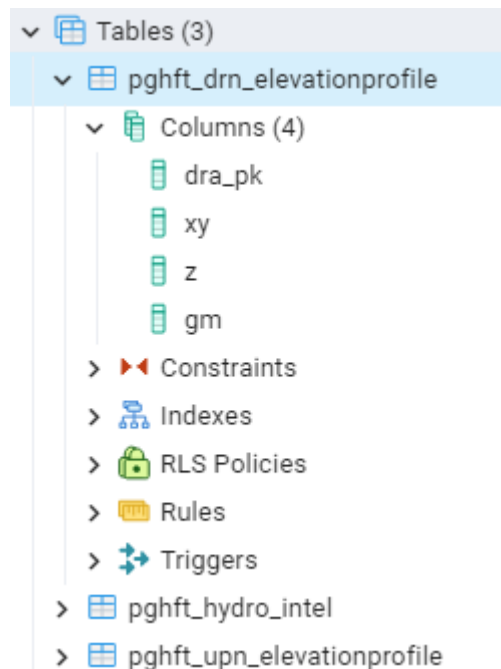


Figura 15. Tabelas para armazenamento temporário de perfis de elevação no pghHGM

	dra_pk integer	xy integer	z double precision	gm geometry
1	732	0	1058.19140625	0101000020110F0000135F0C3CDC3C55C1868B4323AADC49...
2	732	61	1054.154296875	0101000020110F000072A49CC5E83C55C16A683D7298DC49...
3	732	172	1050.4263916015625	0101000020110F0000E06B0B4E003D55C176FB22507BDC49C1
4	732	246	1048.5540771484375	0101000020110F0000ADFE192D0D3D55C12C0160AD60DC49...
5	732	317	1047.241455078125	0101000020110F0000E067D416173D55C1C05F039A43DC49C1
6	732	368	1045.495849609375	0101000020110F0000295DF2861C3D55C154D0DA212CDC49...
7	732	505	1046.423828125	0101000020110F0000B16F9BD0243D55C13722F807EADB49C1
8	732	612	1041.5577392578125	0101000020110F00009DEB1C562D3D55C17E93B1D9B6DB49...
9	732	699	1036.811279296875	0101000020110F00004B6F5F2C383D55C1BC3E206E91DB49C1
10	732	773	1035.722900390625	0101000020110F0000C5333381413D55C1A361825C71DB49C1
11	732	848	1034.3995361328125	0101000020110F000031C2DA9B4C3D55C1440E591D53DB49...
12	732	950	1034.183349609375	0101000020110F0000D495FDAD5D3D55C12B735A342DDB49...
13	732	1028	1033.3951416015625	0101000020110F0000D06E11086C3D55C1629C203013DB49C1
14	732	1084	1032.439697265625	0101000020110F0000B521BDD6783D55C17952727707DB49C1
15	732	1203	1032.704833984375	0101000020110F00002C5C4D7E943D55C1210BC190F1DA49...
16	732	1276	1031.987548828125	0101000020110F0000E84B5C54A63D55C13141171BEADA49...
17	732	1403	1029.14501953125	0101000020110F00006FD8F5D0C53D55C1090C2EAFE1DA49...
18	732	1521	1028.108154296875	0101000020110F0000326BFBEFE23D55C1568B9A6DD7DA49...

Total rows: 7336 of 7336    Query complete 00:00:01.383

Figura 16. Exemplo de tabela de armazenamento temporário de perfis de elevação do pghHGM



Figura 17. Ilustração de exemplo do perfil de elevação.

## O perfil de elevações

O perfil de elevações é uma lista de pares de distâncias e altitudes ao longo de um percurso, tipicamente ao longo da rede de drenagem orientada de montante para jusante. Uma parte importante do pghHGM está no cálculo de atributos a partir do perfil de elevações, tais como estatísticas (média, máxima, mínima) e declividades.

O perfil de elevações é obtido pela função “*pgh\_raster.elevation\_profile*” que opera a intersecção de uma geometria sob um modelo digital de elevações, retornado os valores interpolados. O pghHGM faz a interface dos elementos, por exemplo, dos trechos de drenagem, com essa função do pgh\_raster.

O pghHGM faz a interface e permite a consulta do perfil do trecho de duas maneiras:

### 1) processamento via tabelas de armazenamento

a) armazena-se uma consulta de perfil de elevações, por dra\_pk, na tabela temporária

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_drn_elevationprofile(dra_pk);
```

b) aplica-se uma função de consulta que opera na tabela temporária (e.g.)

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_drn_tmp_slopemaxmin(dra_pk);
```

### 2) processamento direto “on-the-fly”

a) aplica-se uma função de consulta, por dra\_pk, sendo que essa realiza a consulta do perfil de elevações internamente – independente da tabela temporária – e opera sobre o mesmo.

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_drn_slopemaxmin(dra_pk);
```

A opção 1 é adotada para a execução principal, pois evita repetições de consultas que dependem de um mesmo perfil de elevação (e.g. diferentes métodos de declividade), porém exige demanda de armazenamento.

A opção 2 permite realizar consultas isoladamente, mas tende a se tornar mais custosa quando há interesse em calcular muitos atributos de um mesmo perfil de elevação.

## 7.5. Atributos e Tabela de inteligência

Para fins práticos, os atributos do pgh\_hgm podem ser separados, genericamente, em duas categorias de dependências no processamento.

1. Atributos que dependem somente do pghydro e pgh\_raster
  - atributos geométricos (e.g. área e perímetro)
  - atributos hidrogeomorfológicos (e.g. sinuosidade, compacidade, etc.)
  - atributos hidráulicos baseados e áreas de drenagem (e.g. relações geomorfológicas)
  - atributos que utilizam o MDE (e.g. perfil de elevação e estatísticas de elevação nas bacias)
2. Atributos com dependências internas ao pghHGM
  - características hidráulicas do trecho de drenagem (e.g. velocidade média)
  - tempo de concentração da bacia hidrográfica
  - tempo de viagem de poluentes (Modelo de Jobson)
  - atributos nas escalas agregadas de área a montante e rio principal a montante
  - atributos que dependem do perfil de elevação e estatística de elevação das bacias

### Grupo I

No primeiro grupo, os atributos podem ser calculados diretamente com as funções implementadas, tomando-se somente atenção aos sistemas de coordenadas utilizados e, quando necessário, fatores de conversão de unidades.

No Brasil a projeção policônica do IBGE (srid: 5880) pode ser mais apropriada para cálculos baseados em distâncias, sendo pertinente o uso para o cálculo do perímetro de bacias e sinuosidade do rio, por exemplo. De maneira similar, a projeção Albers do SIRGAS 2000 é mais adequada para cálculos de áreas.

A geometria de cada trecho de drenagem e área de contribuição local é herdada do pghydro, assim o perímetro é um atributo prontamente calculável no pghHGM. Nesse e outros atributos, a extensão permite aplicar um fator de conversão, por exemplo, para ajustar valores de metros para quilômetros.

### Grupo II

No segundo grupo, o cálculo dos atributos depende de algumas decisões adicionais e possuem dependências com outros atributos, conforme descrito abaixo:

- Tempos de concentração da bacia, dependem de uma combinação de atributos, como declividade e comprimento do trecho principal; e, a depender da formulação, a área de drenagem.

- Características hidráulicas do canal, dependem da declividade do trecho, coeficiente de rugosidade de Manning (n) e comprimento do trecho
- Tempo de viagem de poluentes, dependem de diversos fatores do “Modelo de Jobson” como a área de drenagem, declividade, vazão média anual, vazão no evento e comprimento do trecho

Além desses, algumas dependências existem para evitar a repetição de cálculos potencialmente custosos, em termos computacionais, nos seguintes atributos:

- O desnível dos trechos é calculado a partir da declividade e do comprimento do trecho.
- O fator de relevo que é a relação entre o comprimento axial e o desnível na bacia exige que o desnível já tenha sido calculado e armazenado, pois o procedimento de coleta de dados dos pixels pode ser pesado computacionalmente.
- O gradiente de canal é simplesmente pela conversão de unidades de m/m para m/km, a partir da declividade maxmin que já deve ter sido calculada.

Como os parâmetros de comprimento e área de drenagem são obtidos diretamente da geometria, a única verificação necessária é a padronização das unidades em km e km<sup>2</sup>, respectivamente.

Além disso, na implementação do pghHGM, para o modelo de Jobson foram considerados:

- as declividades do trecho e rio principal, obtidas pelo método maxmin;
- o coeficiente de manning igual a 0,035;
- a vazão média anual do trecho, igual a 0,025 m<sup>3</sup>/s.km<sup>2</sup> multiplicada pela área de drenagem a montante do trecho;
- a vazão do evento no trecho, igual a 100% da vazão média anual.

Outros valores poderiam ser a trecho-a-trecho, a depender da fonte de dados utilizada; além disso, uma customização de múltiplos cenários é factível para usuários com conhecimento básico em PostgreSQL.

### Dependências

A Tabela 7 e a Tabela 8 apresentam os atributos com dependências internas no pghHGM, relacionados a cada função do pghHGM. As funções do pghHGM serão descritas em detalhe mais adiante. Por enquanto, essa tabela fornece uma visão geral das dependências.

Tabela 7. Atributos necessários em funções de trecho ou área local com dependências internas no PGH HGM (Grupo II)

FUNÇÕES	hig_dra_ area_km2	hig_drn_ length_km	hig_dra_ elevationd rop_m	hig_drn_ slope_ maxmin	hig_drn_ depth_m	hig_drn_ width_m	hig_drn_ slope_adi m	hig_drn_ manning_ n	hig_drn_ annual_ flow	hig_drn_ event_ flow
pghfn_dra reliefratio			X							
pghfn_dra reliefratio_ring			X							
pghfn_dra reliefratio_river			X							
hig_dra reachgradient				X						
pghfn_drn timeofconcentration	X	X					X			
pghfn_dra kirpicha		X	X							
pghfn_drn wavetravel_kinematic		X			X	X	X	X		
pghfn_drn wavetravel_dynamic		X			X					
pghfn_drn jobson_travelttime	X	X					X		X	X

Tabela 8. Atributos necessários em funções de rio principal ou área a montante com dependências internas no PGH HGM (Grupo II)

FUNÇÕES	hig_upa_ area_km2	hig_upn_ length_km	hig_upa_ elevationdrop _m	hig_upn_ slope_maxmin
pghfn_upa reliefratio			X	
pghfn_upa reliefratio_ring			X	
pghfn_upa reliefratio_river			X	
pghfn_upa reliefratio_schumm	X			
pghfn_upa axislength_schumm	X			
pghfn_upa shapefactor_schumm	X			
pghfn_upa formfactor_schumm	X			
pghfn_upn timeofconcentration	X	X		
pghfn_upa kirpicha		X	X	
pghfn_upa reachgradient				X

## 7.6. Elementos principais e nomenclatura de atributos

Os prefixos adotados para os atributos permitem identificar rapidamente a qual tipo de feição os dados estão associados:

- hig\_dra\_<atributo>, os atributos relacionados a área de contribuição local
- hig\_drn\_<atributo>, os atributos relacionados ao trecho de drenagem
- hig\_upa\_<atributo>, os atributos relacionados a área de drenagem (total) a montante
- hig\_upn\_ <atributo>, os atributos relacionados ao rio principal na área de drenagem (total) a montante
- hig\_<atributo>, os atributos da tabela, indexadores e sequências

Por exemplo, “*hig\_dra\_perimeter*” indica um atributo de área de contribuição (dra), sendo o atributo o perímetro. De maneira similar, “*hig\_drn\_slope\_maxmin*” indica um atributo de trecho de drenagem (drn), sendo o atributo declividade obtida pelo método maxmin.

Esse padrão de nomenclatura foi adotado por favorecer a legibilidade, além de permitir uma boa organização dos atributos, elementos lógicos e funções relacionadas.

Assim, é possível observar que o pghHGM considera principalmente quatro tipos de feições:

1. área de contribuição local do pghydro
2. trecho de drenagem do pghydro
3. área de drenagem montante processada no pghHGM, pela união das áreas a montante (inclusive a área inicial)
4. rio principal a montante processada no pghHGM, pela união dos trechos do rio principal a montante (inclusive o trecho inicial)

Importante destacar que os elementos 1 e 2 são oriundos do SCHEMA pghydro, enquanto os elementos 3 e 4 são processados no pghHGM com suporte de funções do pghydro.



### Sobre as geometrias de área a montante e rio principal

Os elementos 3 e 4 são obtidos com funções de consulta à montante, seguido de operações de geoprocessamento (i.e. “merge”) com funções do pgh\_hgm.

- pgh\_hgm.pghfn\_upa\_geometries\_of\_maindrainagelines
- pgh\_hgm.pghfn\_upa\_geometries\_of\_upstreamdrainageareas
- pgh\_hgm.pghfn\_upa\_merge\_maindrainagelines
- pgh\_hgm.pghfn\_upa\_merge\_upstreamdrainageareas

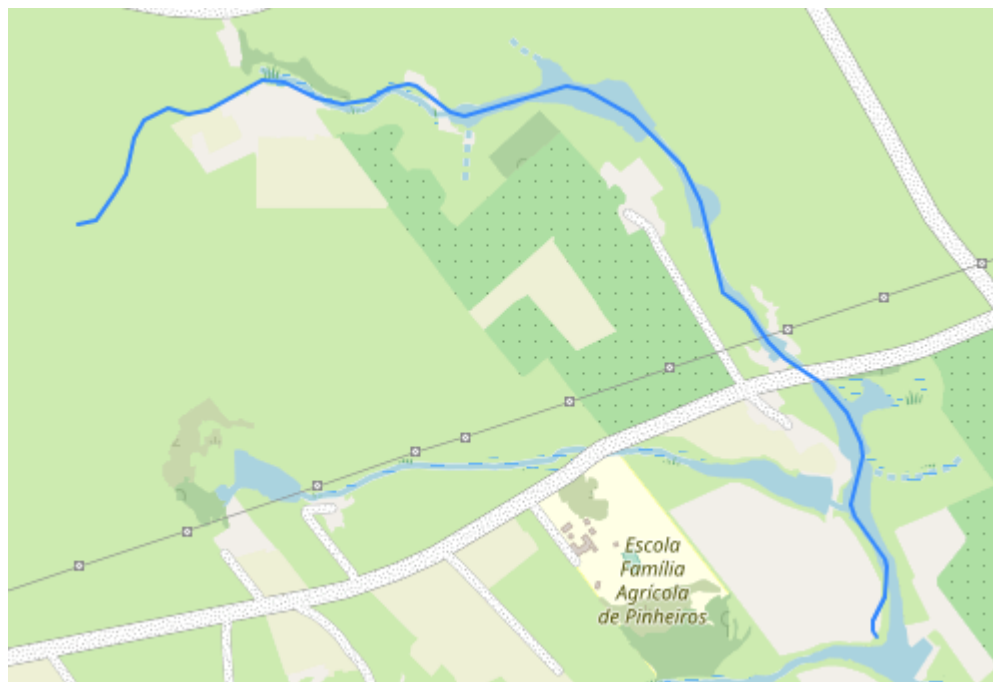
Em geral, para execução dos cálculos adota-se que os elementos 3 e 4 sejam pré-processados e armazenados em *hig\_upa\_gm*, *hig\_upn\_gm*.

Na segunda possibilidade, cada função de cálculo de atributos à montante realiza internamente a consulta que gera as geometrias, seguida do cálculo do atributo. Esse procedimento permite maior independência no modelo de dados e pode ser utilizada para consultas pontuais, mas tende a ser pouco eficiente quando se deseja aplicar diferentes funções a uma mesma geometria de montante. Realizar o pré-processamento das geometrias permite reutilizar as mesmas em diferentes funções. A gestão dos dados é algo a ser considerado em grandes bases de dados.

Existem versões das funções de cálculo de declividade que podem realizar a consulta e união do perfil de elevações internamente, porém isso não é recomendado.



Figura 18. Exemplo de trecho de drenagem de referência para consulta a montante.



*Figura 19. Exemplo de consulta dos trechos de drenagem que compõe o rio principal a montante. O rio principal a montante é uma feição poli-linha única, enquanto os trechos são selecionados individualmente.*



Figura 20 Exemplo de consulta das áreas de contribuição a montante (a- acima) e “merge” das áreas num polígono único (b- abaixo)

## 7.7. Descrição de atributos do pghHGM

Nessa seção, apresentam-se os atributos da tabela de inteligência de dados, separados em tabelas (Tabela 9 a Tabela 19) por tipo de atributo, o que permite melhor compreensão e identificação dos elementos lógicos.

*Tabela 9. Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados as elevações e declividades nos trechos de drenagem*

Atributo	Descrição
hig_drn_elevation_avg	Média das elevações do trecho (m)
hig_drn_elevation_max	Máximo das elevações do trecho (m)
hig_drn_elevation_min	Mínimo das elevações do trecho (m)
hig_drn_elevationdrop_maxmin	Desnível do trecho equivalente a declividade obtida pelo método das elevações máxima e mínima (m)
hig_drn_elevationdrop_s1585	Desnível do trecho equivalente a declividade obtida pelo método dos percentis 15-85 ao longo do trecho (m)
hig_drn_elevationdrop_pipf	Desnível do trecho equivalente a declividade obtida pelo método das elevações no ponto inicial e final do trecho (m)
hig_drn_elevationdrop_z1585	Desnível do trecho equivalente a declividade obtida pelo método das elevações a partir dos percentis 15-85 das elevações ao longo do trecho (m/m)
hig_drn_elevationdrop_harmonic	Desnível do trecho equivalente a declividade obtida pelo método harmônico (m/m)
hig_drn_elevationdrop_weighted	Desnível do trecho equivalente a declividade obtida pelo método ponderado (m/m)
hig_drn_elevationdrop_linreg	Desnível do trecho equivalente a declividade obtida pelo método da regressão linear (m/m)
hig_drn_slope_maxmin	Declividade, a partir das elevações máxima e mínima (m/m)
hig_drn_slope_s1585	Declividade do trecho, a partir das elevações nos percentis 15-85 ao longo do trecho (m/m)
hig_drn_slope_pipf	Declividade do trecho, a partir das elevações no ponto inicial e final do trecho (m/m)
hig_drn_slope_z1585	Declividade do trecho, a partir dos percentis 15-85 das elevações ao longo do trecho (m/m)
hig_drn_slope_harmonic	Declividade do trecho, a partir da média harmônica (ou equivalente) das declividades (m/m)
hig_drn_slope_weighted	Declividade do trecho, a partir da ponderação ou aproximação por triângulo (m/m)
hig_drn_slope_linreg	Declividade do trecho, a do coeficiente angular da regressão linear entre as declividades e as distâncias ao longo do trecho (m/m)

*Tabela 10.* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados nas áreas de contribuição local

Atributo	Descrição
hig_dra_elevation_avg	Média das elevações na área de contribuição local (m)
hig_dra_elevation_max	Máximo das elevações na área de contribuição local (m)
hig_dra_elevation_min	Mínimo das elevações na área de contribuição local (m)

*Tabela 11.* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados as elevações nas áreas de drenagem a montante

Atributo	Descrição
hig_upa_elevation_avg	Média das elevações na área a montante (m)
hig_upa_elevation_max	Máximo das elevações na área a montante (m)
hig_upa_elevation_min	Mínimo das elevações na área a montante (m)

*Tabela 12.* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados a características geométricas e hidrogeomorfológicas em área de drenagem a montante

Atributo	Descrição
hig_upa_area_	Área de drenagem (unidades do pghydro)
hig_upa_area_km2	Área de drenagem em km <sup>2</sup>
hig_upa_perimeter_	Perímetro da área de drenagem (projeção original)
hig_upa_perimeter_km	Perímetro da área de drenagem em km
hig_upa_axislength	Comprimento axial na área a montante (m)
hig_upa_circularity	Circularidade na área a montante (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
hig_upa_compacity	Compacidade na área a montante (m/m)
hig_upa_shapefactor	Fator de forma "shape" na área a montante ((m) <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
hig_upa_formfactor	Fator de forma na área a montante (m <sup>2</sup> /(m) <sup>2</sup> )
hig_upn_sinuosity	Sinuosidade do trecho na área a montante (m/m)
hig_upa_drainagedensity	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )
hig_upa_hydrodensity	Densidade de trechos (nº de trechos/km <sup>2</sup> )
hig_upa_avglengthoverlandflow	Comprimento médio do escoamento superficial (km)
hig_upa_totaldrainagelength	Comprimento total de trechos (unidades pghydro)
hig_upa_reliefratio	Relação de relevo (m/m)
hig_upa_reachgradient	Gradiente do canal principal (m/km)

*Tabela 13.* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados a características geométricas e hidrogeomorfológicas em área de contribuição local

Atributo	Descrição
hig_dra_area_	Área de cont. local (unidades do pghydro)
hig_dra_area_km2	Área de cont. local em km <sup>2</sup>
hig_dra_perimeter_	Perímetro da área de cont. local (projeção original)
hig_dra_perimeter_km	Perímetro da área de cont. local drenagem em km
hig_dra_axislength	Comprimento axial na área de cont. local (m)
hig_dra_circularity	Circularidade na área de cont. local (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
hig_dra_compacity	Compacidade na área de cont. local (m/m)
hig_dra_shapeform	Fator de forma "shape" na área de cont. local ((m) <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
hig_dra_formfactor	Fator de forma na área de cont. local (m <sup>2</sup> /(m) <sup>2</sup> )
hig_drn_sinuosity	Sinuosidade do trecho área de cont. local (m/m)
hig_dra_reliefratio	Relação de relevo na área de cont. local (m/m)
hig_dra_reachgradient	Gradiente de canal (m/km)
hig_dra_drainagedensity	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> ) na área de cont. local
hig_dra_hydrodensity	Densidade de trechos (1/km <sup>2</sup> ) na área de cont. local
hig_dra_avglengthoverlandflow	Comprimento médio do escoamento superficial (km) na área de cont. local

*Tabela 14.* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados a hidráulica dos trechos de drenagem

Atributo	Descrição
hig_drn_length_	Comprimento do trecho (unidade pghydro)
hig_drn_length_km	Comprimento do trecho em km
hig_drn_depth_m	Profundidade de calha cheia no trecho
hig_drn_width_m	Largura de calha cheia no trecho
hig_drn_elevationdrop_m	Desnível do trecho de referência (m)
hig_drn_slope_adim	Declividade do trecho de referência (m/m)
hig_drn_manning_n	Coefficiente de rugosidade de manning, n (=0.035)
hig_drn_velmann	Estimativa da velocidade em calha cheia (m/s)

Atributo	Descrição
hig_drn_celmann	Estimativa da celeridade em calha cheia (m/s)
hig_drn_trlmann	Estimativa do tempo de propagação no trecho (minutos)
hig_drn_velmann_lr	Estimativa da velocidade em calha cheia – aproximação de grandes rios (m/s)
hig_drn_celmann_lr	Estimativa da celeridade em calha cheia – aproximação de grandes rios (m/s)
hig_drn_trlmann_lr	Estimativa do tempo de propagação no trecho (minutos) – aproximação de grandes rios
hig_drn_celdyna	Estimativa da celeridade dinâmica
hig_drn_trldyna	Estimativa do tempo de propagação de onda dinâmica no trecho (minutos)

*Tabela 15.* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados ao tempo de concentração das áreas de contribuição local

Atributo	Descrição
hig_dra_tc_kirpich	Tempo de concentração pela Eq. de Kirpich da área de contribuição local
hig_dra_tc_dooge	Tempo de concentração pela Eq. de Dooge da área de contribuição local
hig_dra_tc_carter	Tempo de concentração pela Eq. de Carter da área de contribuição local
hig_dra_tc_armycorps	Tempo de concentração pela Eq. do US Army Corps da área de contribuição local
hig_dra_tc_wattchow	Tempo de concentração pela Eq. de Watt & Chow da área de contribuição local
hig_dra_tc_georgeribeiro	Tempo de concentração pela Eq. de George Riberio ( $\rho=0.6$ ) da área de contribuição local
hig_dra_tc_ventura	Tempo de concentração pela Eq. de Ventura da área de contribuição local
hig_dra_tc_pasini	Tempo de concentração pela Eq. de Pasini da área de contribuição local
hig_dra_tc_dnosk1	Tempo de concentração pela Eq. de DNOS ( $K=1$ ) da área de contribuição local

*Tabela 16* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados a propagação de poluentes com o Modelo de Jobson no trecho de drenagem

Atributo	Descrição
hig_drn_annual_flow	Vazão média anual no trecho ( $m^3/s$ )
hig_drn_event_flow	Vazão no evento ( $m^3/s$ )
hig_drn_jobson_tpeak	Tempo de pico da pluma propagada (do início ao fim) do trecho
hig_drn_jobson_tlead	Tempo de chegada da pluma propagada (do início ao fim) do trecho
hig_drn_jobson_tpeak_shortest	Tempo mais curto de pico da pluma propagada do início ao fim do trecho (velocidade máxima)
hig_drn_jobson_tlead_shortest	Tempo mais curto de chegada da pluma propagada do início ao fim do trecho (velocidade máxima)



*Tabela 17.* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados a características de altimetria, desnível e declividade e comprimento no rio principal (a montante)

Atributo	Descrição
hig_upn_elevation_avg	Elevação média ao longo do rio principal (na bacia hidrográfica a montante)
hig_upn_elevation_max	Elevação máxima ao longo do rio principal (na bacia hidrográfica a montante)
hig_upn_elevation_min	Elevação mínima ao longo do rio principal (na bacia hidrográfica a montante)
hig_upn_length_km	Comprimento total do rio principal (na bacia hidrográfica a montante)
hig_upn_elevationdrop_m	Desnível ao longo do rio principal (na bacia hidrográfica a montante) estimado pelos valores máximo e mínimo
hig_upn_slope_adim	Declividade ao longo do rio principal (na bacia hidrográfica a montante), assume-se igual a declividade pelos valores máximo e mínimo

*Tabela 18.* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados ao tempo de concentração das áreas de drenagem a montante

Atributo	Descrição
hig_upa_tc_kirpich	Tempo de concentração pela Eq. de Kirpich da área de drenagem à montante
hig_upa_tc_dooge	Tempo de concentração pela Eq. de Dooge da área de drenagem à montante
hig_upa_tc_carter	Tempo de concentração pela Eq. de Carter da área de drenagem à montante
hig_upa_tc_armycorps	Tempo de concentração pela Eq. do US Army Corps da drenagem à montante
hig_upa_tc_wattchow	Tempo de concentração pela Eq. de Watt & Chow da área drenagem à montante
hig_upa_tc_georgeribeiro	Tempo de concentração pela Eq. de George Riberio ( $p=0.6$ ) da drenagem à montante
hig_upa_tc_ventura	Tempo de concentração pela Eq. de Ventura da área de drenagem à montante
hig_upa_tc_pasini	Tempo de concentração pela Eq. de Pasini da área de drenagem à montante
hig_upa_tc_dnosk1	Tempo de concentração pela Eq. de DNOS ( $K=1$ ) da área drenagem à montante

*Tabela 19.* Atributos da tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel relacionados a onda dinâmica em reservatórios (experimental)

Atributo	Descrição
hig_drn_reservoir_depth_m	Profundidade média do reservatório (não calculado)
hig_drn_reservoir_length_m	Comprimento do reservatório (não calculado)
hig_drn_reservoir_celdyna	Velocidade de propagação de onda ao longo do no reservatório
hig_drn_reservoir_trlwave_minutes	Tempo de propagação de onda ao longo do no reservatório

## 7.8. Funções do pghHGM

O desenvolvimento do pghHGM foi realizado considerando as diretrizes, discutidas e ajustadas em reuniões com a ANA durante o ano de 2022 e revisões posteriores em 2023, até março de 2024:

- Utilizar tabelas e atributos do SCHEMA pghydro;
- Realizar consultas a partir de um dra\_pk.
- Padronizar de consultas para funções SQL/PLPGSQL: QUERY → FUNCTION;
- Utilizar modelo de dados fixo, i.e., sem consultas dinâmicas do tipo EXECUTE;
- Priorizar organização e legibilidade para compreensão dos cálculos nas funções
- Incluir comentários nos scripts;
- Incluir SRID para cálculo de áreas e comprimentos como argumentos de funções;
- Incluir fatores de conversão de unidade como argumento de funções (e.g. perímetro e área) – por padrão pghydro, o fator é o denominador de uma divisão.

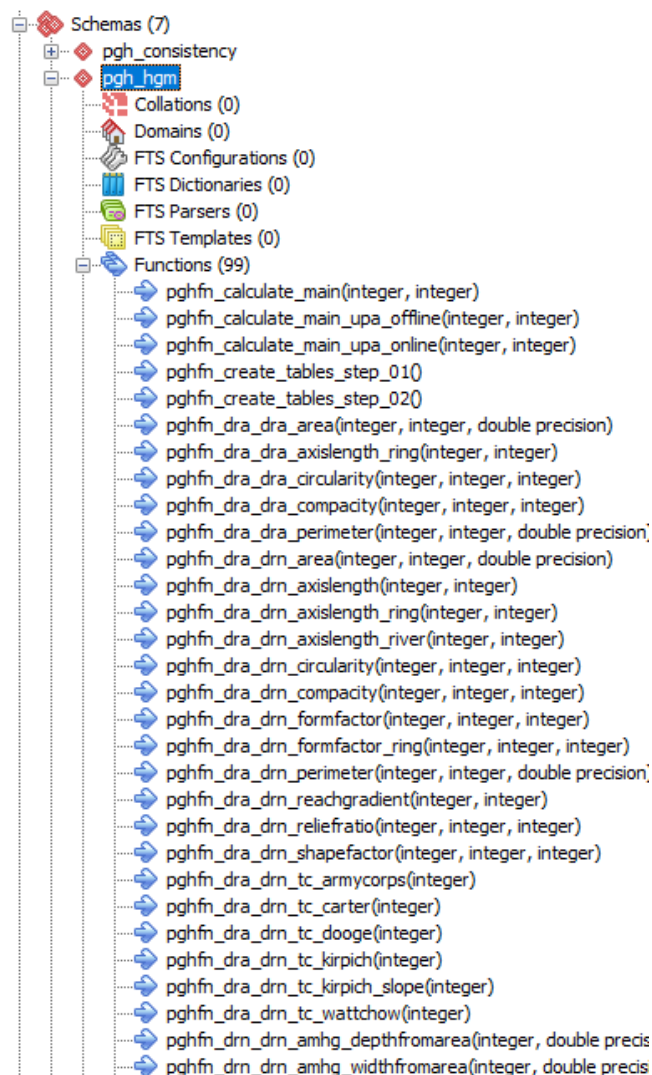


Figura 21. Apresentação parcial das funções do pghHGM.

Devidos aos diferentes tipos de objetos, atributos e operações existentes, as funções são nomeadas para facilitar a identificação (Tabela 20) considerando o seguinte padrão:

***pghfn\_<elemento>\_<atributo\_do\_elemento>***

Exemplos:

- *pghfn\_dra\_circularity* calcula o atributo de “circularidade” da área de contribuição local (dra)
- *pghfn\_upa\_drainagedensity* calcula o atributo de “densidade de drenagem” da área a montante (upa)
- *pghfn\_upn\_sinuosity* calcula o atributo de “sinuosidade” do rio principal a montante (upn)
- *pghfn\_drn\_slope\_maxmin* calcula o atributo de “declividade\_maxmin” do trecho de drenagem, utilizando o perfil de elevações armazenado

Tabela 20. Relação entre os prefixos das funções, o atributo do elemento e o alvo de consulta.

<b>Prefixo</b>	<b>Consulta atributo de</b>
pghfn_dra_	área de contribuição local (dra)
pghfn_drn_	trecho de drenagem (drn)
pghfn_upa_	bacia a montante (upa/upn)
pghfn_upn_	rio principal a montante
pghfn_drn_tmp_	trecho de drenagem (drn)
pghfn_upn_tmp_	rio principal a montante (upn)

A Tabela 21 a seguir descreve as funções disponíveis no pghHgm.

As funções de inicialização de tabelas são executadas ao carregar a extensão pgh\_hgm.

As funções execução principal do pghHGM – teste de implementação – fazem o preenchimento da tabela de inteligência de dados, aplicando-se as funções de cálculo de atributos, numa varredura sequencial de  $drn\_pk = 1 \dots \max(drn\_pk)$ .

Tabela 21. Lista de funções e argumentos do pghHGM

<b>Funções do pghHGM</b>	<b>Argumentos</b>
Funções de inicialização de tabelas e execução	
pghfn_create_tables_initialize ()	-
pghfn_calculate_main (integer, integer, integer, integer)	dra_pk dra_pk srid_area srid_length
pghfn_calculate_main_upa (integer, integer, integer, integer)	dra_pk dra_pk srid_area srid_length
Funções de atributos de área de contribuição	
pghfn_dra_area (integer, integer, double precision)	dra_pk_ srid_area div_factor
pghfn_dra_avglengthoverlandflow (integer, integer, double precision)	dra_pk_ _to_km2 _to_km
pghfn_dra_axislength (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_dra_axislength_ring (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_dra_axislength_river (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_dra_axislength_schumm (integer, integer)	dra_pk_ _to_km2
pghfn_dra_circularity (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_dra_compacity (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_dra_drainagedensity (integer, integer, integer)	dra_pk_ _to_km2 _to_km
pghfn_dra_formfactor (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_dra_formfactor_ring (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_dra_formfactor_river (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_dra_formfactor_schumm (integer, integer)	dra_pk_ _to_km2
pghfn_dra_hydrodensity (integer, integer)	dra_pk_ _to_km2
pghfn_dra_perimeter (integer, integer, double precision)	dra_pk_ srid_length den_factor
pghfn_dra_reachgradient (integer, integer)	dra_pk_
pghfn_dra_reliefratio (integer, integer)	dra_pk_ srid_length

pghfn_dra_reliefratio_river (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_dra_reliefratio_ring (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_dra_reliefratio_schumm (integer, double precision)	dra_pk_ _to_km2
pghfn_dra_shapefactor (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_dra_shapefactor_river (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_dra_shapefactor_ring (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_dra_shapefactor_schumm (integer, double precision)	dra_pk_ _to_km2
pghfn_dra_timeofconcentration (integer)	dra_pk_
Funções de relação geomorfológica	
pghfn_drn_amhg_depthfromarea (integer, double precision)	dra_pk_ _to_km2
pghfn_drn_amhg_widthfromarea (integer, double precision)	dra_pk_ _to_km2
Funções de atributos de trecho de drenagem	
pghfn_drn_elevationprofiledrop_maxmin (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_elevationprofiledrop_pipf (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_elevationprofiledrop_s1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_elevationprofiledrop_z1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_elevationprofiledrop_weighted (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_elevationprofiledrop_linreg (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_elevationprofiledrop_harmonic (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_elevationstats (integer, integer)	dra_pk_
pghfn_drn_elevationprofile (integer, integer)	dra_pk_
pghfn_drn_jobson_traveltime (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_sinuosity (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_drn_slope_harmonic (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_slope_linreg (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_slope_maxmin (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_slope_s1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_slope_z1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_slope_pipf (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_slope_weighted (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_wavetravel_kinematic (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_wavetravel_dynamic (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_wavetravel_reservoir (integer)	dra_pk_
Funções de atributos de trecho de drenagem - consulta por tabela temporária	
pghfn_drn_tmp_elevationdrop_maxmin (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_elevationdrop_pipf (integer)	dra_pk_

pghfn_drn_tmp_elevationdrop_s1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_elevationdrop_z1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_elevationstats (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_slope_harmonic (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_slope_linreg (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_slope_maxmin (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_slope_percentile_s1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_slope_percentile_z1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_slope_pipf (integer)	dra_pk_
pghfn_drn_tmp_slope_weighted (integer)	dra_pk_
Funções de atributos obtidos pela geometria <i>(disponível, herdado do pghRaster - mas não utilizado)</i>	
pghfn_geom_elevationprofile (geometry)	geometry
Funções de atributos da área a montante ou rio principal	
pghfn_upa_avglengthoverlandflow (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_axislength (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_upa_axislength_river (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_upa_axislength_ring (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_upa_axislength_schumm (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_circularity (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_upa_compacity (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_upa_drainagedensity (integer, integer, integer)	dra_pk_ _to_km2 _to_km
pghfn_upa_elevations (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_elevationstats (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_formfactor (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_upa_formfactor_river (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_upa_formfactor_ring (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_upa_formfactor_schumm (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_hydrodensity (integer)	dra_pk_ _to_km2
pghfn_upa_totaldrainagesumlength (integer, double precision)	dra_pk_ _to_km
pghfn_upa_perimeter (integer, integer, double precision)	dra_pk_ srid_length div_factor
pghfn_upa_reachgradient (integer)	dra_pk_

pghfn_upa_reliefratio (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_upa_reliefratio_river (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_upa_reliefratio_ring (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_upa_reliefratio_schumm (integer)	dra_pk_
pghfn_reachgradient (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_shapefactor (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_upa_shapefactor_river (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_upa_shapefactor_ring (integer, integer, integer)	dra_pk_ srid_area srid_length
pghfn_upa_shapefactor_schumm (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_sinuosity (integer, integer)	dra_pk_ srid_length
pghfn_upa_timeofconcentration (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_totaldrainagelength (integer, double precision)	dra_pk_ to_km
pghfn_upn_elevationprofile (integer)	dra_pk_ to_srid
pghfn_upn_elevationprofile_onthefly (integer, integer)	dra_pk_ to_srid_drn
pghfn_upn_elevationprofile_stats (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_tmp_elevationprofile_stats (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_tmp_slope_maxmin (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_tmp_slope_s1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_tmp_slope_z1585 (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_tmp_slope_pipf (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_tmp_slope_weighted (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_tmp_slope_harmonic (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_tmp_slope_linreg (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_slope_maxmin (integer)	dra_pk_
Funções para consulta e união de geometrias a montante (área drenagem e rio principal)	
pghfn_upa_geometries_of_maindrainagelines (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_geometries_of_upstreamdrainageareas (integer)	dra_pk_
pghfn_upa_merge_maindrainagelines (integer)	dra_pk_ to_srid_drn
pghfn_upa_merge_upstreamdrainageareas (integer)	dra_pk_ to_srid_dra
Funções de utilidades	
pghfn_utils_srid_create_albers(integer)	new_srid
pghfn_utils_table_export(character varying, character varying, character varying)	target_table fileout_csv pathout_bar



pghfn_utils_drn_hydraulic_defaults (integer)	dra_pk_
pghfn_utils_drn_jobson_defaults (integer)	dra_pk_
pghfn_utils_meredgeometries_getupdate (integer, integer, integer)	dra_pk_ to_srid_dra to_srid_drn
pghfn_utils_meredgeometries_nullify (integer)	dra_pk_
pghfn_utils_tmp_elevprof_delete (integer, character varying	dra_pk_ prefix_pk
pghfn_utils_tmp_elevprof_getinsert (integer, character varying, integer)	dra_pk_ prefix_pk srid_length*
pghfn_utils_tmp_elevprof_truncate (integer)	dra_pk_

## 7.9. Exemplos práticos para introdução ao pghHGM

### Exemplo 0 – Inicialização de tabelas do pghHGM

```
-- UPDATE WITH INFO FROM PGHYDRO
SELECT pgh_hgm.pghfn_tables_initialize();

-- CHECK
SELECT *
FROM pgh_hgm.pghft_hydro_intel;
```

### Exemplo 0 – Resultado:

Data Output Messages Notifications

Successfully run. Total query runtime: 3 secs 838 msec.  
4865 rows affected.

### Exemplo 1 – Identificação de um par de índices [drn\_pk, dra\_pk], dado um drn\_pk

```
SELECT drn_pk, dra_pk
FROM pghydro.pghft_drainage_line drn
INNER JOIN pghydro.pghft_drainage_area dra
ON drn.drn_dra_pk = dra.dra_pk
WHERE drn_pk = 1;
```

### Exemplo 1a – Resultado:

Data Output Messages Notifications

	drn_pk integer	dra_pk integer
1	1	190

**Exemplo 1b – Identificação de um par de índices [drn\_pk, dra\_pk], dado um dra\_pk**

```
SELECT drn_pk, drn_dra_pk as dra_pk  
FROM pghydro.pghft_drainage_line drn  
WHERE drn_dra_pk = 190;
```

**Exemplo 1b – Resultado:**

Data Output			Messages	Notifications
	drn_pk [PK] integer	dra_pk integer		
1	1	190		

**Exemplo 2 – Consulta circularidade e compacidade**

```
{E} pghfn_dra_circularity(dra_pk_ integer, srid_area integer, srid_length integer)
```

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_dra_circularity(190,55555,5880);
```

### Exemplo 3 – Algumas formas diferentes de fazer consultas:

```
pghfn_dra_perimeter(dra_pk_ integer, srid_length integer, divfactor double precision)
```

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_dra_perimeter(190,5880,1.);
```

```
SELECT * FROM pgh_hgm.pghfn_dra_perimeter(190,5880,1.);
```

### Exemplo 3 – Resultados:

Data Output Messages No

	pghfn_dra_perimeter double precision
1	281.7812175914644

e

Data Output Messages Notifications

	perimeter double precision
1	281.7812175914644

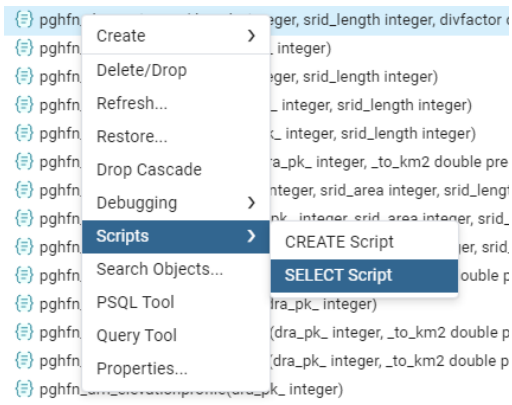
Note que em (a) retorna o nome da função e em (b-c) retorna a variável conforme especificado na função do pghHGM:

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION pgh_hgm.pghfn_dra_perimeter(  
    dra_pk_ integer,  
    srid_length integer,  
    divfactor double precision DEFAULT '1'::numeric)  
    RETURNS TABLE(perimeter double precision)
```

#### Exemplo 4 – Identificando argumentos de função e SRIDs

Utilize o PostgreSQL para identificar os argumentos da função “pghfn\_dra\_perimeter”

##### a) Gerando um SELECT da função (botão direito no pgAdmin)



##### b) Verificando o SQL da função no pgAdmin

Recomendação: na dúvida, sempre verifique os argumentos antes de utilizar as funções!

#### Exemplo 4 – Resultado:

a)

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_dra_perimeter(  
    <dra_pk_ integer>,  
    <srid_length integer>,  
    <divfactor double precision>  
)
```

b)

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION pgh_hgm.pghfn_dra_perimeter(  
    dra_pk_ integer,  
    srid_length integer,  
    divfactor double precision DEFAULT '1'::numeric)  
RETURNS TABLE(perimeter double precision)
```

### Exemplo 5 – Aplicando SRID e fatores de conversão

**SELECT**

```
pgh_hgm.pghfn_dra_perimeter(190,5880,1.),  
pgh_hgm.pghfn_dra_perimeter(190,5880,1000.),  
pgh_hgm.pghfn_dra_perimeter(190,55555,1.)
```

### Exemplo 5 – Resultado

Data Output Messages Notifications			
☰ ☰ ☰ ☰ ☰ ☰ ☰			
	pghfn_dra_perimeter double precision 🔒	pghfn_dra_perimeter double precision 🔒	pghfn_dra_perimeter double precision 🔒
1	281.7812175914644	0.2817812175914644	277.9843057066901

Note como a escolha do SRID influencia o resultado, o último valor é diferente.

O fator de conversão sempre é denominador de uma divisão.

Portanto, se o fator é 1000, então ao final, o cálculo terá uma divisão por 1000.

Esse exemplo demonstra como calcular o perímetro em km, considerando que a geometria das áreas de contribuição (pghydro.pghft\_drainage\_area) esteja em metros.

### Exemplo 6 – Relações Geomorfológicas (“At-Many Stations Hydraulic Geometry”)

```
-----  
-- AT-MANY STATION HYDRAULIC GEOMETRY - GEOMORPHOLOGICAL RELATION  
-----
```

**SELECT**

```
  pgh_hgm.pghfn_drn_amhg_depthfromarea(190,1.),  
  pgh_hgm.pghfn_drn_amhg_widthfromarea(190,1.);
```

### Exemplo 6 – Resultados

Data Output			Messages	Notifications
	pghfn_drn_amhg_depthfromarea double precision	pghfn_drn_amhg_widthfromarea double precision		
1	0.5522927490867158	9.734861047448527		

### Exemplo 7 – Perfil de Elevação, dado dra\_pk

```
-- ELEVATION PROFILE, DROP AND SLOPES
```

```
SELECT (pgh_hgm.pghfn_drn_elevationprofile(200)).*;
```

### Exemplo 7 – Resultado

Data Output Messages Notifications

	dra_pk integer	xy integer	z double precision	gm geometry
1	200	0	34.952999114990234	0101000020110F000043A1135E0C0651C1A51A5A4DD5683F...
2	200	21	34.952999114990234	0101000020110F0000BD490A18100651C122DDB998E3683F...
3	200	32	34.95199966430664	0101000020110F00006B1E4322120651C11F30635AEB683FC1
4	200	47	34.95199966430664	0101000020110F00004CA86EE6140651C11A7CF276F5683F...
5	200	65	38	0101000020110F00005F6E235E180651C1B9596E5B01693FC1
6	200	86	34.95100021362305	0101000020110F00002C5228711C0651C1FDBBE10E0E693F...
7	200	108	37	0101000020110F0000A77D04F9200651C14BBB587A1A693F...
8	200	130	34.95000076293945	0101000020110F000083A77CA9250651C10F86DF8025693F...
9	200	150	34.94900131225586	0101000020110F0000C6350F322A0651C1681E7C922E693F...
10	200	169	34.94900131225586	0101000020110F0000368B72932E0651C1E9FA23A236693FC1
11	200	189	34.948001861572266	0101000020110F00005915C212330651C1B18ABFD73F693F...
12	200	211	39	0101000020110F0000C112DAB7370651C1B5E83CDA4B693F...



### Exemplo 8 – Vamos refazer o cálculo utilizando a tabela temporária

a) Consultar o perfil e armazenar na tabela

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_utils_tmp_elevprof_getinsert(200,'drn')
```

b) Verificar a inserção

```
SELECT dra_pk, xy, z, gm  
FROM pgh_hgm.pghft_drn_elevationprofile;
```

c) Calcular a declividade

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_drn_tmp_slope_maxmin(200)
```

### Exemplo 8 – Resultados:

a)

Data Output		Messages	Notifications
pghfn_utils_tmp_elevprof_getinsert character varying			
1	OK		

b)

Data Output		Messages	Notifications
dra_pk	xy	z	gm
integer	integer	double precision	geometry
1	1	0	225.99099731445312
2	1	27	228
3	1	41	225.99000549316406
4	1	60	225.98899841308594
5	1	82	225.98899841308594
6	1	105	225.98800659179688
7	1	125	225.98699951171875
8	1	145	225.98699951171875

c)

Data Output		Messages	Notificac
pghfn_drn_tmp_slope_maxmin double precision			
1	0.01580135440180587		

### Exemplo 9 – Cálculo direto “ON-THE-FLY” da declividade

Query Query History

```
1 SELECT pgh_hgm.pghfn_drn_slope_maxmin(200)
```

Dessa forma, a consulta do perfil de elevações é realizada internamente, sem utilizar a tabela temporária

Compare o SQL das funções:

- pgh\_hgm.pghfn\_drn\_slope\_maxmin
- pgh\_hgm.pghfn\_drn\_tmp\_slope\_maxmin

### Exemplo 9 – Resultado

Data Output Messages Notificat

	pghfn_drn_slope_maxmin double precision
1	0.01580135440180587

```
SELECT  
    ( MAX(z)-MIN(z))/MAX(xy) AS slope_maxmin  
FROM  
    pgh_hgm.pghfn_drn_elevationprofile(dra_pk_)  
RETURN;
```

```
SELECT  
    ( MAX(z) - MIN(z))/MAX(xy) AS slope_maxmin  
FROM pgh_hgm.pghtb_drn_elevationprofile  
WHERE dra_pk = dra_pk_;
```

É possível verificar que a diferença está na tabela que segue a cláusula FROM.  
No primeiro caso, utiliza-se a função que calcula o perfil diretamente  
No segundo caso, utiliza-se a tabela de dados temporários

## 7.10. Exemplos avançados

### Exemplo 10 – Introdução às Dependências – Tempo de concentração + Declividade

a) Execute a função do tempo de concentração

```
SELECT *  
FROM pgh_hgm.pghfn_dra_timeofconcentration(190)
```

b) Identifique as dependências da função no SQL

c) Atualize os valores de declividade “hig\_drn\_slope\_adim” e execute novamente

### Exemplo 10 – Resultado

a) O valor retornado será -1, pois ainda não há declividade calculada em armazenada no atributo

b) Observando a função verifica-se que são necessários os atributos:

hig\_drn\_length\_km, hig\_dra\_area\_km2 (eq. de Dooge) e hig\_drn\_slope\_adim

Os dois primeiros são herdados do pghydro na inicialização das tabelas, portando é necessário atualizar “hig\_drn\_slope\_adim” antes de seguir o cálculo do tempo de concentração

```
SELECT  
  11.46 * (hig_drn_length_km^0.76)/(hig_drn_slope_adim^0.19) AS tc_army corps,  
  5.96*(hig_drn_length_km^0.6)/(hig_drn_slope_adim^0.3) AS tc_carter,  
  21.88*(hig_dra_area_km2^0.41)/(hig_drn_slope_adim^0.17) AS tc_dooge,  
  57.0 * (hig_drn_length_km^3. / (hig_drn_slope_adim+hig_drn_length_km*1000.))^0.385 AS tc_kirpich,  
  7.68*(hig_drn_length_km/(hig_drn_slope_adim^0.5))^0.79 AS tc_wattchow  
FROM  
  pgh_hgm.pghft_hydro_intel  
WHERE hig_dra_pk = dra_pk;
```

c) Podemos atualizar com um valor constante:

```
-- DRAINAGE SLOPE  
UPDATE pgh_hgm.pghft_hydro_intel  
SET  
  hig_drn_slope_adim = 0.016  
WHERE hig_dra_pk=190;
```



**Exemplo 11 – Execução do cálculo de atributos de área local “Calculate”**

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_main(  
    <ilower integer>,  
    <iupper integer>,  
    <srid_area integer>,  
    <srid_length integer>  
)
```

- a) Execute o comando para dra\_pk de 1 a 10

```
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_main(1,10,55555,5880)
```

Verifique o “Data Output” e “Messages” no pgAdmin

- b) Verifique os atributos calculados na tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel
- c) Essa função é o modelo principal de testes de execução do pghHGM. Para aprofundamento e referência, faça uma leitura do SQL

## Exemplo 11 – Resultados

a)

Data Output Messages Notifica

pghfn\_calculate\_main  
character varying

1	OK
---	----

Data Output Messages Notifications

```

NOTICE: LOOP SETUP DRA_PK = 1 - 10
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 1/10: Mon Jul 24 15:23:42.799172 2023 -03
NOTICE: --SLOPE= 0.005585644824178346
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 2/10: Mon Jul 24 15:23:44.002083 2023 -03
NOTICE: ** SKIP: NEGATIVE OR NULL SLOPE **
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 3/10: Mon Jul 24 15:23:44.468717 2023 -03
NOTICE: --SLOPE= 2.221001519097222e-05
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 4/10: Mon Jul 24 15:23:44.967259 2023 -03
NOTICE: --SLOPE= 2.2231207953559027e-05
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 5/10: Mon Jul 24 15:23:45.555642 2023 -03
NOTICE: --SLOPE= 0.006571461969181787
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 6/10: Mon Jul 24 15:23:46.339808 2023 -03
NOTICE: --SLOPE= 0.006793584283792748
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 7/10: Mon Jul 24 15:23:46.997773 2023 -03
NOTICE: --SLOPE= 0.010095772736719816
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 8/10: Mon Jul 24 15:23:47.766516 2023 -03
NOTICE: --SLOPE= 0.003732386643324441
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 9/10: Mon Jul 24 15:23:48.557451 2023 -03
NOTICE: --SLOPE= 0.002997003189504963
NOTICE: BEGIN OF PROCESS 10/10: Mon Jul 24 15:23:49.493185 2023 -03
NOTICE: --SLOPE= 0.007390202702702703
NOTICE: END OF PROCESS IN : 2023-07-24 15:23:50.275384

Successfully run. Total query runtime: 7 secs 497 msec.
Total rows: 1 of 1 Query complete 00:00:07.497
    
```

b)

Output pane

Data Output Explain Messages History

	hig_drn_pk integer	hig_drn_slope_maxmin double precision
1	1	0.0170283331074053

c)

```

SELECT *
FROM pgh_hgm.pghft_hydro_intel
WHERE hig_dra_pk IN (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10)
    
```

Data Output Messages Notifications

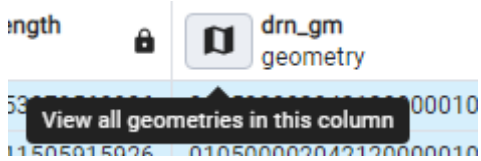
	hig_pk integer	hig_drn_pk integer	hig_dra_pk integer	hig_wtc_pk integer	hig_drn_strahler integer	hig_drn_elevation_avg double precision	hig_drn_elevation_max double precision	hig_drn_elevation_min double precision	hig_drn_elevationd double precision
1	283	283	1	2242	1	218.06119206946667	231	203.99899291992188	27.001
2	65	65	2	1007	3	13.99899959564209	13.99899959564209	13.99899959564209	
3	414	414	3	1068	5	23.99650001525879	23.996999740600586	23.996000289916992	0.00099
4	210	210	4	2127	2	15.999499797821045	16	15.99899959564209	0.0010004
5	661	661	5	604	3	35.21284169848688	49	20.999000549316406	28.000
6	558	558	6	1498	1	70.88200018439494	80	61.99700164794922	18.00
7	660	660	7	1751	1	195.79757283528645	217	179.99899291992188	37.001
8	664	664	8	637	1	222.74856921063355	230	218.98199462890625	11.01
9	672	672	9	436	3	92.46755623549558	104	82.99700164794922	21.00
10	566	566	10	1096	1	84.13888776541714	106	71	

## Exemplo 12 – Sobre área de drenagem e rio principal à montante

a) Vamos consultar os trechos do “rio principal a montante” de uma bacia

```
SELECT *  
FROM pgh_hgm.pghfn_upa_geometries_of_maindrainagelines(200)
```

b) Verifique a geometria no visualizador do pgAdmin



c) Vamos consultar as geometrias das áreas a montante de uma bacia, visualize no pgAdmin

```
SELECT *  
FROM pgh_hgm.pghfn_upa_geometries_of_upstreamdrainageareas(200)
```

d) Vamos consultar a união (UNION) ou mescla (MERGE) das geometrias com os comandos abaixo:

```
SELECT *  
FROM pgh_hgm.pghfn_upa_merge_maindrainagelines(200,3857);  
  
SELECT *  
FROM pgh_hgm.pghfn_upa_merge_upstreamdrainageareas(200,3857);
```

## 7.11. Fórmulas dos atributos do pghHGM

### 7.11.1. Profundidade em calha cheia

A profundidade média de calha cheia do trecho de drenagem é estimada por uma relação geomorfológica, do tipo, At-Many-Station Hydraulic Geometry (AMHG), estimado por Alves et al. (2023):

$$H = 0.1132A^{0.3169}$$

Onde:  $H$  é a profundidade em metros,  $A$  é a área de drenagem a montante do trecho em  $\text{km}^2$

### 7.11.2. Largura em calha cheia

A largura de calha cheia trecho de drenagem é estimada por uma relação geomorfológica, do tipo, At-Many-Station Hydraulic Geometry (AMHG), estimado por Alves et al. (2023):

$$W = 0.8554A^{0.4921}$$

Onde:  $W$  é a largura em metros,  $A$  é a área de drenagem a montante do trecho em  $\text{km}^2$

### 7.11.3. Área

A área de um polígono no plano pode ser calculada pelo somatório de áreas numa triangulação do polígono:

$$A = \left| \frac{\sum (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)}{2} \right|$$

Onde:  $x_i$  e  $y_i$  são coordenadas dos vértices do polígono.

No entanto, a extensão utiliza a função `ST_Area` do PostGIS que possui essa finalidade, além de ser seguramente robusta para trabalhar com diferentes sistemas de coordenadas.

### 7.11.4. Perímetro

O perímetro de um polígono no plano é calculado pela soma das distâncias entre cada vértice e seu vizinho.

$$P = \sum \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

Onde:  $x_i$  e  $y_i$  são coordenadas dos vértices do polígono.



No entanto, a extensão utiliza a função *ST\_Perimeter* do PostGIS que possui essa finalidade, além de ser seguramente robusta para trabalhar com diferentes sistemas de coordenadas.

#### 7.11.5. Comprimento e Distância

O comprimento de uma poli-linha no plano é calculado pela soma das distâncias entre cada vértice e seu vizinho.

$$L = \sum \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

Onde:  $x_i$  e  $y_i$  são coordenadas dos vértices da poli-linha. O cálculo de uma distância entre dois pontos é realizado da mesma maneira, considerando uma linha reta formada entre os mesmos.

No entanto, a extensão utiliza funções *ST\_Length* ou *ST\_Distance* do PostGIS que possuem essa finalidade, além de ser seguramente robustas para trabalhar com diferentes sistemas de coordenadas.

#### 7.11.6. Comprimento Total da Drenagem

O comprimento total da drenagem é a soma dos comprimentos de todos os trechos na área à montante.

$$TL = \sum_{i=1}^{N_R} L_i$$

Onde:  $N_R$  é o número de trechos de drenagem na área a montante;  $L_i$  é o comprimento do  $i$ -ésimo trecho.

#### 7.11.7. Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem é a razão entre o comprimento total de trechos pela área de drenagem, com dimensão de comprimento [ $L/L^2=L$ ], e.g.  $\text{km}/\text{km}^2=\text{km}$ .

$$DD = \frac{\sum_{i=1}^{N_R} L_i}{A}$$

Onde:  $N_R$  é o número de trechos de drenagem na área a montante;  $L_i$  é o comprimento do  $i$ -ésimo trecho  $i$ .

### 7.11.8. Densidade Hidrográfica

A densidade hidrográfica é a razão do número de trechos pela área de drenagem, resultando num índice de frequência em área [ $1/L^2$ ], e.g.  $1/km^2$ .

$$HD = \frac{N_R}{A}$$

Onde:  $N_R$  é o número de trechos de drenagem na área a montante.

### 7.11.9. Circularidade

O índice (ou razão) de circularidade da bacia é a razão entre a área da bacia e a área de um círculo que possui o mesmo perímetro da bacia (Sener, 2023). É calculado por:

$$CC = 12.57 \left( \frac{A}{P^2} \right)$$

Note que pela definição,  $2\pi R_c = P$ , logo  $R_c = \frac{P}{2\pi}$  e  $A_c = \pi \frac{P^2}{4\pi^2} = \frac{P^2}{4\pi}$

$$CC = \frac{A}{A_c} = \frac{A}{\frac{P^2}{4\pi}} = 4\pi \frac{A}{P^2} = 12.57 \left( \frac{A}{P^2} \right)$$

O valor dessa razão é igual a 1 quando o formato da bacia é um círculo perfeito (embora pouco provável), 0.785 quando a bacia é quadrada e diminuindo a medida que se torna mais alongada.

### 7.11.10. Compacidade

O índice (ou razão) de compacidade da bacia é uma razão entre o perímetro da bacia e a circunferência de uma área circular equivalente (Sener, 2023). É calculado por:

$$KC = 0.2821 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Note que pela definição,  $\pi(R_c)^2 = A$ , logo  $R_c = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ , assim:

$$KC = \frac{P}{2\pi R_c} = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \frac{P}{\sqrt{4\pi A}} = 0.2821 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

O coeficiente é igual a 1 quando a forma da bacia é um círculo perfeito (embora pouco provável), aumentando para 1.128 no caso de um quadrado e, pode exceder valores de 3 para bacias bastante alongadas.

#### 7.11.11. Comprimento axial

O comprimento axial pode ser estimado pela maior distância entre o exutório e o ponto os pontos do contorno do polígono(anel exterior) da bacia hidrográfica, em relação ao exutório.

$$L_{ring,outlet} = \max(d(p_o, p_{i \in B}))$$

Onde:  $p_o(x,y)$  é o ponto onde se localiza o exutório,  $p_i(x,y)$  são os pontos que compõe os vértices do polígono da bacia hidrográfica ( $B$ ), e  $d$  é a distância euclidiana calculada em cada par.

O PostGIS fornece funções que são facilitam esse processo, tais como *ST\_MaxDistance* e *ST\_ExteriorRing*.

#### 7.11.12. Comprimento axial – contorno exterior

O comprimento axial pode ser estimado pela maior distância entre os pares de pontos do contorno do polígono (anel exterior) da bacia hidrográfica.

$$L_{ring} = \max(d(p_{i \in B}, p_{i \in B}))$$

Onde:  $p_i(x,y)$  são os pontos que compõe os vértices do polígono da bacia hidrográfica ( $B$ ), e  $d$  é a distância euclidiana calculada em cada par.

Este atributo é útil para bacias hidrográficas sem trecho de drenagem.

#### 7.11.13. Comprimento axial – assumindo o comprimento do rio

Uma alternativa para estimar o comprimento axial é considerá-lo igual ao comprimento do rio principal da bacia hidrográfica.

$$L_{ring,outlet} = L_{river}$$

Note que, em geral, rios naturais apresentam sinuosidade então alternativa tende a fornecer uma subestimativa.

#### 7.11.14. Fator de forma (“form factor”)

O fator de forma, aqui atribuído à “forma geométrica”, é a razão entre a área e o quadrado do comprimento axial da bacia hidrográfica, dado por:

$$FF = \frac{A}{L_{ring,outlet}^2}$$

O fator de forma ( $FF$ ) é igual a 1 quando o formato da bacia é quadrado e diminui à medida que a bacia se torna mais alongada. Para bacias que se aproximam de um círculo, a razão é maior do que 1, tendendo para um valor teórico de  $4/\pi \approx 1.273$  num círculo perfeito, embora isso não ocorra em condições naturais. Na prática, uma drenagem que se assemelha a um círculo teria o comprimento axial próximo ao do diâmetro do círculo.

#### 7.11.15. Fator de forma – contorno exterior (“form fator – exterior ring”)

O fator de forma, aqui atribuído à “forma geométrica”, é a razão entre a área e o quadrado do comprimento axial da bacia hidrográfica, com valores tipicamente  $< 1$ . No caso de bacias sem drenagem, é possível estimar o valor considerando o comprimento axial estimado pelo anel exterior ou vértices do polígono da bacia hidrográfica.

$$FF_{ring} = \frac{A}{L_{ring}^2}$$

Este atributo é útil para bacias hidrográficas sem trecho de drenagem.

#### 7.11.16. Fator de forma – assumindo o comprimento do rio (“form fator – river”)

O fator de forma, aqui atribuído à “forma geométrica”, é a razão entre a área e o quadrado do comprimento axial da bacia hidrográfica, com valores tipicamente  $< 1$ . Nesse caso, aproxima-se o comprimento axial pelo comprimento do rio.

$$FF_{river} = \frac{A}{L_{river}^2}$$

#### 7.11.17. Gradiente do canal

O gradiente do canal é uma medida de declividade do canal, representada em m/km. A declividade é a razão entre o desnível de elevação e o comprimento ao longo de um caminho.

Na extensão, a abordagem escolhida foi considerar o desnível entre o ponto inicial e o ponto final de um perfil de elevação ao longo do percurso do rio.

Seja o perfil de elevação com “n” cotas “z” e a distâncias “s” ao longo do percurso, ordenados de montante para jusante, então:

$$RG = -1000 \cdot \frac{(z_n - z_0)}{(s_n - s_0)} = -1000 \cdot \frac{\Delta z_{n0}}{\Delta s_{n0}}$$

Onde:  $z_0$  e  $z_n$  são as cotas altimétricas, em metros;  $s_0$  e  $s_n$  as distâncias, em metros; no ponto inicial ( $i=0$ ) e final ( $i=n$ ). O fator de 1000 converte de m/m para m/km e o sinal negativo faz um ajuste para que a declividade seja, em geral, positiva no sentido de escoamento natural dos rios.

#### 7.11.18. Razão de relevo

A razão de relevo compara o desnível (de elevação) da bacia hidrográfica e o comprimento axial da bacia hidrográfica.

A razão de relevo também é uma medida similar a declividade, representada em m/m.

Nesse caso, adota-se o desnível entre os valores máximo e mínimo dos pixels de elevações da bacia hidrográfica, e o comprimento axial pela distância máxima entre o exutório e anel exterior da bacia.

$$RR = \frac{\max(z) - \min(z)}{L_{ring,outlet}} = \frac{\Delta z_{max,min}}{L_{ring,outlet}}$$

Onde:  $z$  é o vetor de cotas altimétricas da bacia hidrográfica;  $L$  é o comprimento axial da bacia hidrográfica.

#### 7.11.19. Razão de relevo – anel exterior + exutório (“relief ratio -

A razão de relevo compara o desnível (de elevação) da bacia hidrográfica e o comprimento axial da bacia hidrográfica.

A razão de relevo também é uma medida similar a declividade, representada em m/m.

Nesse caso, adota-se o desnível entre os valores máximo e mínimo dos pixels de elevações da bacia hidrográfica, e o comprimento axial pela distância máxima entre pares de pontos no anel exterior da bacia.

$$RR = \frac{\max(z) - \min(z)}{L_{ring}} = \frac{\Delta z_{max,min}}{L_{ring}}$$

Onde:  $z$  é o vetor de cotas altimétricas da bacia hidrográfica ;  $AL$  é o comprimento axial da bacia hidrográfica.

#### 7.11.20. Razão de relevo – assumindo o comprimento do rio (“relief ratio – river”)

A razão de relevo compara o desnível (de elevação) da bacia hidrográfica e o comprimento axial da bacia hidrográfica.

A razão de relevo também é uma medida similar a declividade, representada em m/m.

Nesse caso, adota-se o desnível entre os valores máximo e mínimo dos pixels de elevações da bacia hidrográfica, e o comprimento axial sendo o comprimento do rio.

$$RR = \frac{\max(z) - \min(z)}{L_{river}} = \frac{\Delta z_{max,min}}{L_{river}}$$

Onde:  $z$  é o vetor de cotas altimétricas da bacia hidrográfica ;  $AL$  é o comprimento axial da bacia hidrográfica.

#### 7.11.21. Sinuosidade

O coeficiente de sinuosidade do rio é um adimensional, dado pela razão entre o comprimento do canal principal e a distância em linha reta entre os dois pontos extremos (Luchisheva 1950 apud Zavoianu 1985).

$$SS = \frac{L}{d(p_0, p_n)}$$

Onde:  $L$  é o comprimento do canal principal,  $d(p_0, p_n)$  é a distância entre  $p_0, p_n$  que são os pontos inicial e final, vértices extremos do trecho em consideração.

A sinuosidade tende a apresentar valores próximos a 1,2 em bacias com terreno mais íngreme, em cabeceiras, e os valores aumentam a medida que a geomorfologia evolui para regiões mais planas, por exemplo, com valores de 1,8 para rios com muitos meandros.

#### 7.11.22. Shape factor

Em publicação recente, Serne (2023) descreve o “shape factor” como sendo o inverso do “form factor”, portanto, as fórmulas são as mesmas, mas invertendo o numerador pelo denominador. Em português, a diferença semântica não permite uma boa diferenciação. Em inglês, é possível debater que o “shape” tipicamente se refere uma forma geométrica em plano fixo, enquanto “form” não apresenta essa restrição. Nesse sentido, a nomenclatura por “shape factor” é mais atrativa.

$$SF_i = \frac{L_i^2}{A}$$

### 7.11.23. Tempo de Concentração

O tempo de concentração é um atributo tipicamente utilizado em hidrologia de projeto, na estimativa do tempo de resposta de uma bacia hidrográfica e, finalmente, na definição da duração de eventos de chuva necessários para elaboração dos estudos hidrológicos. Para este fim, existem diferentes equações para cálculo de tempo de concentração, como as descritas a seguir.

Nessas equações o tempo de concentração é dado em minutos.

Onde:  $S$  é a declividade (m/m, adimensional),  $L$  é o comprimento do trecho (km),  $A$  é a área de drenagem (km<sup>2</sup>) e  $\Delta z$  é a diferença de elevação ao longo do rio principal (m).

*Equação U.S. Army Corps*

$$t_c = 11.46 \frac{L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

*Equação de Carter*

$$t_c = 5.96 \frac{L^{0.6}}{S^{0.3}}$$

*Equação de Dooge*

$$t_c = 21.88 \frac{A^{0.41}}{S^{0.17}}$$

*Equação de Kirpich*

$$t_c = 57 \left( \frac{L^3}{\Delta z} \right)^{0.385}$$

*Equação de Watt & Chow*

$$t_c = 7.68 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.79}$$

*Equação de George Ribeiro (p=0.6)*

$$t_c = \frac{16L}{(1.05 - 0.2p)(100S)^{0.04}}$$



*Equação de Pasini*

$$t_c = 60(0.107) \frac{(AL)^{1/3}}{S^{0.5}}$$

*Equação de Ventura*

$$t_c = 60(0.127) \left(\frac{AL}{S}\right)^{0.5}$$

*Equação de DNOS (K=1)*

$$t_c = \frac{10}{K} \left( \frac{A^{0.3} L^{0.2}}{(100S)^{0.4}} \right)$$

#### 7.11.24. Declividade do canal principal

A declividade é a razão entre o desnível de elevação e o comprimento ao longo do percurso do canal principal. Existem diferentes formas de abordar essa operação.

##### *Declividade do rio – maxmin*

Na extensão, o método denominado “maxmin” calcula o desnível considerando os valores de elevação máximo e mínimo encontrados no perfil de elevação.

$$S_{maxmin} = \frac{(\max(z) - \min(z))}{L} = \frac{\Delta z_{maxmin}}{L}$$

Onde:  $z$  são os valores de elevação no perfil,  $s$  são as distâncias ao longo do percurso, ordenados de montante para jusante;  $L$  é o comprimento do trecho.

Note que ao considerar o valor máximo da distância, o cálculo pressupõe que as distâncias em  $s$  sejam ordenadas de zero até o valor máximo.

##### *Declividade do rio – pipf*

Na extensão, o método denominado “pipf” calcula o desnível considerando os valores de elevação no ponto inicial e ponto final encontrados no perfil de elevação.

$$S_{pipf} = -\frac{(z_n - z_0)}{L}$$

Onde:  $z_0$  e  $z_n$  são as cotas altimétricas, em metros;  $s_0$  e  $s_n$  as distâncias, em metros; no ponto inicial ( $i=0$ ) e final ( $i=n$ ), ordenados de montante para jusante. O sinal negativo faz um ajuste para que a declividade seja positiva, no sentido de escoamento natural dos rios;  $L$  é o comprimento do trecho.

##### *Declividade do rio – regressão linear*

A regressão linear representa um conjunto de dados por uma equação de reta. Assim, quando aplicada a um perfil de elevações, o coeficiente angular da equação representa a declividade.

$$\hat{z} = az(\vec{x}) + b + \varepsilon$$

$$S_{reg} = a$$

Onde:  $z$  são as cotas altimétricas, em metros; onde  $a$  é o coeficiente angular (inclinação) e  $b$  é o coeficiente linear (ou interceptação).

### Declividade do rio – percentil s1585

Na extensão, o método denominado “percentil s1585” calcula o desnível considerando os valores de elevação nos percentis 15 e 85, ao longo do percurso do perfil de elevação.

$$S_{s1585} = - \frac{(z(s_{15\%}) - z(s_{85\%}))}{(s_{85\%} - s_{15\%})}$$

Onde:  $s_{15\%}$  e  $s_{85\%}$  são as distâncias (em metros) localizadas em 15% e 85% do total do percurso, ordenados de montante para jusante. O sinal negativo faz um ajuste para que a declividade seja positiva, no sentido de escoamento natural dos rios

Esse método é similar ao apresentado em livros textos, da seguinte forma:

$$S_{s1585} = - \frac{(z(s_{85\%}) - z(s_{15\%}))}{0.70L}$$

A Figura 22 demonstra o funcionamento do método que não deve ser confundido com o método do “percentil z1585”, descrito mais adiante.

Existe uma limitação relacionada a identificação dos percentis 15 e 85 ao longo do trecho. Para obter a precisão desses percentis, são necessários pelo menos 20 pontos em intervalos de 5%. Dessa forma, o cálculo com menos pontos na extensão não é confiável. Uma solução parcial é implementar a interpolação de dados, embora isso não resolva os problemas, além de aumentar o custo computacional.

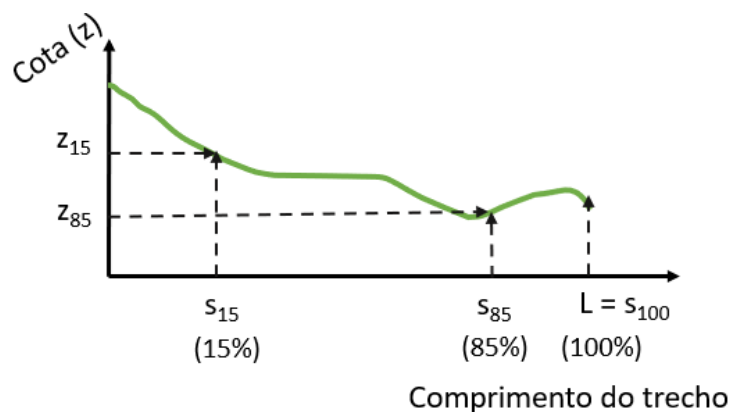


Figura 22. Ilustração das cotas de elevação no percentil s1585

### Declividade do rio – z1585

Na extensão, o método denominado “percentil z1585” calcula o desnível considerando os percentis 15 e 85 dos valores de elevação do perfil de elevação.

$$S_{z1585} = \frac{(z_{15\%} - z_{85\%})}{L}$$

Onde:  $z_{15\%}$  e  $z_{85\%}$  são os percentis 15 e 85 do perfil elevação e  $L$  é o comprimento do percurso. O sinal negativo faz um ajuste para que a declividade seja positiva, no sentido de escoamento natural dos rios.

Este método tende a reduzir problemas associados a pares espúrios, quando na utilização de valores extremos (e.g. maxmin) ou em posições fixas (e.g. *pipf*, *s15-85*), pois ainda existem limitações na qualidade de dados nos modelos digitais de elevação e terreno. Por outro lado, o cálculo dos percentis exige ordenamento dos dados, tendo um custo computacional adicional.

Nesse método também existe uma limitação relacionada a identificação dos percentis 15 e 85 das elevações. Para obter a precisão desses percentis, são necessários pelo menos 20 pontos em intervalos de 5%. Dessa forma, o cálculo com menos pontos na extensão não é confiável. Uma solução parcial é implementar a interpolação de dados, embora isso não resolva os problemas, além de aumentar ainda mais o custo computacional.

#### *Declividade do rio – declividade ponderada*

Na extensão, o método de ponderação (em inglês, “weighted”) é baseado na descrição de Garcez & Alvarez (1988) por:

[...] “Linha  $d_2$  – que determina uma área entre esta e o eixo das abcissas igual a área compreendida entre a curva do perfil e o mesmo eixo”[...] – Garcez & Alvarez (1988)

Esse método pode ser facilmente compreendido com apoio das figuras elaboradas a seguir (Figura 23). Suponha um perfil de elevações dado pelo traçado da linha azul acima da área preenchida em verde. De acordo com a descrição, a linha da declividade ponderada é aquela que equaliza a área em verde (à esquerda) com a área de um triângulo em azul (à direita).

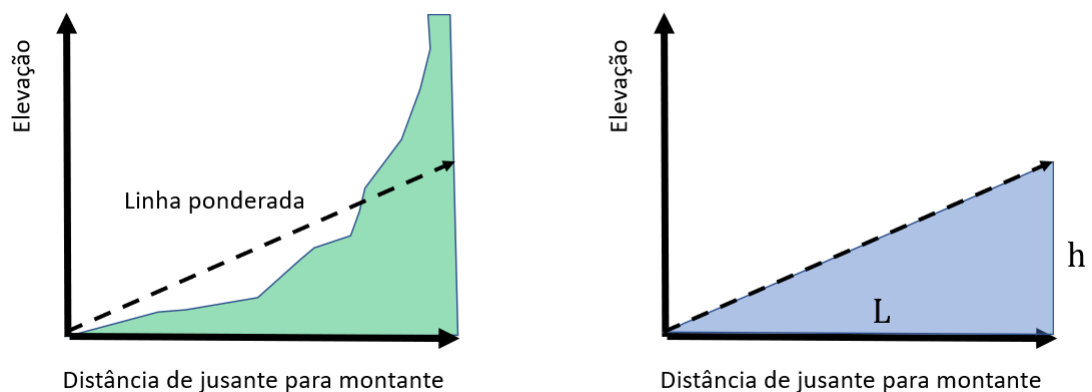


Figura 23. Ilustração conceitual para estimativa da declividade ponderada

Da geometria básica, a área do triângulo é dada por:

$$A_{\Delta} = \frac{Lh}{2}$$

Por outro lado, a área do polígono traçado pelo perfil longitudinal em relação a abcissa (i.e., eixo-x) pode ser calculado por:

$$A_P = \int_0^L z(s) ds$$

Onde:  $z$  são elevações, e as coordenadas- $s$  de  $0$  a  $L$ , ao longo do perfil.

Uma vez que os dados coletados do perfil longitudinal são discretos, a solução dessa integral pode ser realizada numericamente, por exemplo, utilizando o método dos trapézios.

$$A_P = \sum_{k=1}^N \frac{z_{k+1} + z_k}{2} (s_{k+1} - s_k)$$

Da equação do triângulo temos a declividade dada por:

$$h = \frac{2A_{\Delta}}{L}$$

Ao igualar as áreas então a estimativa é realizada da seguinte forma:

$$S_w = \frac{h}{L} = \frac{2}{L^2} \int_0^L z(s) ds$$

$$S_w = \frac{h}{L} = \frac{2}{L^2} \sum_{k=1}^N \frac{z_{k+1} + z_k}{2} (s_{k+1} - s_k)$$

$$S_w = \frac{h}{L} = \frac{1}{L^2} \sum_{k=1}^N (z_{k+1} + z_k) (s_{k+1} - s_k)$$

A equação acima é apropriada para situações em que a cota inicial do perfil de elevações é zero.

Assim, para aplicar o método em trechos que iniciam em outras cotas, basta inicializar o processo zerando a referência, por exemplo, subtraindo o valor mínimo do perfil. Nesse caso, reescreve-se:

$$S_w = \frac{1}{L^2} \sum_{k=1}^N [z_{k+1} + z_k - 2 \min(z)] (s_{k+1} - s_k)$$

A presença de declividades incrementais (entre  $k$  e  $k+1$ ) negativas não é um problema para o método, mas aparenta não ter sido pensado para tratar situações adversas que podem acontecer devido a artefatos (e.g. degraus) em modelos digitais de

elevação. Os resultados dessa técnica tendem a ser mais adequados em trechos sem aclives.

#### *Declividade do rio – declividade harmônica equivalente*

De acordo com Tucci (1998,2003) é possível estimar uma declividade constante cujo tempo de translação da onda, para o mesmo comprimento do curso de água seria igual ao do perfil natural. Essa declividade é baseada na relação de Chezy para o escoamento em canais aberto, considerando que a velocidade é proporcional à raiz quadrada da declividade. O cálculo é dado por:

$$S_{harm} = \left( \frac{L}{\sum \frac{l_k}{S_k^{0.5}}} \right)^2$$

Onde:  $L$  é comprimento total do trecho,  $l_k$  e  $S_k$  são o comprimento e a declividade em cada subtrecho  $k$ .

Tomando um perfil longitudinal composto por  $k=1..N$  pontos, é possível aproximar numericamente por:

$$S_{harm} = \left( \frac{L}{\sum \left[ (S_{k+1} - S_k) \left( \frac{S_{k+1} - S_k}{z_{k+1} - z_k} \right)^{0.5} \right]} \right)^2$$

Esse método não é aplicável em casos de declividade nula, pois quando  $z_{k+1} - z_k = 0$ , o denominador resulta na operação “divisão por zero” que é indefinida. Uma forma de adaptar o método é ignorar os intervalos de declividade nula no cálculo. Uma alternativa é quantificar o número de declividades nulas existentes e adotar a declividade nula por algum critério. Por esses motivos, esse método tende produzir resultados mais instável que os demais, sobretudo quando a drenagem se encontra ou passa por trechos planos. Assim, o método pode ser mais representativo para trechos de drenagem de grande extensão previamente filtrados, ou em resolução tal, que garanta a redução de elevações montante para jusante, sem aclives e trechos planos.

#### 7.11.25. Desnível de elevação

O desnível de elevação é a diferença entre os dois valores de elevação utilizados nos cálculos de declividade, já apresentados anteriormente. Entretanto, no PGH-HGM utiliza-se o desnível equivalente, multiplicando a declividade pelo comprimento do trecho.

$$\Delta z_m = L \cdot S_m(s, z)$$

Onde  $S_m(s,z)$  é a declividade obtida pela aplicação de um método “m”, a partir dos perfil longitudinal dado pelas distâncias (s) declividades (z); e L é o comprimento do trecho.

### 7.11.26. Estatísticas de elevação

Algumas estatísticas descritivas, obtidos de um perfil de elevação podem ser calculados.

*Elevação Média*

$$\bar{z} = \sum_{i=1}^n \frac{z_i}{n}$$

*Elevação Mínima*

$$z_{min} = \min (z)$$

*Elevação Máxima*

$$z_{max} = \max (z)$$

### 7.11.27. Propagação de onda em rios

Muitas vezes há interesse em saber quanto tempo leva para uma onda de cheia se deslocar de um ponto a outro. Quando há dados fluviométricos, o tempo pode ser medido comparando os momentos em que ocorrem os picos do hidrograma em diferentes locais. A estimativa pode ser realizada, também, a partir da velocidade de propagação da onda (i.e. celeridade). Por exemplo, se numa determinada situação a celeridade é de 2 m/s, então a onda percorreria 1 km em 500 segundos.

*Celeridade de onda cinemática*

A celeridade de onda cinemática pode ser aproximada com informações da seção transversal, utilizando a equação de manning:

$$u = \frac{S_0^{1/2} R^{2/3}}{n}$$

Para um canal retangular:

$$c_k = \frac{5}{3}u$$

Onde:  $u$  é a velocidade média do escoamento (m/s),  $S_0$  é a declividade do trecho (m/m),  $R$  é o raio hidráulico (m),  $n$  é o coeficiente de manning,  $c$  é a celeridade em (m/s). Para grandes rios, onde pode se considerar que a largura é muito maior do que a profundidade, o raio hidráulico pode ser aproximado por  $R = h$ , onde  $h$  é a altura da lâmina d'água.

Assim, o tempo de propagação de onda pode ser expresso por:

$$t = \frac{L}{c_k}$$



Onde:  $L$  é o comprimento do trecho.

#### *Celeridade de onda dinâmica*

Em situações em que as forças de pressão podem ser importantes, por exemplo, em canais de baixa declividade e reservatórios compridos rasos, ondas dinâmicas que se atenuam pode se deslocar a montante e a jusante. A celeridade da onda dinâmica pode ser aproximada num canal retangular por:

$$c_d = \sqrt{gh}$$

Onde:  $g$  é a aceleração da gravidade 9,81 m/s;  $h$  é a altura da lâmina d'água.

Por exemplo, num canal retangular em que a velocidade é 2,8 m/s e a profundidade (altura) do escoamento é de 2,9 m. A celeridade cinemática é de 4,7 m/s e a celeridade dinâmica é de 5,3 m/s. Isso significa que a velocidade de propagação da onda dinâmica para montante é de -0,6 m/s (=4,7-5,3 m/s) e para jusante é de 10 m/s (=4,7+5,3 m/s).

Esse exemplo demonstra que a onda se desloca mais rápido do que a velocidade média do canal, enquanto existe uma propagação de baixa velocidade (que se atenua rapidamente) para montante.

### 7.11.28. Tempo de viagem e dispersão longitudinal - Modelo de Jobson

O trabalho intitulado “*Prediction of Traveltime and Longitudinal Dispersion in Rivers and Streams*” desenvolvido por Harvey Jobson (Jobson, 1996) fornece equações úteis para estimar o tempo de viagem de poluentes em rios. O modelo desenvolvido por Jobson foi baseado em dados de 422 seções transversais de mais de 60 rios nos Estados Unidos, em diferentes condições hidrológicas, com vazões de 1 a 11000 m<sup>3</sup>/s e trechos de drenagem com declividades de 0.01 m/km a 36 m/km. A partir de experimentos com traçadores, Jobson identificou relações empíricas para a velocidade de pico da concentração da pluma, em função da declividade, área de drenagem e condição de vazão.

A Figura 24 ilustra o conjunto de dados e o traçado de duas equações que constituem o envelope principal do Modelo de Jobson, descritas a seguir.

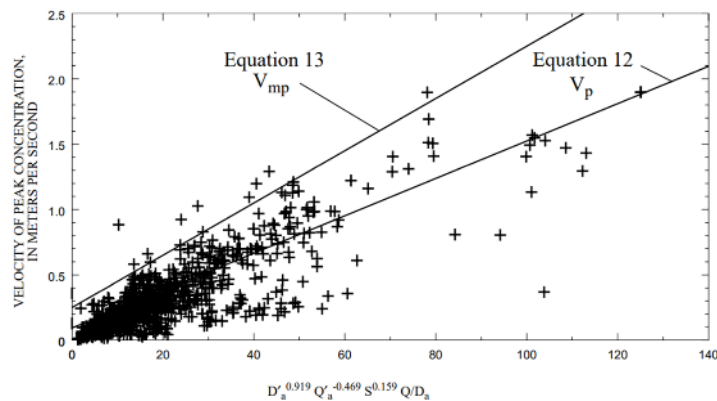


Figure 9. Plot of velocity of the peak concentration as a function of dimensionless drainage area, relative discharge, slope, local discharge, and drainage area.

Figura 24. Modelo empírico de Jobson para velocidade de pico de concentração (Jobson, 1996)

$$V_p = 0.094 + 0.0143(A')^{0.919}(Q')^{-0.469}(S)^{0.159} \frac{Q}{A}$$

$$V_{mp} = 0.25 + 0.02(A')^{0.919}(Q')^{-0.469}(S)^{0.159} \frac{Q}{A}$$

Onde:  $V_p$  é a velocidade de pico (m/s),  $V_{mp}$  (m/s) é a velocidade máxima provável,  $A$  é a área de drenagem, em metros quadrados (m<sup>2</sup>),  $S$  (m/m) é a declividade do trecho,  $Q$  a vazão no evento (m<sup>3</sup>/s).

Essas equações contêm termos adimensionais  $A'$  e  $Q'$  que dependem da aceleração da gravidade ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ) e  $Q_m$  a vazão média anual em m<sup>3</sup>/s, descritos por:

$$A' = \frac{A^{1.25} \sqrt{g}}{Q_m} \quad \text{e} \quad Q' = \frac{Q}{Q_m}$$

A partir dessas estimativas de velocidade de pico e velocidade máxima provável e sabendo o comprimento do trecho ( $L$ ), é possível estimar o tempo de pico e tempo de pico mínimo provável.

$$T_p = \frac{L}{V_p} \quad \text{e} \quad T_{mp} = \frac{L}{V_{mp}}$$

As análises de Jobson indicaram que o tempo de pico e o tempo de chegada da pluma estão altamente correlacionados (Figura 25), sendo possível utilizar uma relação empírica da seguinte forma:

$$T_{le} = 0.890 T_p$$

Onde:  $T_{le}$  é o tempo de chegada da pluma (em inglês, "leading-edge"). Essa equação pode ser aplicada também para  $T_{mp}$ .

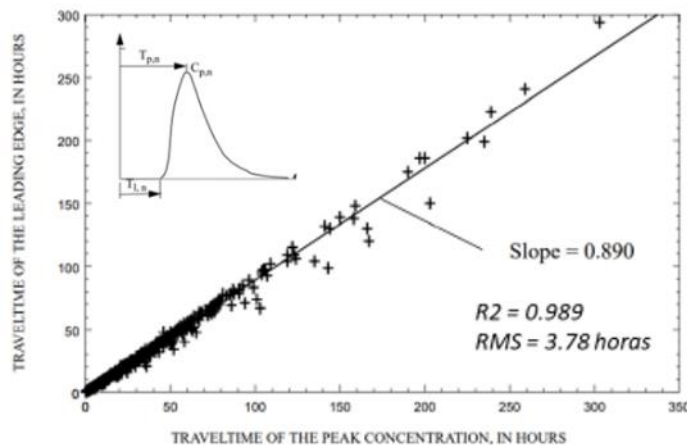


Figure 12. Plot of the time from injection to the first arrival of the leading edge of the tracer cloud as a function of the traveltime of the peak concentration.

Figura 25 Modelo empírico de Jobson para o tempo de chegada da pluma (Jobson, 1996)

Assim, a estimativa dos atributos do Modelo de Jobson pode ser realizada com os seguintes passos:

1. Calcular adimensionais ( $Q'$ ,  $A'$ )
2. Calcular as velocidades:  $V_p$  e  $V_{mp}$
3. Calcular os tempos de pico:  $T_p$  e  $T_{mp}$
4. Calcular os tempos de chegada:  $T_{le}$

Assim o modelo de Jobson tem como requisito os seguintes atributos:

- Área de drenagem ( $A$ )
- Vazão do evento ( $Q$ )
- Vazão média anual ( $Q_m$ )
- Declividade do trecho ( $S$ )
- Comprimento do trecho ( $L$ )





## 8. Exemplo de Aplicação

Esse capítulo tem como objetivo ilustrar a sequência de passos para a aplicação do PGH-HGM v2.2.4. O processo é realizado em:

- Coleta da base de dados espaciais da BHAÉ ou BHO na área de bacia de interesse.

Links e bases possíveis.

- BHO 2017 Multiescalas  
<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>
  - BHAÉ  
<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/8ad07d33-1677-481d-bc61-ed5ca204926f>
  - BHO 6 Multiescalas:  
<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/32e309da-a8c1-443f-90ac-0cd79ce6a33d>
- Execução do pgHydro, a partir do plugin pgHydro Tools no QGIS
  - Execução do PGH-HGM
    - Importar MDE de elevações
    - Executar função de inicialização
    - Executar funções de pré-processamento
    - Executar funções de cálculo de atributos
    - Executar função de pós-processamento
    - Visualizar e/ou exportar base geoespacial

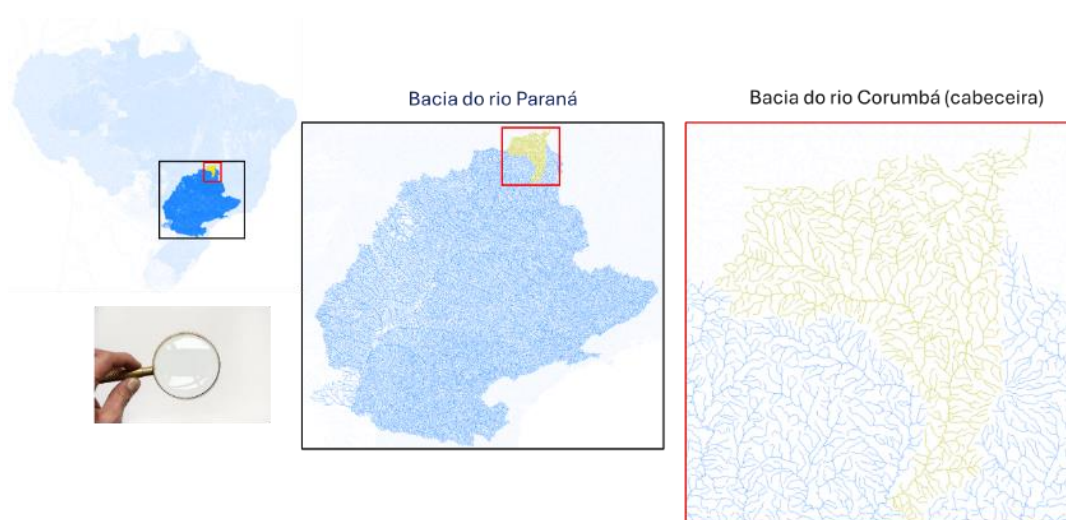


Figura 26. Exemplo ilustrativo na BHAÉ. Os dados de trecho de drenagem e área de contribuição local de interesse devem ser selecionados e exportados em ambiente SIG para utilização no pgHydro.

## 8.1. pgHydroTools

O PgHydro Tools pode ser instalado no QGIS a partir da própria interface de plugins (Figura 27), sendo anexado a barra de ferramentas Database (ou Banco de Dados) conforme demonstrado na Figura 28.

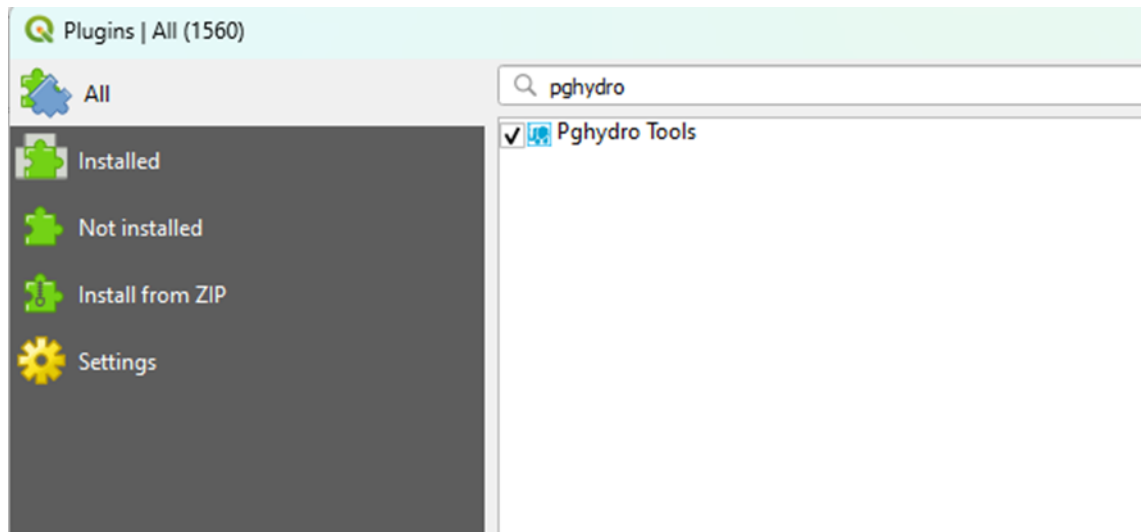


Figura 27. Instalação do plugin Pghydro Tools na interface do QGIS

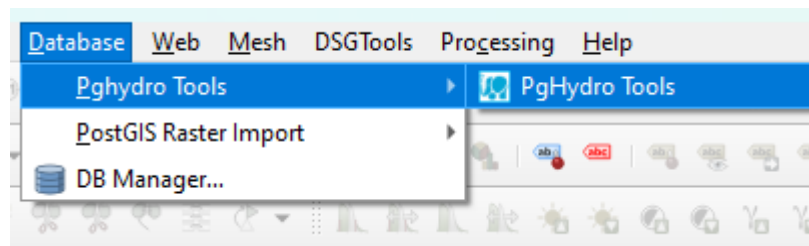


Figura 28. Pghydro Tools na barra de ferramentas do QGIS



O Pghydro Tools realiza uma sequência de processamentos e cálculos para gerar uma base de dados hidrográfica consistente, utilizado como padrão na ANA. A Figura 29 apresenta a primeira etapa, que é a criação da base de dados espaciais com o esquema pghydro. A seguir, os dados de trecho de drenagem e área de contribuição local devem ser importados para esse banco de dados, por exemplo, utilizando a ferramenta DB Manager no QGIS (Figura 30).

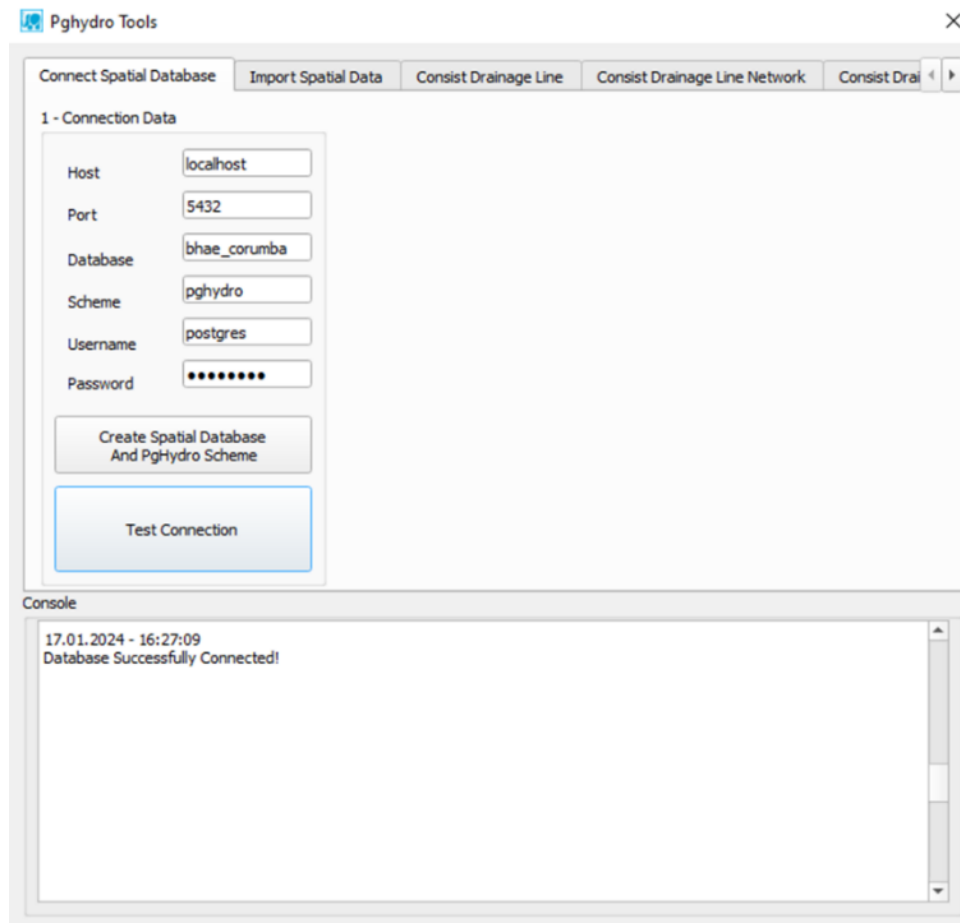


Figura 29. Janela principal do Pghydro Tools no QGIS

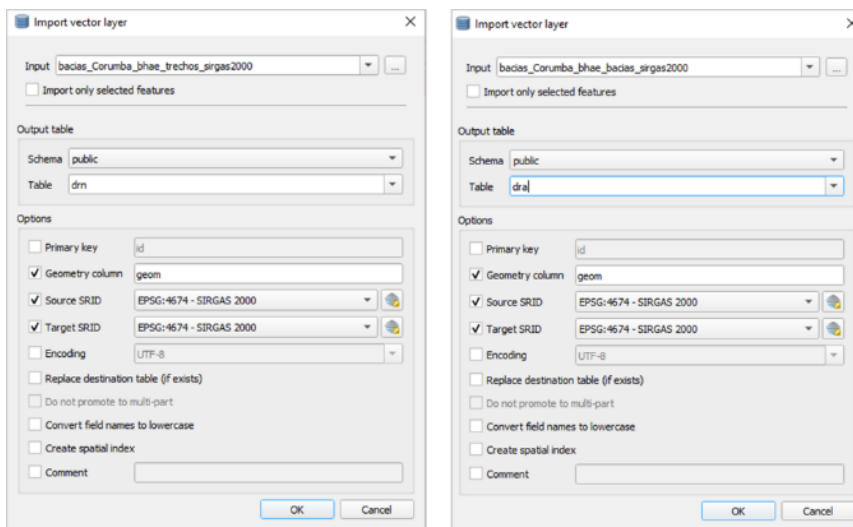
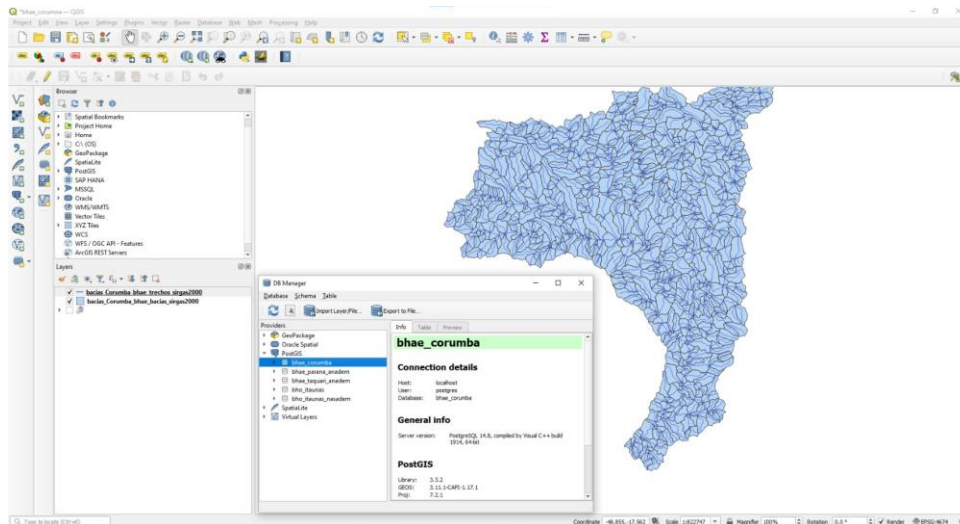


Figura 30. Importação de trechos de drenagem e áreas de contribuição no pgHydro Tools.

A partir desse ponto a execução dos demais pontos do pgHydro é um processo bastante “linha reta”, sobretudo ao utilizar dados coletados na BHAIE e BHO do metadados da ANA. A Figura 31 ilustra as tabelas espaciais de trecho de drenagem (pghft\_drainage\_line), área de contribuição local (pghft\_drainage\_area) e pontos de drenagem (pghft\_drainage\_point) obtidos no processo sequencial de consistência hidrográfica. Por fim, a Figura 32 ilustra a etapa final do pgHydro, onde realiza-se os a atualização final de cálculo, tais como codificação, indexação topológica, cálculos de áreas e comprimentos.

O pgHydro fornece algumas funcionalidades adicionais, mas para o PGH-HGM é necessário que a base tenha sido processada no pgHydro pelo menos até esse ponto.

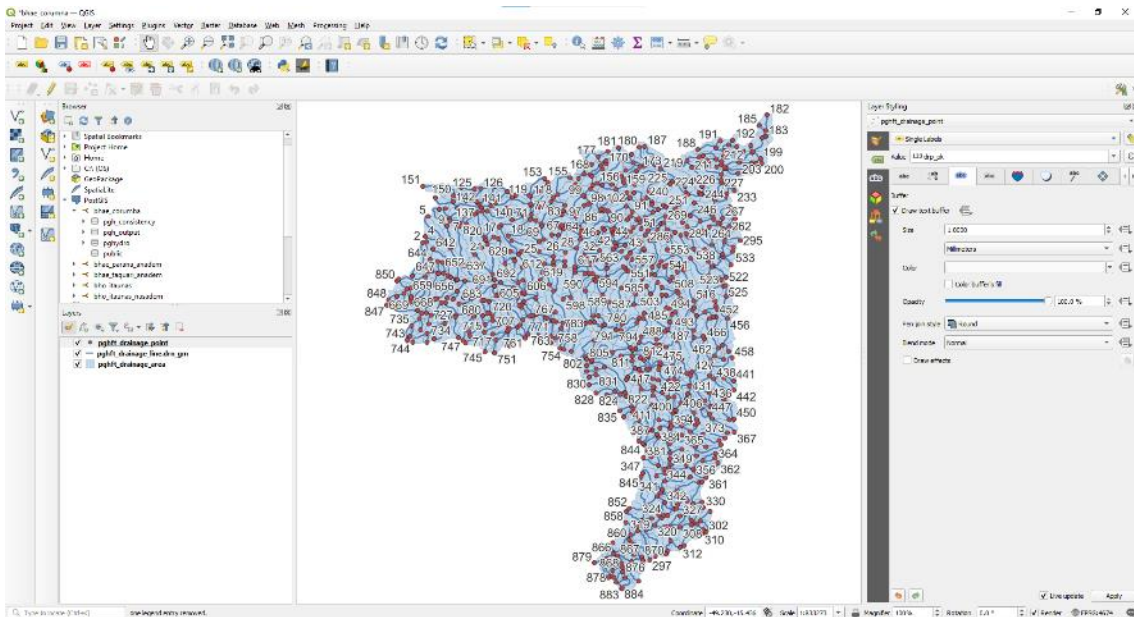


Figura 31. Ilustração de feições de trecho de drenagem, área de contribuição local e pontos de drenagem obtidos no pgHydro.

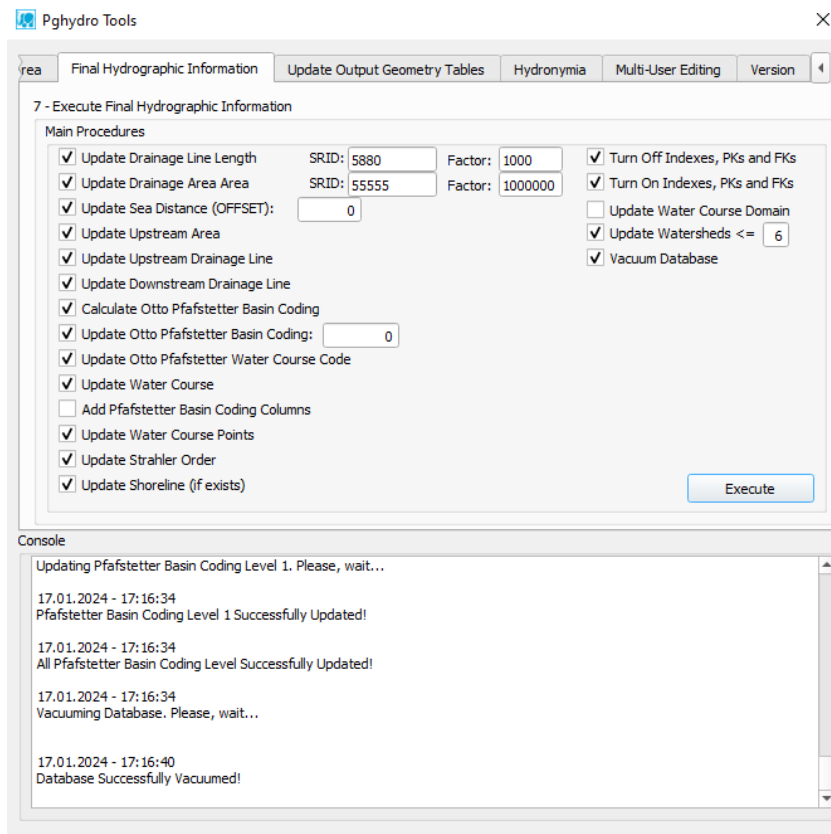


Figura 32. Finalização das informações hidrográficas do PgHydro Tools

## 8.2. PGH-HGM

Para execução do PGH-HGM é necessário que a base hidrográfica tenha sido preparada utilizando o pgHydro.

A partir desse ponto, para calcular atributos que derivam de dados de elevação (i.e., perfis de elevação, estatísticas, fator de relevo, declividades, etc.) é necessário coletar e inserir o modelo digital de elevação, na tabela `pgh_raster.pgprt_elevation`. Uma forma de coletar os dados é apresentada na figura Figura 33, utilizando o Google Earth Engine.

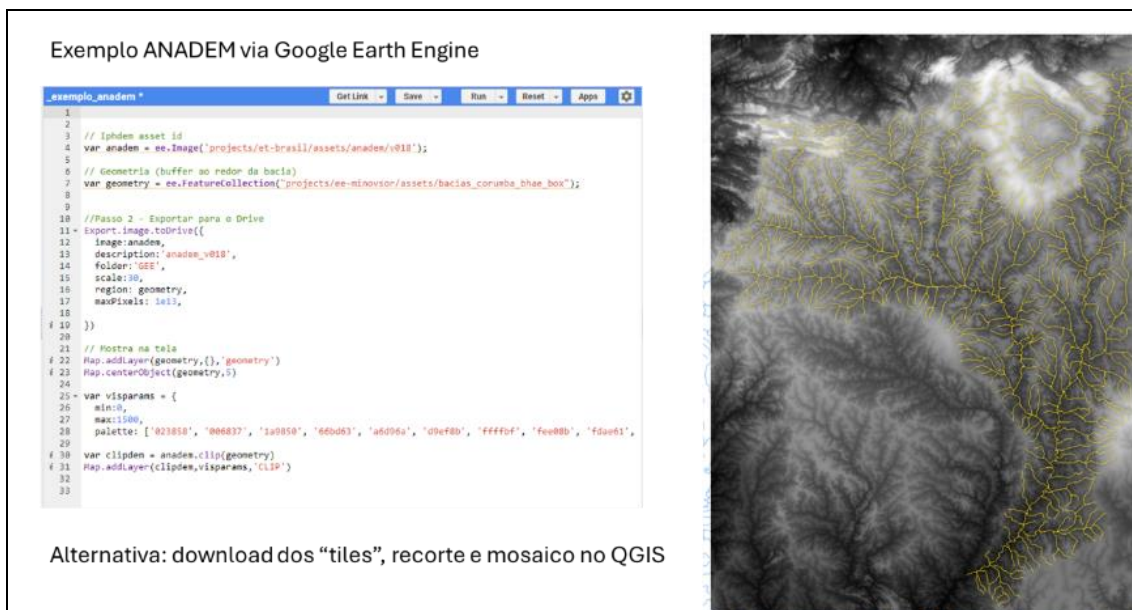


Figura 33. Exemplo de coleta de dados de elevação do ANADEM, via GEE.

Para trabalhar com os dados raster é necessário ativar as extensões `postgis_raster` e `pgh_raster` (Figura 34). A inserção no banco de dados é realizada com a ferramenta `raster2pgsql`, sendo necessário utilizar a projeção UTM, sendo recomendado o EPSG:3857 (Figura 36). A extensão do PGH-HGM é carregada de maneira similar (Figura 35).

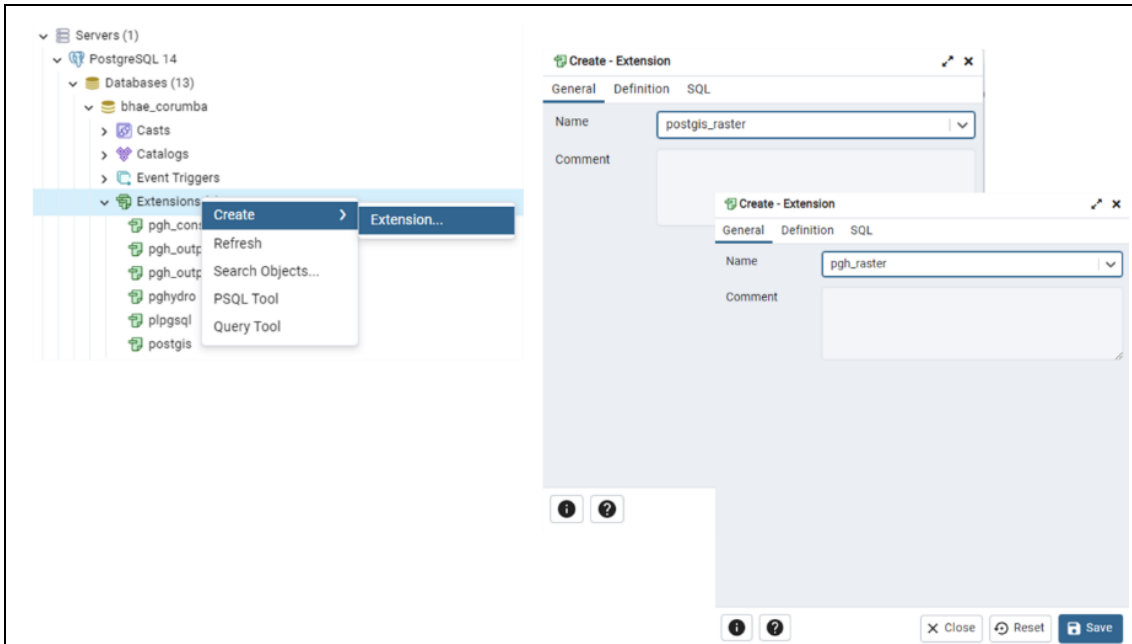


Figura 34. Ativando extensões `postgis_raster` e `pgh_raster` no pgAdmin4 no banco de dados

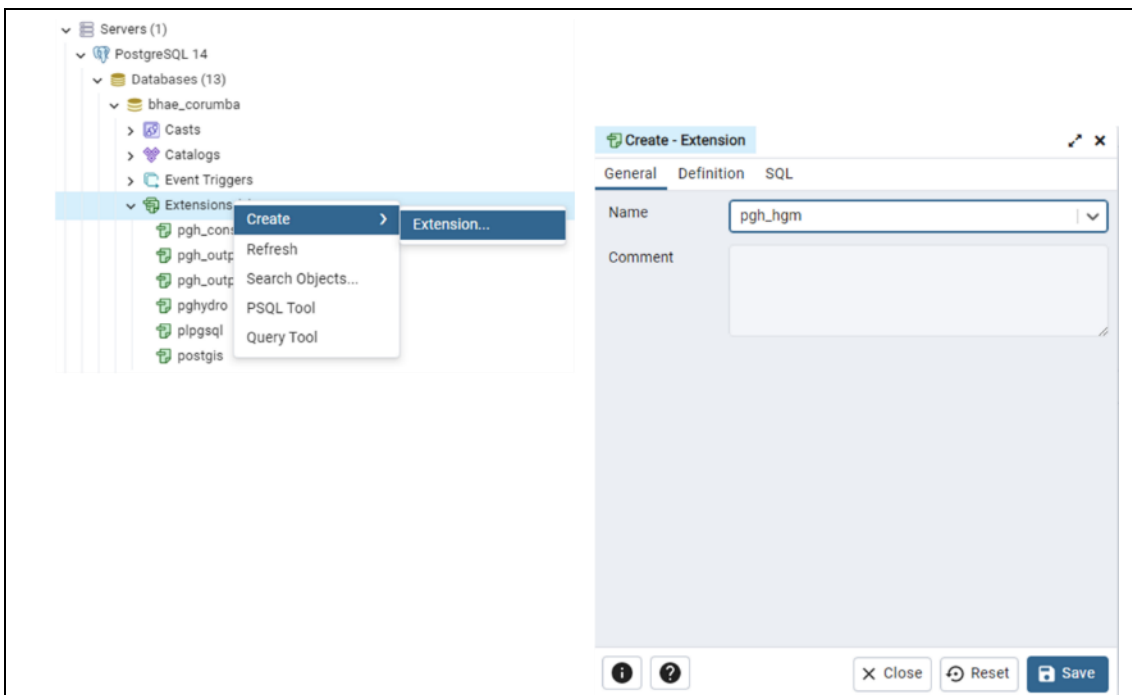


Figura 35. Ativando a extensão `pgh_hgm` no pgAdmin4

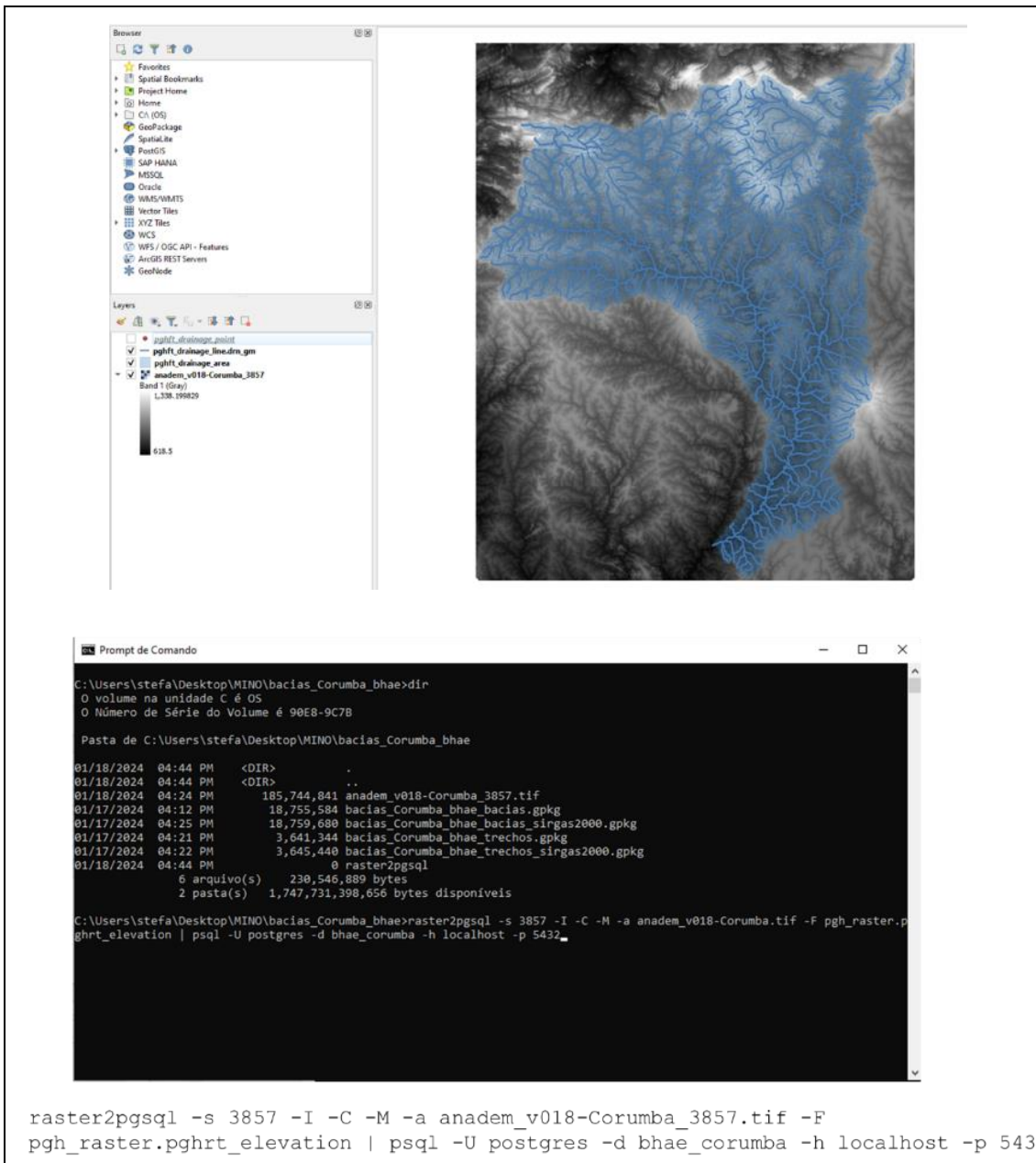


Figura 36. Inclusão do modelo digital de elevação no banco de dados

A execução do PGH-HGM é bastante simples. A primeira etapa é a inicialização de tabelas com a função `pgh_hgm.pghfn_tables_initialize()` (Figura 37), que faz o preenchimento inicial da tabela principal `pgh_hgm.pghft_hydro_intel` com informações que permitem a interação com a base hidrográfica do pgHydro.

The screenshot illustrates the process in two steps:

- Step 1:** In the pgAdmin 4 Object Explorer, the user navigates to the `pgh_hgm` schema and selects the `pghfn_tables_initialize()` function.
- Step 2:** The function is executed in the Query tool. The query is `SELECT pgh_hgm.pghfn_tables_initialize();`. The result shows a message "OK" and a list of tables: `pgft_drn_elevationprofile`, `pgft_hydro_intel`, and `pgft_upn_elevationprofile`.

The main data output table is as follows:

	hig_pk integer	hig_dm_pk integer	hig_drn_pk integer	hig_wtc_pk integer	hig_dm_strahler integer	hi di
1	292	292	882	234	3	
2	304	304	879	234	3	
3	103	103	278	234	4	
4	736	736	770	234	4	
5	25	25	602	234	4	
6	129	129	279	234	4	
7	842	842	840	234	5	
8	95	95	255	234	4	
9	181	181	825	234	5	
10	660	660	23	234	4	
11	220	220	236	234	5	
12	299	299	802	234	4	

Tabela principal "pghft\_hydro\_intel"

Figura 37. PGH-HGM: inicialização de tabelas

A seguir, realiza-se o pré-processamento com a função `pgh_hgm.pghfn_prepro_calculate` que realiza principalmente operações de coleta e armazenamento de perfis de elevação dos trechos de drenagem (Figura 38) de cada bacia. Além disso, essa etapa prepara valores padrão de atributos auxiliares para cálculos de atributos hidráulicos (i.e. manning). Uma função similar (`pgh_hgm.pghfn_prepro_calculate_upa`) é utilizada para o pré-processamento de regiões a montante de cada trecho, incluindo a preparação de geometrias de bacias (`upa_gm`) e rio principal a montante (`upn_gm`), necessárias para calcular atributos nessas escalas.

The screenshot shows a PostgreSQL query window with the following query:

```
1 SELECT pgh_hgm.pghfn_prepro_calculate();
```

The results are displayed in a table with the following columns: `dra_pk` (integer), `xy` (integer), `z` (double precision), and `gm` (geometry). The data shows 13 rows of elevation profile data.

dra_pk	xy	z	gm
1	1	0	0101000020110F0000BD00AFC7D87C51C1F39A9F9CF6C640
2	1	40	0101000020110F00009F648129D57C51C1B55CC35F09C740C
3	1	70	0101000020110F0000E0D06B7BD27C51C1B7128D6717C740
4	1	81	0101000020110F000082C8538BD17C51C19C9639501CC740
5	1	163	0101000020110F00001958A378CE7C51C1D0A3F0645C740
6	1	259	0101000020110F0000F3C0B08CC57C51C12F9C734671C740
7	1	376	0101000020110F00009505D0EA4BC7C51C1712AA53A9C740
8	1	463	0101000020110F00005ACD8268B57C51C1A7F7C609D2C740
9	1	572	0101000020110F000026638B46AA7C51C182D4C63F04C840
10	1	583	0101000020110F0000606E54CA87C51C10637F57307C840C
11	1	653	0101000020110F0000798FEA99A7C51C11305AB8F1DC840
12	1	783	0101000020110F00007F2E9E4837C51C1382E612C4CC840C
13	1	870	0101000000110F0000A13E0D40717C51C1E6A4E056A1C840C

Tabela dos "Perfis longitudinais de elevações":  
`pghft_drn_elevationprofile`

Figura 38. PGH-HGM: pré-processamento

A execução do cálculo e atualização da tabela de atributos é realizado pela consulta de funções organizadas em uma sequência lógica no arquivo de "tutorial" que acompanha a extensão (Figura 39). Muitos atributos não dependem de outros sendo possível executar de maneira isolada, mas isso varia caso-a-caso. Em geral, quando um atributo depende de derivados do modelo digital de elevação, como a declividade é necessário um pouco mais de atenção. O capítulo 7.5 apresenta tabelas de dependências.



```

-----
-- ESCALA LOCAL: TRECHO (DRN) E BACIA (DRA)
-----
-- pre-processamento
SELECT pgh_hgm.pghfn_prepro_calculate();

-- declividades dos trechos
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_slope_harmonic(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_slope_linreg(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_slope_maxmin(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_slope_pipf(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_slope_s1585(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_slope_weighted(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_slope_z1585(55555, 5880);

-- estatísticas do perfil de elevação do trecho e elevation-drop
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_elevationprofile_stats(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_elevationprofiledrop_from_slopes(55555, 5880);

-- atributos do trecho
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_sinuosity(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_drn_amhg_depth_width(55555, 5880); -- profundidade e largura

-- atributos de bacia
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_avglengthoverlandflow(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_axislength(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_circularity(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_compacity(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_drainagedensity(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_formfactor(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_hydrodensity(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_perimeter(55555, 5880);
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_shapefactor(55555, 5880);

-- estatísticas de MDE da bacia
SELECT pgh_hgm.pghfn_calculate_dra_elevations_stats(55555, 5880); -- a operação mais pesada!

```

Figura 39. PGH-HGM: arquivo de tutorial apresenta sequência de operações de acordo com categorias e que guiam a ordem recomendada de execução devido às dependências de alguns atributos.

Uma etapa final de pós-processamento de atributos locais já processados em cabeceiras é realizada para atualizar (e repetir) os mesmos valores nos seus atributos “de montante” (Figura 40).

O armazenamento é realizado na tabela pgh\_hgm.pghft\_hydro\_intel (Figura 41) sendo disponível também uma “VIEW” que pode ser acessada diretamente no QGIS utilizando os trechos de drenagem da base hidrográfica (Figura 42).

```

--> Copia os atributos de cabeceiras para upn/upa
SELECT pgh_hgm.pghfn_postpro_updateheadwaters();

```

Figura 40. PGH-HGM: pós-processamento de atributos de cabeceira

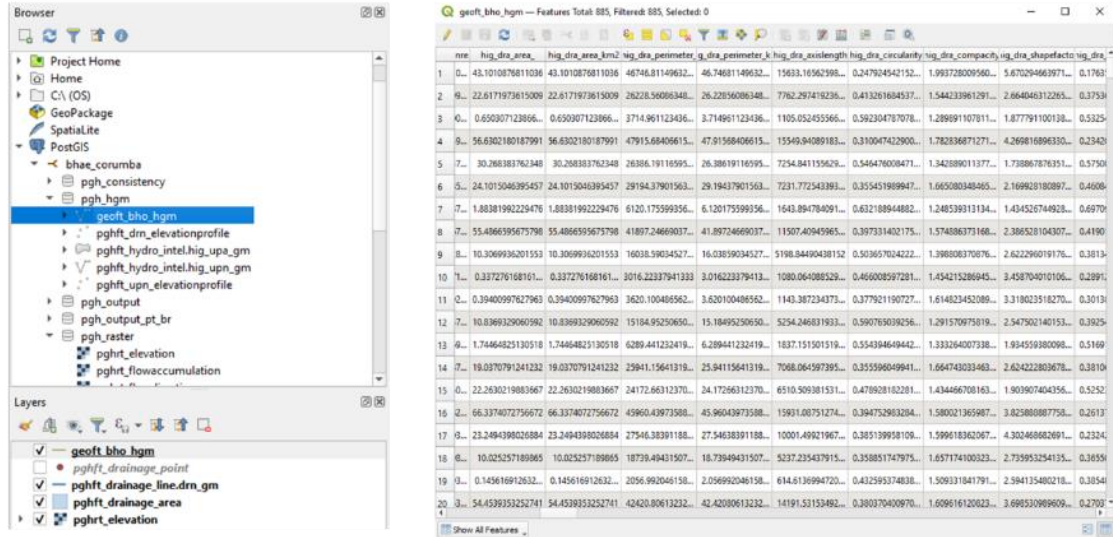


Figura 41. PGH-HGM: armazenamento de resultados e visualização de resultados

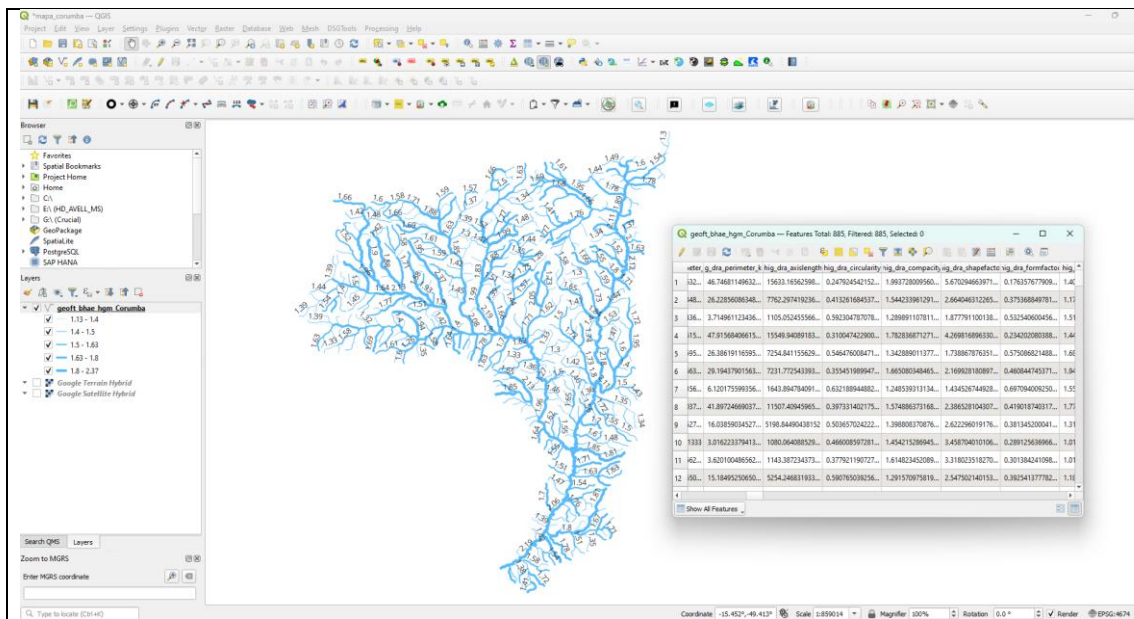


Figura 42. Exemplo de índice de compacidade de trechos calculadas pelo PGH-HGM

## 9. Referências

- ALLEN et al. (2018) - Global Estimates of River Flow Wave Travel Times and Implications for Low-Latency Satellite Data, Geophysical Research Letters, <https://doi.org/10.1002/2018GL077914>
- ANA (2017) AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil) Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO 2017). Fonte: Catálogo de Metadados da ANA: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>
- ANA (2023) AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil) Base Hidrográfica Atlas-Estudos (BHAÉ). Fonte: Catálogo de Metadados da ANA: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/8ad07d33-1677-481d-bc61-ed5ca204926f>
- ANA (2023) AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil); UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Nota técnica: ANADEM – Modelo digital do terreno para a América do Sul. [Brasília: Porto Alegre], [2023].
- ANA (2024) AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil) Base Hidrográfica Ottocodificada 6 Multiescalas (BHO 6). Fonte: Catálogo de Metadados da ANA: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/32e309da-a8c1-443f-90ac-0cd79ce6a33d>
- ALVES, ME; FAN, FM; SORRIBAS, MV; LIMA, S; PAIVA, RCD; AMORIM, AT (2023) Geomorphological Relationships of Brazilian Rivers. Submetido: Hydrological Sciences Journal - Manuscript ID HSJ-2024-0074.
- COLLISCHONN, W., & DORNELLES, F. (2013). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH).
- JOBSON H.E. (1996) Prediction of traveltime and longitudinal dispersion in rivers and streams: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4013, 69 p.; <https://pubs.usgs.gov/of/1996/4013>.
- LAIPELT, L.; DE ANDRADE, C. B.; REICHERT, C. F.; DA SILVA., H. A.; RUHOFF, A.; TEIXEIRA, A. A. (2023) Proposta de correção do viés da vegetação para elaboração de um modelo digital de terreno em escala continental. XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju-SE.
- SENER M., ARSLANOGLU M. C. (2023) Morphometric analysis in Google Earth Engine: An online interactive web-based application for global-scale analysis. *Environmental Modelling and Software* 162
- TEIXEIRA, A.A. ; SILVA, A.M; PRUSKI, F.F ; et al. (2022) Improvements on the Pfafstetter basin coding system proposal. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 27, p. 1-15, 2022.