

**ESCOAMENTOS FLUVIAIS E RISCOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS DE
MONTANHA DO PARQUE NATURAL DE MONTESINHO, NE DE
PORTUGAL: VARIABILIDADE ESPACIAL E TENDÊNCIAS TEMPORAIS**

Vinícius Kenzo Okada

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança
para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental*

Orientado por:

Prof. Doutor Tomás D'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo (ESA-IPB)

Profa. Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca (ESA-IPB)

Prof. Doutor Maurício Moreira dos Santos (UTFPR-LD)

Bragança

2019

ESCOAMENTOS FLUVIAIS E RISCOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS DE MONTANHA DO PARQUE NATURAL DE MONTESINHO, NE DE PORTUGAL: VARIABILIDADE ESPACIAL E TENDÊNCIAS TEMPORAIS

Dissertação de mestrado apresentado ao programa de Dupla Diplomação do Instituto Politécnico de Bragança, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Professor Orientador IPB: Prof. Doutor Tomás D’Aquino Freitas Rosa de Figueiredo
Professora Orientadora IPB: Profa. Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca

Professor Orientador UTFPR – LD: Prof. Doutor Maurício Moreira dos Santos

Bragança, Portugal

Setembro, 2019

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiro a Deus, que me abençoou e me fortaleceu a cada momento.

Agradeço ao meu pai Valter, minha mãe Marines, minha irmã Luisa e a minha namorada Ana Beatriz, por todo apoio, paciência e carinho. Vocês foram e são a base de tudo em que pude e estou a conquistar.

Agradeço e eternizo minha tia Vera Lucia, que não pude me despedir, mas sei que sempre estará comigo, o meu muito obrigado por tudo.

A todos meus familiares por sempre torcerem para o meu sucesso.

Agradeço imensamente ao meu orientador Professor Doutor Tomás de Figueiredo, por todo conhecimento passado, toda paciência prestada, pela dedicação e por sua amizade. A Professora Doutora Felícia Fonseca por toda ajuda prestada. Ao Professor Doutor Maurício dos Santos por todo seu apoio durante os trabalhos que realizamos, pela sua amizade e seus conselhos.

Agradeço aos meus amigos, que considero como irmãos, de São Carlos, Breno, Cauê, Gabriel, Leonardo, Vinícius, Rafael, Jimi, Gustavo, e outros que acompanham e apoiam todas minhas jornadas. Aos amigos de Londrina, Rodrigo, Arthur, Thiago, Alfredo, Victor, Danilo, Murilo, Giovanni, Marcos, e outros que marcaram os tempos de universidade e levo para vida. Aos amigos de Bragança, Felipe, Ana Paula, Edmar, João, Laiany, Christian, Mark, Vitor e outros, que deixaram os tempos em Portugal ainda mais alegre.

Por fim, agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Instituto Politécnico de Bragança pela oportunidade e todo suporte prestado e aos meus professores por todo conhecimento e aprendizado compartilhado.

RESUMO

As mudanças globais estão a afetar todo planeta impactando as atividades humanas e os serviços de ecossistema. As zonas de montanha mediterrânica fornecem base para a ocorrência desses tipos de atividades e serviços, todavia são locais muito afetados pelas alterações globais, extração de recursos naturais e constata mudança do uso e ocupação do solo. Esses contribuem para o aumento de riscos hidrológicos, secas e cheias. Para tanto, é necessário estudar fatores que possam interagir com o risco hidrológico desses territórios, como características fisiográficas, clima e a resposta hidrológica, a fim de mitigar futuros danos socioeconômicos. Esses estudos envolvem as características fisiográficas (geometria, relevo, litologia, pedologia e uso e ocupação do solo), analisar tendências de evolução temporal de caudais médios e específicos durante as últimas décadas e verificar a interação das características fisiográficas com a resposta hidrológica. Em vista disso, esse trabalho abordou três bacias de montanha de dimensão similar (400 – 530 km²) do nordeste de Portugal: rio Tuela, rio Sabor e rio Maçãs, que compõe um gradiente climático. Utilizaram-se, então, técnicas de geoprocessamento em software de Sistemas de Informação Geográfica que caracterizaram a superfície terrestre das três áreas, métodos de análise de hidrograma e métodos estatístico de estudo de séries temporais, correlação de Pearson entre as características fisiográficas e os escoamentos médios e o método do *Soil Conservation Service*. Diante disso, verificase que as bacias, apesar de sua proximidade e continuidade, possuem características fisiográficas similares e distintas, ambas tendo relações diretas com o gradiente climático presente na área de estudo. As tendências e variabilidades hidrológicas apontam que as três bacias estudadas pendem para o aumento dos riscos hidrológicos e que as variabilidades acompanham o gradiente climático, sendo menor no rio Tuela e maior no Maçãs. Da correlação de Pearson, seu coeficiente indica relação positiva com os escoamentos médios para as seguintes características: Leptosolos, altitude média, o declive médio e solos que possuem zonas descobertas e com pouca vegetação, já relação negativa para: coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, Cambissolos e solos com culturas permanentes. O método do *Soil Conservation Service* demonstrou-se eficaz na estimativa do caudal de pico ao tratar de condições antecedentes de humidade (*Antecedent moisture conditions*) do tipo II devido aos valores serem próximos aos observados nas estações hidrométricas, abordando os períodos de retorno de 2,33, 5 e 10 anos, todavia para condições tipo III não é recomendado devido os valores serem demasiados divergentes. Portanto, constata-se que as bacias de montanha exercem muitos papéis em seu uso e ocupação do solo e que, apesar de próximas, possuem diferenças quanto a sua caracterização da superfície terrestre. A problemática dos riscos hidrológicos nessas bacias, de acordo com as respostas hidrológicas, indica tendência para aumento, mesmo comportando-se de maneiras diferentes. Muitas das características fisiográficas abordadas possuem relações diretas, comportamentos similares ou opostos, com os escoamentos médios abordados e com o coeficiente de escoamento, influenciando assim o regime hidrológico da área de estudo. O método do *Soil Conservation Service* pode ser utilizado futuramente para estimativa de caudais de ponta quando abordado condições do tipo II.

Palavras-Chave: Zonas de montanha. NE Portugal. Riscos Hidrológicos. Escoamentos fluviais.

ABSTRACT

Climate change is affecting the entire planet impacting human activities and ecosystem services. Mediterranean mountain areas provide the basis for these types of activities and services to occur, but they are very affected by climate change, natural resource extraction and the changing of land use. These contribute to increase hydrological, drought and flood risks. Therefore, it is necessary to study factors that may interact with the hydrological risk of these territories, such as physiographic characteristics, climate and hydrological response, in order to mitigate future socioeconomic damage. These studies involve the physiographic characteristics (geometry, relief, lithology, pedology and land use), analyze trends of temporal evolution of medium and specific flows during the last decades and verify the interaction of the physiographic characteristics with the hydrologic response. So, this work approached three mountain basins of similar size (400 - 530 km²) from northeastern Portugal: Tuela River, Sabor River and Maçãs River, which makes up a climate gradient. Were used Geographic Information Systems software with geoprocessing techniques that allowed to characterize the terrestrial surface of the three areas, hydrographic analysis methods and statistical methods of time series study, Pearson correlation between physiographic characteristics and mean flows. and the Soil Conservation Service method. Given this, it is verified that the basins, despite their proximity and continuity, have similar and distinct physiographic characteristics, both having direct relations with the climate gradient present in the study area. Hydrological trends and variability indicate that the three basins studied increase the risk of hydrological risks and that the variability accompanies the climate gradient, being smaller in the Tuela River and larger in the Maçãs River. From the Pearson correlation, its coefficient indicates a positive relationship with the average runoff for the following characteristics: Leptosols, average altitude, the average slope and soils that have uncovered areas and little vegetation, and negative relation for: compactness coefficient, drainage density, Cambisols and soils with permanent crops. The Soil Conservation Service method has been shown to be effective in estimating peak flow when dealing with type II Antecedent moisture conditions because the values are close to those observed at hydrometric stations, for the return periods of 2.33, 5 and 10 years, however for type III conditions it is not recommended because the values are too divergent. Therefore, the mountain basins has a lot of land use kinds and have differences in their characterization of the land surface, even being close to each other. The problem of hydrological risks in these basins, according to the hydrological responses, indicates a tendency to increase, even behaving in different ways. Many of the physiographic characteristics approached have direct relationships, similar or opposite behaviors, with the average flows approached and the flow coefficient, thus influencing the hydrological regime of the study area. The Soil Conservation Service method can be used in future to estimate peak flow rates when addressing type II conditions.

Keywords: Mountain areas. NE Portugal. Hydrological risks. River flows.

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO SOBRE A TEMÁTICA: Conceitos hidrológicos e regiões de montanha	3
2.1 Hidrologia	3
2.2 Ciclo Hidrológico.....	3
2.3 Bacia Hidrográfica	5
2.3.1 Conceito de Bacia Hidrográfica.....	5
2.3.2 Funções da Bacia hidrográfica.....	6
2.3.2.1 Função Coletora	6
2.3.2.2 Função de Armazenamento	7
2.3.2.3 Função de Dispersão	8
2.4 Precipitação	8
2.4.1 Conceito de Precipitação	8
2.4.2 Classificação das precipitações.....	9
2.4.2.1 Frontais ou ciclônicas.....	9
2.4.2.2 Convectivas	10
2.4.2.3 Orográficas	10
2.4.3 Distribuição temporal e espacial da pluviosidade	11
2.4.4 Precipitações Máximas	12
2.5 Escoamento superficial	12
2.5.1 Definição de Escoamento superficial	12
2.5.2 Curva de duração	13
2.6 Curva histórica de caudais e Hidrograma de cheia	14
2.6.1 Conceito de curva histórica de caudais.....	14
2.6.2 Conceito de Hidrograma de cheia.....	15
2.6.3 Características e componentes do hidrograma de cheia.	16

2.6.4 Fatores que influenciam a forma do hidrograma de cheia.....	17
2.6.5 Determinação do pico de escoamento	17
2.6.6 Escoamento de base	19
2.7 Separação do Hidrograma de cheia.....	19
2.8 Estudo dos riscos hidrológicos.....	21
2.9 Definição secas hidrológicas.....	21
2.10 Definição de cheias	22
2.11.1 Zonas de montanha: definição, características e importância hidrológica	22
2.11.1 O Parque Natural de Montesinho: breve caracterização.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Localização da Área de estudo.....	25
3.2 Fontes e tratamento de informação cartográfica em SIG.....	26
3.2.1 Delimitação das bacias hidrográficas	27
3.2.2 Litologia, solos e de uso do solo.....	27
3.2.3 Caracterização fisiográfica	28
3.2.3.1 Cálculo das características geométricas	29
3.2.3.2 Cálculo das características do sistema de drenagem	29
3.2.3.3 Cálculo das características de relevo.....	29
3.3 Gradiente climático	31
3.4 Dados hidrométricos: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos	32
3.5 Tratamento dos dados hidrométricos: análise temporal.....	32
3.5.1 Separação do hidrograma	33
3.5.2 Tratamento estatístico das informações hidrométricas.....	34
3.6 Resposta hidrológica das bacias.....	35
3.6.1 Médias anuais de precipitação e escoamento	35
3.6.2 Relação entre as características fisiográficas e os dados hidrométricos....	35

3.6.3 Método SCS: Comparação com caudais diretos máximos observados	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Caracterização cartográfica e fisiográfica da área de estudo.	40
4.1.1 Características geométricas e do sistema de drenagem das bacias hidrográficas	40
4.1.2 Características de relevo e precipitação das bacias hidrográficas	42
4.1.3 Uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas	47
4.1.4 Litologia das bacias hidrográficas	53
4.1.5 Pedologia das bacias hidrográficas	54
4.1.6 Tipos hidrológicos do solo.....	60
4.2 Séries históricas dos dados hidrométricos: variabilidade e tendencial temporal	61
4.2.1 Variabilidade temporal das séries de caudais	61
4.2.1.1 Escoamentos anuais.....	61
4.2.1.2 Caudais específicos	63
4.2.2 Tendência temporal das séries de caudais	65
4.2.2.1 Escoamentos anuais.....	66
4.2.2.2 Escoamentos específicos	67
4.3 Análise integrada: Caracterização cartográfica e fisiográfica da área de estudo com séries históricas dos dados hidrométricos.....	68
4.3.1 Precipitação, Caudal total e Caudal de base médios anuais	68
4.3.2 Correlação: Características fisiográficas e dados hidrométricos	70
4.3.3 Caudais de cheia: estimativas pelo método do Soil Conservation Service (SCS) e comparação com valores observados.....	71
4.3.3.1 Número de escoamento (N) para condições AMC-II e AMC-III	71
4.3.3.2 Tempo de concentração e tempo de crescimento	72
4.3.3.3 Precipitação total, perdas iniciais da chuvada e precipitação útil.	72
4.3.3.4 Valores obtidos para caudal de ponta (Qp)	73

4.3.3.5 Caudais diretos máximos observados nas estações hidrométricas.....	73
4.3.3.6 Comparação entre os caudais diretos máximos e os caudais de ponta obtidos pelo método SCS	74
5. CONCLUSÃO.....	77
Referências Bibliográficas	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico. (Black, 1996).	4
Figura 2 – Exemplo ilustrativo da fonte variável de área (“Variable Source Area”). (Black, 1996).	6
Figura 3- Hipóteses de hidrogramas de acordo com a área que ocorre o evento de precipitação. (A) cobrindo toda bacia hidrográfica; (B) cobrindo o exutório; (c) cobrindo o centro e (D) cobrindo a montante da bacia hidrográfica. (Black, 1996).	7
Figura 4 – Tipos de chuvas. (Collischonn e Tassi, 2008).	9
Figura 5 – Curva IDF obtida pela análise dos dados de um pluviógrafo localizado na redenção em Porto Alegre, Brazil. (Collischonn e Tassi, 2008).	12
Figura 6 – Curva de Duração dos caudais médios diários, na bacia hidrográfica de Vinhais de Quinta Ranca. (Figueiredo e Ribeiro, 2010).	14
Figura 7 – Curva histórica do rio dos Bois, Goiás – Brasil, de 1990 a 1993. (Collischonn e Tassi, 2008).	15
Figura 8 – Hidrograma de cheia características e componentes. (Black, 1996).	15
Figura 9 – Componentes de um Hidrograma de Cheia. (Lencastre e Franco, 2006).	16
Figura 10 – Separação do hidrograma de cheia utilizando transformação logarítmica das ordenadas. (Lencastre e Franco, 2006).	20
Figura 11 – Separação do hidrograma de cheia utilizando fórmula empírica. (Lencastre e Franco, 2006).	21
Figura 12 - Passos e relações abordadas na metodologia.	25
Figura 13 – Identificação do local de estudo.	26
Figura 14 – Limites e Hidrografia das bacias dos rios Tuela, Sabor e Maçãs definidas para as secções das estações hidrométricas de Vinhais-Quinta Ranca, Gimonde e Ponte Pinelo, Respectivamente.	41
Figura 15 – Altitude e isolinhas de precipitação (isoietas) na área de estudo.	44
Figura 16 – Curva hipsométrica da bacia do rio Tuela.	44
Figura 17 – Curva hipsométrica da bacia do rio Sabor.	44
Figura 18 – Curva hipsométrica da bacia do rio Maçãs.	45
Figura 19 - Curvas hipsométricas relativas das bacias hidrográficas do rio Tuela, Sabor e Maçãs.	45
Figura 20 – Perfil longitudinal do rio Tuela da nascente até a estação hidrométrica Vinhais Quinta Ranca.	45

Figura 21 – Perfil longitudinal do rio Sabor da nascente até a estação hidrométrica Gimonde.	46
Figura 22 – Perfil Longitudinal do rio Maçãs da nascente até a estação hidrométrica Ponte Pinelo.	46
Figura 23 – Retângulo Equivalente da bacia do rio Tuela.	46
Figura 24 – Retângulo Equivalente da bacia do rio Sabor.	47
Figura 25 – Retângulo Equivalente da bacia do rio Maçãs.	47
Figura 26 – Distribuição percentual da área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo (agregadas ao nível 2 da COS 2015) nas bacias do rio Tuela Sabor e Maçãs.	49
Figura 27 – Uso e ocupação do solo da bacia do rio Tuela de acordo com a COS2015.	50
Figura 28 - Uso e ocupação do solo da bacia do rio Sabor de acordo com a COS2015.	51
Figura 29 - Uso e ocupação do solo da bacia do rio Maçãs de acordo com a COS2015.	52
Figura 30 – Litologia das bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs.	53
Figura 31 – Gráfico das litologias das bacias hidrográficas estudadas.	54
Figura 32 – Pedologia das bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs: unidades principais (baseada nas unidades Cartográficas).	55
Figura 33 – Pedologia das bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs: unidades secundárias (baseada nas unidades Cartográficas).	55
Figura 34 – Pedologia da bacia do rio Tuela: unidades principais e secundárias (baseada nas unidades pedológicas).	56
Figura 35 - Pedologia da bacia do rio Sabor: unidades principais e secundárias (baseada nas unidades pedológicas).	56
Figura 36 – Pedologia da bacia do rio Maçãs: unidades principais e secundárias (baseada nas unidades pedológicas).	57
Figura 37 – Gráfico comparando a pedologia em unidade principal das bacias hidrográficas (unidades cartográficas).	57
Figura 38 – Gráfico comparando a pedologia em unidade secundária das bacias hidrográficas (unidades cartográficas).	58
Figura 39 – Gráfico comparando a pedologia em unidade principal e secundaria das bacias hidrográficas (unidades pedológicas)	58
Figura 40 – Tipos hidrológicos do solo das bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs.	60

Figura 41 – Escoamentos médios e seus desvios padrão para as três bacias hidrográficas estudadas. (linhas verticais inferiores não representadas para desvios padrão superiores à média).	62
Figura 42 – Caudal específico médio e seus desvios padrão das três bacias hidrográficas. (linhas verticais inferiores não representadas para desvios padrão superiores à média).64	
Figura 43 – Valores extremos dos escoamentos específicos.	65
Figura 44 – Tendência de variação das séries temporais de escoamento anual (de base, direto e total) para a bacia do rio Maçãs (equações das retas de regressão apresentadas no gráfico).....	66
Figura 45 – Precipitação, Qtotal e Qbase das bacias hidrográficas estudadas.	69
Figura 46 - A esquerda: Relação entre o escoamento de base médio e o escoamento direto médio (equações das retas de regressão apresentadas no gráfico). A direita: Relação entre a precipitação média e o escoamento total médio (equações das retas de regressão apresentadas no gráfico)	69
Figura 47 - Relação entre os escoamentos observados na estação hidrométrica e os escoamentos obtidos pelo método SCS, nas condições AMC-II e AMC-III, para bacia do rio Tuela.....	75
Figura 48 - Relação entre os escoamentos observados na estação hidrométrica e os escoamentos obtidos pelo método SCS, nas condições AMC-II e AMC-III, para bacia do rio Sabor.	75
Figura 49 - Relação entre os escoamentos observados na estação hidrométrica e os escoamentos obtidos pelo método SCS, nas condições AMC-II e AMC-III, para bacia do rio Maçãs.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores do coeficiente de escoamento (C) utilizados no método racional, para diferentes superfícies. (Collischonn e Tassi, 2008).....	18
Tabela 2 – Conversão do número de escoamento para condições AMC-I, AMC-II e AMC-III	38
Tabela 3 – Características geométricas e do sistema de drenagem das bacias estudadas.	41
Tabela 4 – Características do relevo e a precipitação média anual dos locais estudados.	43
Tabela 5 – Distribuição percentual das classes de declive na área das bacias hidrográficas estudadas.....	47
Tabela 6 – Tipos litológicos presentes nas bacias hidrográficas e sua respectiva porcentagem de área.	53
Tabela 7 – Porcentagem da pedologia encontrada no local de estudo, por unidades pedológicas.	59
Tabela 8 – Valores em porcentagem da ocupação dos tipos hidrológicos do solo	60
Tabela 9 – Coeficiente da equação de regressão da reta de tendência temporal de variação dos escoamentos anuais no período de registros (Q_{total} , Q_{base} e Q_{direto}) nas três bacias hidrográficas estudadas.....	66
Tabela 10 – Coeficiente da equação de regressão da reta de tendência temporal de variação dos escoamentos específicos no período de registros (Q_{direto} específico médio, Q_{base} específico médio, Q_{direto} específico máximo, Q_{base} específico máximo e Q_{base} específico mínimo) nas três bacias hidrográficas estudadas.	67
Tabela 11 - Coeficiente de correlação de Pearson abordando as características fisiográficas e os dados hidrométricos.....	70
Tabela 12 – Número de escoamento (N) para as condições AMC-II e AMC-III para as respectivas bacias hidrográficas.	71
Tabela 13 - Tempo de concentração e tempo de crescimento estimados para as três bacias hidrográficas.	72
Tabela 14 - Perdas iniciais em milímetros para as condições AMC-II e AMC-III.	72
Tabela 15 – Precipitação máximas diárias anuais para vários períodos de retorno (distribuição de Gumbel).	72
Tabela 16 – Precipitação útil para as condições AMC-II e AMC-III.....	73

Tabela 17 – Caudal de ponta estimado pelo método SCS para as condições AMC-II e AMC-III.....	73
Tabela 18 – Caudais diretos máximos anuais nas bacias em estudo: estimativas para vários períodos de retorno.	74
Tabela 19 – Valores de ajustamento de N para as condições AMC-II e AMC-III.....	76

1. INTRODUÇÃO

Atualmente em todo o planeta Terra vão sendo percebidos impactes causados pelas mudanças globais, atingindo tanto o meio humano quanto o natural, sofrendo o último de forma intensificada e abrangente. Em muitos locais a alteração da precipitação, assim como, fusão da neve e do gelo estão a afetar a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos afetando o ciclo hidrológico (IPCC, 2014).

Segundo Bronstert (2004), um dos maiores problemas que foi induzido pelo ser humano é a intensa utilização dos recursos do solo, resultando em mudanças significativas no uso e cobertura do solo, impactando diretamente no processo de escoamento superficial. Tucci (1997) diz que solos com florestas tem alta capacidade de infiltração, diminuindo o escoamento superficial, já solos com superfície desprotegida sofre compactação, aumentando esse escoamento.

Estudos entre a interação do uso e ocupação do solo com ciclo hidrológico e de suas variabilidades são de extrema importância, em específico os que abordam o risco hidrológico, secas e cheias, que são fundamentais para diversas avaliações de impactos (Bronstert, 2004). As cheias e secas hidrológicas são responsáveis por diversos problemas nas atividades socioeconômicas, sendo necessário realizar estudos sobre esses eventos extremos com o objetivo de mitigar danos (Santos, 1998; Lencastre e Franco (2006) e WMO, 2016).

Nunes (2016) cita que a região mediterrânica está sofrendo com mudanças de temperatura e precipitação, essa associada aos eventos hidrológicos extremos. O autor ainda cita que a montanha mediterrânica é responsável por diversos serviços de ecossistemas, por exemplo, regulação do escoamento superficial, produção e regulação da qualidade da água, e que as alterações climáticas nessa região demonstram maior fragilidade dos sistemas humanos e naturais devido a diminuição da capacidade hídrica e do aumento da degradação do solo.

Com base nesse contexto que esse estudo abordou três bacias hidrográficas de montanha, parte dos principais afluentes da margem direita do Douro, a bacia do rio Tuela, do rio Sabor e do rio Maçãs, localizadas no Nordeste de Portugal, estas presenciam em sua região um gradiente climático existindo, portanto, uma bacia úmida, uma de transição e uma seca. Devido estarem localizadas em locais propícios a ocorrência de eventos extremos e levando em consideração a diferença climática de cada uma, que este estudo objetivou: caracterizar e comparar as três bacias hidrográficas de acordo com a

sua fisiografia; analisar e comparar as variabilidades e tendências de evolução temporal dos caudais durante as últimas décadas utilizando métodos de análise de hidrogramas e métodos estatísticos de estudo de séries temporais; realizar a estimativa dos caudais de eventos extremos determinantes de cheias hidrológicas através do método do *Soil Conservation Service* (SCS) utilizando as características fisiográficas e os dados históricos de precipitações; e realizando, por fim, a comparação dos resultados com os caudais diretos máximos observados nas estações hidrométricas, possibilitando aferir sobre a fiabilidade do método para a futura aplicação na análise de eventos de cheia na área de estudo.

Portanto, para estes fins, este trabalho inicia-se introduzindo conceitos sobre hidrologia e regiões de montanhas. Essa atua como suporte para o capítulo de materiais e métodos que caracteriza a área de estudo, através de técnicas de geoprocessamento, trata informações hidrométricas, estabelece relação entre as características das bacias e sua resposta hidrológica e utiliza o método do SCS para cálculo do caudal de ponta.

Posteriormente evidenciam-se resultados e discussão dos trabalhos realizados no capítulo anterior, que aborda: a comparação das bacias estudadas de acordo com suas características; a variabilidade e tendência temporal dos caudais médios e específicos; a análise integrada das características das bacias com as séries históricas dos dados hidrométricos; e a relação entre os caudais de ponta obtidos pelo método SCS com os caudais diretos máximos observados.

O último capítulo sintetiza os resultados e discussões abordados antes relacionando com os objetivos propostos neste trabalho.

2. REVISÃO SOBRE A TEMÁTICA: CONCEITOS HIDROLÓGICOS E REGIÕES DE MONTANHA

2.1 Hidrologia

Segundo Collischonn e Tassi (2008) a hidrologia é a ciência que estuda, as atividades que a água exerce sobre a superfície terrestre, o solo e subsolo, a sua ocorrência, as propriedades físicas e químicas, circulação, distribuição espacial, a relação com o ambiente e com os seres vivos. O autor enfatiza que o estudo da variabilidade temporal de variáveis importantes do ciclo hidrológico é crucial para projetar obras de engenharia adequadas, a fim de minimizar as atuações extremas dessas variáveis, como enchentes e longas estiagens.

2.2 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico (Figura 1), de acordo com Black (1996) é considerado um sistema fechado contendo diversos componentes que podem ser separados em dois grupos, os quais: armazenamento e fluxo. O armazenamento no contexto hidrológico tem o sentido de capacidade, ou seja, armazena temporariamente a água retirando-a da sua circulação habitual, apresentando-se em diversos modos: armazenamento nas depressões topográficas (*“depression storage”*), considerada qualquer superfície onde a água é coletada e retida até haja evaporação ou infiltração; o armazenamento no canal ocorre quando a água é armazenada no rio e é perceptível visualmente, podendo ocorrer também em áreas não visíveis como os bancos porosos no leito do corpo hídrico; armazenamentos por retenção e detenção, retido pelos poros capilares e pelos não capilares, respectivamente, ambos são referidos como água do solo; armazenamento de água subterrânea em forma de aquíferos e lençóis freáticos, e armazenamento vegetal.

O fluxo é determinado pelos processos do ciclo hidrológico que através de um modelo trivial pode ser interpretado começando na atmosfera, o vapor de água é transportado como massa de ar que posteriormente é condensada até atingir tamanho suficiente precipitam em forma de chuva, neve, granizo ou precipitações ocultas, caso a água precipite em estado sólido é possível a ocorrência da sublimação, evitando assim o seu estado líquido e retornando em estado gasoso para a atmosfera. O fluxo da água da

atmosfera para o solo é considerado um dos processos mais importantes do ciclo hidrológico e é conhecida como infiltração, para que isso ocorra, porém, é necessário que haja o escoamento da água precipitada atingindo a vegetação, o solo ou superfícies hídricas. A percolação, movimento descendente da água através dos perfis do solo, sucede a infiltração. Para que o ciclo se complete é necessário que a água em estado líquido se transforme para o gasoso e retorne para a atmosfera, isso decorre mediante a energia solar ocasionando a evaporação da água, acontecendo em qualquer superfície húmida, e a evapotranspiração, água coletada pela vegetação e devolvida em forma de transpiração através dos estômatos do vegetal (Linsley, Kohler e Paulhus, 1985; Black, 1996).

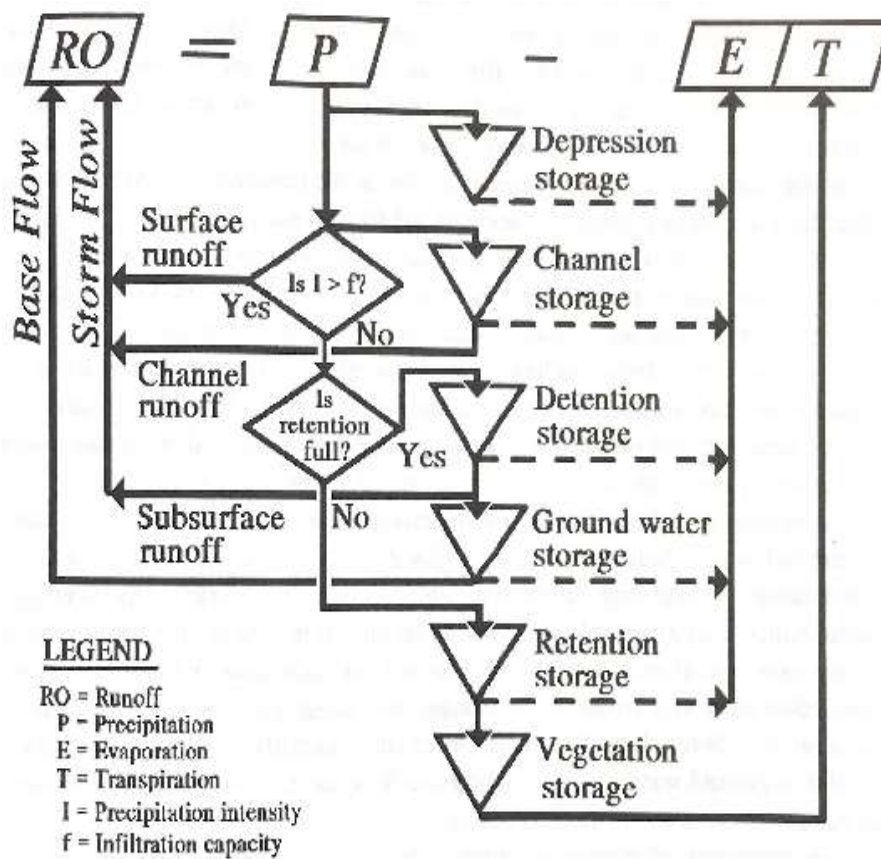


Figura 1 - Ciclo Hidrológico. (Black, 1996. p. 7).

*Traduções: Runoff = Escoamento superficial; Precipitation = Precipitação; Evaporation = Evaporação; Transpiration = Transpiração; Precipitation Intensity = Intensidade de precipitação; Infiltration Capacity = Capacidade de infiltração; Base Flow = Escoamento de base; Storm flow = Escoamento direto; Surface runoff = Escoamento de superfície; Channel Runoff = Escoamento no canal; Subsurface runoff = Escoamento subsuperficial; Depression storage = Armazenamento em depressões; Channel storage = Armazenamento no canal; Detention storage = Armazenamento de detenção; Ground water storage = Armazenamento em aquíferos (Águas subterrâneas); Retention storage = Armazenamento em retenção; Vegetation storage = Armazenamento na vegetação.

2.3 Bacia Hidrográfica

2.3.1 Conceito de Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma unidade natural de terreno que coleta toda água precipitada através da força gravitacional e que não sofreu evaporação, possuindo um exutório em comum, sendo considerada a unidade básica de fornecimento de água. Os limites de uma bacia são estabelecidos pela linha de separação de águas a qual secciona as precipitações que atingem uma determinada bacia da sua vizinha. Existem dois tipos de linhas, a topográfica (superficial) e a freática (subterrânea). Devido esta última não ser fixa, ou seja, o lençol de água subterrânea flutuar ao longo do ano, torna-se comum adotar a linha de separação topográfica impondo um limite fixo de cada bacia hidrográfica (Black, 1996; Lencastre e Franco, 2006).

Black (1996) enfatiza que do ponto de vista hidrológico a bacia hidrográfica possui área dinâmica e isso é explicado pela fonte de área variável (“*Variable Source Area*”) (Figura 2) considerado conceito chave para a compreensão dessa perspectiva. Desse modo, caso ocorra um evento que cause precipitação e, assumindo que toda bacia hidrográfica é instantaneamente afetada, há o aumento gradual da área que contribui para o escoamento, dividindo-se em superficial, subsuperficial e de base, assim como a quantidade de água presente na bacia. Logo após o evento, esse espaço decresce naturalmente assim como o escoamento, e caso não haja outro evento que ocasione precipitação, só deve haver a contribuição do escoamento de base para o escoamento fluvial. Portanto, a corrente da bacia hidrográfica é proporcional a quantidade de água disponível ao escoamento que ocorre em sua área.

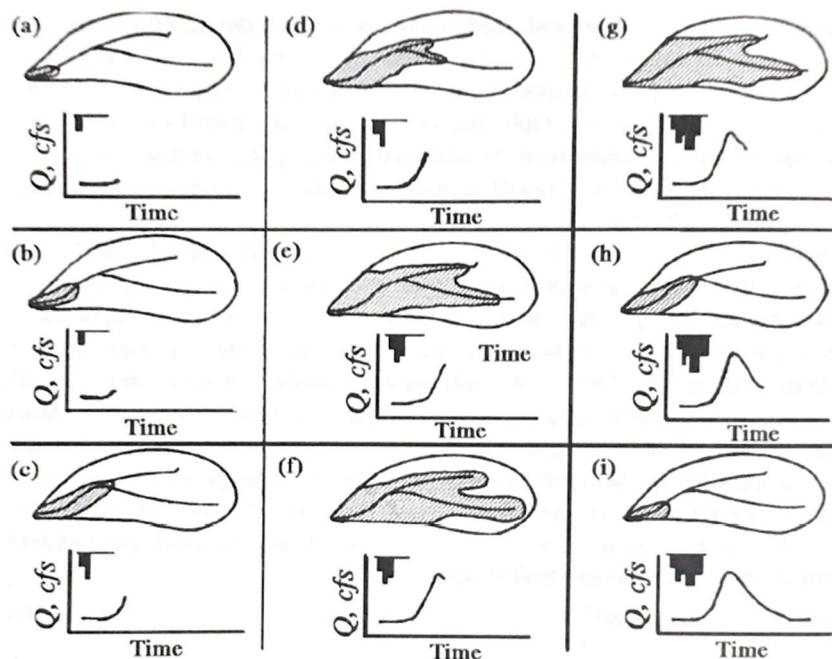


Figura 2 – Exemplo ilustrativo da fonte variável de área (“Variable Source Area”). (Black, 1996).

2.3.2 Funções da Bacia hidrográfica

De acordo com Black (1996), hidrologicamente existem 3 funções que a bacia hidrográfica exerce: a coletora, a de armazenamento e a de descarga. O autor salienta a função do armazenamento no solo, na linha de água, na vegetação e nas zonas húmidas.

2.3.2.1 Função Coletora

Duas questões particulares são relevantes na função coletora, à primeira é se o evento de precipitação cobre ou não toda a área da bacia. Caso cubra, então o tipo do evento causador de escoamento superficial é de primordial importância para analisar o pico de escoamento.

Ao relacionar a área da bacia hidrográfica com o evento produtor de escoamento podem vir a ocorrer duas situações: (i) atingir toda área superficial da bacia havendo possibilidade de ocorrência da maior inundação do ano; (ii) a área da bacia não for igual a área precipitada, indicando que o evento de precipitação pode ser tanto maior quanto menor que a área da bacia. O pico do escoamento superficial será menor, se a precipitação for menor que a área da bacia, mas deve ser levado em conta a proximidade do evento

com o exutório, pois existem diferentes hidrogramas para diferentes localizações da área precipitada (Figura 3). Sendo a chuvada maior que a área da bacia, o interesse principal é a distribuição da precipitação em relação ao sistema coletor da bacia hidrográfica, ou seja, sua área. A eficiência de drenagem, então, torna-se primordial, sugerindo que a variação das condições da função de coleta promove diferentes comportamentos do escoamento superficial.

O tamanho da área da bacia influencia no tempo de concentração, velocidade média de escoamento e no pico de escoamento. Em bacias maiores as encostas e os fluxos de gradiente reduzem a velocidade média, resultando em menor pico de escoamento, ao comparar-se com bacias menores, e possui também maior tempo de concentração devido ao tempo de escoamento ser maior.

A mudança do tipo de ocupação do solo pode afetar a capacidade de coleta da bacia e como consequência o comportamento do escoamento podendo até ser observado nos hidrogramas, caso a alteração da superfície do solo cubra grande parte da bacia hidrográfica.

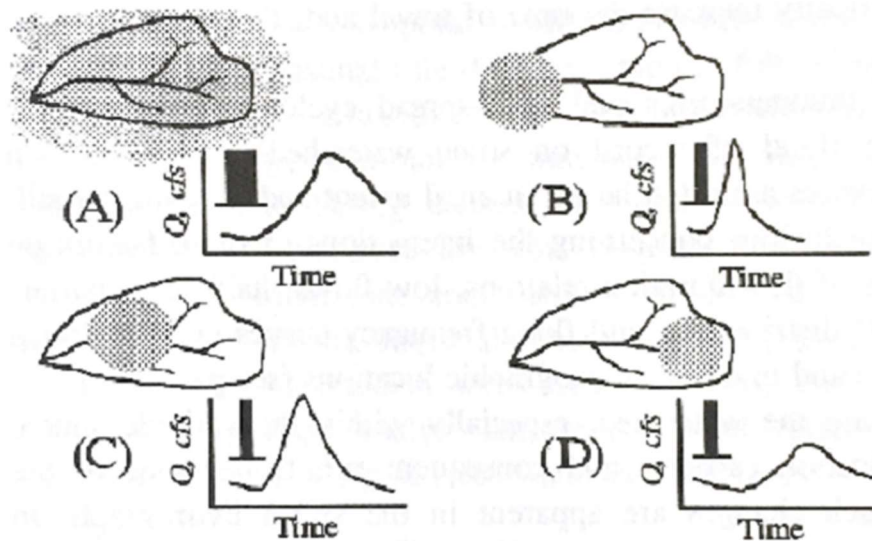


Figura 3- Hipóteses de hidrogramas de acordo com a área que ocorre o evento de precipitação. (A) cobrindo toda bacia hidrográfica; (B) cobrindo o exutório; (c) cobrindo o centro e (D) cobrindo a montante da bacia hidrográfica. (Black, 1996).

2.3.2.2 Função de Armazenamento

O armazenamento depende de seu tipo, localização, quantidade, condições de saturação e a resistência contra o fluxo de saída, sendo essas as principais características que condicionam essa função.

Alguns tipos de armazenamento no solo são especialmente importantes, já que exercem papel fundamental no hidrograma em bacias hidrográficas pequenas. O volume total armazenado, a tensão que sustenta a água contra a força gravitacional e a taxa de água descarregada do armazenamento, são características que influenciam o armazenamento no solo.

A função de armazenamento é, portanto, a função que intermedia a de coleta e a de dispersão da água, interagindo assim simultaneamente com as duas funções.

2.3.2.3 Função de Dispersão

Uma utilidade imprescindível das águas de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica é de comporem o hidrograma, sendo ele o registro da função de dispersão. Quando os outros dois tipos de funções, coleta e armazenamento, são dispostos em escala de tempo, tanto do evento causador de escoamento superficial quanto de ano hidrológico, é possível obter a conduta do curso d'água, ou seja, seu hidrograma. Assim, fatores que causam mudança na coleta e no armazenamento irão influenciar a função de dispersão, sendo possível visualizar essa alteração tanto no hidrograma de cheia quanto no hidrograma anual.

Os hidrogramas são considerados as “impressões digitais” da bacia hidrográfica, os gráficos do escoamento superficial, relacionam as interações entre a precipitação e as características biofísicas do sistema hidrológico. Mesmo que os hidrogramas possuam atributos semelhantes, caso sejam de bacias diferentes esses irão exibir comportamentos regionais distintos.

2.4 Precipitação

2.4.1 Conceito de Precipitação

O processo que resulta da coleta do vapor e de gotículas de água na atmosfera é denominado precipitação (Black, 1996). Segundo Collischonn e Tassi (2008) a água da atmosfera que atinge a superfície terrestre nas formas de chuva, neve, neblina, orvalho, granizo ou geada, podem ser generalizadas como precipitação. Ademais, a determinação

da intensidade da precipitação é um fator importante para o controle de inundações e erosão do solo (Bertoni e Tucci, 2001).

Lisnsley, Kohler e Paulhus (1985) citam que a humidade sempre está presente na atmosfera, até mesmo em dias ensolarados e para que ocorra a precipitação são necessários processos que resfrie o ar suficientemente a fim de que a humidade fique próxima ao ponto de saturação, o qual nem sempre ocasiona o evento de precipitação.

2.4.2 Classificação das precipitações

Geralmente o resfriamento de uma parcela de ar produz a precipitação, nuvens e tempestades. Isso normalmente é realizado quando parcela é elevada em uma zona de baixa pressão, para que assim seja atingida a temperatura de condensação da água, através da densidade da massa de ar e do resfriamento adiabático. Existem diferentes formas que ocasionam o levantamento, resfriamento e que condicionam a precipitação das massas de ar, sendo classificadas como: frontais ou ciclônicas, convectivas e orográficas (Figura 4), como é explicado por Black (1996), Bertoni e Tucci (2001), Collischonn e Tassi (2008).

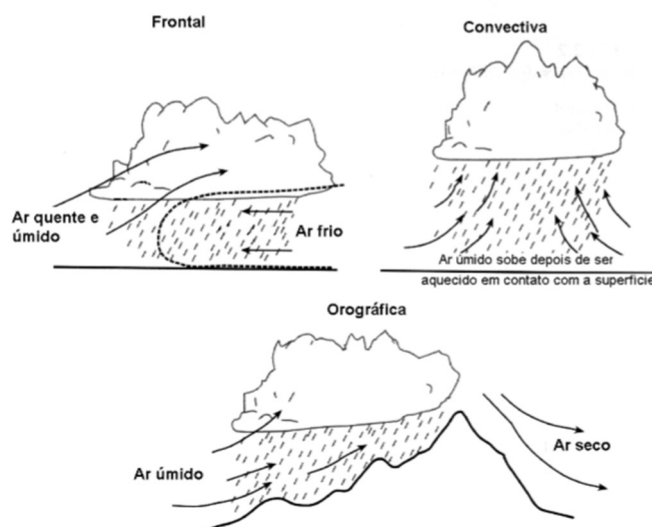


Figura 4 – Tipos de chuvas. (Collischonn e Tassi, 2008).

2.4.2.1 Frontais ou ciclônicas

Advém da interação de massas de ar quentes e frias, em que o primeiro é intensamente impulsionado para cima resfriando-se e por ser úmido ocorre a condensação do vapor de água, produzindo assim chuvas.

Quanto maior a presença de água na atmosfera menor será a densidade do ar e possuirá menor estabilidade que o ar seco. Quando essa massa de ar se encontra com uma zona de baixa pressão ela tende a subir e ocasiona, adiabaticamente, uma queda de temperatura fazendo com que tanto a umidade relativa, quanto a instabilidade aumente, proporcionando assim a ocorrência da precipitação. Já em zonas de alta pressão são características de possuir condições mais estáveis e serem associadas com baixa umidade.

A relação do encontro entre massas de ar quentes e frias também proporcionam a ocorrência de precipitação. As frentes frias e secas ao colidirem com as massas de ar quente e húmida, provoca a elevação dessa última, pois possui menor densidade, e assim adiabaticamente acontece o decréscimo de temperatura da massa de ar quente ocasionando a precipitação. Essa sequência de acontecimentos produz nuvens do tipo Cumulonimbus, que são características de promoverem chuvas intensas de curta duração em uma pequena área.

Já nas frentes quentes, quando avançam sobre massas de ar frio, esta última se mantém no local devido a maior densidade enquanto a outra se eleva sobre ela. A ascensão da massa de ar quente sofre resfriamento adiabático da temperatura produzindo nuvens que podem ocasionar eventos de precipitação, porém, desse modo, são geradas nuvens stratus que cobrem áreas maiores e chuvas com intensidade menor.

2.4.2.2 Convectivas

As chuvas convectivas são formadas normalmente no verão e são frequentes na zona intertropical, sendo separadas, usualmente, por intervalos de tempo de 20 minutos, verificam-se normalmente próximas a corpos hídricos e áreas urbanas, durante o final da manhã e início da tarde. Acontecem devido ao ar quente possuir menor densidade e por convecção ascender sofrendo uma redução de temperatura de forma adiabática, ocorrendo assim à condensação e precipitação. Sua intensidade é alta, possui relativamente curta duração, acontece em áreas dispersas e são acompanhadas de ventos de velocidade e direções variadas.

2.4.2.3 Orográficas

As chuvas orográficas ocorrem quando um grande obstáculo de relevo, cordilheiras, montanhas ou serras de elevada altitude, atuam como mecanismo de elevação de massas de ar quentes e húmidas, normalmente oriundas dos oceanos que serão resfriadas adiabaticamente havendo condensação do vapor, formação de nuvens e chuvas. Esse tipo de precipitação possui pequena intensidade, longa duração e cobrem pequenas áreas. Quando as massas de ar conseguem ultrapassar essa barreira o lado oposto é projetado à sombra pluviométrica, locais onde possuem áreas secas ou semiáridas causadas pelo ar seco já que a humidade foi perdida na superfície oposta do terreno.

2.4.3 Distribuição temporal e espacial da pluviosidade

A distribuição espacial da pluviosidade ocorre de forma irregular, sendo que em certo ponto da área atingida pela precipitação alcança a máxima intensidade enquanto que em sua vizinhança há o decréscimo da mesma, ademais quanto maior a área que ocorre o evento menor será sua intensidade em sua periferia, isso dificulta a obtenção de dados concretos em toda área de estudo. Normalmente, as medições das precipitações ocorrem de forma pontual, sendo a área de abrangência da medição menor que a total em que ocorreu a precipitação, assim, não é possível afirmar com precisão qual é a quantidade precipitada em toda área atingida.

Entretanto, é possível identificar locais que possuem tendência para ocorrer eventos de precipitação influenciados pela existência de cadeias de montanhas, uma vez que a pluviosidade aumenta com altitudes até 2000 e 3000 metros, influenciado ainda pela inclinação e orientação das vertentes, onde a superfície mais inclinada e a face virada a favor do vento (barlavento) receberá mais água, enquanto que a superfície mais plana e a face protegida do vento (sotavento) receberá menos água e pela distância do mar, a pluviosidade será maior rente aos oceanos do que longe da costa (Black, 1996; Lencastre e Franco, 2006).

Eventos de precipitações possuem algumas variáveis como o tempo de duração, a intensidade, a quantidade de água que é precipitada e a frequência com que o evento acontece, todas essas relacionando-se entre si. Dessa forma, quanto maior a duração do evento maior será a quantidade precipitada e menor será a sua intensidade, ou, quanto mais frequente o evento ocorrer menor será sua duração, assim como menor será sua intensidade e o inverso de cada situação também se aplica como explica Black (1996).

2.4.4 Precipitações Máximas

Segundo Bertoni e Tucci (2008) precipitações com longa duração, distribuição espacial e temporal crítica possuem menor probabilidade de ocorrer e podem ser interpretadas como precipitações máximas. Podem causar danos em áreas tanto rurais quanto urbanas e serve de parâmetros para execução de obras de engenharia. O autor ainda cita que as precipitações máximas são descritas pelas curvas de intensidade, duração e frequência (i-d-f) (Figura 5), as quais são compostas pela correlação das durações, intensidades das chuvas e pela probabilidade de ocorrência, denominado período de retorno, nela é possível deduzir que quanto maior a intensidade do evento de precipitação, menor será o tempo de sua duração, essas variáveis podem ser obtida por uma série longa de registros dos eventos de precipitação.

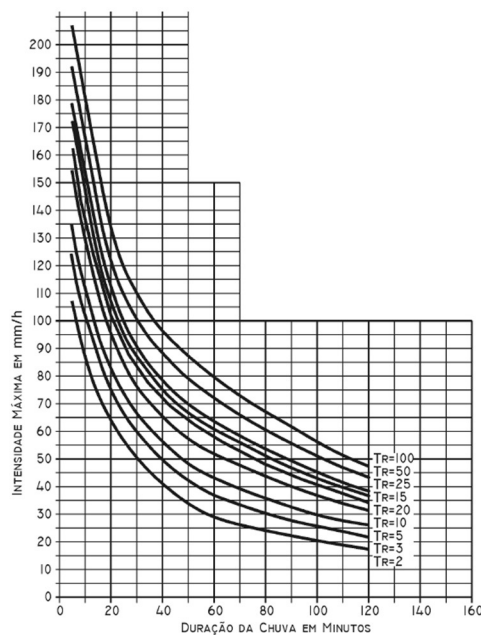


Figura 5 – Curva IDF obtida pela análise dos dados de um pluviógrafo localizado na redenção em Porto Alegre, Brazil. (Collischonn e Tassi, 2008).

2.5 escoamento superficial

2.5.1 Definição de escoamento superficial

Vazão é o volume de um fluido que passa por um determinado local dividido por um intervalo de tempo (L^3T^{-1}). A vazão de um rio é resultante da relação entre

precipitação, infiltração, armazenamento e evapotranspiração. Caso a precipitação seja maior que as capacidades de armazenamento da bacia, o volume de água excedente escoar-se até o curso de água mais próximo aumentando a vazão e dando origem aos picos de vazão, as cheias e enchentes. Esse maior escoamento que acontece em consequência ao evento de precipitação é denominado escoamento superficial, (Lencastre e Franco, 2006; Collischonn e Tassi, 2008;)

Quando um hidrograma é analisado pode-se considerar duas vertentes principais do escoamento: de base, que é uma parte da precipitação que sofreu infiltração profunda e contribuiu para a recarga do escoamento das reservas hídricas subterrâneas por onde passa o curso de água sendo importante após os eventos de precipitação e estiagens representando a totalidade do escoamento superficial, e o escoamento direto, é a precipitação útil, que é a parte restante da precipitação após satisfazer os processos de infiltração, evaporação e retenção superficial da bacia, que alcança a rede hidrográfica, é considerada o escoamento de maior significância durante o período de intensa precipitação, (Lencastre e Franco, 2006).

2.5.2 Curva de duração

A relação entre a vazão e a frequência que essa vazão é igualada ou superada pode ser expressa pela curva de duração (Figura 6). Essa é composta por dados diários ou mensais da vazão e pela probabilidade dessa vazão voltar a ocorrer e procura interpretar o funcionamento do corpo hídrico. Além disso, a influência humana na forma do uso do solo pode influenciar a forma da curva, sendo que em áreas que deixaram de ser rurais para se tornarem urbanas ou suburbanas as curvas podem se tornar mais íngreme devido à diminuição da capacidade de infiltração do solo e com isso o escoamento torna-se mais veloz (Black, 1996; Collischonn e Tassi, 2008).

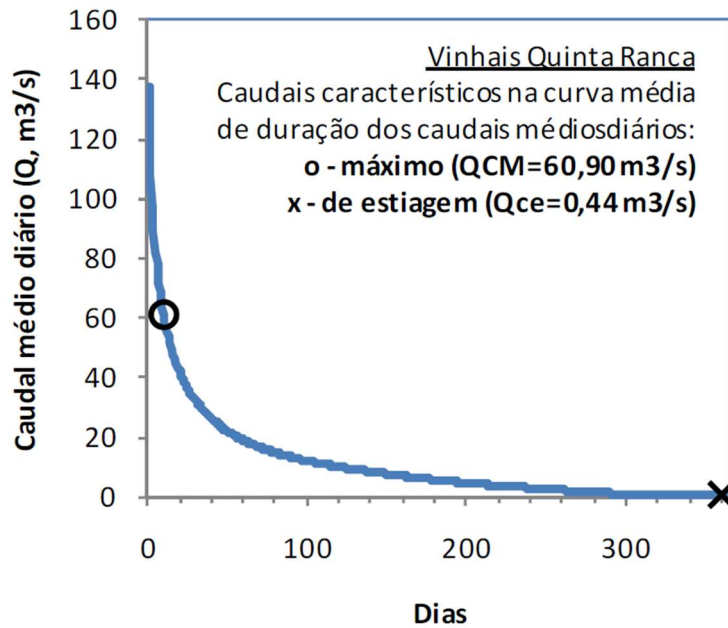


Figura 6 – Curva de Duração dos caudais médios diários, na bacia hidrográfica de Vinhais de Quinta Ranca. (Figueiredo e Ribeiro, 2010).

Black (1996) menciona que bacias hidrográficas que são geograficamente similares, possuem tamanho, forma, aspecto e declives parecidos, assim as curvas de duração desses locais também serão semelhantes.

Junto a curva de duração é possível observar alguns caudais característicos do curso de água como o caudal máximo (Q_M), o caudal característico máximo (Q_{CM}), que é o caudal que foi igualado ou excedido apenas em 10 dias do ano, o caudal característico de estiagem (Q_{Ce}), sendo o caudal excedido em 355 dias do ano, e o caudal mínimo (Q_m) considerado o menor caudal registrado (Lencastre e Franco, 2006).

2.6 Curva histórica de caudais e Hidrograma de cheia

2.6.1 Conceito de curva histórica de caudais

A curva histórica ou séries históricas, são formadas por valores de caudais organizados de acordo com a respectiva ordem de ocorrência, podem ser separadas por séries de caudais instantâneos ou hidrogramas ou séries de caudais médios (Figura 7), elaborado por valores médios de caudais sucessivos de períodos iguais.

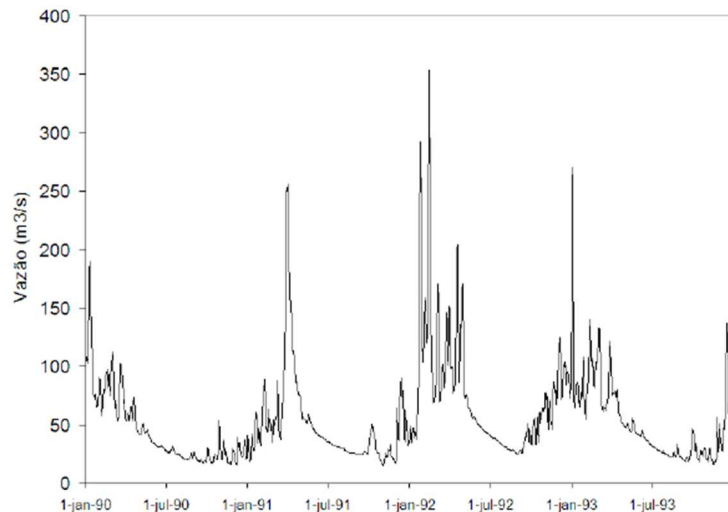


Figura 7 – Curva histórica do rio dos Bois, Goiás – Brasil, de 1990 a 1993. (Collischonn e Tassi, 2008).

2.6.2 Conceito de Hidrograma de cheia

Hidrograma de cheia é um gráfico composto pela variação da vazão pelo tempo (Figura 8). Nele pode ser observado o comportamento do curso d'água antes, durante e depois do evento de precipitação, (Tucci, 2001).

A análise detalhada desses hidrogramas é importante para mitigar danos causados por enchentes, para prever inundações e para construções de obras de engenharia que sofre influência da precipitação. (Linsley, Kohler e Paulhus, 1985).

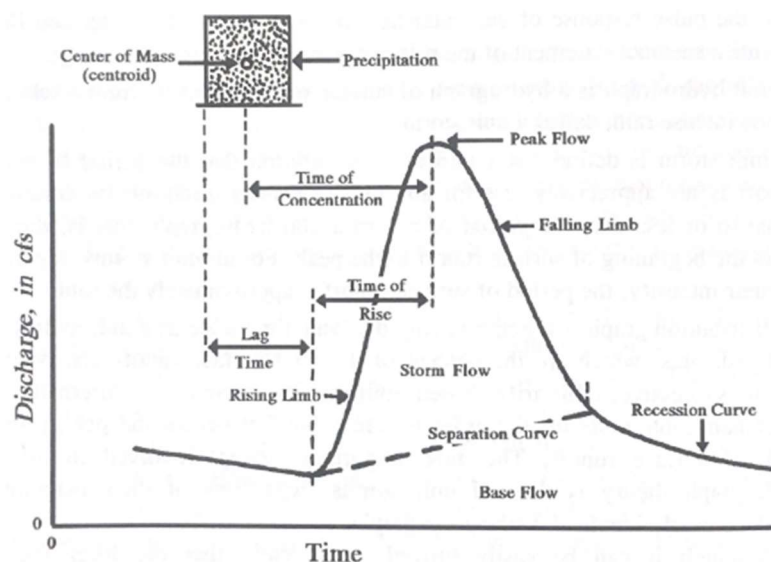


Figura 8 – Hidrograma de cheia características e componentes. (Black, 1996. p. 14).

*Traduções: Discharge = Descarga; Time = Tempo; Center of Mass = Centro de massa; Precipitation = Precipitação; Time of concentration = Tempo de concentração; Lag time = Tempo de retardamento; Time of rise = Tempo de ascensão; Storm flow = Escoamento direto; Base flow = Escoamento de base; Rising Limb = Curva de crescimento; Falling Limb = Decrescimento da curva; Peak flow = Pico de escoamento; Recession Curve = Curva de recessão; Separation Curve = Curva de separação.

2.6.3 Características e componentes do hidrograma de cheia.

Os hidrogramas de cheia (Figura 8) podem diferir em forma entretanto possuem as mesmas características como, a curva de crescimento (“*Rising Limb*”), representa o aumento do caudal estimulado pelo aumento do escoamento que possui duração igual ao tempo de crescimento (“*Time of Rise*”), a ponta do hidrograma, que é o caudal máximo de escoamento (“*Peak Flow*”), a curva de decréscimo (“*Falling Limb*”), condizente ao decréscimo progressivo do escoamento direto durante o tempo de decréscimo, a curva de esgotamento (“*Recession Curve*”), equivalente ao decréscimo do escoamento de base que nesse intervalo de tempo é o único responsável pelo total do escoamento fluvial. Além desses intervalos de tempo citados, também possuem importância fundamental nas características do hidrograma de cheia o tempo de resposta, o tempo de precipitação e o tempo de concentração, que podem ser interpretados no hidrograma, possuindo comportamentos diferentes para características diversas de cada bacia (Lencastre e Franco, 2006).

Lencastre e Franco (2006) explicam que ao analisar um hidrograma de cheia pode-se considerar duas componentes principais do escoamento (Figura 9), o direto, composto pela água que não sofreu os processos de evaporação, infiltração e retenção superficial, chegando a rede hidrográfica, ou seja, é a precipitação útil, considerado o componente mais significativo do hidrograma durante a ocorrência da chuvada. E o escoamento de base, resulta de uma parte da precipitação que sofre infiltração profunda e desta forma recarrega os mananciais subterrâneos sendo a componente responsável pela totalidade do escoamento fluvial após o término do evento causador de precipitação.



Figura 9 – Componentes de um Hidrograma de Cheia. (Lencastre e Franco, 2006).

2.6.4 Fatores que influenciam a forma do hidrograma de cheia

Segundo Tucci (2001) e Lencastre e Franco (2006), a forma do hidrograma de cheia pode ser afetada pelas características topográficas, geológicas e de precipitação. As mais importantes são: relevo, cobertura da bacia, modificações artificiais no rio, distribuição, duração e intensidade da precipitação e o solo.

O relevo influencia na densidade de drenagem, na declividade do rio ou bacia, na capacidade de armazenamento e na forma. Nas cabeceiras das bacias apresentam, normalmente, boa drenagem e alta declividade sendo comum possuir um hidrograma de cheia íngreme com pouca participação do escoamento de base.

A cobertura da bacia pode influenciar na velocidade do escoamento, em bacias que possuem cobertura vegetal o escoamento superficial e o pico de escoamento tendem a diminuir em relação a áreas que possuem solo impermeável, como zonas urbanas, que tendem a ter maior escoamento superficial e maior pico de escoamento.

Modificações artificiais no rio podem tanto diminuir o pico de escoamento, quando há presença de um reservatório regulador de vazão, quanto aumentar, devido a canalização do corpo hídrico.

Características da precipitação como intensidade, duração e sua distribuição podem influenciar a forma do hidrograma que pode possuir maior ou menor pico dependendo da intensidade da chuvada, menor ou maior comprimento devido a duração do evento e a distribuição espacial pode interferir na forma do hidrograma conforme mostra a Figura 3.

A humidade do solo no início do evento de precipitação influencia diretamente o escoamento superficial que irá ocorrer devido a maior ou menor quantidade de água infiltrada até o solo atingir o ponto de saturação, assim podendo aumentar ou reduzir o hidrograma de cheia.

2.6.5 Determinação do pico de escoamento

Black (1996) afirma que devido à alta quantidade monetária gasta para controle e alívio de inundações, e aos problemas causados por elas, foram desenvolvidos métodos precisos de previsão das magnitudes dos fluxos de pico.

O autor ainda cita quando a bacia hidrográfica possui solo impermeável com inclinação, rugosidade e área constante, o fluxo de pico se torna relativamente fácil de prever e será em função da intensidade da precipitação, rugosidade e da área da bacia. Ademais, normalmente é assumido a área ocupada é atingida totalmente, instantaneamente e uniformemente pela chuva e possui taxa constante do início ao fim do evento.

Para quantificar o fluxo de pico Black (1996), Collischonn e Tassi (2008) fazem o uso de uma Equação (1) em função do tempo de concentração, que é a quantidade temporal necessária para ocorrer à saturação da superfície do solo, a intensidade da precipitação e a área de drenagem, chamada de método racional:

$$Q_p = \frac{C_i \cdot d}{3,6} \quad (1)$$

Sendo que, Q_p é o fluxo de pico em m^3/s , c é o coeficiente de escoamento, i é a intensidade da precipitação em mm/h e A_d é a área de drenagem em km^2 .

Collischonn e Tassi (2008) dizem ainda que o coeficiente de escoamento (C) é selecionado em função do uso do solo, vegetação e ocupação da bacia, assumindo assim diferentes valores que usualmente constam em tabelas, por exemplo, como pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores do coeficiente de escoamento (C) utilizados no método racional, para diferentes superfícies. (Collischonn e Tassi, 2008).

Superfície	Intervalo	Valor esperado
Asfalto	0,70 a 0,95	0,83
Concreto	0,80 a 0,95	0,88
Calçadas	0,75 a 0,85	0,80
Telhado	0,75 a 0,95	0,85
Gramma solo arenoso plano	0,05 a 0,10	0,08
Gramma solo arenoso inclinado	0,15 a 0,20	0,18
Gramma solo argiloso plano	0,13 a 0,17	0,15
Gramma solo argiloso inclinado	0,25 a 0,35	0,30
Áreas rurais	0,0 a 0,30	

Anteriormente, neste trabalho, foi citado que as precipitações máximas podem ser dispostas em gráficos de duração, intensidade e frequência. Portanto, devido as precipitações máximas gerarem picos de escoamento, Collischonn e Tassi (2008), afirmam que a intensidade do evento de precipitação pode ser obtida através da curva

IDF, sendo necessário definir apenas a duração do evento e sua frequência (período de retorno).

A última variável da equação é a área de drenagem, que, por sua vez, possui variadas formas de ser obtida, ou seja, desde mapas até levantamentos topográficos, como explica Collischonn e Tassi (2008).

Além do método racional citado por esses autores, Lencastre e Franco (2006) elencam também outras formas de determinar o pico de escoamento, como, por exemplo, as fórmulas empíricas (fórmula de Whistler, fórmula de Pagliaro e a fórmula de Forti) e as fórmulas cinemáticas (fórmula de Giandotti e a Fórmula do SCS).

2.6.6 Escoamento de base

Segundo Black (1996), a recessão do escoamento de base do hidrograma advém da água armazenada em meios subterrâneos que faz parte da bacia hidrográfica. Essa curva de recessão possui comportamento similar a um decaimento não linear com o tempo, expresso pela Equação (2):

$$Q_t = Q_0 K^t \quad (2)$$

Sendo Q_t a descarga em um tempo t , Q_0 a descarga inicial e K a constante de recessão.

Sabendo que a natureza dos processos de drenagem é a responsável pelas características do fluxo de base, presume-se que recessões repetitivas terão o mesmo formato de curva. Porém, alguns fatores independentes influenciam o fluxo de base como, por exemplo, a humidade do solo, evapotranspiração, armazenamento do canal, recarga durante a recessão e condições gerais das humidades anteriores. Valores confiáveis de escoamento de base são úteis para estimar o total escoamento da água subterrânea e, assim, avaliar a separação do escoamento direto do fluxo de base em uma bacia.

2.7 Separação do Hidrograma de cheia

Segundo Linsley et al. (1985) e Lencastre e Franco (2006), a separação do hidrograma nas componentes escoamento direto e escoamento de base é dificultoso e arbitrário, devido as suas definições também serem arbitrárias. Existem diversas técnicas para efetuar essa divisão, uma das mais utilizadas é a transformação em escala

logarítmica das ordenadas onde são representados os caudais, com isso é possível realizar através de operações matemáticas a separação desses escoamentos do hidrograma conforme mostra a Figura 10.

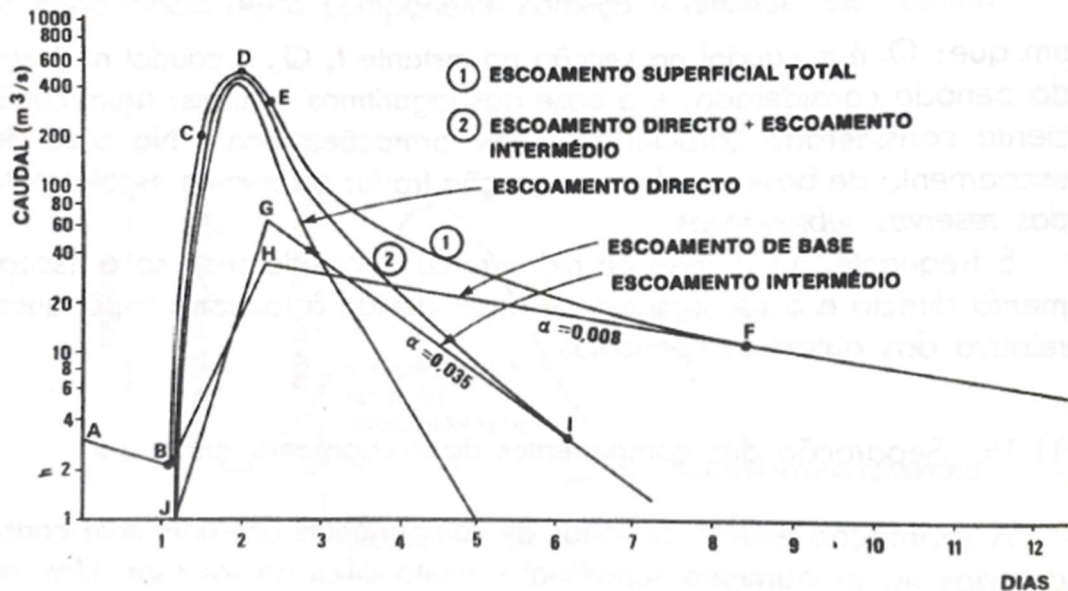


Figura 10 – Separação do hidrograma de cheia utilizando transformação logarítmica das ordenadas. (Lencastre e Franco, 2006).

Outra técnica amplamente utilizada, dessa vez mais simples que a anterior, é utilizando fórmulas empíricas, como a Equação (3):

$$t_d = 20 * A^{0.2} \quad (3)$$

Sendo t_d a duração do escoamento direto após a ponta de cheia em horas e A a área da bacia hidrográfica em km^2 . Assim é possível traçar uma reta do início do escoamento até o dia específico marcado pela variável t_d e assim efetuar a separação do hidrograma (Figura 11).

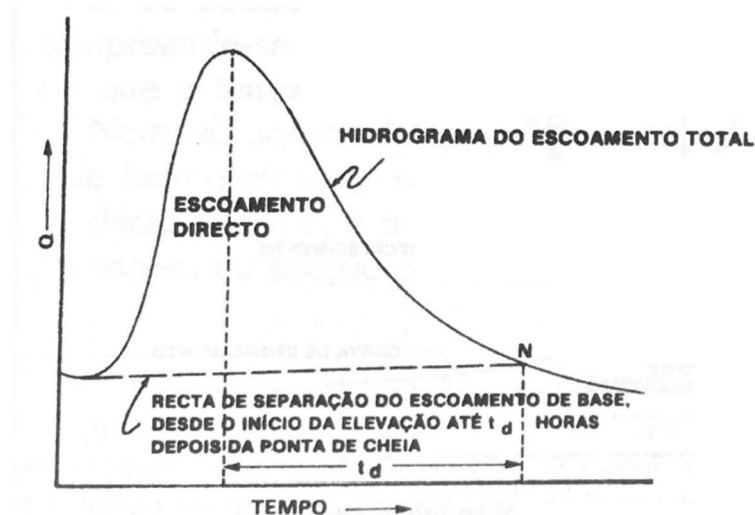


Figura 11 – Separação do hidrograma de cheia utilizando fórmula empírica. (Lencastre e Franco, 2006).

2.8 Estudo dos riscos hidrológicos.

Segundo Bronstert (2004), os estudos do ciclo hidrológico concomitante as alterações climáticas são fundamentais, principalmente quando se aborda as projeções das precipitações as quais ainda são incertas. Ainda segundo o autor, com o rápido aumento da humanidade após a era da industrialização produziu drásticas mudanças no uso e ocupação do solo, sendo esse de relevância majoritária para a produção do escoamento superficial.

Visto que as fronteiras entre o ciclo hidrológico, o uso e ocupação do solo estão relacionadas, estudos que viabilizam a interação entre elas, somadas as suas variabilidades são de extrema importância, dando ênfase em pesquisas que ajustem para os eventos extremos, como as cheias e as secas hidrológicas, devido serem de interesse particular para diversas avaliações de impactos, (Bronstert, 2004).

2.9 Definição secas hidrológicas.

A falta de água durante um longo período, abrangendo uma grande área física, gerando problemas nas atividades socioeconômicas, nos ecossistemas e indisponibilidade para satisfazer as necessidades humanas, pode ser denominada de seca hidrológica e são caracterizadas em termos de intensidade, localização e duração. Este fenômeno é desenvolvido lentamente e possui fronteiras mal definidas sendo causada pelo acúmulo de efeitos e ações ao longo de uma série histórica, promovendo consequências diretas,

mal fornecimento de água para abastecimento urbano, prejuízos econômicos, inviabilização da navegação, diminuição da geração de energia por meio hidroelétrico, afeta negativamente a saúde humana e animal e indiretas, tais como incêndios florestais, problemas fitossanitários, aumento de poluentes em meios hídricos, erosão do solo e desertificação. (Santos, 1998 e WMO, 2016)

Segundo Santos (1998), a análise da seca a partir de uma visão regional é baseada na distribuição espacial das variáveis determinantes, que são fundamentadas nas características climáticas e geomorfológicas em locais pontuais que sejam representativos da região a ser analisada. Ainda segundo a autora, as variáveis determinantes das secas são relevantes para as análises desse fenômeno que podem ser separadas em três tipos: seca urbana, seca agrícola e seca hidrometeorológica, essa última está relacionada com o escoamento superficial, temperatura, nível freático, água no solo, evaporação e evapotranspiração.

2.10 Definição de cheias

Segundo Lencastre e Franco (2006), uma situação de cheia hidrológica ocorre sempre que a precipitação dá origem a um escoamento superficial, podendo esta ser de pequena escala, ou seja, que causam poucos danos, ou de grande escala, inundando grandes áreas proporcionando grandes prejuízos sociais e econômicos. Os autores frisam que as cheias são fenômenos naturais e acontecem através de processos hidrológicos de carácter aleatório, que ao aprofundar o conhecimento nessa área podem-se diminuir os riscos que elas podem causar.

Os autores ainda citam que a determinação dos valores dos caudais para os mais diversos planejamentos são determinados por métodos de pré-determinação das pontas de cheia, podendo ser através de fórmulas empíricas, fórmulas cinemáticas ou por métodos estatísticos.

2.11.1 Zonas de montanha: definição, características e importância hidrológica

Segundo Azevedo et al. (2016) a definição de montanha é arbitrária, porém sempre relacionada com a altitude, declive e latitude. Em Portugal as zonas de montanha foram consideradas, a princípio, com base em altitude igual ou superior a 700 metros e com

declividade igual ou superior a 25%, e posteriormente foram inseridas outras características como o clima de base mediterrânico, o declive e sua continuidade e extensão, deixando menos relevante o fator altitude.

Ainda segundo os autores, as zonas de montanha possuem elevada especificidade geomorfológica, agronômica, socioeconômica, e antropológica resultando em variações acentuadas em características ambientais como, radiação, temperatura e precipitação.

As montanhas compreendem cerca de 11% da superfície emersa de Portugal continental, cerca de 10.000 Km², localizando-se ao Centro e ao Norte do país e representa 40% do território de Trás-os-Montes, NE de Portugal. Esses locais exercem papel importantíssimo na qualidade, quantidade e regularidade da água consumida, além de possuir condições favoráveis para retenção e sequestro de carbono, ou seja, atuando como uma região importante de serviços de ecossistemas, (Aguiar et al.,2009).

Segundo Nunes (2016), a região mediterrânica foi identificada um dos principais locais de risco quando o assunto se trata sobre alterações climáticas, devido as alterações de temperatura e precipitação associada aos eventos climáticos extremos que se tornam cada vez mais frequentes. O autor ainda enfoca que as regiões de montanha mediterrânica exercem papeis de extrema importância na vegetação natural e atividades agroflorestais, ademais, de um ponto de vista hidrológico, as bacias hidrográficas de montanha atuam na produção de água, regulação do escoamento superficial e manutenção da qualidade da água. E complementa dizendo que as consequências das alterações climáticas nessas regiões apontam para uma maior fragilidade dos sistemas humanos e naturais devido ao decréscimo da disponibilidade hídrica e do aumento da degradação dos solos nesses locais.

2.11.1 O Parque Natural de Montesinho: breve caracterização

Segundo o Instituto da Conservação da Natureza (ICN) o Parque Natural de Montesinho (PNM) está localizado a nordeste de Portugal continental fazendo parte de uma zona de montanha. Seu território ocupa um espaço de fronteira entre Portugal e Espanha e englobam acidentes orográficos como as serras de Montesinho e Coroa e caracteriza-se também por abrigar relevos suaves do período Pré-Cambriano e Paleozoico.

A geologia é composta por complexos polimetamórficos alóctones constituído pelo empilhamento de diversas unidades tectônicas sobrepostas a metassedimentos

Paleozoicos, sobressaindo o maciço de Bragança. Já a pedologia é composta de Leptossolos, Cambissolos, Luvisolos, Alissolos, Fluvisolos e Pararregossolos, e a ocupação do solo é composta de floresta, agricultura e incultos.

Sua rede hidrográfica é ampla e possui rios caudalosos, constituindo a rede hidrográfica do Douro, sendo os rios Sabor e Tua dois dos principais afluentes da margem direita do Douro. Os cursos de água mais importantes que compõe o PNM são o rio Mente, Rabaçal, Tuela e Baceiro, que são incluídos na bacia do rio Tua a ocidente do parque, e os rios Sabor, Igrejas, Onor e Maçãs pertencentes a bacia do Sabor a oriente do parque.

O clima tem regime particularmente mediterrânico com uma estação xérica estival marcante. A temperatura média anual varia de 8.5 °C na Serra de montesinho e os 12.8 °C na Baixa Lombada, já nas áreas homogêneas a média das temperaturas máximas varia entre 14 a 17 °C e as médias das baixas entre 5 a 7 °C.

A precipitação se distribui tipicamente de acordo com o clima mediterrânico, concentrando-as nas estações mais frias, sendo que, de outubro a março representa 72% da precipitação anual atingindo principalmente as regiões de elevada altitude, e grande ausência nas estações mais quentes. Um fenômeno natural importante e característico do inverno bem definido da região são as geadas que exercem influência direta no ritmo biológico e nas atividades agrícolas da região.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo aborda os materiais e métodos utilizados a fim de se obter a caracterização fisiográfica das bacias, a evolução temporal dos dados hidrométricos e a resposta hidrológica das bacias. Para isso, o trabalho foi organizado de acordo com a Figura 12.

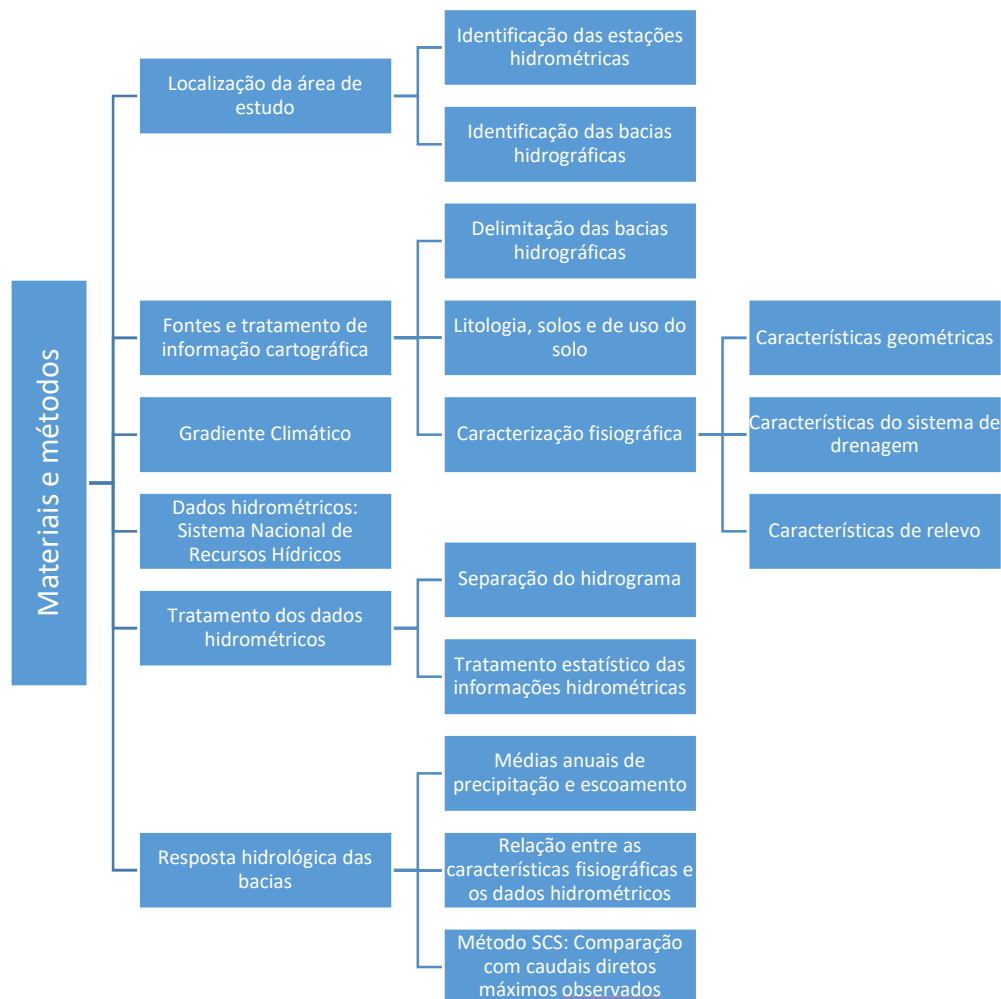


Figura 12 - Passos e relações abordadas na metodologia.

3.1 Localização da Área de estudo

A área de estudo (Figura 13) está localizada no Nordeste de Portugal Continental sendo parte da região denominada Trás-os-Montes, foram selecionadas três estações hidrométricas, Gimonde (03Q/01) Latitude a 41.8° N e Longitude 6.7° W, sendo parte do concelho de Bragança, Ponte Pinelo (04R/01) Latitude a 41.65° N e Longitude 6.57° W,

que é parte do concelho de Vimioso e Vinhais-Quinta Ranca (03P/01) Latitude a 41.75° N e Longitude 7° W, que se localiza no concelho de Vinhais.

A área de estudo compõe gradiente climático que terá efeito de comparação, tanto do seu comportamento quanto do risco hidrológico, através de parâmetros medidos nas estações citadas acima as quais representam diferentes rios, sendo que, a de Gimonde mede do rio Sabor, e é considerada a bacia de transição climática, a de Ponte Pinelo do rio Maças, considerada a bacia que possui clima seco, e de Vinhais-Quinta Ranca do rio Tuela, representando a bacia húmida, estas possuem em comum serem parte da bacia do Douro, mas diferem em sub-bacia, sendo Gimonde e Ponte Pinelo parte da sub-bacia do Sabor e Vinhais-Quinta Ranca da sub-bacia do Tua.

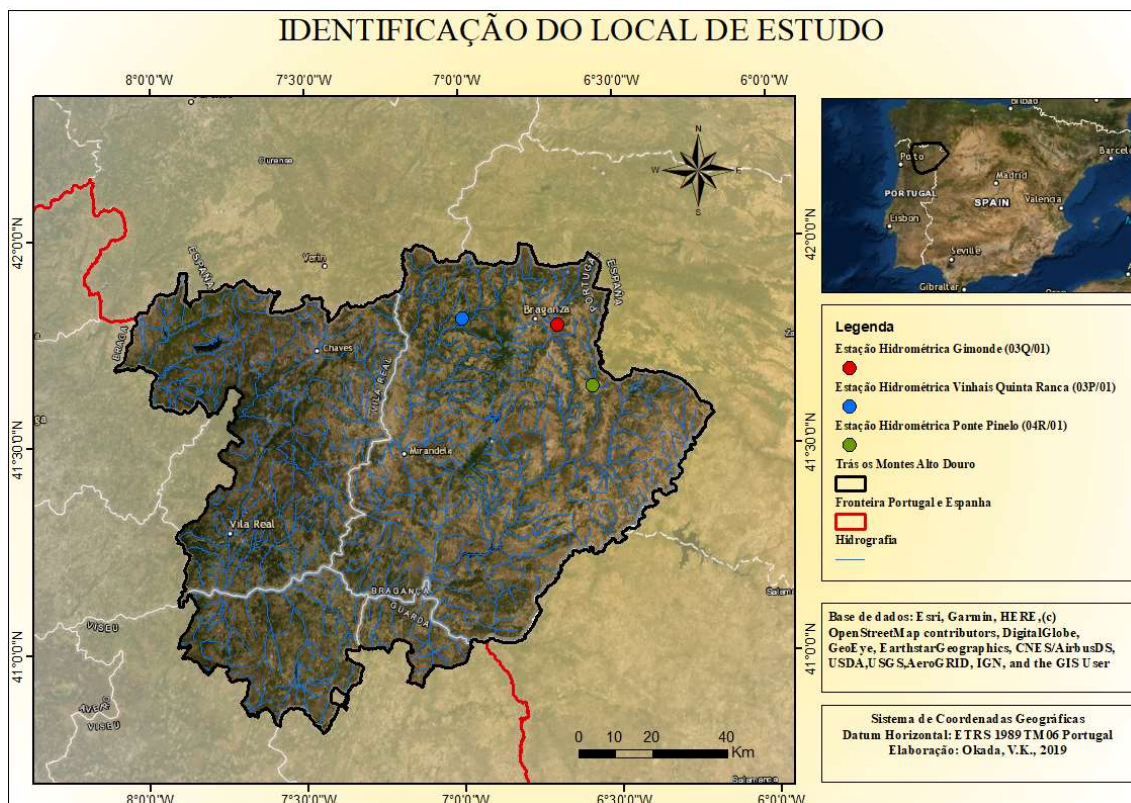


Figura 13 – Identificação do local de estudo.

3.2 Fontes e tratamento de informação cartográfica em SIG

Com a finalidade de caracterizar as bacias hidrográficas selecionadas, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento em software de Sistema de informação geográfica (SIG), ArcGIS, utilizado com a licença estudantil, para serem identificadas as áreas das bacias, a hidrografia presente, uso e ocupação do solo, litologia, pedologia e

relevo. Parte da caracterização fisiográfica das bacias foi feita através da transferência dos dados do software SIG ao Excel, no qual se realizou o tratamento e análise dos resultados.

3.2.1 Delimitação das bacias hidrográficas

Como primeiro passo foi necessário obter o modelo digital de terreno (DEM) escolhendo o projeto ALOS World 3D (AW3D), que possui imagens com resolução de 30 metros, sendo selecionados os quadrantes N41W007, N41W008, N42W007 e N42W008, os quais enquadram a área de estudo, disponibilizadas pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA).

Com base no DEM e utilizando técnicas de geoprocessamento foi possível estabelecer os limites das bacias hidrográficas definidas pelas secções correspondentes às estações hidrométricas selecionadas, e a respetiva malha hidrográfica. Toda a informação cartográfica necessária à caracterização das bacias foi recortada segundo aqueles limites.

3.2.2 Litologia, solos e de uso do solo

Com os limites das bacias definidos, foram efetuados mapas de uso e ocupação do solo, litologia, pedologia e dos tipos hidrológicos do solo. Devido os limites das bacias transcenderem o território português e, assim, ocupando parte da Espanha, realizou-se a união dos dados de ambos os países para a geração dos mapas citados acima.

Com a finalidade de realizar um mapa de uso e ocupação do solo foi utilizado, para o território português, um arquivo *shapefile* disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) o qual contém informações de uso e ocupação do solo baseada na legenda COS 2015. Já para o território espanhol utilizou-se a classificação realizada pelo Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE). Objetivando a união dessas informações foi realizada uma compatibilização dos dados da SIOSE com os da COS 2015 e foi gerada uma nova legenda baseada na COS 2015 nível 3, possibilitando a produção dos mapas com a homogeneização da fonte dos dados, para as bacias estudadas.

A litologia enfrentou o mesmo problema citado anteriormente. Foi adquirido, para o território de Portugal, o *shapefile* também através do SNIG. Para o território espanhol,

utilizou-se o arquivo disponibilizado pelo Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Novamente foi necessária a compatibilização dos dados e, neste caso, foi utilizada a classificação do arquivo português, baseado em Agroconsultores e Coba (1991), realizando a mudança da classificação do arquivo espanhol. Dessa maneira foi possível a criação do mapa de litologia das três bacias hidrográficas estudadas.

Como nos elementos anteriores, a pedologia também difere em sua classificação nos dois países. Os arquivos foram disponibilizados pelo SNIG, Portugal, e pelo Instituto Tecnológico Agrário da junta de Castilla y Leon (ITACyL), Espanha. Para sua compatibilização, tomou-se como base o trabalho “Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano, realizado por Figueiredo (2013), que utiliza a nomenclatura tanto cartográfica quanto pedológica adotada em Agroconsultores e Coba (1991), a qual é baseada na legenda da Food and Agriculture Organization (FAO). Os mapas pedológicos criados consideram unidades principais, secundárias e principais e secundárias, para as bacias abordadas.

O mapa dos tipos hidrológicos do solo foi criado com base nos tipos pedológicos e sua classificação é abordada posteriormente, quando se tratar do tópico “número de escoamento (N)”, utilizado para calcular o caudal de ponta de cheia.

Dos resultados dos mapas e utilizando as ferramentas, *table to excel e frequency*, do ArcGIS, foram transferidas informações para folhas de cálculo que possibilitaram a criação de gráficos e tabelas as quais serviram para comparar quantitativamente as características das bacias hidrográficas.

3.2.3 Caracterização fisiográfica

Ainda com o uso do DEM, e através de técnicas de geoprocessamento no software de SIG, para as três bacias foram obtidas informações como área, perímetro, altitude, altura, comprimento das linhas da água, comprimento axial da bacia e o declive, tornando possível obter conhecimentos sobre a fisiografia das bacias, assim caracterizadas de acordo com a geometria, o sistema de drenagem e o relevo. Para isso, foram calculados o coeficiente de compacidade, o fator forma, a densidade de drenagem, a altitude média, a altura média, a curva hipsométrica, o perfil longitudinal do curso da água, o declive e o retângulo equivalente.

3.2.3.1 Cálculo das características geométricas

A forma da bacia hidrográfica pode ser descrita quantitativamente, segundo Lencastre e Franco (2006), pelo coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius, representada por K_c , partindo da relação entre o perímetro, P , da bacia hidrográfica e de uma circunferência que possui área igual à da respectiva bacia, possuindo um determinado raio r , ou seja (Equação 4):

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

O fator forma, K_f , é a outra descrição quantitativa da forma da bacia hidrográfica e, segundo os mesmos autores, é representada pela relação entre a área, A , da bacia e pelo comprimento axial da bacia, L , ficando explicita pela seguinte equação (Equação 5):

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (5)$$

Os autores citados explicam que ambos os parâmetros refletem a tendência para que ocorram eventos de cheias.

3.2.3.2 Cálculo das características do sistema de drenagem

Outra componente importante para a caracterização das bacias, em termos fisiográficos, são as características do sistema de drenagem, sendo descrita, em parte, pela densidade de drenagem, λ , que relaciona o comprimento total, Λ , de toda malha hidrográfica presente em uma determinada bacia e a área, A , da mesma (Equação 6):

$$\lambda = \frac{\Lambda}{A} \quad (6)$$

Os valores de λ dão uma indicação da eficácia da drenagem natural da bacia, considerando-se mal drenadas as bacias com valores menores que $0,5 \text{ Km/Km}^2$, e as com valores superiores a $3,5 \text{ Km/Km}^2$ esplendidamente bem drenadas. Além disso os valores de λ também indicam a tendências para que ocorra cheias ou não, sendo que, quanto maior a densidade de drenagem menos susceptível estará a bacia à ocorrência de cheias (Lencastre e Franco, 2006).

3.2.3.3 Cálculo das características de relevo

Ainda segundo Lencastre e Franco (2006), em termos de relevo a caracterização da bacia está representada pela altitude média, \bar{Z} , a altura média, \bar{H} , o retângulo equivalente, a curva hipsométrica, o perfil longitudinal do curso da água e o declive. Eles explicam que, altitude média da bacia é representada pelo somatório da multiplicação entre a altura média Z_i e a área, A_i , entre as duas curvas de nível consecutivas dividida pela área, A , total da bacia, como demonstra a Equação 7:

$$\bar{Z} = \frac{\sum Z_i A_i}{A} \quad (7)$$

Já a altura média se assemelha a anterior, diferindo somente pela cota inicial que não é a cota acima do nível médio do mar, mas sim as cotas acima da secção de estudo. Portanto, a altura média, \bar{H} , depende do somatório da multiplicação entre a altura média, H_i , e a área, A_i , entre as duas curvas de nível consecutivas dividida pela área, A , total da bacia, ou seja (Equação 8):

$$\bar{H} = \frac{\sum H_i A_i}{A} \quad (8)$$

Ademais para o cálculo tanto de \bar{Z} quanto de \bar{H} , foi necessário obter intervalos de curvas de nível por meio do ArcGIS, em que a média desses intervalos correspondesse a Z_i ou H_i , para assim prosseguir com a utilização das equações 7 e 8.

O retângulo equivalente segundo Lencastre e Franco (2006) e Guimarães (2017) é composto por um comprimento L_e e largura l_e que possuem perímetro e área similar aos da bacia, sendo então calculados por (Equação 9):

$$\begin{cases} 2(L_e + l_e) = P \\ L_e \times l_e = A \end{cases} \quad (9)$$

Resolvendo o sistema obtém-se (equações 10 e 11):

$$L_e = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16A}}{4} \quad (10)$$

$$l_e = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16A}}{4} \quad (11)$$

Para a inserção das curvas de nível no retângulo foi usado (Equação 12):

$$A_i = L_{ei} \times l_e \Rightarrow L_{ei} = \frac{A_i}{l_e} \quad (12)$$

Sendo A_i a área entre as duas retas e L_{ei} a distância que separa as duas retas de cotas Z_i e Z_{i-1} . Foi utilizado o software AutoCAD 2019, com licença estudantil, para a confecção do retângulo equivalente.

Segundo Lencastre e Franco (2006), a curva hipsométrica representa a área da bacia que fica acima de uma cota específica. Essa área pode estar expressa em unidade de área ou em percentagem de área total (Equação 13):

$$A = f(Z) \quad (13)$$

O perfil longitudinal do curso de água segundo os mesmos autores relaciona as cotas altimétricas do respectivo leito com as distâncias até a foz. Este perfil foi obtido através do manuseio do software ArcGIS, utilizando as ferramentas *Interpolate Line* e *Profile Graph*.

O declive das bacias hidrográficas também foi obtido pelo software de SIG, utilizando a ferramenta *slope*, com resultados em graus e em percentagem, no primeiro caso representados em classes com intervalo de 5 graus e no segundo caso a percentagem dessas classes nas bacias hidrográficas. Ademais através da tabela de atributos do software ArcGIS foi possível obter também o declive médio de cada bacia, utilizando função *Statistics*.

3.3 Gradiente climático

Com o propósito de deixar evidente a presença de um gradiente climático na área de estudo, reuniu-se informações tanto sobre precipitações médias quanto sobre escoamento que ocorrem em cada bacia. Para além dos dados hidrométricos (retomados mas adiante), foram obtidos dados de precipitação no website do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), para Portugal, e no website do Instituto Tecnológico Agrario da Junta de Castilla y León em Atlas agroclimático, para a área espanhola. É importante notar que as médias anuais de precipitação disponíveis para o período mais recente nos dois países não coincidem quanto aos trintênios de cálculo sendo este em Portugal 1971 a 2000 e em Espanha de 1981 a 2010.

Os dados de precipitação estão dispostos no formato *shapefile* em *layer* de pontos, sendo que cada ponto equivale a um determinado valor de precipitação e estão distantes em intervalos de 1000 metros para Portugal e 500 metros para Espanha. Através do software de SIG os pontos foram separados para suas respectivas bacias e utilizando a ferramenta *interpolation* foram interpolados pelo método Krigagem, com o resultado gerado foi possível criar as isoietas de precipitação utilizando a ferramenta *contour*, essas foram posteriormente relacionadas ao relevo das bacias hidrográficas por meio de um mapa.

Os pontos ainda foram transpostos ao software Excel que, através de seus respectivos valores de precipitação, possibilitou obter os valores médios de precipitação anual de cada bacia hidrográfica.

Com os mapas de precipitação das bacias pode evidenciar-se o gradiente climático presente na área de estudo. Em secções posteriores, os dados hidrométricos permitirão enfatizar a evidência desse gradiente.

3.4 Dados hidrométricos: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

O Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) foi criado em 1995 pelo Instituto da Água (INAG), sendo uma atitude pioneira para fornecer gratuitamente dados sobre ambiente via Internet. Este sistema monitoriza os recursos hídricos de Portugal através de uma base de dados que armazena e disponibiliza publicamente informações hidro-meteorológica e de qualidade de águas superficiais e subterrâneas, obtidas a partir de uma rede de monitorização composta por estações automatizadas e convencionais (SNIRH, 2019).

Utilizando o website do SNIRH foram identificadas três estações hidrométricas selecionadas, Gimonde (03Q/01), Ponte Pinelo (04R/01) e Vinhais-Quinta Ranca (03P/01), e obtidas as seguintes informações, características das estações, caudal instantâneo máximo anual, caudal médio diário, escoamento mensal e nível médio diário, que são disponibilizadas para *download* em formatos CSV ou TSV, sendo escolhido, nesse trabalho, o segundo. Este arquivo em forma de texto foi transposto do software “bloco de notas” para o software Excel. É importante salientar que o início e término das séries históricas disponíveis diferem por parâmetros medidos e para diferentes estações hidrométricas.

3.5 Tratamento dos dados hidrométricos: análise temporal

Para o manuseio das informações hidrológicas foram utilizadas folhas de cálculo com os dados disponibilizados pelo SNIRH de forma a serem selecionadas os caudais médios diários em intervalos de tempo de um ano hidrológico, que possui início no dia primeiro de outubro e término no dia 30 de setembro. Cada estação possui um intervalo cronológico, de informações recolhidas, diferente, sendo para a estação de Vinhais Quinta Ranca, bacia hidrográfica do rio Tuela, 46 anos, Gimonde, bacia hidrográfica do rio Sabor, 42 anos, e para a estação Ponte Pinelo, bacia hidrográfica do rio Maçãs, 42 anos.

3.5.1 Separação do hidrograma

Para cada ano hidrológico utilizou-se a metodologia descrita em seguida. Por meio do software Excel, foram separados os dias dos anos hidrológicos, assim como o caudal médio diário correspondente de cada dia. Posteriormente foi criada uma nova coluna denominada dQ/dT , na folha de cálculo, a fim de avaliar a variação do caudal com o tempo, utilizando a Equação 14.

$$\frac{dQ}{dt} = SE(Q_i < Q_{i-1}; 1; -1) \quad (14)$$

Sendo Q_i o caudal médio diário medido no dia i e Q_{i-1} o caudal médio diário medido no dia anterior ao i . Essa equação deve ser interpretada da seguinte forma: todo momento em que há a troca do sinal positivo para o negativo ou vice e versa, há um ponto de máximo escoamento ou um ponto de mínimo escoamento. Logo, todas as vezes que o valor se tornar “1” imediatamente posterior ao “-1” significa que há um pico de máximo escoamento, já quando o valor se torna “-1” imediatamente posterior ao “1” significa que existe um mínimo de escoamento.

Assim, com o objetivo de separar esses pontos específicos do ano hidrológico foram criadas mais duas colunas denominadas “Min” e “Max” que seguem as equações 15 e 16:

$$Min = SE\left(\frac{dQ}{dT}i = \frac{dQ}{dT}i - 1; ""; SE\left(\frac{dQ}{dT}i = -1; Q_i; ""\right)\right) \quad (15)$$

$$Max = SE\left(\frac{dQ}{dT}i = \frac{dQ}{dT}i - 1; ""; SE\left(\frac{dQ}{dT}i = 1; Q_i; ""\right)\right) \quad (16)$$

Sendo “” quando o valor da célula está em branco, ou seja, não possui valor. O passo seguinte foi inverter a série histórica (da data mais recente até a mais antiga) junto com as colunas dos caudais médios diários, Min e Max, os quais passaram a ser indexados com sufixo *inv*.

Após essa inversão foi criada uma coluna denominada “min_restr”, responsável por selecionar sempre o menor valor de entre o valor mínimo, “Min” e o valor do caudal de determinado dia (Equação 17).

$$Min_restr = MÍNIMO(SE(Min_{inv_i} = ""; Min_restr_{i-1}; Min_{inv_i}); Q_{inv_i}) \quad (17)$$

Em seguida, foram incluídos todos os valores de caudal do mesmo ano hidrológico que não máximos nem mínimos em uma nova coluna, denominada “outros_0”. Posteriormente foram escolhidos valores que são considerados máximos em outra nova coluna, denominada Max_0, de acordo com as equações 18 e 19, respectivamente:

$$Outros_0 = SE(Min_{inv_i} = ""; SE(Max_{inv_i} = ""; Q_{inv_i}; 0); 0) \quad (18)$$

$$Max_0 = SE (Max_{inv_i} = ""; 0; Max_{in_i}) \quad (19)$$

Dessa forma, com esses dados disponíveis, foi possível obter os caudais de base para o seu respectivo dia impondo as seguintes regras: nunca ultrapassar o caudal real “dQ”, real devido ter sido medido e ter um fator de multiplicação, denominado nas folhas de cálculo, “fator a alterar”, que tem como responsabilidade analisar qual a fração do escoamento superficial durante um evento de precipitação contribui para o escoamento de base. Portanto há a criação de uma nova coluna denominada “Qbase” que, para os fins indicados acima, utilizou a Equação 20:

$$Q_{base} = SE(Max_0_i > 0; MÁXIMO(Q_{base_{i-1}}; Q_{base_{i+1}}); SE \\ (Min_{restr_i} + (Outros_0_i - Min_{restr_i}) \times \$fator\ a\ alterar\$ \\ > MÍNIMO(Min_{restr_i}; Q_{inv_i}); SE(Min_{restr_i} + (Outros_0_i - Min_{restr_i}) \\ \times \$fator\ a\ alterar\$ < MÁXIMO (Min_{restr_i}; Q_{inv_i}); (Min_{restr_i} + \\ (Outros_0_i - Min_{restr_i}) \times \$fator\ a\ alterar\$; MÁXIMO (Min_{restr_i}; Q_{inv_i})); \\ MÍNIMO(Min_{restr_i}; Q_{inv_i}) \quad (20)$$

Logo, com os resultados obtidos dos caudais de base foram então calculados os caudais diretos, para isso criou-se uma coluna denominada “Qdireto” Equação 21:

$$Q_{direto} = Q_{inv_i} - Q_{base_i} \quad (21)$$

Realizadas essas etapas considera-se, então, efetuado a separação do hidrograma, ressaltando que isso foi realizado para todos os anos hidrológicos das três bacias hidrográficas.

3.5.2 Tratamento estatístico das informações hidrométricas

Para a realização do tratamento estatístico das três bacias hidrográficas foram utilizados dados anuais obtidos da folha de cálculo produzida anteriormente, como o caudal de base e direto médio anual e os caudais específicos, direto máximo e médio, de base mínimo, máximo e médio e o total, sendo que os anuais foram convertidos de m³/s para milímetros e os específicos convertidos para L/s/Km², importante salientar que, segundo Lencastre e Franco (2006), os específicos são úteis quando pretende-se comparar entre si caudais de áreas distintas. Ademais foram geradas duas novas informações o caudal total médio anual, por meio da soma dos caudais médios anuais direto e de base, e a porcentagem do caudal de base, dividindo o caudal de base médio anual pelo caudal total médio anual.

De posse dessas informações, foi realizada estatística descritiva de cada parâmetro, obtendo então o número de dados (N), a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação, a assimetria, o valor máximo, a mediana e o valor mínimo de cada um. Utilizando estas estatísticas foram criados gráficos dos caudais médios diários das três bacias hidrográficas assim como dos caudais médios específicos e dos seus extremos com objetivo de realizar comparações entre as bacias. Também se avaliou a tendência temporal destas séries estabelecendo as linhas de tendência e respectivos parâmetros de regressão.

3.6 Resposta hidrológica das bacias

Procurou-se estabelecer a ligação entre características das bacias, que resultaram do estudo cartográfico, e a sua resposta hidrológica, tanto em condição média quanto em condição extrema. No primeiro caso foi evidenciado o gradiente climático presente na área de estudo relacionando precipitação e caudal em condição média. No segundo caso, foi aplicado o método do SCS para a estimativa do caudal de ponta de cheia nas bacias estudadas e comparados os resultados com valores extremos do escoamento direto determinados aquando da separação das componentes do hidrograma.

3.6.1 Médias anuais de precipitação e escoamento

Com a finalidade de analisar o efeito do gradiente climático presente na região na resposta hidrológica média das bacias, foi construído um gráfico comparando os valores de precipitação com os de caudal total e de base. Além disso, foi calculado o coeficiente de escoamento através da divisão entre os caudais médios totais pela precipitação das respectivas bacias (Equação 22):

$$\text{Coeficiente de escoamento} = \frac{\text{Caudal médio total}}{\text{Precipitação média}} \quad (22)$$

3.6.2 Relação entre as características fisiográficas e os dados hidrométricos

Com o objetivo de analisar a influência das características fisiográficas das bacias com a sua resposta hidrológica, utilizou-se a Correlação de Pearson através do software Excel. Posteriormente foram selecionadas as características que exerciam algum tipo de

relação com os caudais médios, total, de base e direto, e com o coeficiente de escoamento e analisadas quanto a influência que exerciam sobre eles.

3.6.3 Método SCS: Comparação com caudais diretos máximos observados

Visando realizar uma estimativa dos caudais de ponta e comparar com os caudais diretos máximos observados nas estações hidrométricas, obtidos pela separação do hidrograma efetuado anteriormente, utilizou-se o método SCS que, por fim, possibilitou aferir sobre a fiabilidade da aplicação desse método para previsão de cheias hidrológicas nas bacias hidrográficas estudadas.

Segundo Lencastre e Franco (2006) a formula do SCS relaciona um fator de ponta, K , utilizado nos cálculos habituais com valor de 0,75, a área da bacia, A , em km^2 , a altura da precipitação útil, h_u , em milímetros, o tempo de crescimento, t_p , em horas, e o fator de conversão das unidades utilizadas 0,277, mediante a Equação 23:

$$(23)$$

Ainda de acordo com os autores, com o intuito de obter h_u utilizou-se a Equação 24:

$$h_u = \frac{(h-h_0)}{h+4h_0} \quad (24)$$

Correspondendo h à altura da precipitação total, essa foi obtida através da Equação de Chow (1951) de acordo com a Equação 25

$$x_T = \bar{x} + K_T s \quad (25)$$

Segundo Chow et al. (1988), essa equação pode ser aplicada em muitas distribuições de probabilidade usadas na análise de frequência hidrológica e ela é composta por x_T , ou seja, a intensidade da chuva, ou vazão, atingida ou superada pelo menos uma vez em um determinado período de retorno, por \bar{x} , o valor médio da variável considerada, por s , o desvio padrão, e por K_T , o fator frequência. Nesse estudo o K_T foi obtido para a distribuição de Gumbel (Equação 26), a qual, segundo Lencastre e Franco (2006), é utilizada para valores máximos de amostras independentes sucessivas como, por exemplo, de valores máximos anuais de caudal, sendo T o período de retorno

$$K_T = -0,7797(0,5772 + \ln \ln \frac{T}{T-1}) \quad (26)$$

Foram selecionados os períodos de retorno de 2,33, 5, 10, 50, 100, 500 e 1000 anos para o cálculo do fator frequência.

Para o cálculo da Equação de Chow restam a precipitação máxima média e o desvio padrão, para isso foram selecionadas através do website do SNIRH três estações meteorológicas, Moimenta, Montezinho e Deilão cada qual para sua respectiva bacia hidrográfica, ou seja, do rio Tuela, do rio Sabor e do rio Maçãs. Através do banco de dados foram efetuados o download das precipitações máximas anuais, essas, manuseadas no software Excel, permitiram obter as estatísticas descritivas através da ferramenta análise de dados, resultando nos valores médios e seus respectivos desvios padrões, possibilitando a obtenção da altura de precipitação, h .

Para o cálculo da h_u é necessário obter o valor da variável h_0 , que representa, de acordo com Lencastre e Franco (2006), as perdas iniciais da chuvada pela Equação 27:

$$h_0 = \frac{5080}{N} - 50,8 \quad (27)$$

Onde N é o número de escoamento que recorre ao tipo hidrológico do solo e do seu uso e ocupação. Os autores citados anteriormente dizem que, de acordo com o *Soil Conservation Service*, existem quatro tipos hidrológicos de solo, os quais são:

- Tipo A: Possui baixo potencial de escoamento superficial;
- Tipo B: Possui potencial de escoamento superficial abaixo da média;
- Tipo C: Possui potencial de escoamento superficial acima da média;
- Tipo D: Possui Elevado potencial de escoamento superficial;

Neste estudo foram considerados tipo D os Luvisolos e Alissolos, devido a presença de camadas impermeáveis, ou seja, os Luvisolos possuem camadas de argilas no subsolo, assim como os Alissolos que possuem em grau moderado e forte revestindo as superfícies horizontais e verticais. Foram considerados ainda do tipo D os Gleissolos, devido estarem saturados por água durante longos períodos de tempo, e os Fluvisolos, por estarem próximos as margens de rios (Agroconsultores e Coba, 1991; Silva et al., 2005; Afonso e Arrobas, 2009; Figueiredo, 2013).

Os solos do tipo C e D também foram relacionados aos Leptossolos e aos Cambissolos. Tratando-se dos Leptossolos, Figueiredo (2013) os consideram solos delgados e limitados por rochas duras abaixo e por conta disso foram classificados nesse trabalho como tipo D, já os Cambissolos, segundo o mesmo autor, possuem mais espessuras e a camada de rocha limitante é mais profunda, sendo, por essa causa, classificados como tipo C. Entretanto quando há presença da classe secundária úmbricos sobem um nível de classificação, ou seja, D tornam-se C e C tornam-se B devido à presença de matéria orgânica a qual permite maior permeabilidade.

Já para o uso e ocupação do solo foi utilizada tabela (ANEXO 1), adaptada por Moreira (2017), que relaciona a COS 2007 com o nível AMC-II (*Antecedent Moisture Conditions*), que segundo Lencastre e Franco (2006), corresponde a condições médias de humedecimento. Em vista que a COS 2007 e a COS 2015 diferenciam-se apenas no quinto nível e foi utilizado o terceiro para a obtenção do N o uso dessa tabela não prejudicou os resultados. Ademais, Lencastre e Franco (2006) citam que as condições AMC-III equivalem para os extremos, ou seja, quando o solo se encontra totalmente alagado, para a conversão da tabela anterior, que representa valores para AMC-II, foi utilizada a tabela subsequente (Tabela 2).

Tabela 2 – Conversão do número de escoamento para condições AMC-I, AMC-II e AMC-III

AMC			AMC			AMC			AMC		
II	I	III	II	I	III	II	I	III	II	I	III
100	100	100	80	63	91	60	40	78	40	22	60
99	97	100	79	62	91	59	39	77	39	21	59
98	94	99	78	60	90	58	38	76	38	21	58
97	91	99	77	59	89	57	37	75	37	20	57
96	89	99	76	58	89	56	36	75	36	19	56
95	87	98	75	57	88	55	35	74	35	18	55
94	85	98	74	55	88	54	34	73	34	18	54
93	83	98	73	54	87	53	33	72	33	17	53
92	81	97	72	53	86	52	32	71	32	16	52
91	80	97	71	52	86	51	31	70	31	16	51
90	78	96	70	51	85	50	31	70	30	15	50
89	76	96	69	50	84	49	30	69	25	12	43
88	75	95	68	48	84	48	29	68	20	9	37
87	73	95	67	47	83	47	28	67	15	6	30
86	72	94	66	46	82	46	27	66	10	4	22
85	70	94	65	45	82	45	26	65	5	2	13
84	68	93	64	44	81	44	25	64	0	0	0
83	67	93	63	43	80	43	25	63			
82	66	92	62	42	79	42	24	62			
81	64	92	61	41	78	41	23	61			

Fonte: Lencastre e Franco (2006).

Portanto, através da média aritmética da porcentagem de área dos tipos de solo hidrológicos e também do uso e cobertura do solo foram obtidos os valores de N, de cada bacia hidrográfica, para as condições tanto AMC-II quanto AMC-III, os valores das perdas iniciais da chuvada, h_0 , e também o valor da precipitação útil das bacias, h_u .

Restando apenas o tempo de crescimento para o cálculo do caudal de ponta foi utilizada então a seguinte expressão citada por Lencastre e Franco (2006) (Equação 28):

$$t_p = \frac{1}{2}t_r + 0,6t_c \quad (28)$$

Em que: t_r é a duração da precipitação útil em horas, e t_c o tempo de concentração da bacia, em horas. Segundo os mesmos autores, o valor de t_r deve ser maior ou igual ao valor de t_c sendo então selecionado o valor que gerou o maior valor de caudal de ponta, por meio de tentativas.

Para o cálculo do tempo de concentração utilizou-se o método de Giandotti pela seguinte Equação 29:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A}+1,5L}{0,80\sqrt{H}} \quad (29)$$

Onde, A é a área da bacia hidrográfica em km^2 ; L é o comprimento do rio principal em km e \bar{H} a altura média da bacia em m.

Com a obtenção de todas essas variáveis é possível estimar os valores dos caudais de ponta para os períodos de retorno selecionados. Os resultados obtidos foram convertidos de m^3/s para $\text{L}/\text{s}/\text{Km}^2$, com o propósito de serem comparados com os caudais diretos máximos específicos determinados para cada bacia.

Com as estatísticas das séries dos caudais diretos máximos específicos, foi aplicado o método de Chow (1951) para a estimativa desses valores correspondentes aos períodos de retorno indicados acima. Para o cálculo dessas estatísticas utilizou-se período temporal coincidente com o da série das precipitações utilizada ao aplicar o método SCS, de modo a permitir a comparação de resultados com os obtidos com esse método.

Para além dos resultados obtidos da comparação dos caudais citados anteriormente, foi realizado também a comparação do N obtido pelas condições AMC-II e AMC-III com o N ajustado para que ocorra um determinado caudal direto observado nas estações hidrométricas, este último utilizou a ferramenta *solver* do software Excel para obtenção de seu valor. Foi escolhido a variável N para essa relação devido ter considerado, nesse trabalho, o uso e ocupação do solo constantes ao longo do tempo, o que não ocorre na realidade, e, portanto, é possível que ocorra valores errôneos dos caudais e assim interferir na fiabilidade dos resultados obtidos.

Portanto a comparação dos resultados dos caudais quanto da variável N permite aferir sobre a fiabilidade da aplicação desse método para prever a ocorrência de eventos extremos de cheias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta secção são mostrados os resultados da caracterização cartográfica e fisiográfica, do estudo da variação e tendência temporal dos dados hidrométricos e da relação entre ambos, neste caso incluindo a avaliação do desempenho do método SCS para a estimativa do caudal de ponta da cheia nas três bacias estudadas.

Os resultados obtidos são ainda comparados entre bacias a fim de observar o efeito do gradiente climático presente na região sobre a sua resposta hidrológica.

4.1 Caracterização cartográfica e fisiográfica da área de estudo.

Segundo Lencastre e Franco (2006) as características fisiográficas, geometria, sistema de drenagem, relevo, litologia, pedologia e uso e ocupação dos solos, possuem grande importância ao estudar o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas. Portanto, devido a essa reputação apresentam-se a seguir a descrição dessas características e a representação cartográfica das bacias hidrográficas estudadas.

Ademais, os resultados aqui apresentados são também analisados quanto ao risco das bacias serem propensas aos eventos hidrológicos extremos, cheias e secas.

4.1.1 Características geométricas e do sistema de drenagem das bacias hidrográficas

As três bacias hidrográficas (Figura 14) estão localizadas no Nordeste de Portugal e possuem suas cabeceiras na província de Zamora (Espanha). As características geométricas (Área, Perímetro, Coeficiente de compacidade e Factor de forma) e do sistema de drenagem (Densidade de drenagem, Comprimento total das linhas d'água e Comprimento axial da bacia) estão representadas na Tabela 3.

LIMITES E HIDROGRAFIA DAS BACIAS DOS RIOS TUELA, SABOR E MAÇÃS

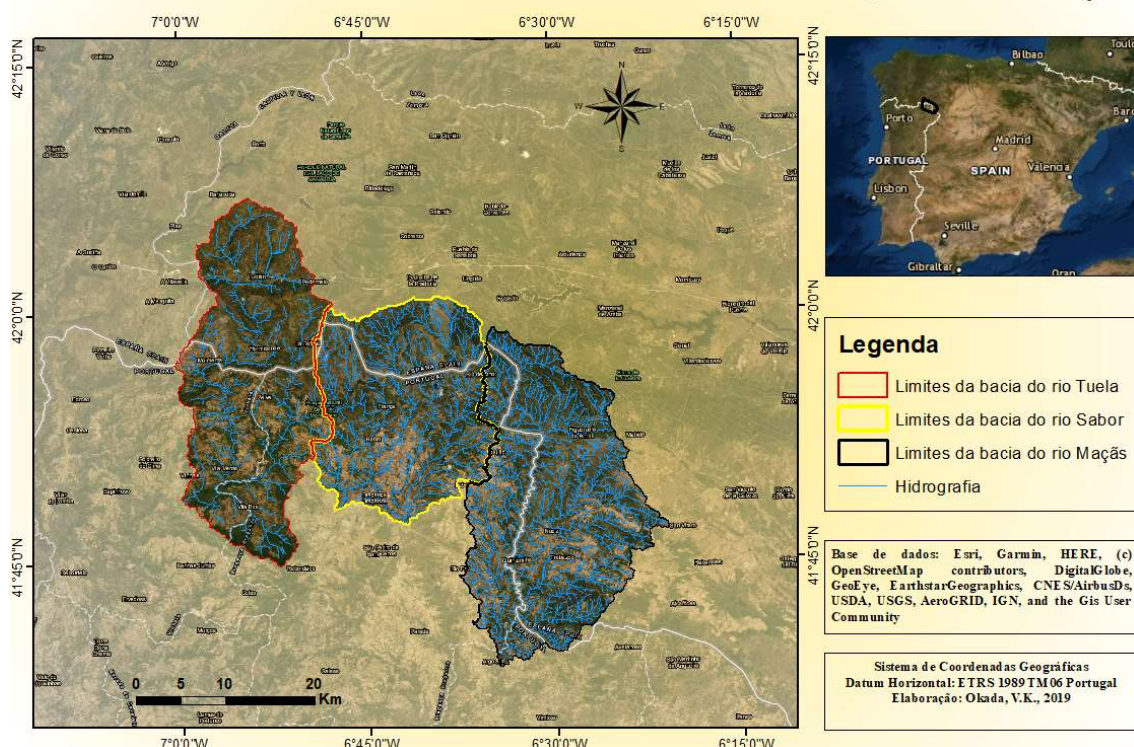


Figura 14 – Limites e Hidrografia das bacias dos rios Tuela, Sabor e Maçãs definidas para as secções das estações hidrométricas de Vinhais-Quinta Ranca, Gimonde e Ponte Pinelo, Respectivamente.

Tabela 3 – Características geométricas e do sistema de drenagem das bacias estudadas.

Características	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
Área (Km ²)	478,46	406,88	530,28
Perímetro (Km)	126,13	127,16	161,82
Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,63	1,78	1,98
Factor de Forma (Kf)	0,39	0,61	0,37
Comprimento axial da Bacia (Km)	34,89	25,77	37,92
Comprimento linhas d'água (km)	456,83	727,65	1221,92
Densidade de drenagem (Km/Km²)	0,95	1,79	2,30

Portanto, segundo a Tabela 3 pode-se notar que as três bacias hidrográficas possuem áreas próximas estando na transição entre médias e pequenas, sendo o valor indicado para esse limite, segundo Lencastre e Franco (2006), é 300 a 500 Km², das bacias a do rio Maçãs é a que possui maior área, 530,28 Km², e a que possui menor área é a bacia do rio Sabor, 406,88 Km². Tratando-se do Perímetro a bacia com maior valor é a do rio Maçãs, com 161,82 km, e a de menor é a do rio Tuela, 126,13 Km, sendo que o perímetro da bacia do rio Sabor é pouco maior que do rio Tuela, com 127,16 Km. O maior comprimento axial é constatado na bacia do rio Maçãs, 37,92 Km, e o menor na bacia do

rio Sabor com 25,77 Km tendo o rio Tuela valor intermediário com 34,89 Km. Abordando o comprimento das linhas de água o maior valor é da bacia do rio Maçãs com 1221,92 Km e a menor está presente na bacia do rio Tuela com 456,83 Km, já o rio Sabor possui valor intermediário de 727,65 Km.

Abordando o risco hidrológico, as características, K_c , K_f e λ permite inferir, segundo Lencastre e Franco (2006), a propensão para a ocorrência de cheias. De Facto, valores de K_c mais próximos a unidade indicam tendência à cheias hidrológicas, menores valores de K_f indicam menor tendência e maiores valores de λ indicam menor tendência para cheias, sendo valores menores que $0,5 \text{ Km/Km}^2$ indicadores de bacias mal drenadas e maiores que $3,5 \text{ Km/Km}^2$ de bacias excepcionalmente bem drenadas. De acordo com esses elementos, a bacia do rio Maçãs é a que possui menor tendência à cheias possuindo o maior valor de K_c , menor valor de K_f e é a bacia mais bem drenada. As bacias do rio Tuela e Sabor apresentam condições mais favoráveis à ocorrência de cheias devido possuírem valores maiores K_f , menores K_c e λ em comparação com a do rio Maçãs. Ademais, embora a bacia do rio Tuela possua dois valores favoráveis, K_c e λ , a ocorrência desse tipo de evento em comparação com a bacia do rio Sabor que possui apenas um, K_f , não é possível inferir qual delas possui maior tendência para ocorrência de enchentes.

4.1.2 Características de relevo e precipitação das bacias hidrográficas

Os resultados obtidos para as características do relevo e da precipitação das bacias hidrográficas estão representados nas Tabelas 4 e 5 e figuras de 13 a 22.

Segundo Gonçalves et al. (2016) a altitude condiciona a heterogeneidade do clima das bacias de montanha sendo responsável direto nos valores de precipitação. Logo observando os valores da Tabela 4 é perceptível que, tendo a bacia com maior altitude valor maior de precipitação, bacia do rio Tuela com altitude média de 1038,76 e precipitação média anual de 1307,25 mm, e o contrário ocorre para a bacia do rio Maçãs, com altitude média de 766,21 e precipitação média anual de 787,75 mm, evidenciando, deste modo, a presença do gradiente climático.

A Figura 15 é resultado da interpolação dos dados de precipitação os quais foram utilizados para gerar isoietas de precipitação que se relacionam com uma imagem digital de elevação (DEM), possibilitando evidenciar assim a relação entre precipitação e altitude; Na figura, as cores mais escuras representam áreas mais elevadas e que os maiores valores das isoietas encontram-se nesses locais. O inverso acontece para as cores

mais claras, ou seja, estão relacionadas com as isoietas de valores menores de precipitação.

Tabela 4 – Características do relevo e a precipitação média anual dos locais estudados.

Características	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
Altitude Média (m)	1038,76	852,82	766,21
Altura Média (m)	329,68	353,82	290,21
Declive médio (°)	13,11	11,78	10,69
Precipitação média anual (mm)	1307,25	995,36	787,75

A curva hipsométrica é também um elemento caracterizante do relevo, segundo Rodrigues et al. (2011) ela quantifica a área, tanto em percentagem quanto em unidades de área, por classes de altitude, representando, então, uma distribuição de frequência altimétrica. Nas Figuras 16, 17 e 18 pode-se observar as curvas hipsométricas para as bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs, respectivamente, e a Figura 19 demonstra a curva hipsométrica relativa entre as bacias.

O perfil longitudinal caracteriza o relevo da bacia hidrográfica relacionando, ainda segundo Rodrigues et al. (2011), a cota do curso da água com a distância até a foz. Portanto nas Figuras 20, 21 e 22 observam-se os perfis longitudinais das bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs, respectivamente, definidas em suas respectivas estações hidrométricas.

Os declives, considerado também elemento que caracteriza o relevo, das bacias hidrográficas estudadas estão representados na Tabela 5 separados em intervalos de 5 graus, apresentando, também, a média global e a sua respectiva frequência em percentagem. Segundo Lencastre e Franco (2006) o declive exerce influência sobre o escoamento superficial e, assim, afeta as pontas de cheias e a infiltração. Observando a Tabela 5 é possível aferir que a bacia do rio Tuela possui maior declive médio, 13,11°, seguindo da bacia do rio Sabor, 11,78°, e por último a bacia do rio Maçãs, 10,69°.

O último elemento caracterizante do relevo obtido nesse trabalho é o retângulo equivalente, que fornece informações sobre área, perímetro, altitude e a percentagem de área em uma determinada curva de nível. Esses estão representados pelas Figuras 23, 24 e 25 para as bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs, respectivamente.

ALTIMETRIA E ISOIETAS DE PRECIPITAÇÃO DAS BACIAS DOS RIOS TUELA, SABOR E MAÇÃS

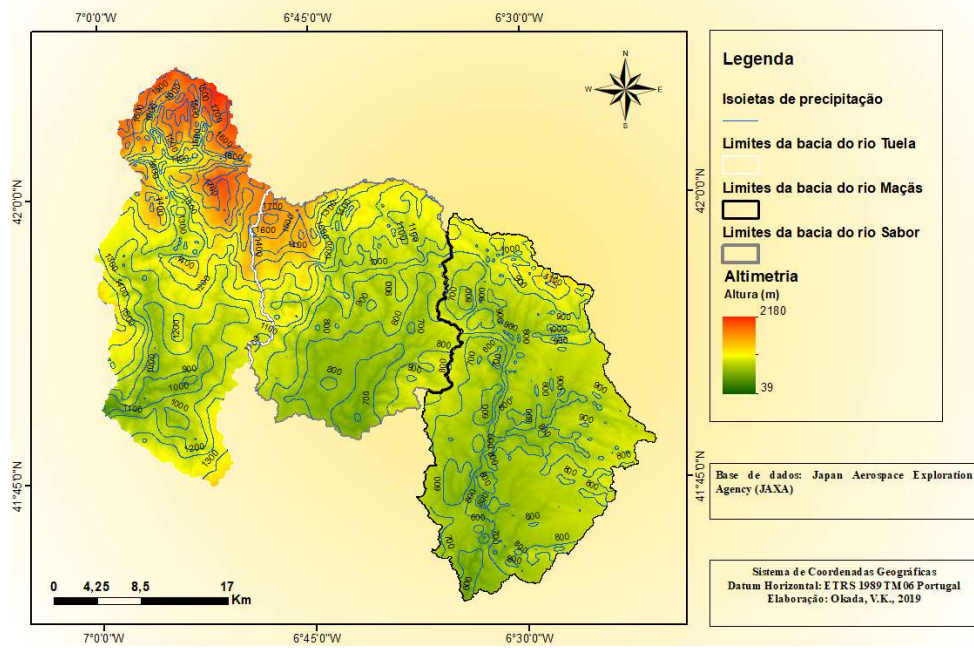


Figura 15 – Altitude e isolinhas de precipitação (isoietas) na área de estudo.

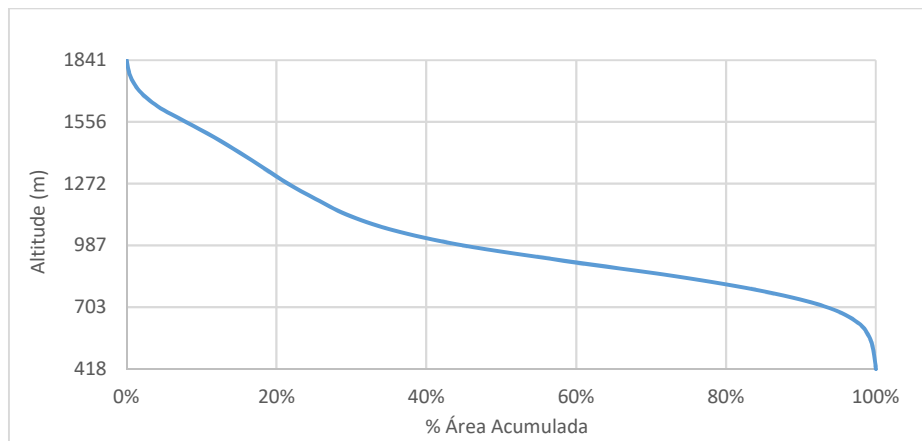


Figura 16 – Curva hipsométrica da bacia do rio Tuela.

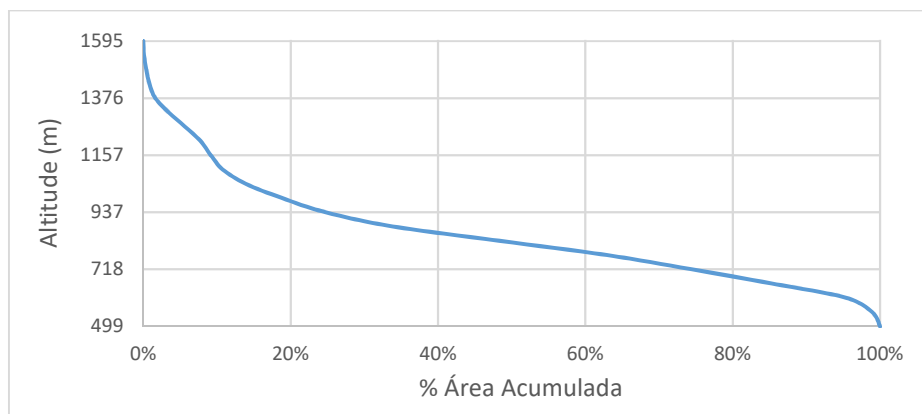


Figura 17 – Curva hipsométrica da bacia do rio Sabor.

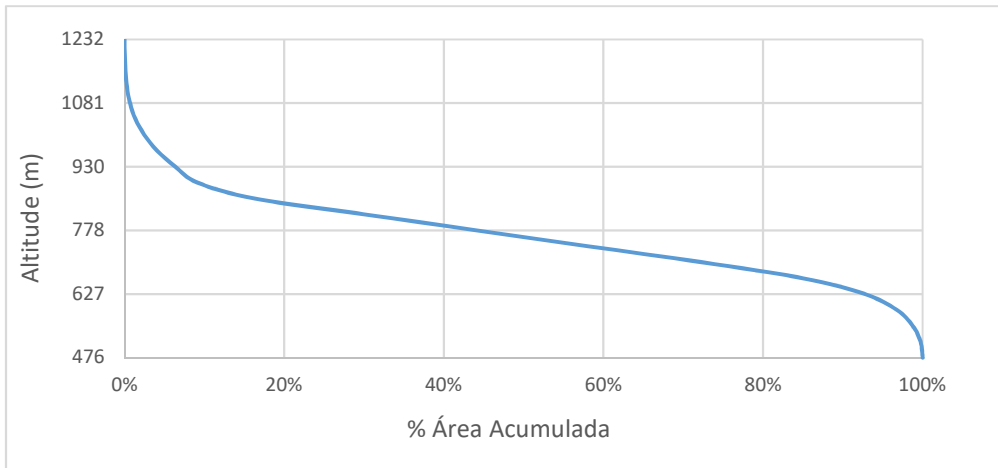


Figura 18 – Curva hipsométrica da bacia do rio Maçãs.

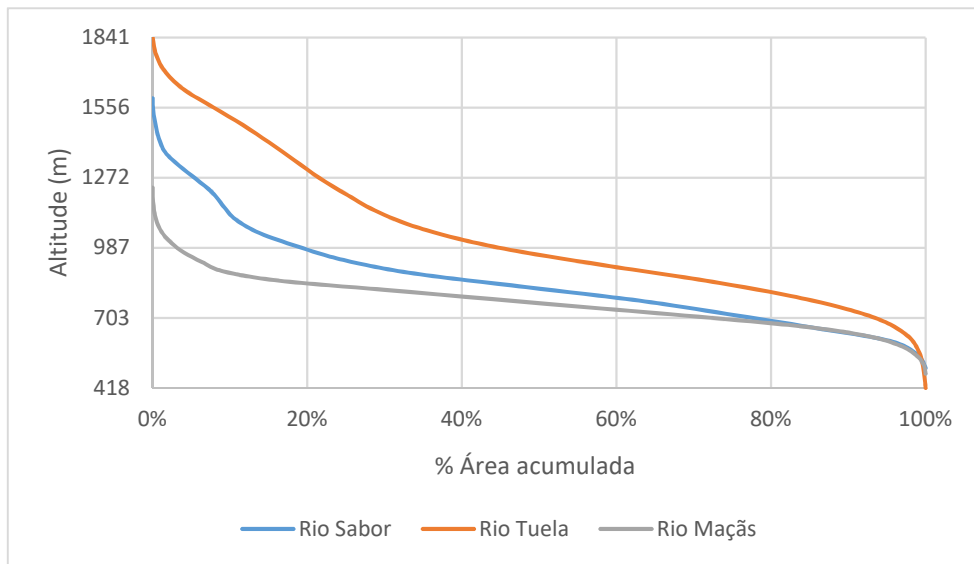


Figura 19 - Curvas hipsométricas relativas das bacias hidrográficas do rio Tuela, Sabor e Maçãs

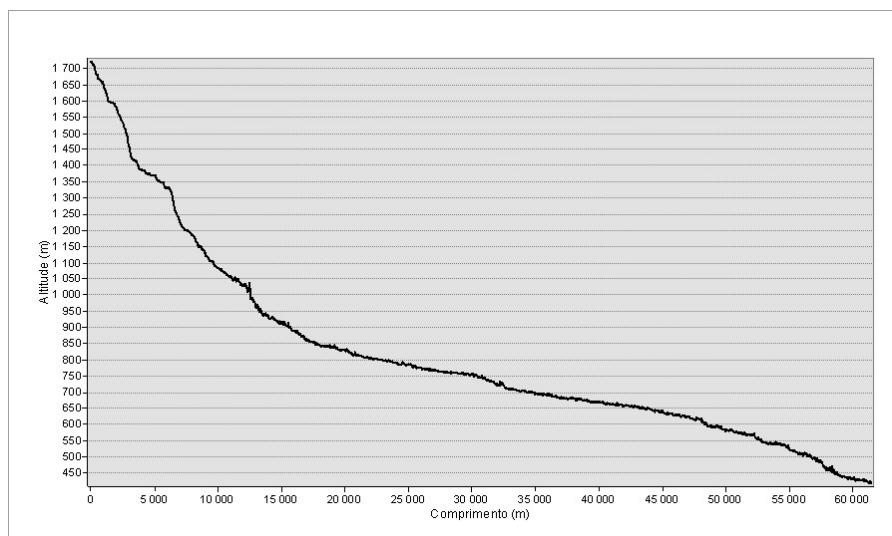


Figura 20 – Perfil longitudinal do rio Tuela da nascente até a estação hidrométrica Vinhais Quinta Ranca.

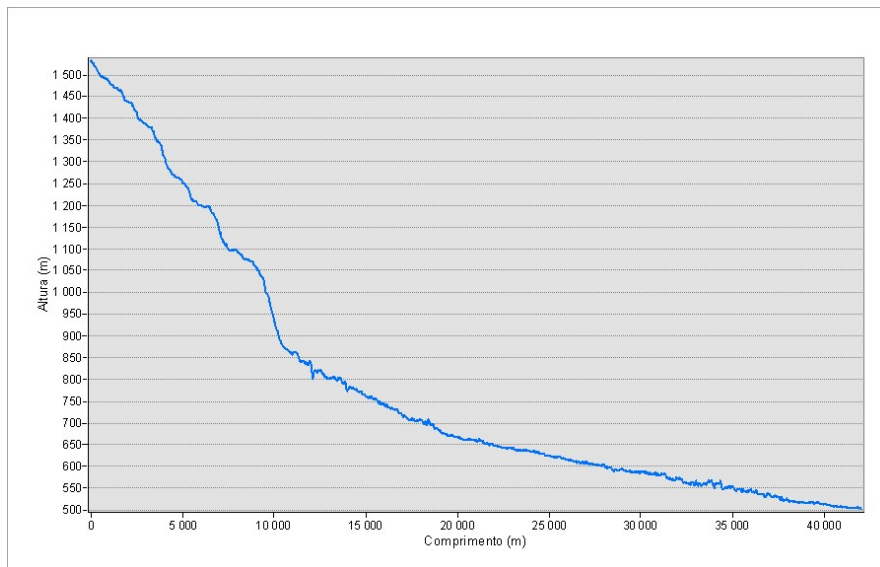


Figura 21 – Perfil longitudinal do rio Sabor da nascente até a estação hidrométrica Gimonde.

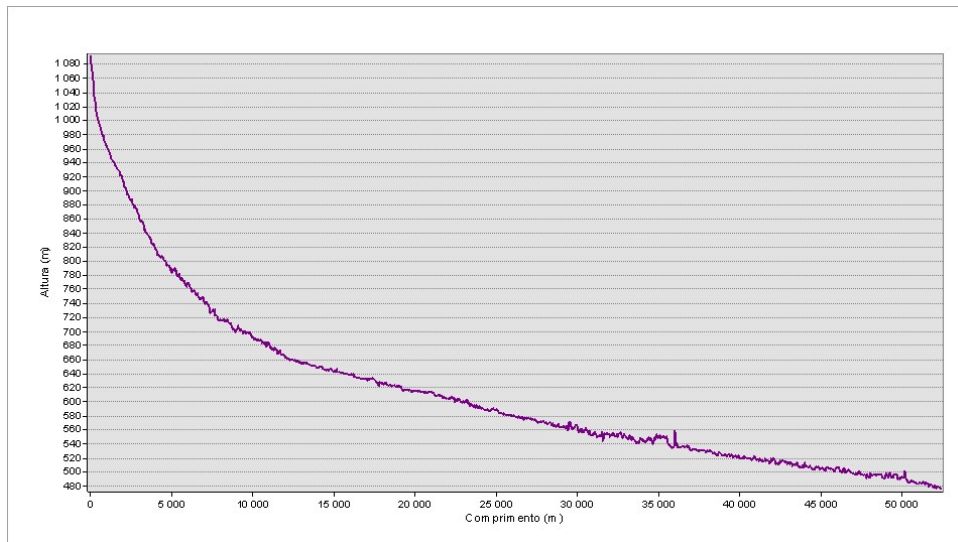


Figura 22 – Perfil Longitudinal do rio Maçãs da nascente até a estação hidrométrica Ponte Pinelo.

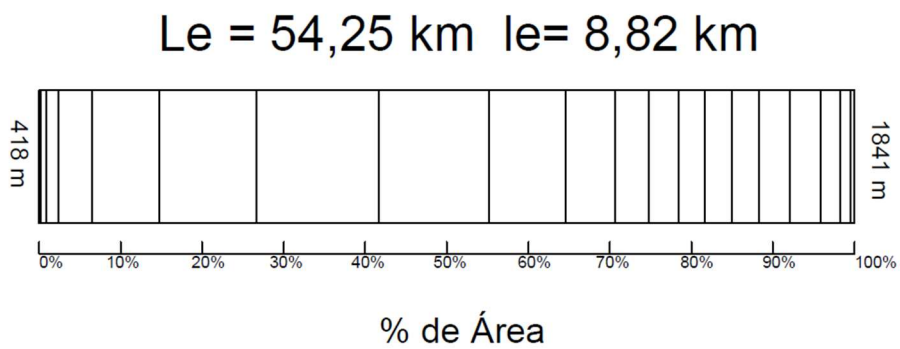


Figura 23 – Retângulo Equivalente da bacia do rio Tuela.

$Le = 56,36 \text{ km}$ $le = 7,22 \text{ km}$

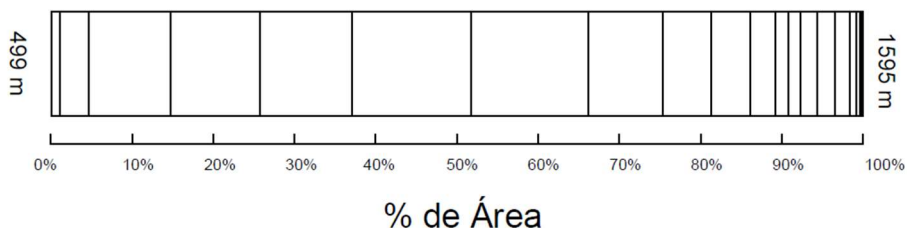


Figura 24 – Retângulo Equivalente da bacia do rio Sabor.

$Le = 73,72 \text{ km}$ $le = 7,19 \text{ km}$

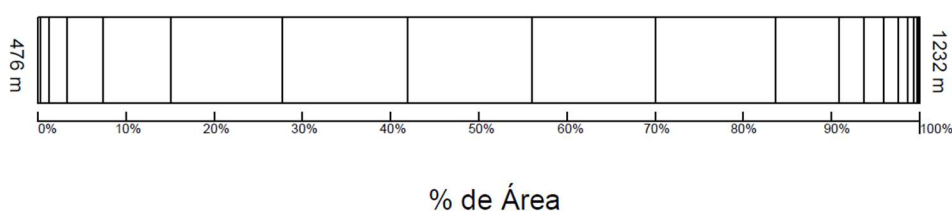


Figura 25 – Retângulo Equivalente da bacia do rio Maçãs.

Tabela 5 – Distribuição percentual das classes de declive na área das bacias hidrográficas estudadas.

Declive em graus	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
	Porcentagem de área		
0 - 5	22,2%	18,4%	12,7%
5,01 - 10	31,7%	29,1%	26,7%
10,01 - 15	22,2%	23,2%	25,2%
15,01 - 20	13,5%	15,3%	17,7%
20,01 - 25	6,6%	8,5%	10,3%
25,01 - 30	2,7%	3,9%	4,9%
30,01 - 35	0,9%	1,3%	1,9%
35,01 - 40	0,2%	0,3%	0,5%
40,01 - 45	0,0%	0,1%	0,1%
45,01 - 50	0,0%	0,0%	0,0%
50,01 - 55	0,0%	0,0%	0,0%
55,01 - 60	0,0%	0,0%	0,0%
Média em graus	13,11	11,78	10,69

4.1.3 Uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas

Segundo Tucci (1997) a capacidade de infiltração de água no solo e, consequentemente, de escoamento superficial depende da humidade já existente no solo, do seu tipo e da sua cobertura, sendo que a alteração da superfície da bacia acarreta impactos significativos sobre o escoamento. Com base nessa influência sobre a resposta hidrológica da bacia hidrográfica, as Figuras 27 a 29 detalham, de acordo com a COS

2015 nível 3, o uso e ocupação dos solos da bacia do rio Tuela, Sabor e Maçãs, respectivamente.

Segundo Tucci (1997) e Lencastre e Franco (2006) a presença de vegetação em uma bacia hidrográfica exerce influência tanto no escoamento superficial quanto na infiltração, devido atuar como uma barreira que elimina o choque direto da precipitação com a superfície do solo, a interceptação, e também modificar as características do solo, desse modo, favorecendo a infiltração e diminuindo a velocidade de escoamento superficial. Já solos com superfície desprotegida sofre a ação da compactação tendo então a capacidade de infiltração reduzida e resultando em maior escoamento superficial.

A fim de quantificar a distribuição das classes de uso de solo, utilizou-se a classificação da COS 2015 nível 2, portanto mais agregada do que nas Figuras precedentes. A Figura 26 permite efetuar a comparação do uso e cobertura do solo das três bacias hidrográficas. Pode-se observar que há maior área com florestas e vegetação arbustiva na bacia do rio Sabor, seguida da bacia do rio Tuela e por último a bacia do rio Maçãs, ou seja, a bacia do rio Sabor exerce maior resistência ao escoamento superficial, já a bacia do rio Maçãs oferece menor resistência ao escoamento superficial. Ao tratar de zonas descobertas e com pouca vegetação a bacia do rio Tuela é a que possui maior extensão de área e, portanto, comparativamente, pode haver condições de maior favorecimento para ocorrência de escoamento superficial.

Todavia, não se pode aferir de maneira evidente qual bacia está mais propensa a ocorrência de riscos hidrológicos levando em consideração somente este aspecto. Devendo-se também considerar a informação mais detalhada evidenciada na Tabela 1 do Anexo 1, a qual mostra as porcentagens das classes de acordo com o nível 3 da COS2015.

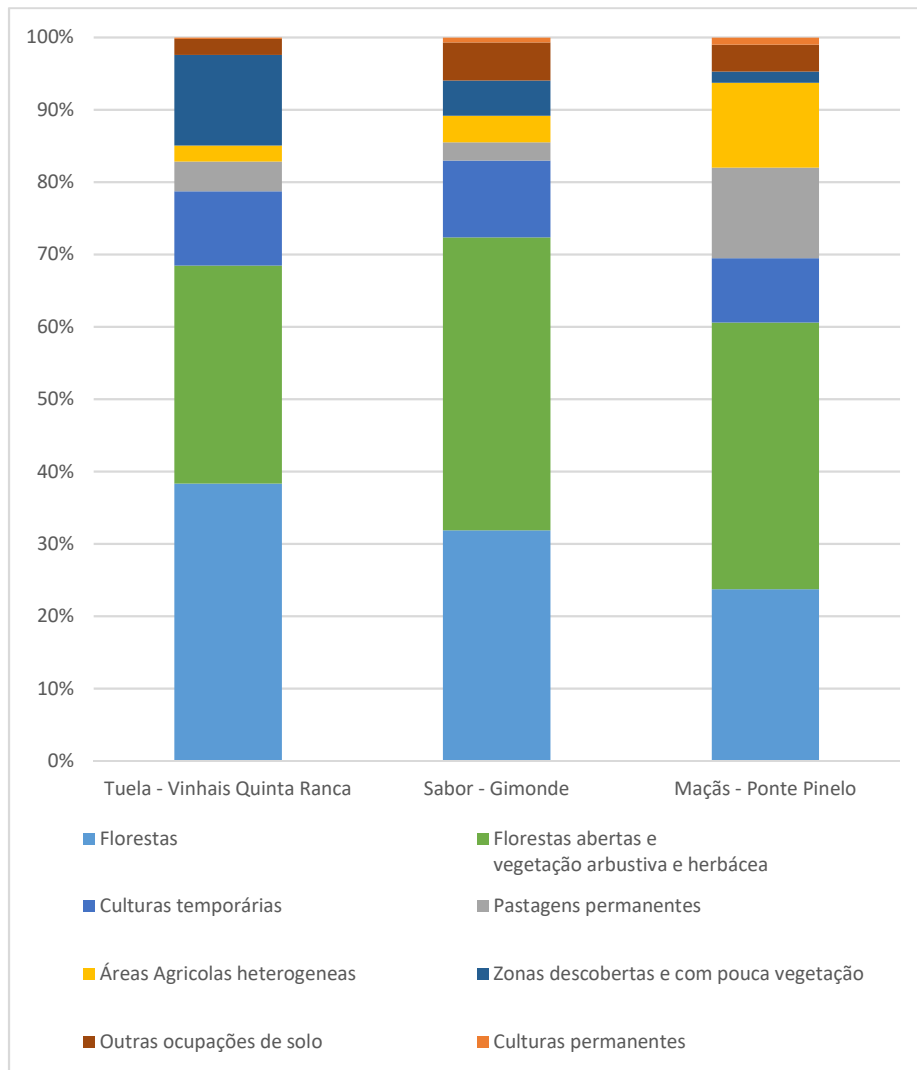


Figura 26 – Distribuição percentual da área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo (agregadas ao nível 2 da COS 2015) nas bacias do rio Tuela Sabor e Maçãs.

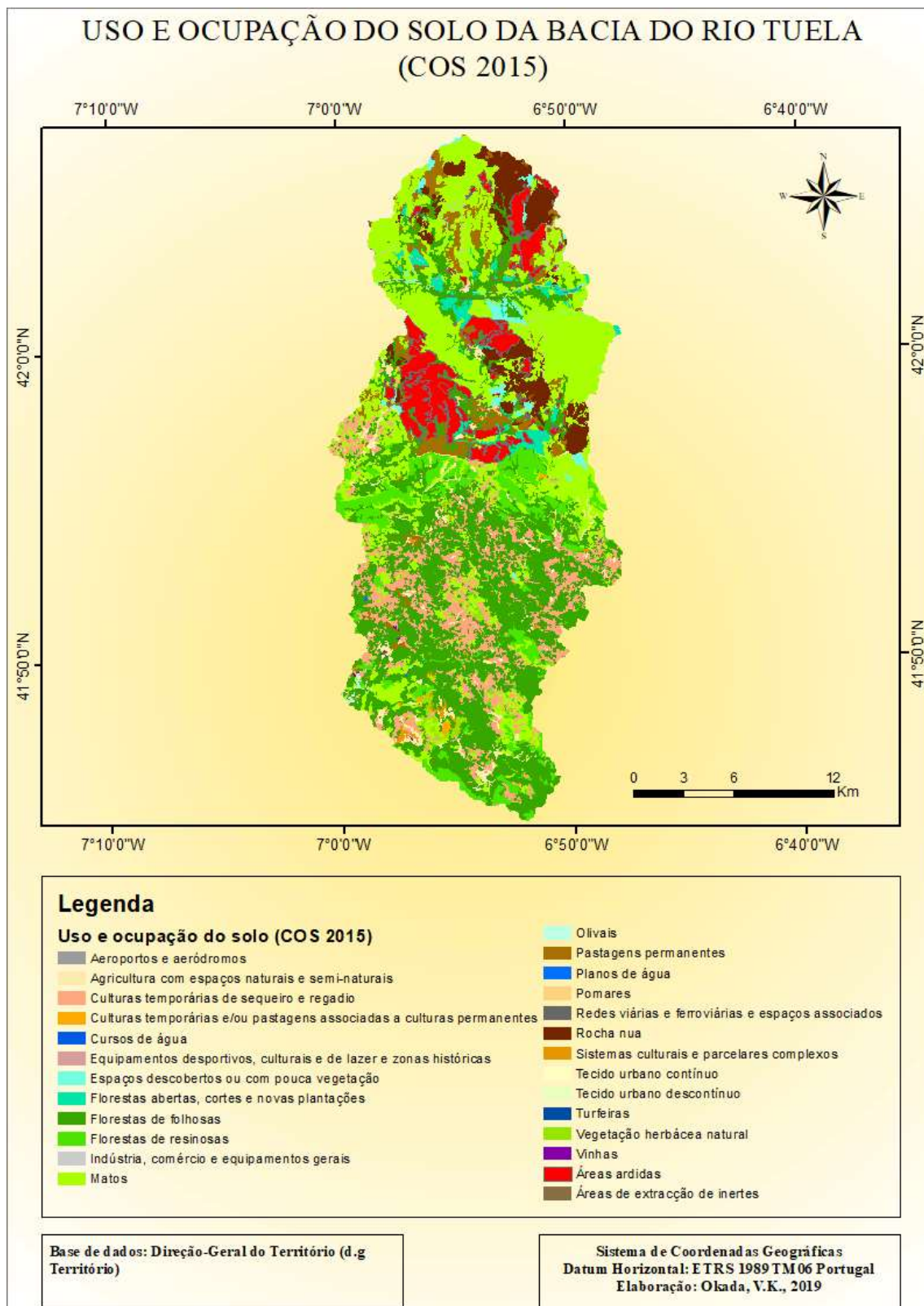


Figura 27 – Uso e ocupação do solo da bacia do rio Tuela de acordo com a COS2015.

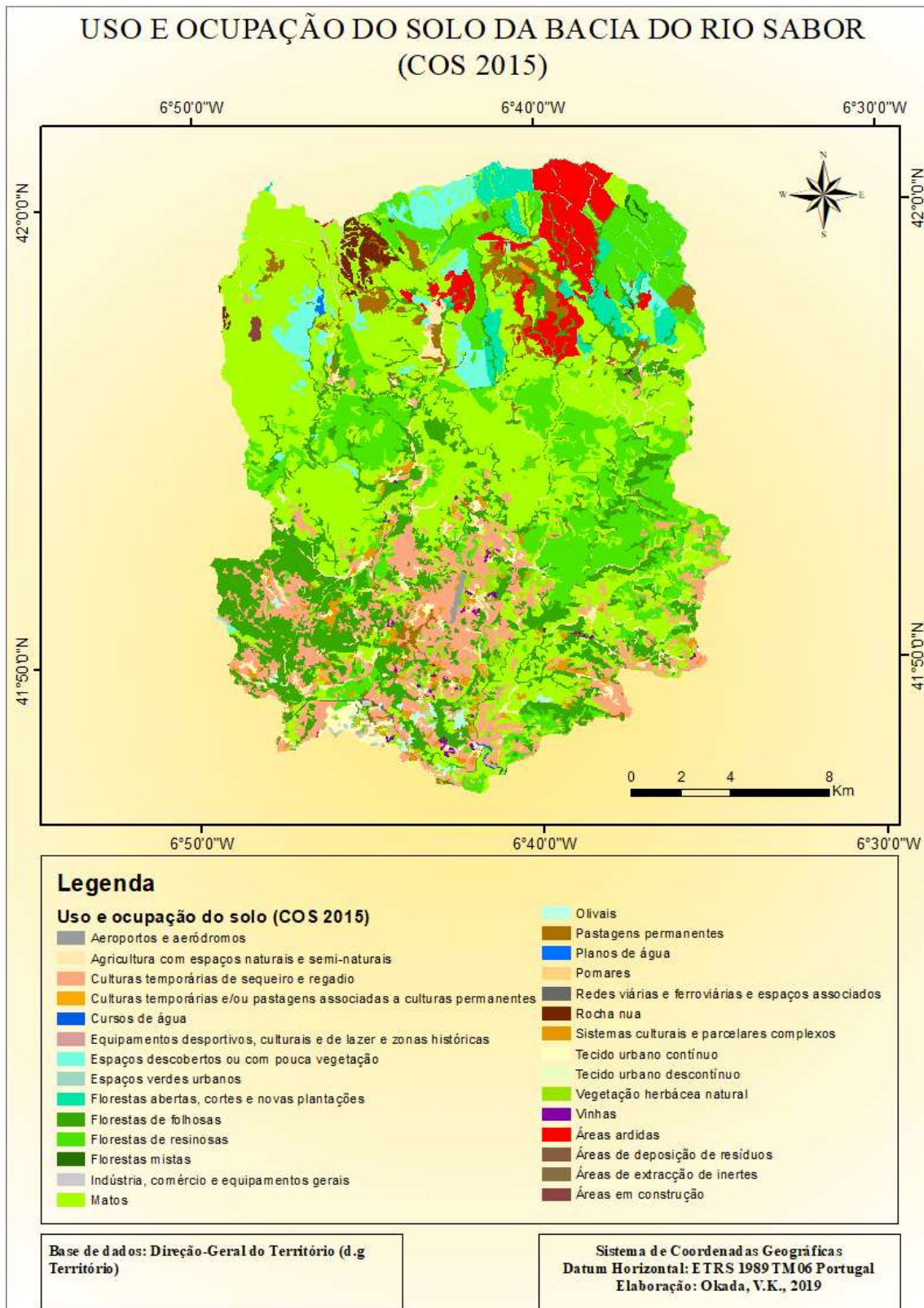


Figura 28 - Uso e ocupação do solo da bacia do rio Sabor de acordo com a COS2015.

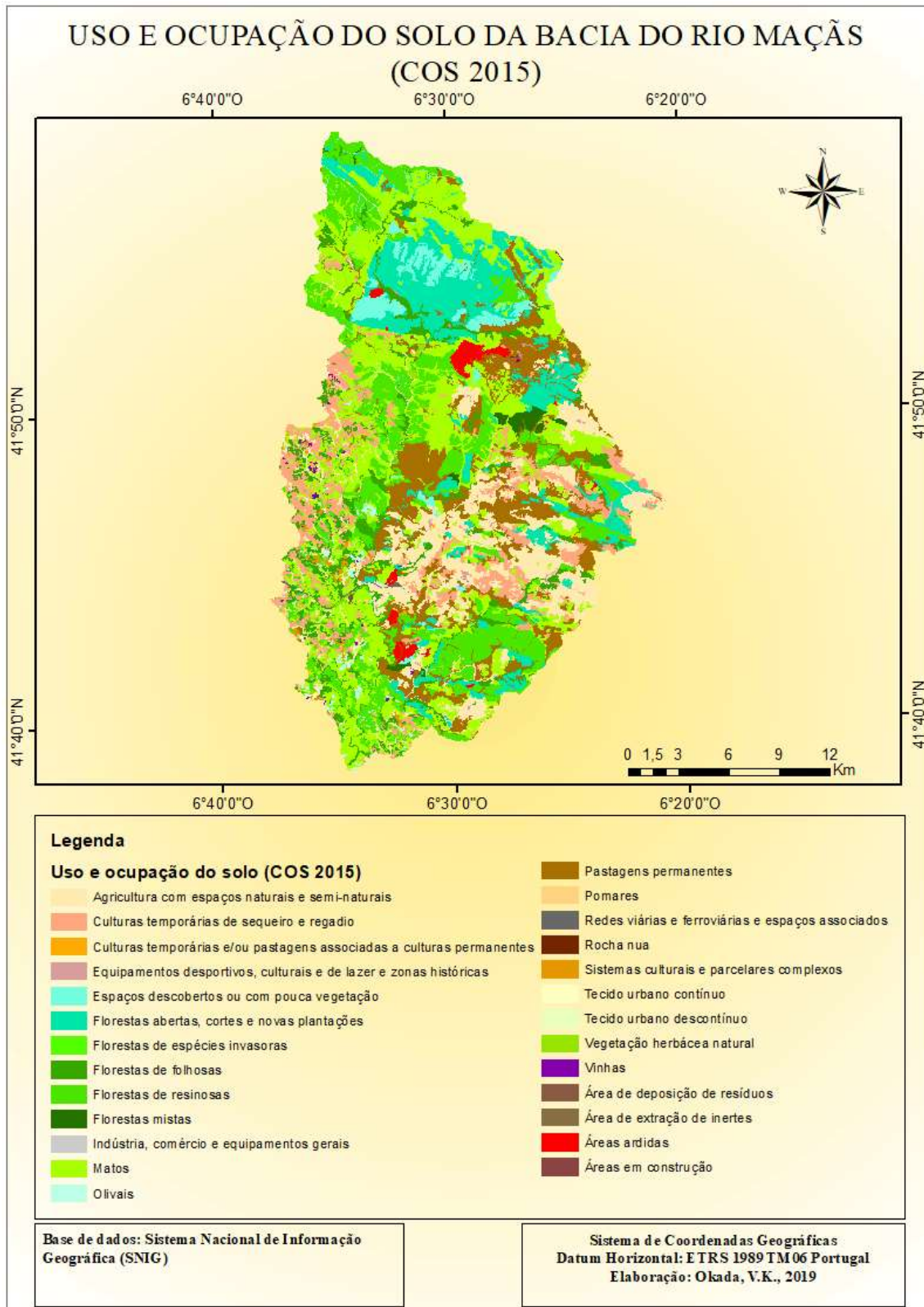


Figura 29 - Uso e ocupação do solo da bacia do rio Maçãs de acordo com a COS2015.

4.1.4 Litologia das bacias hidrográficas

A litologia é também uma característica fisiográfica das bacias hidrográficas e está representada tanto na Figura 30, de forma cartográfica, quanto na Figura 31, em formas de gráfico. A Tabela 6 quantifica a proporção de área ocupada por cada tipo litológico na área de estudo.

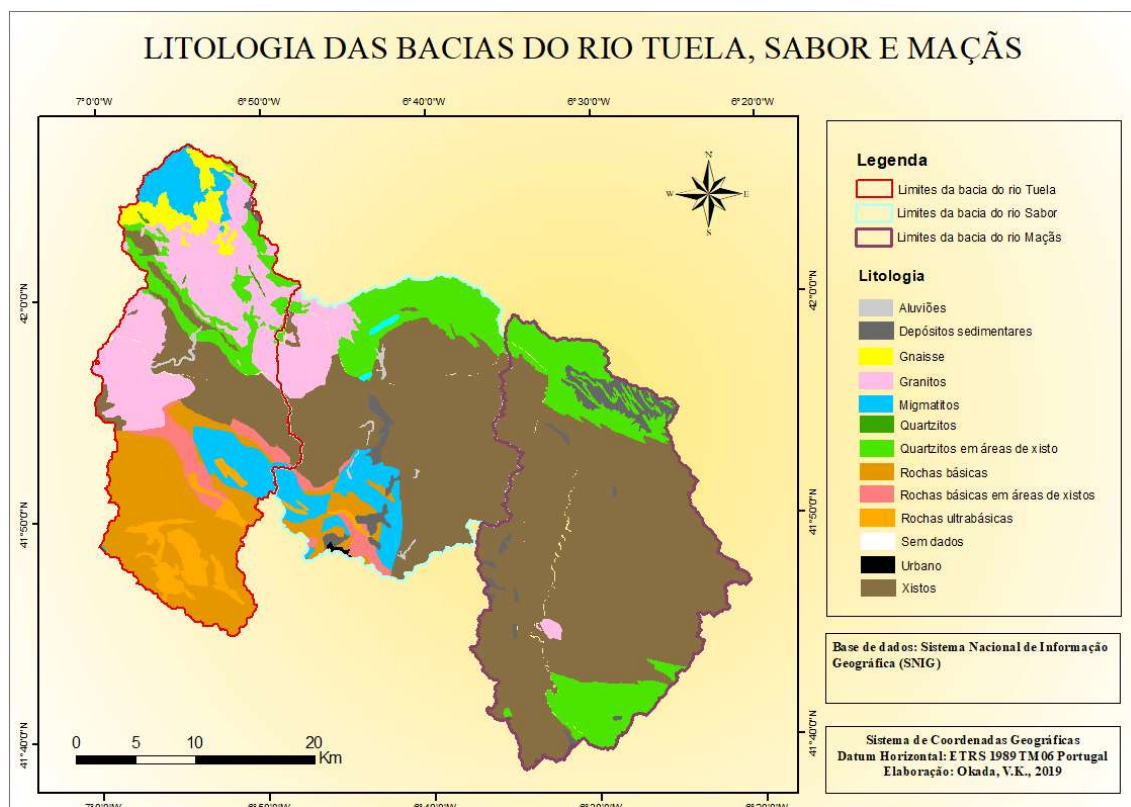


Figura 30 – Litologia das bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs.

Tabela 6 – Tipos litológicos presentes nas bacias hidrográficas e sua respectiva percentagem de área.

Litologia	Bacia Hidrográfica (Rio - Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
Aluviões	0,3%	0,6%	0,0%
Depósitos Sedimentares	0,2%	2,2%	4,1%
Gnaiss	4,8%	0,0%	0,0%
Granitos	24,4%	11,7%	0,4%
Migmatitos	8,9%	7,3%	0,0%
Quartzitos	0,2%	0,1%	0,0%
Quartzitos em áreas de xisto	7,3%	12,8%	17,5%
Rochas básicas	24,0%	3,3%	0,0%
Rochas básicas em áreas de xistos	3,7%	2,0%	0,0%
Rochas ultrabásicas	5,7%	0,6%	0,0%
Xistos	20,6%	59,0%	78,0%
Sem dados	0,0%	0,3%	0,0%
Urbano	0,0%	0,2%	0,0%

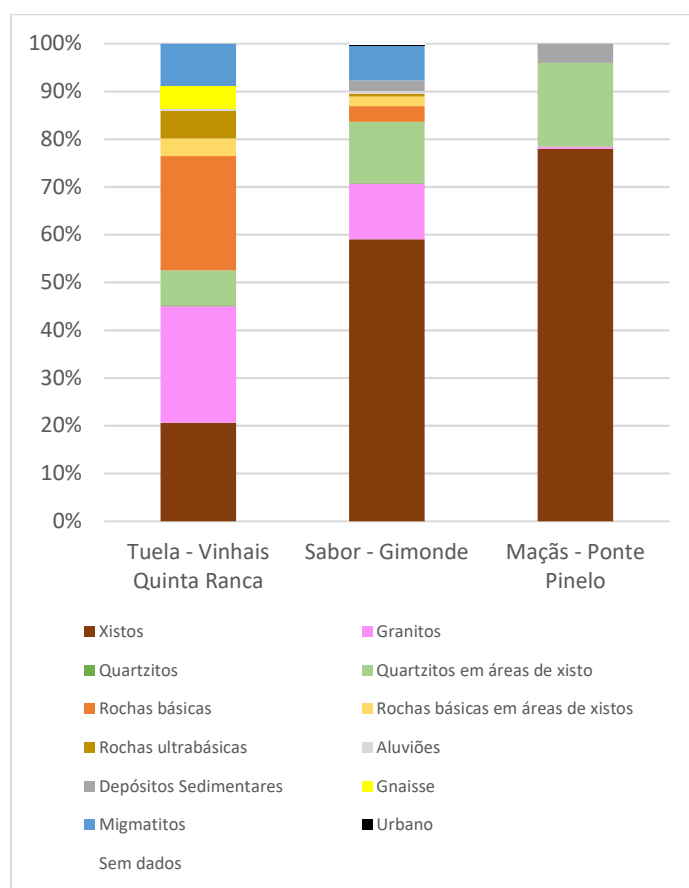


Figura 31 – Gráfico das litologias das bacias hidrográficas estudadas.

4.1.5 Pedologia das bacias hidrográficas

Outra característica fisiográfica além das citadas acima são os tipos de solo, que segundo Lencastre e Franco (2006) interage com a distribuição e o movimento da água dentro da bacia hidrográfica. Portanto, com o intuito de caracterizar as bacias hidrográficas apresentam-se mapas pedológicos da área de estudo, separando unidades pedológicas principais (Figura 32), unidades pedológicas secundárias (Figura 33) e unidades pedológicas principais e secundárias reunidas (Figuras 34, 35 e 36).

Uma perspectiva quantitativa é dada nas Figuras 37, 38 e 39, que mostram a distribuição percentual das áreas ocupadas por tipo de solo (unidade principal, secundaria e ambas, respectivamente), informação mostrada numericamente na Tabela 7. Ademais as Figuras 31 e 32 representam unidades cartográficas dos solos já as Figuras 33 a 35 representam unidades pedológicas assim como a Tabela 6.

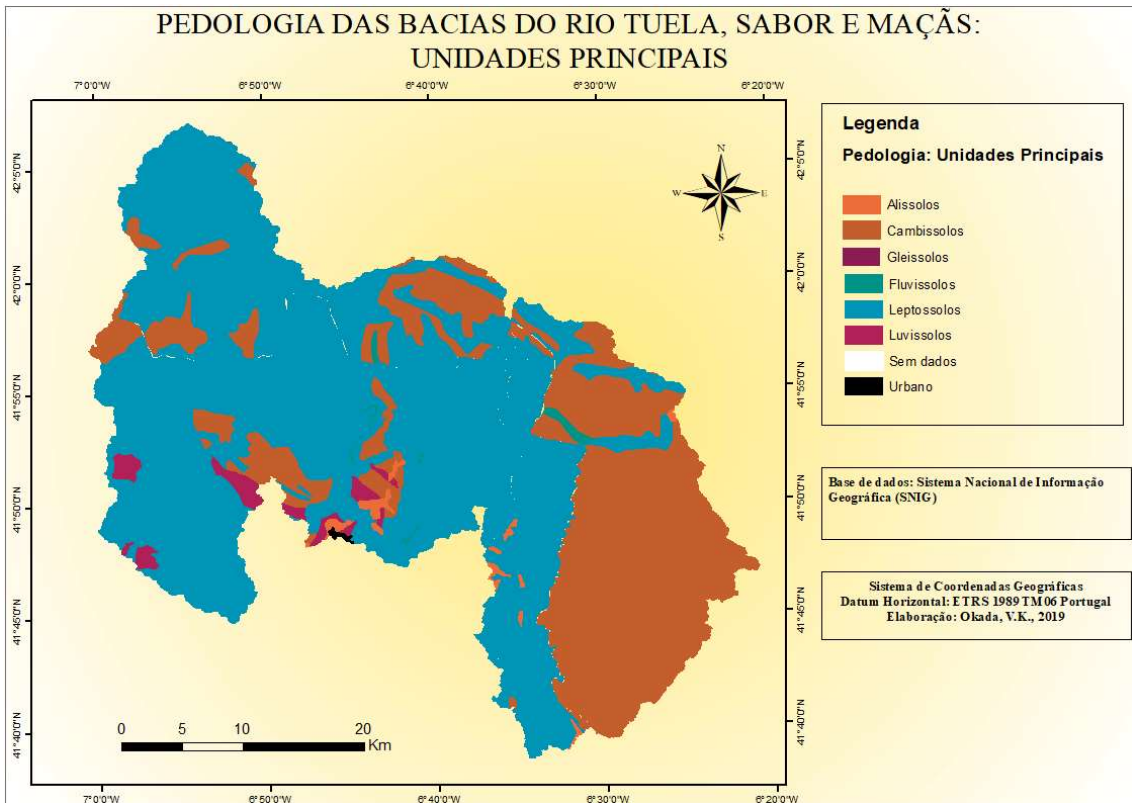


Figura 32 – Pedologia das bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs: unidades principais (baseada nas unidades Cartográficas).

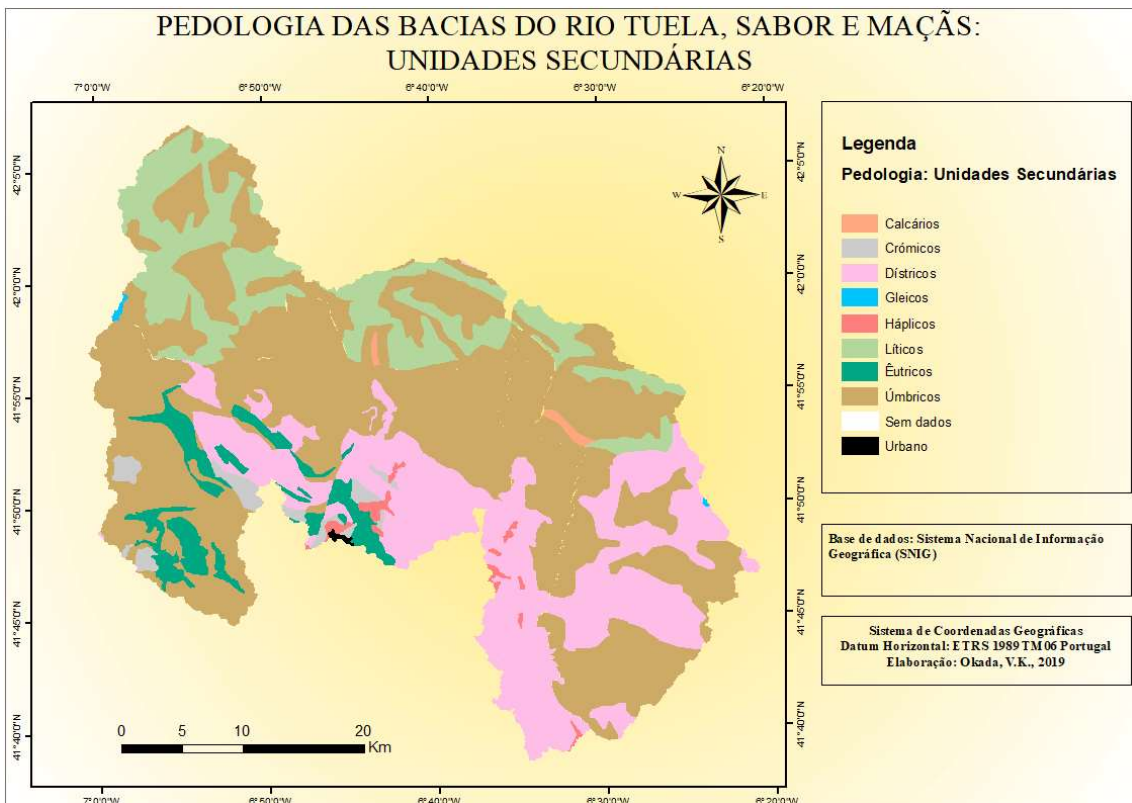


Figura 33 – Pedologia das bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs: unidades secundárias (baseada nas unidades Cartográficas)

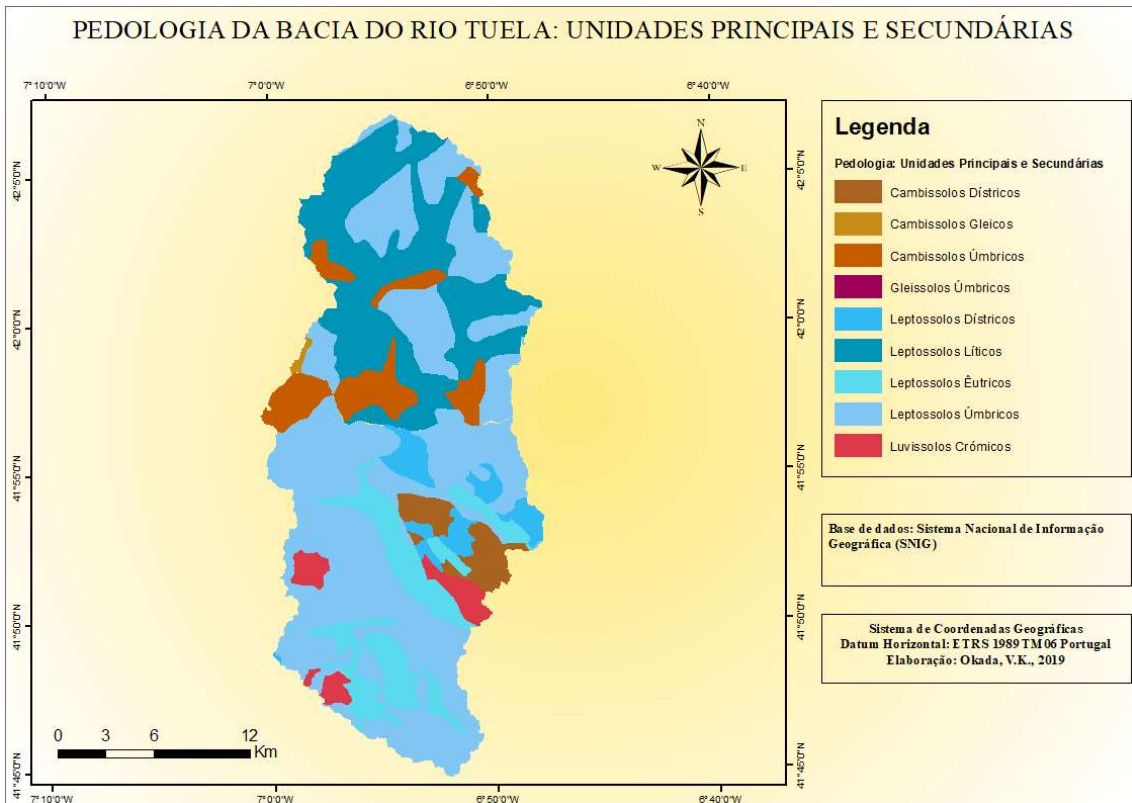


Figura 34 – Pedologia da bacia do rio Tuela: unidades principais e secundárias (baseada nas unidades pedológicas).

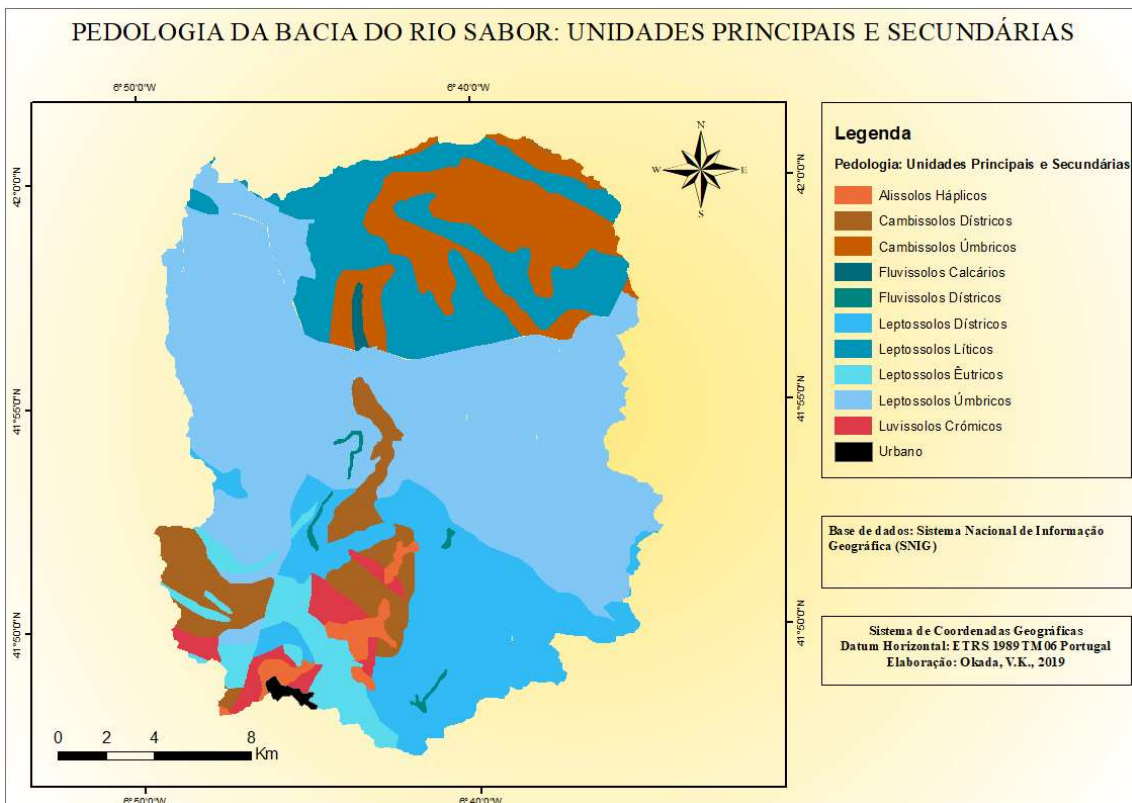


Figura 35 - Pedologia da bacia do rio Sabor: unidades principais e secundárias (baseada nas unidades pedológicas).

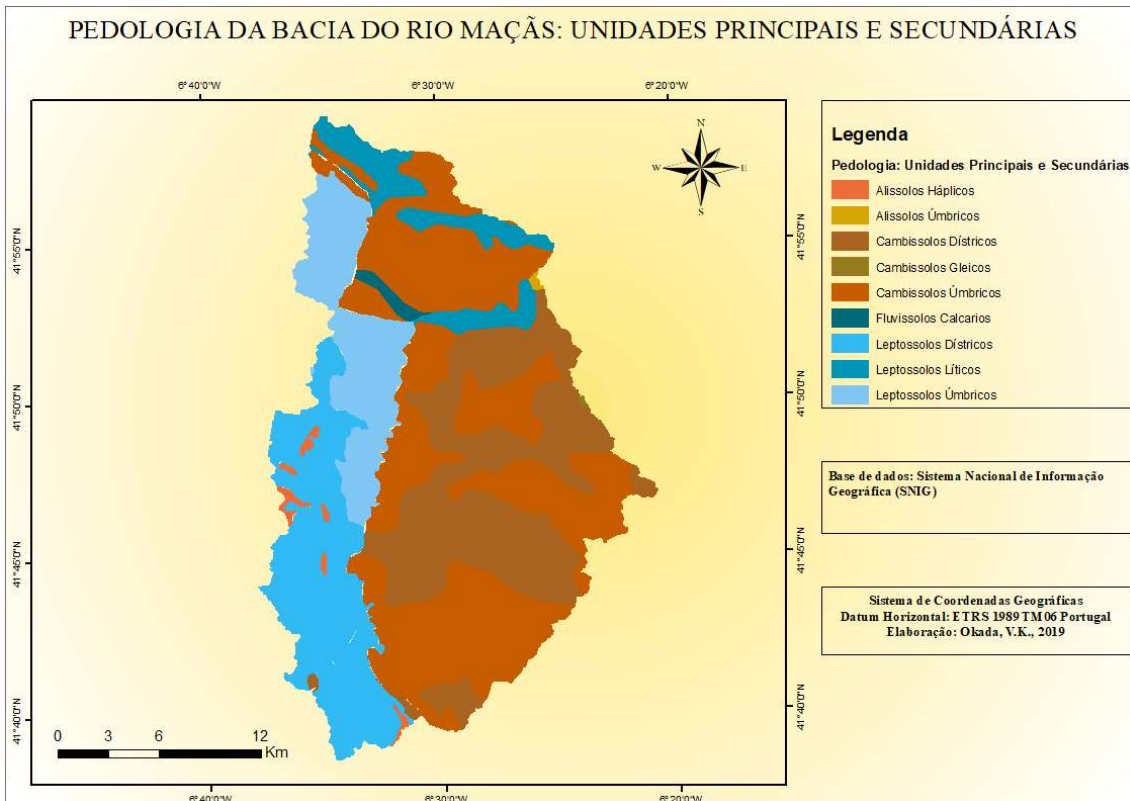


Figura 36 – Pedologia da bacia do rio Maçãs: unidades principais e secundárias (baseada nas unidades pedológicas).

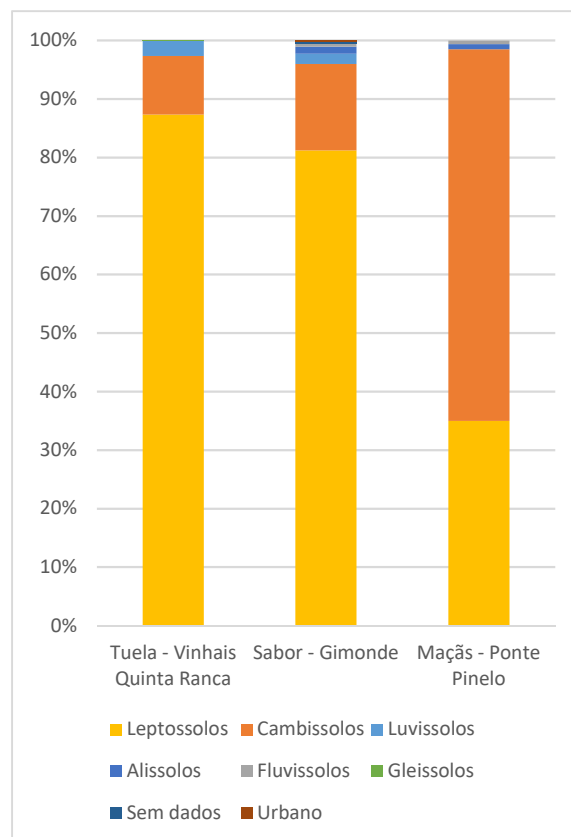


Figura 37 – Gráfico comparando a pedologia em unidade principal das bacias hidrográficas (unidades cartográficas).

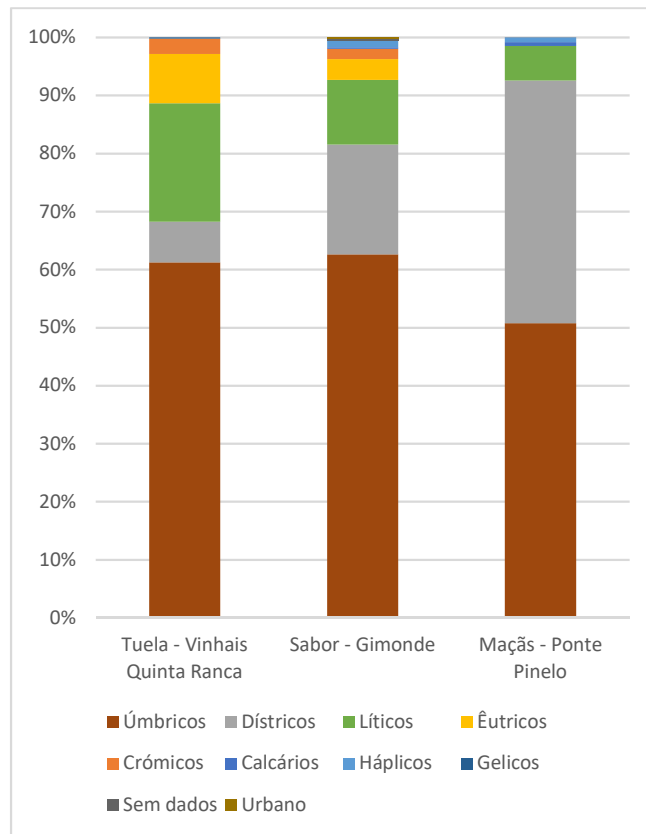


Figura 38 – Gráfico comparando a pedologia em unidade secundária das bacias hidrográficas (unidades cartográficas)

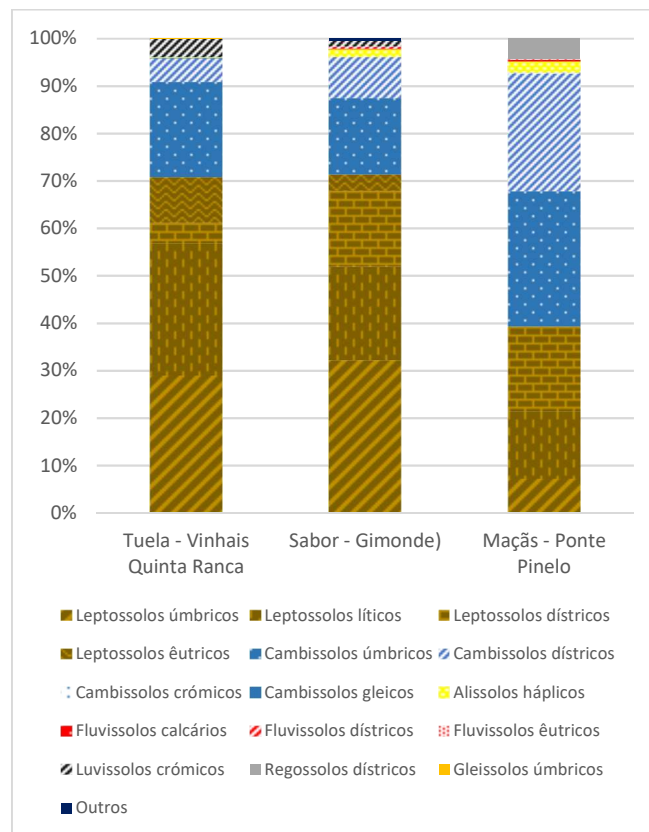


Figura 39 – Gráfico comparando a pedologia em unidade principal e secundaria das bacias hidrográficas (unidades pedológicas)

Tabela 7 – Porcentagem da pedologia encontrada no local de estudo, por unidades pedológicas.

Pedologia	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
Alissolos háplicos	0,1%	1,6%	2,3%
Cambissolos dístricos	5,0%	8,6%	24,8%
Cambissolos gleicos	0,1%	0,0%	0,0%
Cambissolos úmbricos	20,1%	16,1%	28,5%
Cambissolos crômicos	0,0%	0,0%	0,2%
Leptossolos dístricos	4,2%	16,0%	17,9%
Leptossolos êutricos	9,7%	3,4%	0,0%
Leptossolos líticos	27,9%	19,7%	14,2%
Leptossolos úmbricos	29,0%	32,2%	7,2%
Fluvisolos calcários	0,0%	0,1%	0,4%
Fluvisolos dístricos	0,0%	0,3%	0,0%
Fluvisolos êutricos	0,0%	0,1%	0,3%
Luvissolos crômicos	3,9%	1,3%	0,0%
Regossolos dístricos	0,0%	0,0%	4,3%
Gleissolos úmbricos	0,0%	0,0%	0,0%
Outros	0,0%	0,5%	0,0%

É possível observar a presença de maiores quantidades de Leptossolos e Cambissolos em todas as bacias hidrográficas sendo o primeiro predominante na bacia do rio Tuela e Sabor, e o segundo destacando-se na bacia do rio Maçãs. Analisando a relação entre esses solos e a água, segundo Ferreira (2000), os Leptossolos são característicos de serem delgados podendo ser alagados ou secos facilmente acentuando o escoamento superficial, ademais Afonso e Arrobas (2009) citam que esses solos estão presentes em zonas com declive acentuado intensificando ainda mais o escoamento superficial. Os Cambissolos, segundo Figueiredo (2013), por são solos profundos, em relação aos Leptossolos, possuindo maior capacidade de infiltração devido sua rocha limitante ser mais profunda.

Abordando a unidade secundária, se sobressai o tipo Úmbrico, presenciado principalmente na bacia do rio Sabor, mas com menor frequência na bacia do rio Maçãs. A sua relação com a água, tendo em base Figueiredo (2013) e Epstein (1997), é devido a presença de matéria orgânica em sua composição, permitindo a aglomeração de partículas minerais, capacitando o solo a uma melhora na movimentação da água, como também aumenta a capacidade de retenção de água. Ainda segundo Figueiredo (2013), esses solos estão presentes em zonas com maiores altitudes, precipitação e menores temperaturas.

4.1.6 Tipos hidrológicos do solo.

A distribuição dos tipos hidrológicos do solo no local de estudo é representada pela Figura 40 e pela Tabela 8, de forma quantitativa, estando presente na região apenas os tipos B, C e D, e destacando-se os tipos C e D. Os tipos hidrológicos do solo serão posteriormente abordados nos resultados de caudais de ponta de cheia, pois são relevantes, segundo Lencastre e Franco (2006), para o cálculo do N que leva em consideração características do solo em relação a infiltração e escoamento da água.

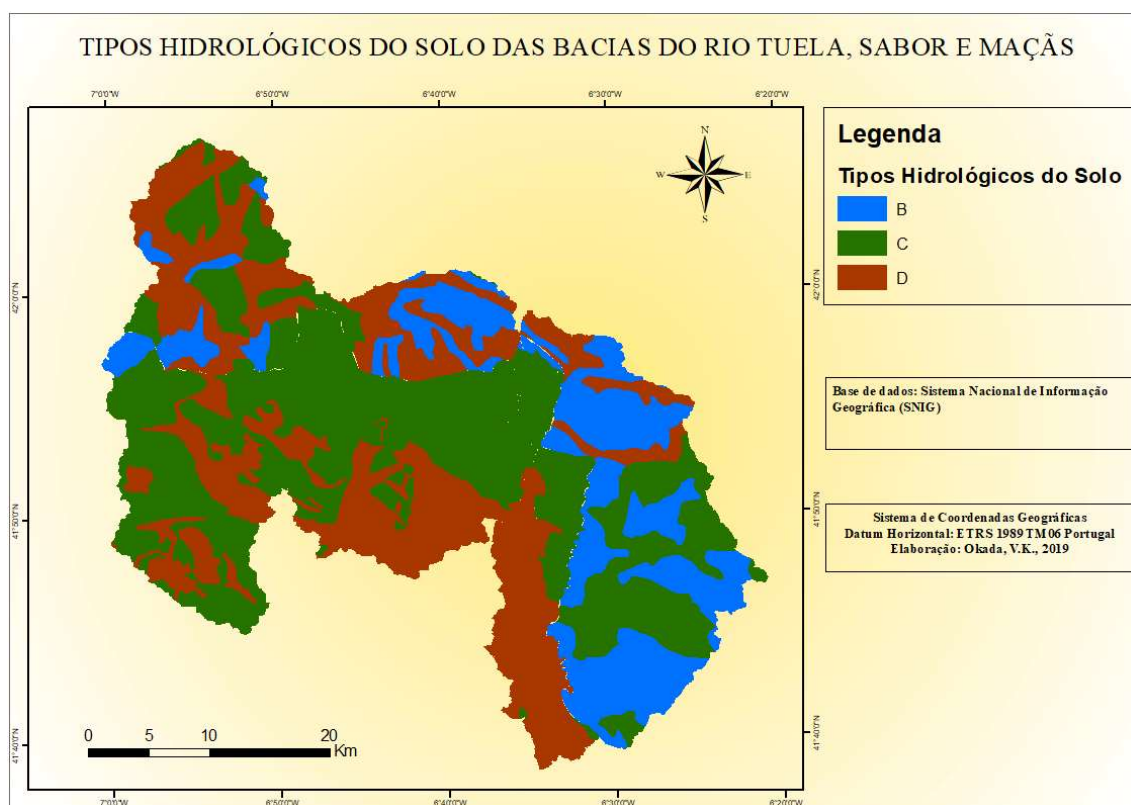


Figura 40 – Tipos hidrológicos do solo das bacias do rio Tuela, Sabor e Maçãs.

Tabela 8 – Valores em percentagem da ocupação dos tipos hidrológicos do solo

Tipo hidrológico do solo	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
A	0,0%	0,0%	0,0%
B	20,1%	16,1%	28,5%
C	34,1%	40,8%	32,2%
D	45,8%	43,0%	39,3%

4.2 Séries históricas dos dados hidrométricos: variabilidade e tendência temporal

Nesta secção apresentam-se os resultados estatísticos dos dados hidrométricos de cada bacia estudada, separados em dois grupos: de acordo com a variabilidade temporal e de acordo com a tendência temporal das séries. Estas incluem os escoamentos anuais e os caudais específicos médios, determinados para os períodos de informação disponível: rio Tuela, 46 anos, rio Sabor, 42 anos e rio Maçãs, 42 anos.

4.2.1 Variabilidade temporal das séries de caudais

Abaixo são encontrados os resultados estatísticos quanto à variação dos caudais, tanto médio anual quanto específico, ao longo do período de registro de cada bacia hidrográfica, apresentando os valores médios, máximos, mínimos, desvios padrões, coeficiente de variação e assimetria.

4.2.1.1 Escoamentos anuais

A Figura 41 representa resultados estatísticos da bacia do rio Tuela durante 46 anos, sendo eles o caudal médio anual total (Q_{total}) de 752,45 mm, caudal de base anual (Q_{base}) de 587,47 mm e caudal direto anual (Q_{direto}) de 164,97 mm tendo cada um desses caudais um o desvio padrão de, 338,24 mm, 282,32 mm e 105,12mm, respectivamente, ademais os valores máximos e mínimos para Q_{total} , Q_{base} e Q_{direto} são, respectivamente, 1596,80 mm e 196,89 mm, 1506,93 mm e 181,32 mm, 439,64 mm e 15,57 mm. A assimetria variou de 0,60, Q_{total} , a 0,97, Q_{base} , e os coeficientes de variação tiveram valores entre 0,45, Q_{total} , a 0,64, Q_{direto} .

Já para a bacia do rio Sabor os resultados estatísticos (Figura 41), para o tempo cronológico de 42 anos, são 506,78 mm, Q_{total} , 375,26 mm, Q_{base} , e 131,52mm, Q_{direto} , e o desvio padrão, 319,65mm, 240,96 mm e 137,29 mm, respectivamente, e para os valores extremos, ou seja, máximo e mínimo são, respectivamente, 1555,85 mm e 119,41 mm, para Q_{total} , 984,15 mm e 86,79 mm, para Q_{base} , 743,75 mm e 19,95 mm, para Q_{direto} . A assimetria teve alta variação sendo 2,90 para o Q_{direto} e 0,93 para Q_{base} , já o coeficiente de variação o menor foi de 0,63, Q_{total} , a 1,04, Q_{direto} .

A Figura 41 representa também resultados estatísticos da bacia do rio Maçãs analisada dentre 42 anos evidenciando-se um Q_{total} de 261,54 mm, Q_{direto} , 175,63mm, e Q_{base} , 85,91 mm, com desvio padrão de, respectivamente, 207,23 mm, 137,04 mm e 89,26 mm, além dos valores de máximo e mínimo que são, respectivamente, 1033, 16 mm e 31,05 mm, para Q_{total} , 552,61 mm e 20,42 mm, para Q_{base} , 480,54 mm e 5,00 mm para Q_{direto} . Já os valores de assimetria variam de 1,22, Q_{base} , a 2,87, Q_{direto} , e o coeficiente de variação de 0,78, Q_{base} , a 1,04, Q_{direto} .

Analisando integradamente as três bacias hidrográficas, de acordo com a Figura 41, é notável o decréscimo do caudal total, de base e direto em direção a bacia do rio Maçãs acompanhando dessa maneira o gradiente climático presente na região. Ademais também é evidente o aumento do coeficiente de variação da bacia do rio Tuela para a bacia do rio Maçãs indicando que, ao longo do tempo e acompanhando o gradiente climático, a segunda teve maiores variações dos caudais em relação as outras duas. Pode-se observar também, na Figura 41, que em direção a bacia mais secas há maiores eventos de escoamento direto em relação aos escoamentos de base que decrescem, podendo, assim, intensificar ocorrência de secas hidrológicas.

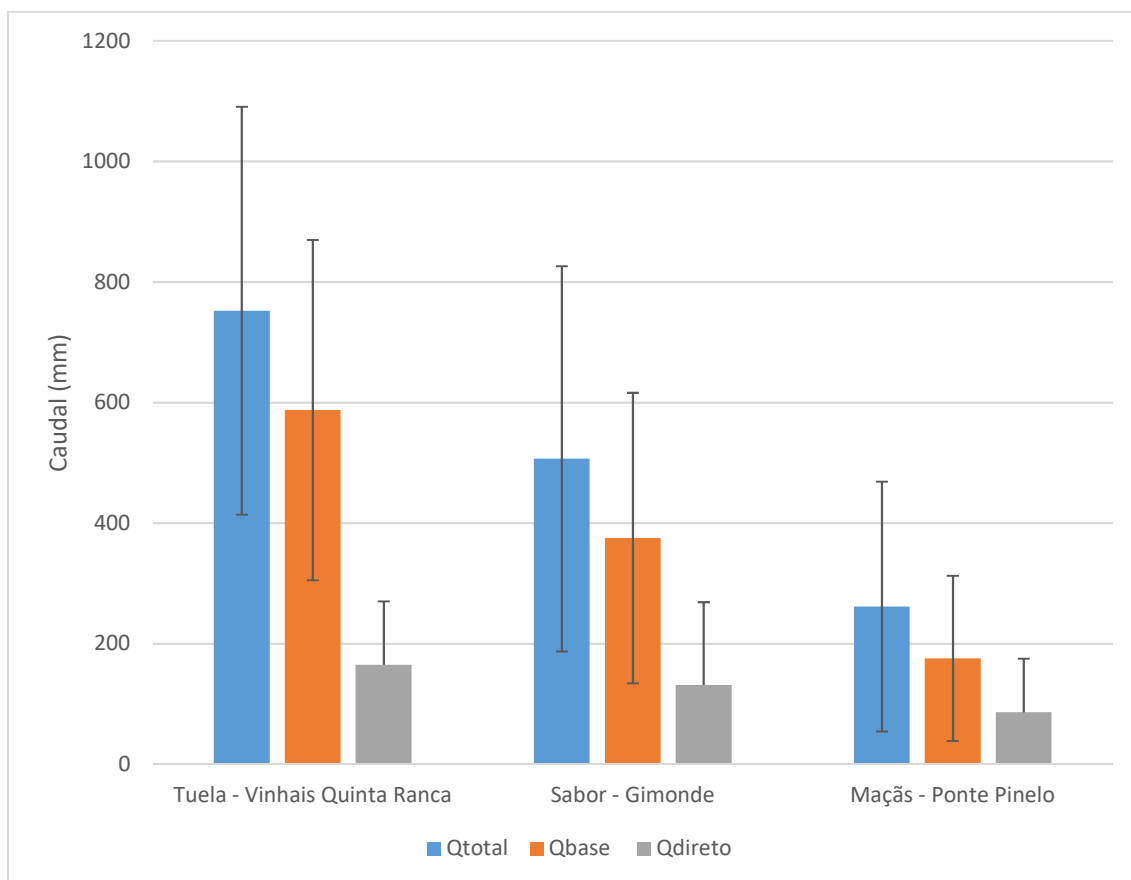


Figura 41 – Escoamentos médios e seus desvios padrão para as três bacias hidrográficas estudadas. (linhas verticais inferiores não representadas para desvios padrão superiores à média).

4.2.1.2 Caudais específicos

A Figura 42 representa resultados estatísticos quanto o caudal específico médio para as três bacias hidrográficas, e obtiveram-se os seguintes valores para a bacia do rio Tuela durante uma série de 46 anos, Q_{total} , 23,85 L/s/Km², Q_{base} , 18,62 L/s/Km², Q_{direto} , 8,28 L/s/Km², sendo que cada um desses caudais possui o respectivo desvio padrão, 10,72 L/s/Km², 8,94 L/s/Km², 6,01 L/s/Km². A assimetria variou de 0,60, Q_{total} , a 1,56, Q_{direto} , e o coeficiente de variação de 0,45, Q_{total} , a 0,73, Q_{direto} , observando que o Q_{direto} obteve maior variabilidade ao longo dos 46 anos.

A bacia do rio Sabor obteve, no intervalo de 42 anos, os seguintes resultados, Q_{total} , 16,06 L/s/Km², Q_{base} , 11,89 L/s/Km², Q_{direto} , 6,16 L/s/Km², e os seus respectivos desvios padrões sendo, 10,13 L/s/Km², 7,64 L/s/Km² e 6,31 L/s/Km². A Assimetria esteve entre os intervalos de 0,93, para Q_{base} , a 2,89, Q_{direto} , já o coeficiente de variação entre, 0,63, Q_{total} , a 1,25, sendo observável que o Q_{total} é o caudal que mais variou nesse período.

Os valores estatísticos para a bacia do rio Maçãs, também para o intervalo de 42 anos, são, Q_{total} , 8,29 L/s/Km², Q_{base} , 5,57, L/s/Km², Q_{direto} , 3,95 L/s/Km², e os respectivos desvios padrões, 6,57 L/s/Km², 4,34 L/s/Km² e 4,29 L/s/Km². Sendo essa bacia com os maiores valores de assimetria começando de 1,60, Q_{total} , a 3,39, Q_{direto} , assim como possui também os maiores valores de coeficiente de variação, 0,79, Q_{total} , a 1,09, Q_{base} , este último é o que mais apresentou variabilidade temporal.

Segundo Lencastre e Franco (2006) a utilização do caudal específico permite efetuar a comparação dos caudais de bacias com diferentes áreas. Nota-se que os resultados acompanham o gradiente climático, tendo maiores valores a bacia do rio Tuela e menores valores a bacia do rio Maçãs, sendo a bacia do rio Sabor um ambiente de transição. Os maiores valores de assimetria e coeficiente de variação estão presentes na bacia do rio Maçãs, demonstrando instabilidade nos caudais específicos ao longo da série histórica; já a bacia do rio Tuela mostrou os menores valores, sendo mais estável que as outras. É assim observado que a assimetria e o coeficiente de variação se relacionam positivamente com o gradiente climático, aumentando a variabilidade temporal dos escoamentos anuais e caudais específicos com a aridez do clima (Portela e Quintela, 2005).

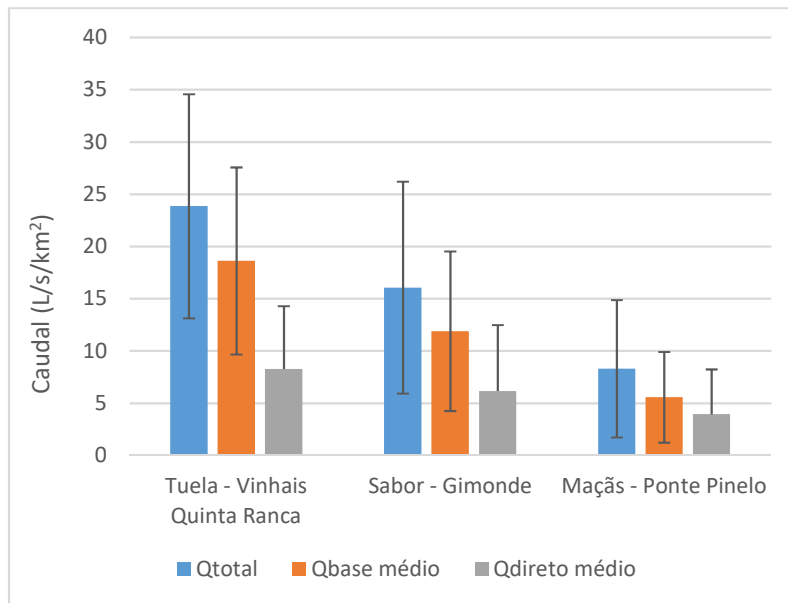


Figura 42 – Caudal específico médio e seus desvios padrão das três bacias hidrográficas. (linhas verticais inferiores não representadas para desvios padrão superiores à média).

A Figura 43 representa, em parte, os valores extremos dos escoamentos específicos de base e direto (Q_{base} e Q_{direto}), para as três bacias estudadas, para os mesmos intervalos de tempo citados anteriormente, portanto, a bacia do rio Tuela obteve para Q_{direto} máximo $193,88 \text{ L/s/Km}^2$, Q_{base} máximo $141,49 \text{ L/s/Km}^2$ e Q_{base} mínimo $0,75 \text{ L/s/Km}^2$, e cada um obteve os respectivos desvios padrões, $117,95 \text{ L/s/Km}^2$, $86,52 \text{ L/s/Km}^2$ e $0,40 \text{ L/s/Km}^2$. A assimetria para a mesma bacia variou de $0,86$, Q_{base} máximo, a $2,10$, Q_{base} mínimo, e o coeficiente de variação foi de $0,53$, Q_{base} mínimo, a $0,61$, Q_{base} máximo e também Q_{direto} máximo.

Para a bacia do rio Sabor os resultados obtidos foram: Q_{direto} máximo $181,93 \text{ L/s/Km}^2$, Q_{base} máximo $119,22 \text{ L/s/Km}^2$ e Q_{base} mínimo $0,11 \text{ L/s/Km}^2$, e os respectivos desvios padrões são $157,76 \text{ L/s/Km}^2$, $97,49 \text{ L/s/Km}^2$ e $0,13 \text{ L/s/Km}^2$. A assimetria para essa bacia variou de $1,25$, Q_{direto} máximo, a $2,39$, Q_{base} mínimo, já o coeficiente de variação foi de $0,82$, Q_{base} máximo, a $1,19$, Q_{base} mínimo.

A bacia do rio Maçãs obteve os seguintes resultados, Q_{direto} máximo $109,83 \text{ L/s/Km}^2$, Q_{base} máximo $58,97 \text{ L/s/Km}^2$ e Q_{base} mínimo $0,17 \text{ L/s/Km}^2$, com os respectivos desvios padrões, $141,54 \text{ L/s/Km}^2$, $58,61 \text{ L/s/Km}^2$ e $0,15 \text{ L/s/Km}^2$. Os valores para assimetria foram de $1,03$, Q_{base} mínimo, a $3,17$, Q_{direto} máximo, e para o coeficiente de variação de $0,86$, Q_{base} mínimo a $1,29$, Q_{direto} máximo.

Analisando as bacias em conjunto é perceptível que maiores valores de caudais específicos estão presentes na bacia do rio Tuela e diminuem em direção a bacia do rio Maçãs, acompanhando assim, o gradiente climático. Entretanto, apesar de possuir maiores valores de extremo na bacia do rio Tuela, as maiores variações, tanto de assimetria como de coeficiente de variação, estão presentes na bacia do rio Maçãs e decrescem em direção a bacia do rio Tuela, indicando que, durante a série histórica analisada, essas variações acompanham também o gradiente climático da região de estudo.

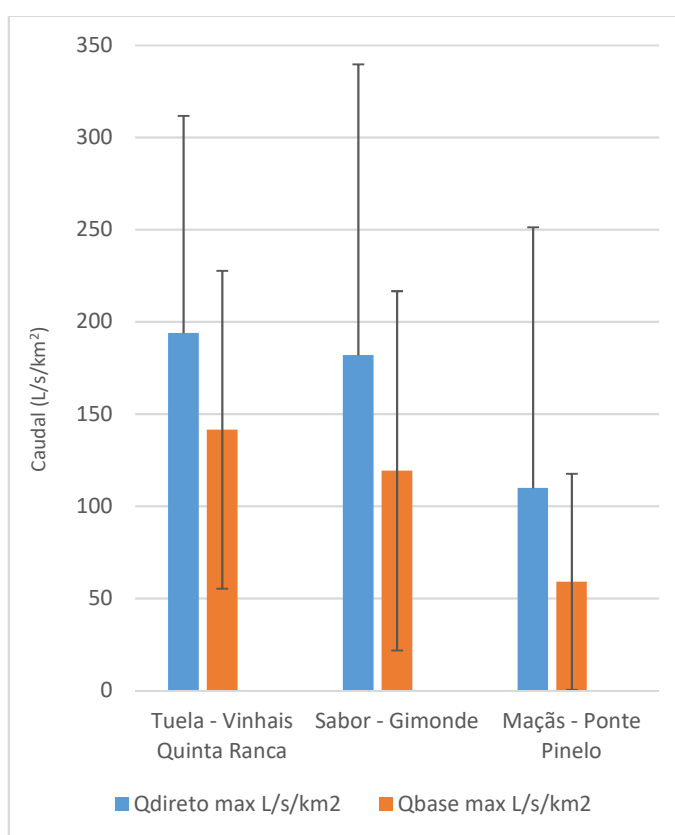


Figura 43 – Valores extremos dos escoamentos específicos.

4.2.2 Tendência temporal das séries de caudais

Esta secção trata dos resultados obtidos quanto à tendência temporal dos caudais, tanto médio anual quanto específico, ao longo do tempo cronológico determinado para cada bacia hidrográfica.

4.2.2.1 Escoamentos anuais

Os resultados obtidos para a tendência temporal, durante 46 anos para a bacia do rio Tuela, e 42 anos para as bacias do rio Sabor e Maçãs, dos caudais Q_{total} , Q_{base} e Q_{direto} , estão dispostos na Tabela 9, esses foram obtidos pela Figura 44 através da linha de tendência calculada pelo software Excel, sendo utilizado para esse fim apenas o coeficiente da equação de regressão. É importante salientar que os resultados obtidos servem apenas para indicar qual é a tendência sem inferir na intensidade de mudança dos caudais.

Tabela 9 – Coeficiente da equação de regressão da reta de tendência temporal de variação dos escoamentos anuais no período de registros (Q_{total} , Q_{base} e Q_{direto}) nas três bacias hidrográficas estudadas.

Caudais	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
Q_{total}	-1,6667	1,4939	1,7387
Q_{base}	-2,3907	-0,3321	-0,2991
Q_{direto}	0,724	1,826	2,0378

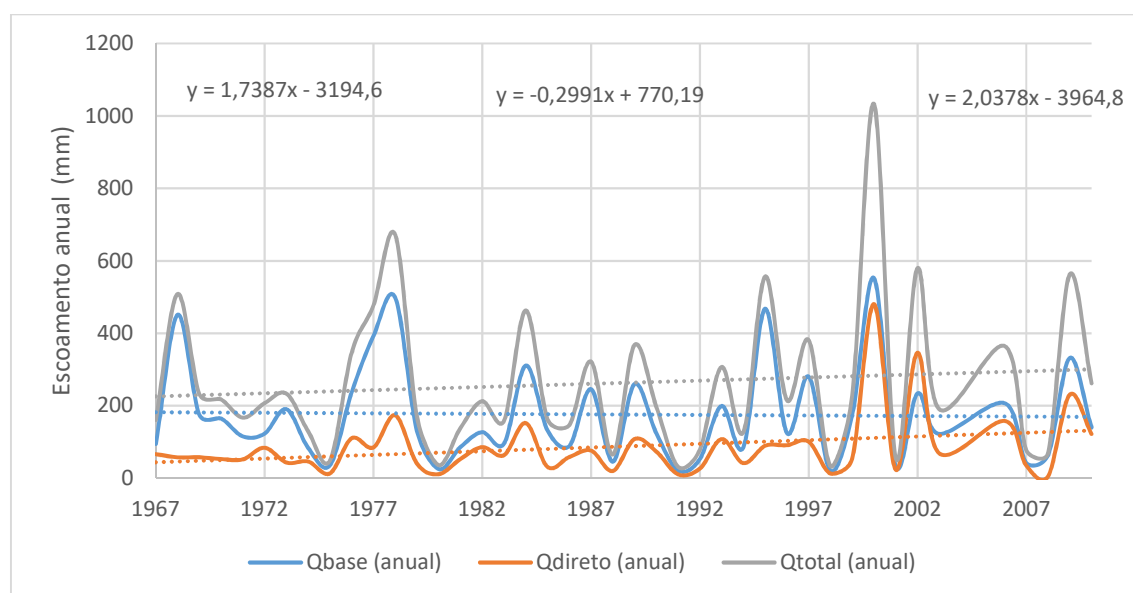


Figura 44 – Tendência de variação das séries temporais de escoamento anual (de base, direto e total) para a bacia do rio Maçãs (equações das retas de regressão apresentadas no gráfico).

Segundo Lencastre e Franco (2006) o Q_{direto} é responsável pelos picos de escoamento causado pela chuvada, assim sendo, a tendência para que haja eventos de cheias cresce com o aumento do Q_{direto} , por outro lado, segundo os mesmos autores o Q_{base} é responsável pelo escoamento superficial em épocas de estiagem. Portanto a tendência para o seu decréscimo indica o aumento de eventos de seca hidrológica.

Interpretando a Tabela 9 se verifica que em todas as bacias há tendência negativa no escoamento de base, aumentando a tendência para riscos de secas, e uma tendência positiva do escoamento direto, aumentando o risco de cheia.

A soma das duas tendências traduz-se em aumento ou decréscimo do escoamento total de acordo com a importância relativa de cada componente do escoamento. Assim, no Tuela a maior redução no escoamento de base traduz-se em diminuição do total, enquanto nas outras os maiores aumentos do direto se traduzem em aumentos no total.

As duas tendências acompanham o gradiente climático, mostrando que a aridez acentua os extremos.

4.2.2.2 Escoamentos específicos

Os resultados obtidos para os extremos dos caudais específicos para o mesmo intervalo de tempo já citado anteriormente estão representados na Tabela 10. Esses foram adquiridos pelo mesmo meio citado nos caudais médios anuais.

Tabela 10 – Coeficiente da equação de regressão da reta de tendência temporal de variação dos escoamentos específicos no período de registros (Qdireto específico médio, Qbase específico médio, Qdireto específico máximo, Qbase específico máximo e Qbase específico mínimo) nas três bacias hidrográficas estudadas.

Caudais	Bacias Hidrográficas (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
Qdireto específico médio	0,0256	0,0721	0,0967
Qbase específico médio	-0,0757	-0,0106	-0,0095
Qdireto específico máximo	0,1869	2,2864	2,8896
Qbase específico máximo	0,1345	-1,6401	-0,2929
Qbase específico mínimo	-0,078	-0,0046	-0,0065

Logo com base na Tabela 10 pode-se concluir que a bacia do rio Tuela tem tendência ao aumento do Qdireto máximo, ou seja, há hipóteses de aumento da intensidade dos caudais das cheias e o mesmo ocorre para o Qbase máximo, entretanto para o Qbase mínimo sua tendência é decrescer e assim diminuir a intensidade do seu escoamento, para os valores médios há aumento do Qdireto e decréscimo do Qbase. Para a bacia do Rio sabor o Qdireto máximo também possui tendência para se intensificar, já o máximo e mínimo do escoamento de base tende a diminuir sua intensidade, os valores médios o Qdireto tende a aumentar e o Qbase a diminuir. E a bacia do rio Maçãs possui as mesmas tendências da bacia do rio Sabor.

4.3 Análise integrada: Caracterização cartográfica e fisiográfica da área de estudo com séries históricas dos dados hidrométricos

A seguir explora-se a relação entre as características das bacias com as respostas hidrológicas abordadas anteriormente. Essa relação está separada em dois grupos: uma que relaciona a precipitação, caudal total e caudal de base em condição normal (média), e outra que aborda a condição extrema, designadamente o caudal de ponta, ou seja, o responsável por gerar eventos de cheia hidrológica. Neste último caso consideram-se as características litológicas, pedológicas e de uso e ocupação do solo das bacias ao aplicar o método do SCS para as estimativas do caudal máximo de cheia, estimativas essas que foram comparadas com os valores extremos observados nas estações hidrométricas.

4.3.1 Precipitação, Caudal total e Caudal de base médios anuais

A Figura 45 relaciona a precipitação média anual das três bacias hidrográficas para o período de 1981 a 2000 com o Q_{total} e o Q_{base} para o mesmo período, extraindo-se o coeficiente de escoamento, com valores de 0,58, para bacia do rio Tuela, 0,51, para a bacia do rio Sabor e 0,33, para a bacia do rio Maçãs, ou seja, a precipitação que se torna escoamento é maior para a bacia do rio Tuela e decresce em direção a bacia do rio Maçãs, acompanhando o gradiente climático presente na região.

A Figura 46 apresenta a relação entre o escoamento de base médio e o escoamento total médio. É possível notar a tendência do aumento de um quando há o aumento do outro. O mesmo comportamento pode ser observado, ainda na Figura 45, ao abordar a relação entre a precipitação média com o escoamento total médio.

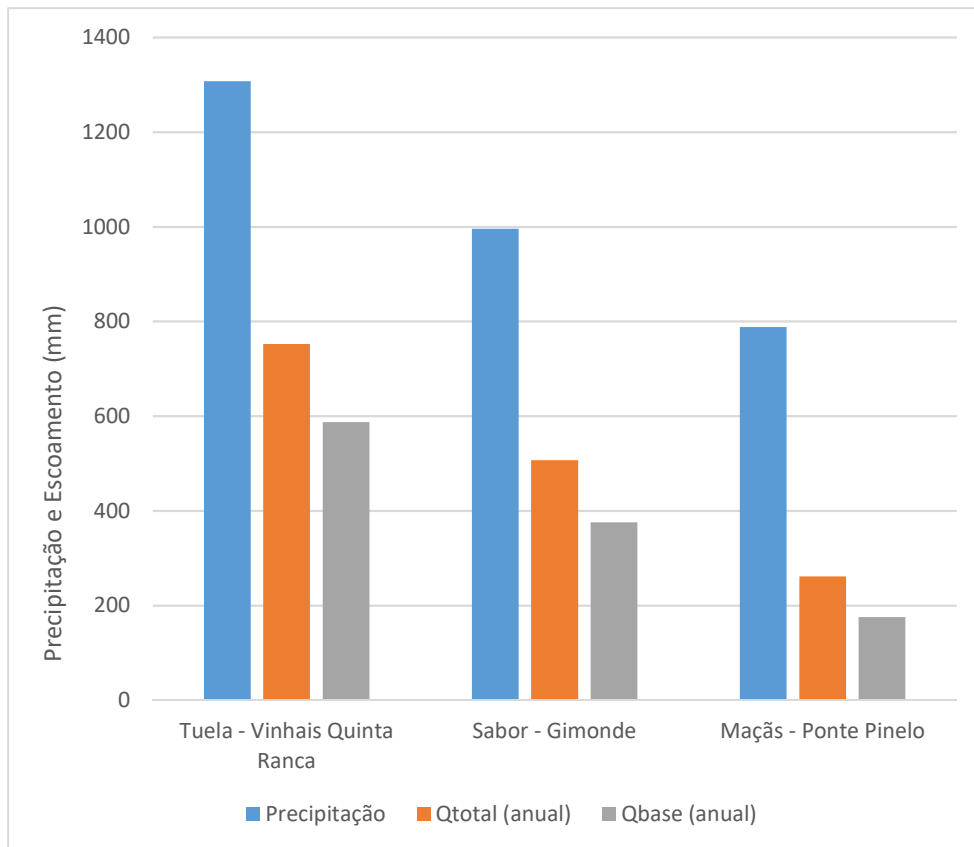


Figura 45 – Precipitação, Qtotal e Qbase das bacias hidrográficas estudadas.

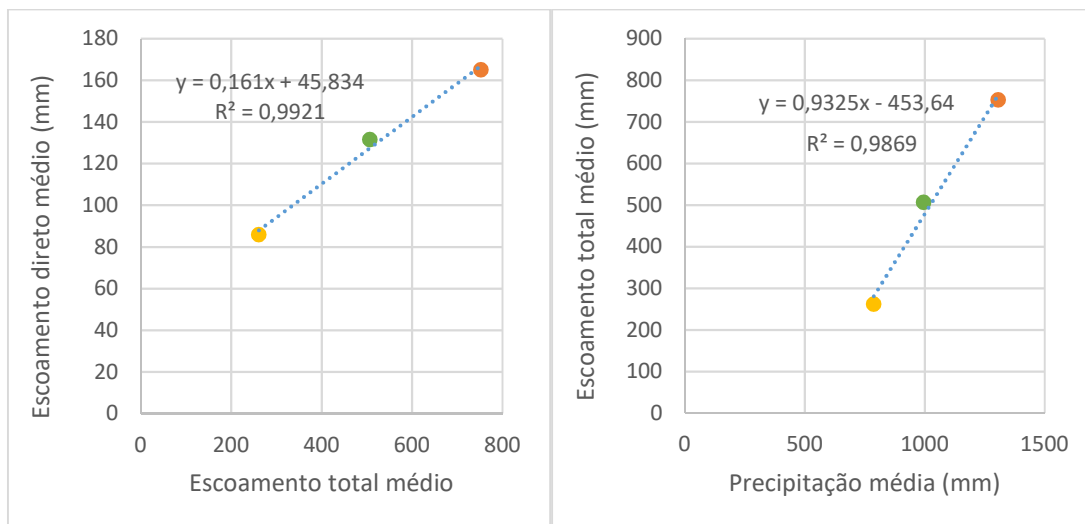


Figura 46 - A esquerda: Relação entre o escoamento total médio e o escoamento direto médio (equações das retas de regressão apresentadas no gráfico). A direita: Relação entre a precipitação média e o escoamento total médio (equações das retas de regressão apresentadas no gráfico)

4.3.2 Correlação: Características fisiográficas e dados hidrométricos

A Tabela 11 corresponde a interação entre as características fisiográficas e os dados hidrométricos, ambos abordados anteriormente, através do coeficiente r de correlação de Pearson. Nesta abordam-se apenas características fisiográficas que demonstraram relação com os escoamentos (total, de base, direto) e o coeficiente de escoamento. Valores maiores, próximos à unidade, indicam uma correlação maior entre as duas variáveis, já valores mais distantes indicam uma relação menor entre elas. O sinal do coeficiente indica que as variáveis possuem tendências inversas ou iguais, ou seja, quando negativo uma tende ao aumento a outra ao decréscimo, vice e versa, quando positivo ambas possuem o mesmo comportamento, ambas tendem a aumentar ou a diminuir.

Tendo em vista o que foi relatado acima, o coeficiente de compacidade, a densidade de drenagem, o tipo pedológico Cambissolos e solos com culturas permanentes possuem relação com todos os escoamentos abordados e com o coeficiente de escoamento, possuindo tendências contrárias. Abordando o tipo pedológico Leptosolos, altitude média, o declive médio e solos que possuem zonas descobertas e com pouca vegetação esses também possuem relação com todos os escoamentos, mas esses possuindo as mesmas tendências. Nota-se que as influências exercidas por essas características podem alterar o regime hidrológico da área estudada, sendo relevantes nos estudos hidrológicos.

Tabela 11 - Coeficiente de correlação de Pearson abordando as características fisiográficas e os dados hidrométricos.

Características fisiográficas	Dados hidrométricos			
	Escoamento total	Escoamento De base	Escoamento Direto	Coeficiente de Escoamento
Coeficiente de compacidade	-0,9966	-0,9950	-1,0000	-0,9849
Densidade de drenagem	-0,9903	-0,9925	-0,9740	-0,9223
Leptosolos	0,9144	0,9073	0,9468	0,9873
Cambissolos	-0,9032	-0,8957	-0,9378	-0,9826
Altitude Média (m)	0,9787	0,9821	0,9565	0,8943
Declive médio (%)	0,9984	0,9992	0,9894	0,9512
Zonas descobertas e com pouca vegetação*	0,9754	0,9791	0,9520	0,8874
Culturas permanentes	-0,9938	-0,9955	-0,9799	-0,9327

*Zonas descobertas e com pouca vegetação consideram-se áreas como: praias, dunas, areias, rocha nua, vegetação esparsa e áreas ardidas.

4.3.3 Caudais de cheia: estimativas pelo método do Soil Conservation Service (SCS) e comparação com valores observados.

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos pela aplicação do método SCS para a estimativa do caudal de ponta de cheia. Esta implicou estimar o N com base nos tipos hidrológicos e na ocupação dos solos das bacias em estudo. Consideraram-se duas condições antecedentes de humidade do solo (média - AMC-II e elevada - AMC-III) aquando da chuvada geradora de cheia, simulando uma condição mais seca típica de estações de transição e uma condição mais húmida típica do Inverno. Por outro lado, estimaram-se as precipitações a considerar na aplicação do método SCS, utilizando a fórmula de Chow (1951), assumindo a distribuição de Gumbel para vários períodos de retorno e as estatísticas dos valores extremos anuais de precipitação diária de postos odométricos representativos de cada bacia. Finalmente aplicou-se a fórmula de Giandotti para a estimativa do tempo de concentração das bacias, utilizando dados obtidos aquando da caracterização das mesmas.

Com vista a avaliar o desempenho do método SCS na estimativa dos caudais de ponta de cheia, procedeu-se ao tratamento estatístico da série de extremos anuais de escoamento direto das três bacias, novamente utilizando a fórmula de Chow (1951) e considerando a distribuição de Gumbel.

4.3.3.1 Número de escoamento (N) para condições AMC-II e AMC-III

Com os resultados obtidos em percentagem dos tipos hidrológicos (Tabela 7) dos solos assim como os do uso e ocupação do solo em percentagem (Anexo 1) foi possível, com base na tabela de N (Anexo 2) que leva em consideração a COS, obter os valores de N para condições AMC-II e AMC-III, de cada bacia hidrográfica, apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Número de escoamento (N) para as condições AMC-II e AMC-III para as respectivas bacias hidrográficas.

Condições antecedentes de humidade	Bacias Hidrográficas (Rio – Estação Hidrométrica)			
	Tuela - Vinhais	Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
AMC-II	72	72	72	73
AMC-III	86	86	86	86

4.3.3.2 Tempo de concentração e tempo de crescimento

Os tempos de concentração obtidos através da fórmula de Giandotti assim como os tempos de crescimento obtida pela fórmula do SCS, são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Tempo de concentração e tempo de crescimento estimados para as três bacias hidrográficas.

	Bacias Hidrográficas (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
Tempo de concentração (horas)	12,34	9,55	12,51
Tempo de crescimento (horas)	13,58	11,90	13,68

4.3.3.3 Precipitação total, perdas iniciais da chuvada e precipitação útil.

Para o cálculo da precipitação útil foi necessário obter o valor das perdas iniciais (h_0) utilizando a Equação 27 requerida pelo método SCS, obtendo os valores dispostos na Tabela 14 para as condições AMC-II e AMC-III. Assim, os valores de precipitação total obtidos através da fórmula de Chow (1951), e os valores de precipitação útil obtidos através da Equação 24 do método SCS, também para condições AMC-II e AMC-III, estão representados pela Tabela 15 e 16, respectivamente.

Tabela 14 - Perdas iniciais em milímetros para as condições AMC-II e AMC-III.

Perdas iniciais (mm)	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
h_0 (AMC-II)	19,36	19,50	18,62
h_0 (AMC-III)	8,44	8,34	7,96

Tabela 15 – Precipitação máximas diárias anuais para vários períodos de retorno (distribuição de Gumbel).

Período de retorno (Anos)	Kt	Bacias Hidrográficas (Rio – Estação Hidrométrica)		
		Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
		Precipitação (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação (mm)
2,33	0,0011	59,68	59,20	45,32
5	0,7195	74,18	68,54	54,58
10	1,3046	85,99	76,15	62,12
50	2,5923	111,98	92,90	78,72
100	3,1367	122,97	99,99	85,74
500	4,3947	148,37	116,35	101,95
1000	4,9355	159,29	123,39	108,92

Tabela 16 – Precipitação útil para as condições AMC-II e AMC-III.

Período de retorno (Anos)	Bacias Hidrográficas (Rio – Estação Hidrométrica)					
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca		Sabor - Gimonde		Maçãs - Ponte Pinelo	
	hu (AMC-II) (mm)	hu (AMC-III) (mm)	hu (AMC-II) (mm)	hu (AMC-III) (mm)	hu (AMC-II) (mm)	hu (AMC-III) (mm)
2,33	11,85	28,10	11,48	27,94	5,95	18,10
5	19,82	40,04	16,41	35,56	10,02	25,16
10	27,17	50,23	20,82	41,99	13,85	31,23
50	45,29	73,57	31,52	56,63	23,58	45,30
100	53,57	83,71	36,39	62,98	28,12	51,46
500	73,71	107,52	48,26	77,92	39,36	66,05
1000	82,71	117,88	53,58	84,44	44,46	72,43

4.3.3.4 Valores obtidos para caudal de ponta (Qp)

Portanto, a partir das tabelas 15 e 16, foram obtidos os valores para os caudais de ponta das bacias hidrográficas através da fórmula do método SCS (Equação 23) e pela fórmula de Chow (1951) para os períodos de retorno 2,33, 5, 10, 50, 100, 500 e 1000, tanto nas condições AMC-II quanto para AMC-III, os quais estão dispostos na Tabela 17.

Tabela 17 – Caudal de ponta estimado pelo método SCS para as condições AMC-II e AMC-III.

Períodos de retorno (anos)	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)					
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca		Sabor - Gimonde		Maçãs - Ponte Pinelo	
	Qp (AMC-II) (m³/s)	Qp (AMC-III) (m³/s)	Qp (AMC-II) (m³/s)	Qp (AMC-III) (m³/s)	Qp (AMC-II) (m³/s)	Qp (AMC-III) (m³/s)
2,33	86,79	205,74	81,57	198,48	47,92	145,74
5	145,11	293,17	116,56	252,63	80,69	202,62
10	198,89	367,74	129,60	261,42	112,40	253,40
50	331,61	538,65	196,26	352,60	191,31	367,57
100	392,21	612,84	226,57	392,14	228,14	417,58
500	539,65	787,18	300,45	485,15	319,38	535,93
1000	605,57	863,07	333,61	525,71	360,79	587,74

4.3.3.5 Caudais diretos máximos observados nas estações hidrométricas

Com o fim de realizar a comparação entre o caudal de ponta calculado através do método SCS e do observado nas estações hidrométricas foi realizado o estudo das séries de caudais direto máximos anuais. Utilizando a fórmula de Chow, aplicando a distribuição de Gumbel para a determinação do fator de frequência (KT), estimaram-se

esses caudais para os mesmos períodos de retorno considerados anteriormente, obtendo-se os resultados mostrados na Tabela 18.

Tabela 18 – Caudais diretos máximos anuais nas bacias em estudo: estimativas para vários períodos de retorno.

Períodos de retorno (anos)	Bacias Hidrográficas (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
	Q direto (m ³ /s)	Q direto (m ³ /s)	Q direto (m ³ /s)
2,33	88,96	59,61	41,63
5	127,54	95,08	63,88
10	158,97	123,97	82,00
50	228,13	187,54	121,89
100	257,37	214,42	138,76
500	324,93	276,53	177,72
1000	353,98	303,23	194,48

4.3.3.6 Comparação entre os caudais diretos máximos e os caudais de ponta obtidos pelo método SCS

Em vista das Tabelas 17 e 18 acima e as Figuras 47 a 49, abaixo, foi observado que, os valores do método SCS são diferentes dos valores reais observados nas estações hidrométricas, tanto na condição AMC-II, essa mesmo que pouco, tratando-se do período de retorno até 10 anos, quanto na condição AMC-III, e percebendo que os valores de precipitação também foram obtidos através de medições reais pode-se então concluir que as variações devem ocorrer no N, ou seja, nos tipos hidrológicos do solo e também no seu uso e ocupação. Logo, utilizou-se a ferramenta solver do Software Excel com o propósito de igualar esses caudais modificando o N antigo para um N ajustado a fim de observar qual deveria ser o valor correto a se inserir na fórmula do método SCS para um determinado caudal direto máximo que fora observado nas estações hidrométricas, esses resultados podem ser vistos na Tabela 19.

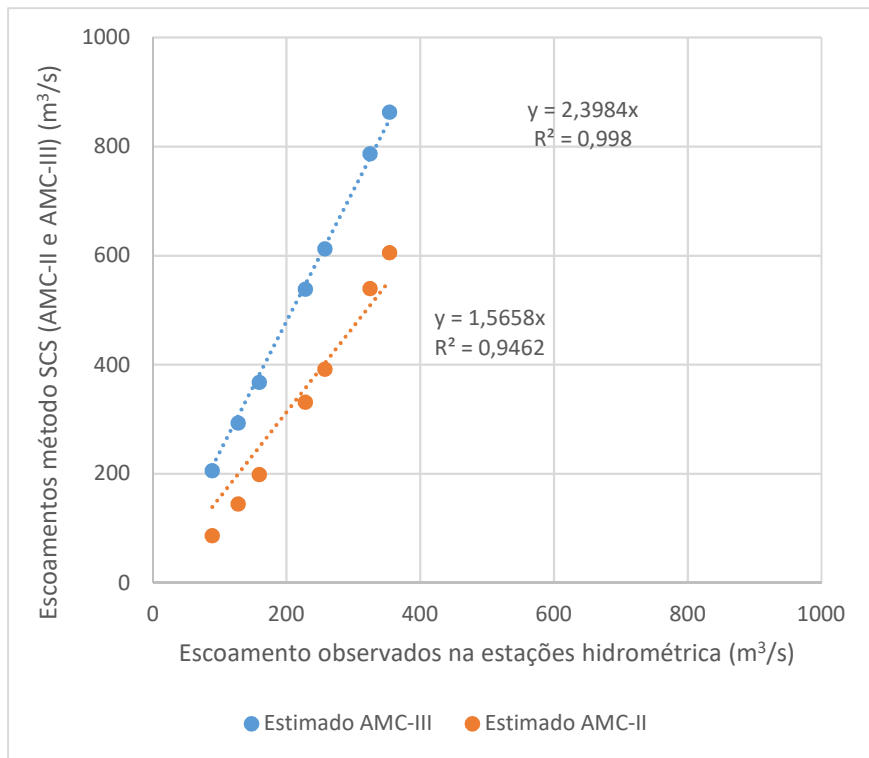


Figura 47 - Relação entre os escoamentos observados na estação hidrométrica e os escoamentos obtidos pelo método SCS, nas condições AMC-II e AMC-III, para bacia do rio Tuela.

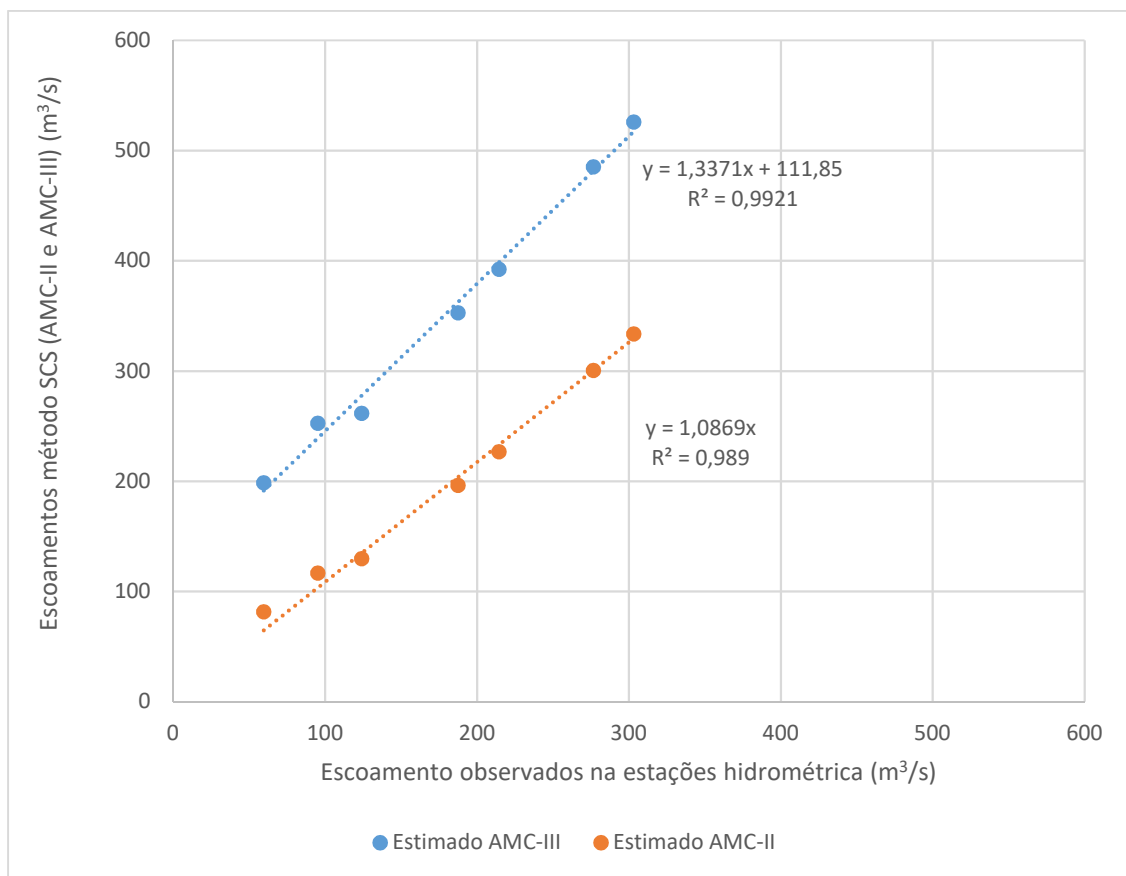


Figura 48 - Relação entre os escoamentos observados na estação hidrométrica e os escoamentos obtidos pelo método SCS, nas condições AMC-II e AMC-III, para bacia do rio Sabor.

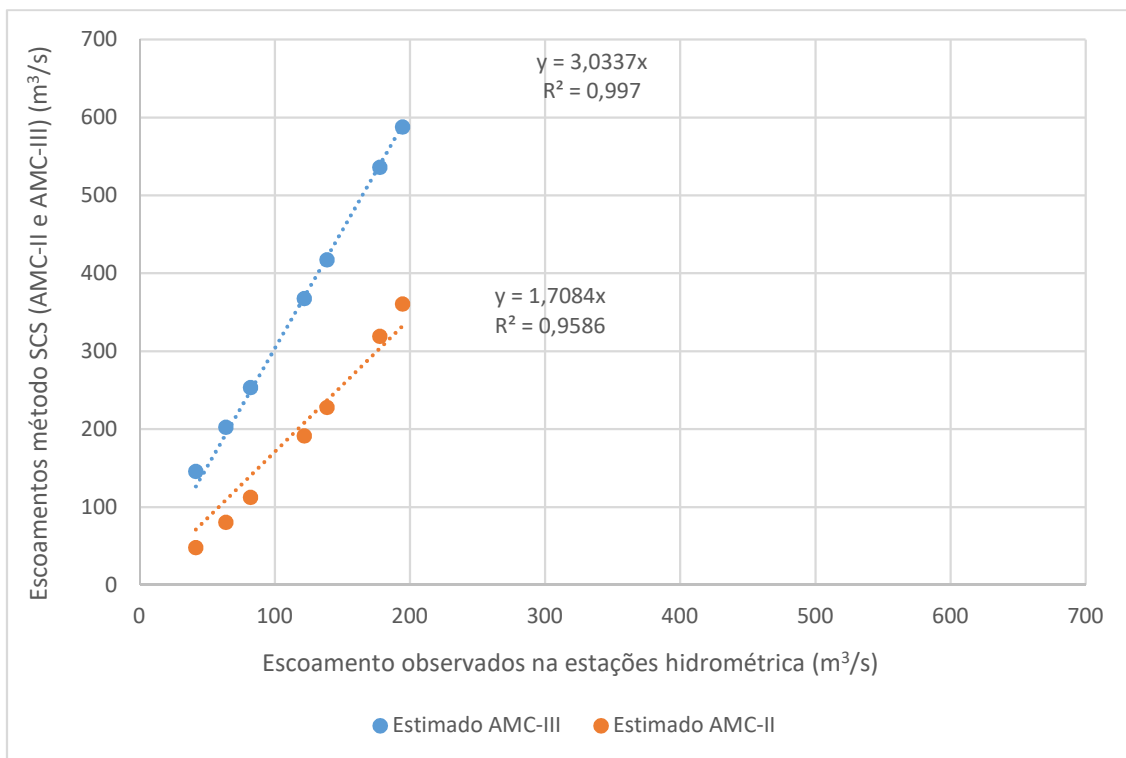


Figura 49 - - Relação entre os escoamentos observados na estação hidrométrica e os escoamentos obtidos pelo método SCS, nas condições AMC-II e AMC-III, para bacia do rio Maçãs.

Tabela 19 – Valores de ajustamento de N para as condições AMC-II e AMC-III.

Valor de ajustamento de N para as condições AMC-II e AMC-III	Bacias Hidrográficas (Rio – Estações Hidrométricas)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
N	73	68	72

Assim, comparados os valores da Tabela 19 com os valores da Tabela 12 pode-se observar a diferença entre os valores de N, sendo que para a condição AMC-II essa diferença é menor comparada a condição AMC-III, desse modo, as condições do tipo hidrológico do solo e do uso e ocupação do solo para o N ajustado se assemelha mais com as condições AMC-II, entretanto, a condição AMC-III tem em consideração o solo totalmente saturado e, assim, ocasionando o escoamento direto, conseqüentemente, o aumento do N e distanciando-se do ajustado. Dessa forma, tanto o tipo hidrológico do solo quanto o seu uso e ocupação não condizem totalmente com a realidade, a hipótese da correção disso é que foi levado em consideração que o tipo de cobertura do solo foi considerado constante, ou seja, não houve mudanças, sendo que isso não ocorreu em toda sua extensão podendo desse modo alterar os resultados de N.

5. CONCLUSÃO

As bacias hidrográficas estudadas, apesar da sua proximidade e continuidade espacial, possuem similaridade e diferenças em suas características fisiográficas como também são influenciadas na sua resposta hidrológica pelo gradiente climático da região. Ademais, quanto aos riscos hidrológicos pode ser afirmado, qualitativamente, que a bacia do rio Tuela está mais propensa ao risco de cheias, seguida da bacia do rio Sabor e da bacia do rio Maçãs. Todavia, neste trabalho não foi quantificado o grau desse risco comparado das três bacias.

Comparativamente as bacias hidrográficas possuem áreas e perímetros próximos, as suas áreas estão ocupadas principalmente por florestas e florestas abertas com vegetação arbustiva e herbácea, possuem em sua maioria Leptosolos e Cambissolos, como unidades principais, e solos Úmbricos, como secundária. Todavia, diferem em características geométricas como coeficiente de compactidade, fator forma e densidade de drenagem, como também em seu relevo, tendo bacia mais alta, Tuela, que as outras, assim como em seu regime climático, sendo a do Tuela mais húmida que do Maçãs, notando que nessas características a bacia do Sabor possui valor intermediário em relação as outras duas.

Dos dados hidrológicos conclui-se que a variabilidade dos caudais, médios e específicos, aumentam em direção a bacia do rio Maçãs, acompanhando o gradiente climático.

Tratando-se das tendências, os caudais médios, total, de base e direto, possuem comportamentos diferentes em algumas bacias e é explicado adiante: a bacia do rio Tuela há o decréscimo da disponibilidade hídrica, ou seja, o total e o de base diminuem, enquanto o direto aumenta; as outras duas bacias há o aumento da disponibilidade hídrica e do escoamento direto, porém o decréscimo do de base. Portanto, as bacias possuem, em comum, tendência ao aumento do risco hidrológico.

As tendências dos caudais específicos também diferem em seu comportamento conforme varia a bacia hidrográfica, excluindo-se desses os escoamentos específicos médios de base e direto, o primeiro tende a diminuir e o segundo a aumentar em todas as bacias hidrográficas. Os demais, ou seja, os extremos, comportam-se dessa forma: a bacia do rio Tuela está propensa ao aumento dos máximos, de base e direto, enquanto ocorre o decréscimo do mínimo de base; já as bacias restantes possuem comportamentos similares, aumentando o máximo direto e diminuindo o máximo e mínimo de base.

Ao considerar os resultados combinados das três bacias hidrográficas, quanto a caracterização fisiográfica e o estudo histórico dos caudais, pode-se concluir que a bacia com maior precipitação possui maior coeficiente de escoamento, portanto a contribuição para o escoamento será maior nas bacias que há maior pluviosidade. Ademais a correlação das características fisiográficas com os escoamentos médios, total, de base e direto, e o coeficiente de escoamento, por meio do coeficiente de correlação de Pearson, possibilitou concluir que muitas variáveis fisiográficas devem ser consideradas nos estudos hidrológicos devido exercer influência sobre os caudais. Nota-se comportamentos diferentes dependendo do sinal do coeficiente: negativo, os comportamentos das variáveis são contrários aos escoamentos, ocorrendo no coeficiente de compactidade, densidade de drenagem, em Cambissolos e solos com culturas permanentes; e positivos os comportamentos são similares, ocorrendo em Leptossolos, altitude média, o declive médio e solos que possuem zonas descobertas e com pouca vegetação.

Conclui-se que a aplicação do método do SCS para a análise dos caudais de ponta pode ser eficaz quando aborda-se as condições AMC-II, devido aos valores de caudais obtidos pelo método serem próximos aos caudais observados nas estações hidrométricas, entretanto essa condição aborda solos que não estão totalmente saturados o que não é comum em eventos de cheias, para solos totalmente saturados, ou seja, nas condições AMC-III, os valores de caudais diferem muito não sendo, então, recomendado a utilização desse método ao abordar essas condições. Devido a essa divergência de valores pode-se concluir que o possível responsável para essa diferença é o valor do N, o qual utiliza estados constantes para o uso e ocupação do solo durante toda série histórica, o que não ocorre realmente.

Calculado o valor de ajustamento de N para que ocorra o escoamento direto máximo observado nas estações hidrométricas, pode ser concluído que esse é próximo ao valor obtido para as condições AMC-II, porém distantes ao valor para as condições AMC-III, enfatizando então a justificativa de ser inviável a utilização desse método para prever picos de escoamentos utilizando as condições AMC-III. Além disso conclui-se que tanto a bacia do rio Tuela quanto a bacia do rio Maçãs devido aos valores de N obtidos são as que mais favorecem o escoamento superficial, visto que quanto maior o valor de N maior é a impermeabilidade do solo, já a bacia do rio Sabor é que possui maior infiltração e

assim considerada com menor risco de acontecer eventos de cheia comparada as outras duas que possuem maior risco.

Com esse estudo nota-se a importância das bacias hidrográficas de montanha e da sua complexidade, possuindo diversos fatores que as caracterizam, como sua geometria, relevo, litologia, pedologia e de seu uso e cobertura do solo, e exercem atividades fundamentais em seus serviços de ecossistema prestados. Ademais, foi observado que em um curto espaço territorial há mudanças significativas na disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas sendo importante a identificação de quais possuem tendências à ocorrência de riscos hidrológicos a fim de mitigar danos socioeconômicos a jusante.

Também é explícito, nesse trabalho, que as características das bacias hidrográficas influenciam diretamente seu comportamento hidrológico e que as mudanças dessas características podem ajudar a intensificar ou a mitigar a ocorrência de eventos extremos. Por fim, a verificação exercida na aplicação do método SCS permite realizar, futuramente, levando em consideração condições AMC-II, trabalhos de engenharia que podem prever qual será o pico de caudal de uma determinada chuvada na área que foi realizado esse estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, N.; Arrobas, M. (2009). **Contribuição para a Elaboração da Carta de Solos da Cidade de Bragança**. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, Qualidade do Ambiente Urbano: Novos Desafios, p. 136 – 142.
- Agroconsultores & Coba. (1991). **Carta de Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta da Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal**. Universidade de Trás-as-Montes e Alto Douro. Agroconsultores e Coba.
- Aguiar, C.; Rodrigues, O.; Azevedo, J.; Domingos, T. (2009). **Ecosistemas e Bem-Estar Humano: avaliação para Portugal do Millenium Ecosystem Assentment**. Lisboa: Escolar Editora, Montanha, p. 293-337.
- Azevedo, J. C.; Cadavez, V.; Arrobas, M.; Pires, J. M. (2016). **Sustentabilidade da Montanha Portuguesa: realidades e desafios**. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, Sustentabilidade da montanha portuguesa: realidades, p. 9 – 38.
- Bertoni, J, C.; Tucci, C. E. M. (2001). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, Precipitação p.177-231.
- Black, P. E. (1996). **Watershed hydrology**. 2ª ed. Michigan: Ann Arbor Press.
- Bronstert, A. (2004). Rainfall – Runoff Modelling for Assessing Impacts of Climate and Land Use Change. **HYDROLOGICAL PROCESSES**. 18, 3, 567 – 570.
- Chow, V. T. (1951). A genera formula for hydrologic frequency analysis. Trans. Am. Geophysical Union. Vol. 32. no. 2. pp. 231-237.
- Cchow, V. T.; Maidment, D. R.; Larry, W. M. (1988). **Applied Hydrology**. McGrawHill International editions.
- Collischonn, W.; Tassi, R. (2008). **Introduzindo Hidrologia**. 5ª ed.
- Direção-Geral do Território (2018). **Especificações técnicas da Carta de uso e ocupação do solo de Portugal Continental para 1995, 2007, 2010 e 2015**. Relatório Técnico. Direção-Geral do Território. Disponível Internet:<URL:<http://mapas.dgterritorio.pt/atom-dgt/pdf-cous/COS2015/ET-COS-1995-2007-2010-2015.pdf>>
- Ferreira. A. M. (2000). **Caracterização de Portugal Continental. Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação regional**. Aveiro: Universidade de Aveiro. Cap. 2, p. 19-61.
- Figueiredo, T. de; Ribeiro, I. (2010). Tendências de variação dos escoamentos fluviais nas zonas de montanha do Norte de Portugal: abordagem exploratória. **II Workshop Clima e Recursos Naturais – Bragança, Portugal – 15 a 19 de novembro 2010 – Livro**

de **Actas.** p. 167 – 174. Disponível em:
<<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/5297>>

Figueiredo, T. de (2013). **Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano.** Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **FAO SOILS PORTAL.** Disponível Internet:<URL: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/faunesco-soil-map-of-the-world/en/>>

Gonçalves, D. A.; Figueiredo, T. de; Ribeiro, A- C.; Leite, S. M. (2016). **A geografia e o clima das montanhas ibéricas. Sustentabilidade da montanha portuguesa: realidades e desafios.** Bragança: Instituto Politécnico de Bragança. Cap 2, p. 9-38.

Guimarães, R. C. (2017). Capítulo 2 - Bacia Hidrográfica. **In** Guimarães, R. C., Shahidian, S. e Rodrigues, C. M - Hidrologia Agrícola. 2ª ed. Évora: ECT da Universidade de Évora e ICAAM. ECT e ICAAM. Évora, 5-22

Instituto de Conservação da Natureza (ICN) (2007). **Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho: Estudos de Caracterização.** Bragança.

Instituto Geológico y Minero de España (IGME). - **Sevicios de mapas.** Disponível Internet:<URL:http://mapas.igme.es/Servicios/default.aspx#IGME_MAGNA_50>

Instituto Português do Mar e da Atmosfera. - **Produtos e serviços – Base de dados de precipitação diária – Portugal Continental.** Disponível Internet:<URL:<https://www.ipma.pt/pt/produtoseservicos/index.jsp?page=dataset.pt02.xml>>

Instituto Tecnológico Agrario da junta de Castilla y Leon (ITACyL). - **Atlas agroclimático.** Disponível Internet: <URL: <http://atlas.itacyl.es/>>

Instituto Tecnológico Agrario da junta de Castilla y Leon (ITACyL). - **Portal de Suelos – Mapas.** Disponível Internet:<URL: <http://suelos.itacyl.es/mapas>>

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). - **ALOS Global Surface Model “ALOS World 3D – 30 m” (AW3D30).** Disponível Internet:<URL:https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/html_v1903/n020w030_n050e000.htm>

Linsley, JR, R. K; Kohler, M, A; Paulhus, J. L. H. (1895). **Hydrology for Engineers**. 3ª ed. McGraw-Hill.

Lencastre, A.; Franco, F. M. (2006). **Lições de Hidrologia**. 3ª ed. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.

Moreira, F. D. (2017). **Protótipo do Atlas da Qualidade do solo e Cartografia da Suscetibilidade à Contaminação dos Solos**. Lisboa: Universidade de Lisboa. Relatório de Estágio.

Nunes, J. P. C. (2016). **Sustentabilidade da Montanha Portuguesa: realidades e desafios**. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, Processos Hidrológicos em montanhas e alterações climáticas, p. 91 – 106.

Portela, M. M. & Quintela, A. d. C. (2005). **Estimação de Séries de caudais médios diários na ausência de informação hidrométrica**. Évora.

Rodrigues, C. M.; Guimarães, R. C.; Moreira, M. (2011). **Apontamentos para as aulas de Hidrologia**. Évora: Departamento de Engenharia Rural. Universidade de Évora.

Santos, M. J. J. dos (1998). **Caracterização e monitorização de Secas**. Instituto da Água – Direção de Serviços de Recursos Hídricos.

Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE). - **Productos**. Disponível Internet:<URL:https://www.siose.es/web/guest/productos>

Sistema Nacional de Informação Geográfica. - **Registro Nacional de Dados Geográficos**. Disponível Internet:<URL:https://catalogosnig.dgterritorio.gov.pt/catalogo/srv/por/catalog.search#/search>

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). - **Mediateca: SNIRH. O que é?**. Disponível Internet:<URL:https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=5&idItem=5>

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). - **Dados de base – Monitorização**. Disponível Internet:<URL:https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1>

Tucci, C. E. M. (2001). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, Escoamento Superficial, p. 391 – 437.

Tucci, C. E. M.; CLARKE, R. T. (1997). Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2,1 , 135 – 152. [Consult. 06 Ago. 2019]. Disponível Internet: <URL: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=57&SUMARIO=763>>

World Meteorological Organization (WMO). (2016). **Handbook of Drought Indicators and Indices**. Genebra.

ANEXO 1

Tabela 1 – Porcentagem do uso e ocupação do solo de acordo com a COS2015 nível 3 (Direção-Geral do Território, 2018) para as três bacias hidrográficas estudadas.

COS 2015 nível 3	Bacia Hidrográfica (Rio – Estação Hidrométrica)		
	Tuela - Vinhais Quinta Ranca	Sabor - Gimonde	Maçãs - Ponte Pinelo
1.1.1 Tecido urbano contínuo	0,235%	0,781%	0,025%
1.1.2 Tecido urbano descontínuo	0,077%	0,306%	0,000%
1.2.1 Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,307%	0,201%	0,006%
1.2.2 Redes viárias e ferroviárias e espaços associados	0,112%	0,104%	0,006%
1.2.4 Aeroportos e aeródromos	0,003%	0,122%	0,000%
1.3.1 Áreas de extracção de inertes	0,079%	0,048%	0,071%
1.3.2 Áreas de deposição de resíduos	0,000%	0,003%	0,005%
1.3.3 Áreas em construção	0,000%	0,109%	0,019%
1.4.1 Espaços verdes urbanos	0,000%	0,023%	0,000%
1.4.2 Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas	0,063%	0,035%	0,185%
2.1.2 Culturas temporárias de sequeiro e regadio	10,272%	10,619%	8,887%
2.2.1 Vinhas	0,042%	0,233%	0,166%
2.2.2 Pomares	0,101%	0,043%	0,154%
2.2.3 Olivais	0,093%	0,419%	0,685%
2.3.1 Pastagens permanentes	4,139%	2,490%	12,529%
2.4.1 Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes	0,173%	0,062%	0,052%
2.4.2 Sistemas culturais e parcelares complexos	0,413%	1,483%	0,144%
2.4.3 Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	1,624%	2,148%	11,549%
3.1.1 Florestas de folhosas	31,562%	15,367%	6,901%
3.1.2 Florestas de resinosas	6,771%	16,458%	16,131%
3.1.3 Florestas mistas	0,000%	0,060%	0,706%
3.1.3 Florestas de espécies invasoras	0,000%	0,000%	0,009%
3.2.1 Vegetação herbácea natural	0,699%	1,492%	0,517%
3.2.2 Matos	27,451%	36,673%	24,660%
3.2.2 Rocha nua	5,384%	0,778%	0,439%
3.2.4 Espaços descobertos ou com pouca vegetação	1,267%	3,422%	3,013%
3.2.4 Florestas abertas, cortes e novas plantações	1,962%	2,316%	11,661%
3.3.4 Áreas ardidas	7,143%	4,104%	1,103%
4.1.2 Turfeiras	0,002%	0,000%	0,000%
5.1.1 Cursos de água	0,003%	0,018%	0,000%
5.1.2 Planos de água	0,024%	0,082%	0,378%

ANEXO 2

Tabela 1 – Classificação do N segundo a COS (2015) e o tipo hidrológico do solo (adaptada da classificação de Moreira (2017))

ID COS 2007	Descrição COS 2007	A	B	C	D
1.1.1.01.1	Tecido urbano contínuo predominantemente vertical	98	98	98	98
1.1.1.02.1	Tecido urbano contínuo predominantemente horizontal	98	98	98	98
1.1.1.03.1	Áreas de estacionamentos e logradouros	80	86	90	92
1.1.2.01.1	Tecido urbano descontínuo	60	74	83	87
1.1.2.02.1	Tecido urbano descontínuo esparsos	55	70	80	80
1.2.1.01.1	Indústria	85	90	93	94
1.2.1.02.1	Comércio	85	90	93	94
1.2.1.03.1	Instalações agrícolas	60	74	83	87
1.2.1.04.1	Equipamentos públicos e privados	60	74	83	87
1.2.1.05.1	Infra-estruturas de produção de energia renovável	80	86	90	92
1.2.1.05.2	Infra-estruturas de produção de energia não renovável	80	86	90	92
1.2.1.06.1	Infra-estruturas de captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo	80	86	90	92
1.2.1.07.1	Infra-estruturas de tratamento de resíduos e águas residuais	80	86	90	92
1.2.2.01.1	Rede viária e espaços associados	82	88	91	93
1.2.2.02.1	Rede ferroviária e espaços associados	55	70	80	80
1.2.3.01.1	Terminais portuários de mar e de rio	98	98	98	98
1.2.3.02.1	Estaleiros navais e docas secas	98	98	98	98
1.2.3.03.1	Marinas e docas pesca	98	98	98	98
1.2.4.01.1	Aeroportos	90	90	90	90
1.2.4.02.1	Aeródromos	80	86	90	92
1.3.1.01.1	Minas a céu aberto	81	88	91	93
1.3.1.02.1	Pedreiras	81	88	91	93
1.3.2.01.1	Aterros	81	88	91	93
1.3.2.02.1	Lixeiras e Sucatas	81	88	91	93
1.3.3.01.1	Áreas em construção	81	88	91	93
1.3.3.02.1	Áreas abandonadas em territórios artificializados	81	88	91	93
1.4.1.01.1	Parques e jardins	46	68	78	84
1.4.1.02.1	Cemitérios	46	68	78	84
1.4.2.01.1	Campos de golfe	46	68	78	84
1.4.2.01.2	Outras instalações desportivas	46	68	78	84
1.4.2.02.1	Parques de campismo	46	68	78	84
1.4.2.02.2	Outros equipamentos de lazer	46	68	78	84
1.4.2.03.1	Equipamentos culturais e zonas históricas	46	68	78	84
2.1.1.01.1	Culturas temporárias de sequeiro	60	72	81	84
2.1.1.02.1	Estufas e Viveiros	60	72	81	84
2.1.2.01.1	Culturas temporárias de regadio	60	72	81	84
2.1.3.01.1	Arrozais	100	100	100	100
2.2.1.01.1	Vinhas	62	74	82	85
2.2.1.02.1	Vinhas com pomar	62	74	82	85
2.2.1.03.1	Vinhas com olival	62	74	82	85
2.2.2.01.1	Pomares de frutos frescos	62	74	82	85
2.2.2.01.2	Pomares de amendoeira	62	74	82	85
2.2.2.01.3	Pomares de castanheiro	62	74	82	85
2.2.2.01.4	Pomares de alfarrobeira	46	68	78	84
2.2.2.01.5	Pomares de citrinos	62	74	82	85
2.2.2.01.6	Outros pomares	62	74	82	85
2.2.2.02.1	Pomares de frutos frescos com vinha	62	74	82	85
2.2.2.02.2	Pomares de amendoeira com vinha	62	74	82	85
2.2.2.02.3	Pomares de castanheiro com vinha	62	74	82	85
2.2.2.02.4	Pomares de alfarrobeira com vinha	46	68	78	84
2.2.2.02.5	Pomares de citrinos com vinha	62	74	82	85

2.2.2.02.6	Outros pomares com vinha	62	74	82	85
2.2.2.03.1	Pomares de frutos frescos com olival	62	74	82	85
2.2.2.03.2	Pomares de amendoeira com olival	62	74	82	85
2.2.2.03.3	Pomares de castanheiro com olival	62	74	82	85
2.2.2.03.4	Pomares de alfarrobeira com olival	46	68	78	84
2.2.2.03.5	Pomares de citrinos com olival	62	74	82	85
2.2.2.03.6	Outros pomares com olival	62	74	82	85
2.2.3.01.1	Olivais	62	74	82	85
2.2.3.02.1	Olivais com vinha	62	74	82	85
2.2.3.03.1	Olivais com pomar	62	74	82	85
2.3.1.01.1	Pastagens permanentes	62	74	82	85
2.4.1.01.1	Culturas temporárias de sequeiro associadas a vinha	61	73	82	85
2.4.1.01.2	Culturas temporárias de sequeiro associadas a pomar	61	73	82	85
2.4.1.01.3	Culturas temporárias de sequeiro associadas a olival	61	73	82	85
2.4.1.02.1	Culturas temporárias de regadio associadas a vinha	61	73	82	85
2.4.1.02.2	Culturas temporárias de regadio associadas a pomar	61	73	82	85
2.4.1.02.3	Culturas temporárias de regadio associadas a olival	61	73	82	85
2.4.1.03.1	Pastagens associadas a vinha	61	73	82	85
2.4.1.03.2	Pastagens associadas a pomar	61	73	82	85
2.4.1.03.3	Pastagens associadas a olival	61	73	82	85
2.4.2.01.1	Sistemas culturais e parcelares complexos	61	73	82	85
2.4.3.01.1	Agricultura com espaços naturais e semi-naturais	61	73	82	85
2.4.4.01.1	SAF de sobreiro com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
2.4.4.01.2	SAF de azinheira com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
2.4.4.01.3	SAF de outros carvalhos com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
2.4.4.01.4	SAF de outras espécies com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
2.4.4.01.5	SAF de sobreiro com azinheira e com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
2.4.4.01.6	SAF de outras misturas com culturas temporárias de sequeiro	53	70	80	84
2.4.4.02.1	SAF de sobreiro com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
2.4.4.02.2	SAF de azinheira com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
2.4.4.02.3	SAF de outros carvalhos com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
2.4.4.02.4	SAF de outras espécies com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
2.4.4.02.5	SAF de sobreiro com azinheira e com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
2.4.4.02.6	SAF de outras misturas com culturas temporárias de regadio	53	70	80	84
2.4.4.03.1	SAF de sobreiro com pastagens	53	70	80	84
2.4.4.03.2	SAF de azinheira com pastagens	53	70	80	84
2.4.4.03.3	SAF de outros carvalhos com pastagens	53	70	80	84
2.4.4.03.4	SAF de outras espécies com pastagens	53	70	80	84
2.4.4.03.5	SAF de sobreiro com azinheira com pastagens	53	70	80	84
2.4.4.03.6	SAF de outras misturas com pastagens	53	70	80	84
2.4.4.04.1	SAF de sobreiro com culturas permanentes	53	70	80	84
2.4.4.04.2	SAF de azinheira com culturas permanentes	53	70	80	84
2.4.4.04.3	SAF de outros carvalhos com culturas permanentes	53	70	80	84
2.4.4.04.4	SAF de outras espécies com culturas permanentes	53	70	80	84
2.4.4.04.5	SAF de sobreiro com azinheira com culturas permanentes	53	70	80	84
2.4.4.04.6	SAF de outras misturas com culturas permanentes	53	70	80	84
3.1.1.01.1	Florestas de sobreiro	26	52	62	69
3.1.1.01.2	Florestas de azinheira	26	52	62	69
3.1.1.01.3	Florestas de outros carvalhos	26	52	62	69
3.1.1.01.4	Florestas de castanheiro	26	52	62	69
3.1.1.01.5	Florestas de eucalipto	26	52	62	69
3.1.1.01.6	Florestas de espécies invasoras	26	52	62	69
3.1.1.01.7	Florestas de outras folhosas	26	52	62	69
3.1.1.02.1	Florestas de sobreiro com folhosas	26	52	62	69
3.1.1.02.2	Florestas de azinheira com folhosas	26	52	62	69

3.1.1.02.3	Florestas de outros carvalhos com folhosas	26	52	62	69
3.1.1.02.4	Florestas de castanheiro com folhosas	26	52	62	69
3.1.1.02.5	Florestas de eucalipto com folhosas	26	52	62	69
3.1.1.02.6	Florestas de espécies invasoras com folhosas	26	52	62	69
3.1.1.02.7	Florestas de outra folhosa com folhosas	26	52	62	69
3.1.2.01.1	Florestas de pinheiro bravo	26	52	62	69
3.1.2.01.2	Florestas de pinheiro manso	26	52	62	69
3.1.2.01.3	Florestas de outras resinosas	26	52	62	69
3.1.2.02.1	Florestas de pinheiro bravo com resinosas	26	52	62	69
3.1.2.02.2	Florestas de pinheiro manso com resinosas	26	52	62	69
3.1.2.02.3	Florestas de outra resinosa com resinosas	26	52	62	69
3.1.3.01.1	Florestas de sobreiro com resinosas	26	52	62	69
3.1.3.01.2	Florestas de azinheira com resinosas	26	52	62	69
3.1.3.01.3	Florestas de outros carvalhos com resinosas	26	52	62	69
3.1.3.01.4	Florestas de castanheiro com resinosas	26	52	62	69
3.1.3.01.5	Florestas de eucalipto com resinosas	26	52	62	69
3.1.3.01.6	Florestas de espécies invasoras com resinosas	26	52	62	69
3.1.3.01.7	Florestas de outra folhosa com resinosas	26	52	62	69
3.1.3.01.8	Florestas de misturas de folhosas com resinosas	26	52	62	69
3.1.3.02.1	Florestas de pinheiro bravo com folhosas	26	52	62	69
3.1.3.02.2	Florestas de pinheiro manso com folhosas	26	52	62	69
3.1.3.02.3	Florestas de outra resinosa com folhosas	26	52	62	69
3.1.3.02.4	Florestas de misturas de resinosas com folhosas	26	52	62	69
3.2.1.01.1	Vegetação herbácea natural	49	69	79	84
3.2.2.01.1	Matos densos	30	58	71	78
3.2.2.02.1	Matos pouco densos	40	65	45	82
3.2.3.01.1	Vegetação esclerófita densa	30	58	71	78
3.2.3.02.1	Vegetação esclerófita pouco densa	40	65	45	82
3.2.4.01.1	Florestas abertas de sobreiro	46	68	78	84
3.2.4.01.2	Florestas abertas de azinheira	46	68	78	84
3.2.4.01.3	Florestas abertas de outros carvalhos	46	68	78	84
3.2.4.01.4	Florestas abertas de castanheiro	46	68	78	84
3.2.4.01.5	Florestas abertas de eucalipto	46	68	78	84
3.2.4.01.6	Florestas abertas de espécies invasoras	46	68	78	84
3.2.4.01.7	Florestas abertas de outras folhosas	46	68	78	84
3.2.4.02.1	Florestas abertas de sobreiro com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.02.2	Florestas abertas de azinheira com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.02.3	Florestas abertas de outros carvalhos com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.02.4	Florestas abertas de castanheiro com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.02.5	Florestas abertas de eucalipto com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.02.6	Florestas abertas de espécies invasoras com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.02.7	Florestas abertas de outra folhosa com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.03.1	Florestas abertas de pinheiro bravo	46	68	78	84
3.2.4.03.2	Florestas abertas de pinheiro manso	46	68	78	84
3.2.4.03.3	Florestas abertas de outras resinosas	46	68	78	84
3.2.4.04.1	Florestas abertas de pinheiro bravo com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.04.2	Florestas abertas de pinheiro manso com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.04.3	Florestas abertas de outra resinosa com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.05.1	Florestas abertas de sobreiro com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.05.2	Florestas abertas de azinheira com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.05.3	Florestas abertas de outros carvalhos com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.05.4	Florestas abertas de castanheiro com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.05.5	Florestas abertas de eucalipto com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.05.6	Florestas abertas de espécies invasoras com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.05.7	Florestas abertas de outra folhosa com resinosas	46	68	78	84

3.2.4.05.8	Florestas abertas de misturas de folhosas com resinosas	46	68	78	84
3.2.4.06.1	Florestas abertas de pinheiro bravo com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.06.2	Florestas abertas de pinheiro manso com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.06.3	Florestas abertas de outras resinosas com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.06.4	Florestas abertas de misturas de resinosas com folhosas	46	68	78	84
3.2.4.07.1	Outras formações lenhosas	56	75	86	91
3.2.4.08.1	Cortes rasos	46	68	78	84
3.2.4.08.2	Novas plantações	46	68	78	84
3.2.4.09.1	Viveiros florestais	46	68	78	84
3.2.4.10.1	Aceiros e/ou corta-fogos	46	68	78	84
3.3.1.01.1	Pralas, dunas e areais interiores	30	60	70	80
3.3.1.02.1	Pralas, dunas e areais costeiros	30	60	70	80
3.3.2.01.1	Rocha nua	98	98	98	98
3.3.3.01.1	Vegetação esparsa	49	69	79	84
3.3.4.01.1	Áreas ardidas	49	69	79	84
4.1.1.01.1	Paúis	90	92	94	96
4.1.2.01.1	Turfeiras	90	92	94	96
4.2.1.01.1	Sapais	90	92	94	96
4.2.2.01.1	Salinas	100	100	100	100
4.2.2.02.1	Aquicultura litoral	100	100	100	100
4.2.3.01.1	Zonas entre-marés	100	100	100	100
5.1.1.01.1	Cursos de água naturais	100	100	100	100
5.1.1.02.1	Canais artificiais	100	100	100	100
5.1.2.01.1	Lagos e lagoas interiores artificiais	100	100	100	100
5.1.2.01.2	Lagos e lagoas interiores naturais	100	100	100	100
5.1.2.02.1	Reservatórios de barragens	100	100	100	100
5.1.2.03.1	Reservatórios de represas ou de açudes	100	100	100	100
5.1.2.03.2	Charcas	100	100	100	100
5.1.2.03.3	Aquicultura interior	100	100	100	100
5.2.1.01.1	Lagoas costeiras	100	100	100	100
5.2.2.01.1	Desembocaduras fluviais	100	100	100	100
5.2.3.01.1	Oceano	100	100	100	100