

**EXTREMOS DE ESCOAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO
SABOR (NE PORTUGAL): RELAÇÕES COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS E
NO USO DO SOLO**

Hugo Salvador Guidugli

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de
Bragança para obtenção do grau de Mestre em Tecnologia
Ambiental no âmbito da dupla diplomação com a Universidade
Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina.*

Orientado por

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

Profa. Doutora Ligia Flávia Antunes Batista (UTFPR – Londrina)

Bragança

2024

**EXTREMOS DE ESCOAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO
SABOR (NE PORTUGAL): RELAÇÕES COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS E
NO USO DO SOLO**

Hugo Salvador Guidugli

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária para obtenção do grau de Mestre em Tecnologia Ambiental, no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina.

Professor Orientador (IPB): Prof. Doutor Tomás D'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo.

Professora Orientadora (UTFPR – LD): Profa. Doutora Ligia Flávia Antunes Batista.

Bragança, Portugal

Abril, 2024

“There is still time to change the road you’re on” – Led Zeppelin.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Marcos e Silene, pelo apoio incondicional e pela oportunidade de realizar esta etapa tão importante da minha vida. À minha namorada, Beatriz, pelo suporte constante e por compartilhar comigo todos os momentos, bons ou difíceis. À minha irmã, Gabriela, pelas experiências e pelas conversas que só nós entendemos.

Expresso minha gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Tomás de Figueiredo, pela orientação cuidadosa, pela paciência e pela oportunidade de realizar este trabalho. Sua dedicação foi fundamental para o meu crescimento pessoal e acadêmico. À minha coorientadora, Profa. Dra. Ligia Batista por despertar meu interesse na disciplina que culminou na escolha do tema deste trabalho. Aos professores do Atmosphere, Profa. Dra. Patrícia Krecl e Prof. Dr. Admir Targino por despertarem meu interesse na ciência, o que acabou moldando meu caminho até aqui.

Agradeço aos amigos do Brasil que estiveram presentes mesmo à distância, e aos amigos de Bragança, tanto os antigos conhecidos quanto às novas amigas, por tornarem o período do mestrado uma das melhores fases da minha vida e também por estarem sempre ao meu lado nos momentos de necessidade.

Um agradecimento especial aos amigos do apartamento 2DTo, Gustavo de Oliveira, Pedro Pecora e Lucas Borges, pelos momentos agradáveis, pelas trocas de conhecimento e por tornarem essa jornada mais fácil de ser enfrentada.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Instituto Politécnico de Bragança, agradeço pela oportunidade de realizar este trabalho e pelo apoio oferecido ao longo do processo.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha jornada, pois cada pessoa e cada experiência foram importantes para o meu crescimento e aprendizado. Nada acontece por acaso, e sou grato por todas as experiências vividas.

RESUMO

O crescimento populacional e as mudanças climáticas exercem pressão sobre os recursos hídricos, cruciais para o abastecimento de água potável e a sustentação de ecossistemas globais. As áreas montanhosas são particularmente vulneráveis a essas mudanças, influenciando eventos extremos como enchentes e secas. Este estudo investigou o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) para caracterizar bacias hidrográficas em regiões montanhosas, focando na eficácia do método do *Soil Conservation Service (SCS)* para estimar o fluxo de água. Utilizando dados de Modelo Digital de Elevação, o SIG permitiu a delimitação precisa das áreas e análise detalhada do relevo, fornecendo informações cruciais para o modelo do *SCS*. Baseado na caracterização física e análise do solo, identificaram-se variáveis como a precipitação útil (h_u) e tempo para ponta (t_p), dependentes de fatores como precipitação média (P) e número de escoamento (N). Os resultados de caudal de pico (ex.: $Q_{P100anos} = 525,8 \text{ m}^3/\text{s}$) estimados para a bacia do alto Sabor demonstraram eficácia do método, corroborando estudos anteriores, onde 60% do escoamento total é composto pelo escoamento direto. A validação permitiu correlacionar variáveis e entender suas influências no comportamento hidrológico da bacia. Ficou evidente que medidas físicas e geométricas da bacia desempenham papel crucial na resposta do caudal de pico, destacando-se área e comprimento das linhas d'água. Simulações mostraram que aumentos de 10% na precipitação média resultaram em aumentos correspondentes no caudal, enquanto mudanças no coeficiente de escoamento também influenciaram o caudal de pico. Este estudo contribui para compreender a dinâmica hidrológica em regiões montanhosas, ressaltando a importância de considerar características físicas, geométricas, e mudanças climáticas e de uso do solo na previsão e mitigação de impactos de eventos extremos.

Palavras-chave: mudanças climáticas; montanhas; eventos extremos; estimativa de caudal; precipitação.

ABSTRACT

Population growth and climate change exert pressure on water resources, crucial for drinking water supply and sustaining global ecosystems. Mountainous areas are particularly vulnerable to these changes, influencing extreme events such as floods and droughts. This study investigated the use of Geographic Information Systems (GIS) to characterize watersheds in mountainous regions, focusing on the effectiveness of the Soil Conservation Service (SCS) method to estimate water flow. Using Digital Elevation Model (DEM) data, GIS enabled precise delineation of areas and detailed analysis of terrain, providing crucial information for the SCS model. Based on physical characterization and soil analysis, variables such as effective precipitation (h_u) and time to peak (t_p) were identified, dependent on factors like mean precipitation (P) and runoff number (N). Estimated peak flow results for the Alto Sabor basin (for eg.: $Q_{P100anos} = 525,8 \text{ m}^3/\text{s}$) demonstrated method effectiveness, corroborating previous studies where 60% of total flow is composed of direct runoff. Validation allowed for correlating variables and understanding their influences on basin hydrological behavior. It became evident that physical and geometric basin measures play a crucial role in peak flow response, with area and stream length standing out. Simulations showed that 10% increases in mean precipitation resulted in corresponding increases in flow, while changes in runoff coefficient also influenced peak flow. This study contributes to understanding hydrological dynamics in mountainous regions, highlighting the importance of considering physical, geometric, and climatic and land use change characteristics in predicting and mitigating impacts of extreme events.

Keywords: climate change; mountains; extreme events; flow estimation; precipitation.

Sumário

| | |
|--|------|
| AGRADECIMENTOS | ii |
| RESUMO | iii |
| ABSTRACT | iv |
| Lista de Abreviaturas..... | viii |
| Lista de Figuras | x |
| Lista de Tabelas | xii |
| 1. Introdução..... | 1 |
| 2. Referencial teórico | 3 |
| 2.1. Hidrologia..... | 3 |
| 2.2. Ciclo Hidrológico | 3 |
| 2.3. Precipitação..... | 5 |
| 2.4. Infiltração..... | 5 |
| 2.5. Escoamento superficial | 6 |
| 2.6. Evapotranspiração..... | 6 |
| 2.7. Hidrograma | 6 |
| 2.8. Bacia Hidrográfica..... | 8 |
| 2.9. Curva histórica de caudais | 11 |
| 2.10. Mudança no uso e ocupação do solo e impactos no ciclo da água..... | 11 |
| 2.11. Pedologia..... | 12 |
| 2.12. Tipos hidrológicos de solo | 12 |
| 2.13. Regiões de montanhas | 13 |
| 2.14. Eventos climáticos extremos | 14 |
| 2.15. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU..... | 15 |
| 2.16. Simulação..... | 16 |
| 3. Materiais e Métodos | 17 |

| | |
|---|----|
| 3.1. Localização..... | 17 |
| 3.2. Informação cartográfica..... | 18 |
| 3.3. Método <i>SCS-CN</i> | 20 |
| 3.4. Pedologia, tipo de solo e uso e ocupação de solo..... | 22 |
| 3.4.1. Uso e ocupação do solo..... | 24 |
| 3.4.2. Pedologia e tipo hidrológico de solo..... | 25 |
| 3.5. Caracterização fisiográfica..... | 25 |
| 3.5.1. Caracterização geométrica..... | 26 |
| 3.5.2. Caracterização do sistema de drenagem..... | 27 |
| 3.5.3. Caracterização do relevo..... | 27 |
| 3.6. Caracterização do clima..... | 30 |
| 3.7. Dados hidrométricos e meteorológicos..... | 30 |
| 3.7.1. Dados históricos..... | 30 |
| 3.7.2. Tratamentos dos dados para cálculos..... | 31 |
| 3.7.3. Método de ponderação de precipitação: Thiessen..... | 32 |
| 3.7.4. Ajustes de valores de coeficiente de escoamento..... | 33 |
| 3.8. Simulação..... | 33 |
| 3.8.1. Uso e ocupação do solo..... | 33 |
| 3.8.2. Precipitação..... | 34 |
| 4. Resultados e discussão..... | 35 |
| 4.2. Características da área de estudo..... | 35 |
| 4.1.1. Relevo..... | 35 |
| 4.1.2. Características fisiográficas..... | 36 |
| 4.1.3. Uso e ocupação do solo..... | 37 |
| 4.1.4. Pedologia..... | 40 |
| 4.1.5. Tipos hidrológicos de solo..... | 42 |
| 4.2. Séries históricas e dados hidrométricos: variabilidade e tendência temporais | 43 |
| 4.2.1. Extremos anuais de caudal..... | 43 |
| 4.2.2. Extremos anuais de precipitação..... | 45 |
| 4.3. Valores estimados de precipitação e caudal de cheia..... | 48 |
| 4.3.1. Número de escoamento (<i>N</i>) e condições de solo..... | 49 |

| | | |
|----------|--|----|
| 4.3.2. | Tempo de concentração e tempo para ponta | 50 |
| 4.3.3. | Precipitação total, perdas iniciais e precipitação útil..... | 51 |
| 4.3.4. | Caudal de ponta | 54 |
| 4.4. | Comparação de valores estimados e observados | 55 |
| 4.4.1. | Bacia principal do Alto Sabor | 56 |
| 4.4.2. | Subbacias | 62 |
| 4.4.3. | Matriz de correlação | 65 |
| 4.5. | Simulação..... | 66 |
| 4.5.1. | Uso e ocupação do solo | 66 |
| 4.5.2. | Precipitação | 68 |
| 5. | Conclusão | 71 |
| 6. | Referências | 73 |
| Anexo I | | 78 |
| Anexo II | | 83 |

Lista de Abreviaturas

| | |
|-------------------|---|
| A. | Área |
| BH. | Bacia Hidrográfica |
| CN. | <i>Coefficient Number</i> |
| CO ₂ . | Dióxido de Carbono |
| DEM. | <i>Digital Elevation Model</i> |
| EEA. | Agência Europeia do Ambiente |
| h. | Precipitação |
| \bar{H} . | Altura média |
| h ₀ . | Perdas iniciais |
| h _u . | Altura de precipitação útil |
| i _b . | Declividade média da bacia |
| INAG. | Instituto da Água |
| IPCC. | <i>Intergovernmental Panel on Climate Changes</i> |
| i _r . | Declividade média da linha d'água principal |
| JAXA. | <i>Japanese Aerospace Exploration Agency</i> |
| k. | Fator de ponta |
| K _c . | Coefficiente de compacidade |
| K _f . | Fator forma |
| L _a . | Comprimento axial da bacia |
| L _m . | Largura média da bacia |
| L _p . | Percurso médio do terreno |
| L _r . | Comprimento da linha d'água principal |
| L _t . | Comprimento total das linhas d'água |
| O ₃ . | Ozônio |
| ODS. | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| ONU. | Organização das Nações Unidas |
| P. | Perímetro |
| Q _p . | Caudal de ponta |
| SCS. | <i>Soil Conservation Service</i> |
| SIG. | Sistema de Informações Geográficas |
| SNIG. | Sistema Nacional de Informação Geográfica |

| | |
|-------------|---|
| SNIRH. | Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos |
| T. | Períodos de retorno |
| t_c . | Tempo de Concentração |
| t_p . | Tempo para ponta |
| t_r . | Duração precipitação útil |
| UE. | União Europeia |
| \bar{Z} . | Altitude média |
| λ . | Densidade de drenagem |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ilustração do ciclo hidrológico..... | 4 |
| Figura 2. Hidrograma de escoamento superficial..... | 7 |
| Figura 3. Esquema representativo de relevo e bacias hidrográficas..... | 9 |
| Figura 4. Esquema ilustrativo de uma bacia hidrográfica. | 10 |
| Figura 5. Hidrograma histórico do Rio dos Bois, em Goiás (Brasil), de 1990 a 1993, com respostas às chuvas de verão e recessões durante os meses de junho a setembro..... | 11 |
| Figura 6. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável..... | 16 |
| Figura 7. Mapa da bacia hidrográfica do rio Sabor selecionada para estudo. | 17 |
| Figura 8. Delimitação das subbacias dos rios Sabor, Onor, Igrejas e Frio..... | 19 |
| Figura 9. Declividade na bacia do Alto Sabor, representada em porcentagens e intervalos múltiplos de 2,5. | 29 |
| Figura 10. Variação da altitude na bacia principal do Alto Sabor..... | 29 |
| Figura 11. Distribuição do uso e ocupação do solo na bacia do Alto Sabor. | 39 |
| Figura 12. Distribuição percentual de áreas de uso e ocupação do solo nas subbacias e na bacia principal do Alto Sabor. | 40 |
| Figura 13. Mapa pedológico da bacia principal do Alto Sabor e suas subdivisões..... | 41 |
| Figura 14. Distribuição dos tipos de solo na bacia principal do Alto Sabor. Fonte: autoria própria (2024). | 42 |
| Figura 15. Comparação de caudais para os períodos de retorno de 2,33, 10, 25, 50, 100 e 200 anos..... | 45 |
| Figura 16. Curvas de possibilidade udométrica para cada período de retorno para Rio Onor..... | 47 |
| Figura 17. Identificação das áreas de ponderação, realizadas pelo método de Thiessen. | 52 |
| Figura 18. Valores de caudal para diferentes períodos de retorno e diferentes condições de solo (AMC-II e AMC-III), utilizando a equação 3 e N calculado. | 57 |

| | |
|--|----|
| Figura 19. Valores de caudal para diferentes períodos de retorno e diferentes condições de solo (AMC-II e AMC-III), utilizando a equação 3 e N inserido..... | 58 |
| Figura 20. Valores de caudal para diferentes períodos de retorno e diferentes condições de solo (AMC-II e AMC-III), utilizando a equação 4 e N calculado. | 59 |
| Figura 21. Valores de caudal para diferentes períodos de retorno e diferentes condições de solo (AMC-II e AMC-III), utilizando a equação 4 e N inserido..... | 59 |
| Figura 22. Relação entre o caudal de ponta observado e estimado, obtido por meio da equação original do <i>SCS</i> e valores inseridos de N para AMC-III. | 60 |
| Figura 23. Precipitação horária registrada na estação meteorológica de Montezinho. .. | 61 |
| Figura 24. Resultados dos valores de caudal de pico estimados para condições AMC-III e para os períodos de retorno de 2,33, 10, 25, 50, 100 e 200 anos..... | 69 |
| Figura 25. Linha de tendência e equação da reta definida pelos pontos de período de retorno originais vs. os novos períodos de retorno..... | 70 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Conversão do número de escoamento para condições AMC-I, AMC-II e AMC-III. | 24 |
| Tabela 2. Características do relevo da área de estudo. | 36 |
| Tabela 3. Características fisiográficas das bacias obtidos por SIG. | 37 |
| Tabela 4. Distribuição de solos em cada bacia conforme classificação pedológica..... | 41 |
| Tabela 5. Porcentagens de área coberta por cada tipo de solo nas subbacias e na bacia principal. | 43 |
| Tabela 6. Estatísticas para a estação hidrométrica de Gimonde..... | 44 |
| Tabela 7. Valores de caudal máximo anual e médio diário para a estação de Gimonde (distribuição de Gumbel). | 44 |
| Tabela 8. Resultados de precipitação máxima de Rio Onor após aplicação da distribuição de Gumbel. | 46 |
| Tabela 9. Coeficientes a e b das curvas de possibilidade udométrica das estações meteorológicas..... | 48 |
| Tabela 10. Composição do tipo de solo hidrológico de cada subbacia, em porcentagens de área..... | 49 |
| Tabela 11. Valores médios de N calculados e inseridos para cada bacia. | 50 |
| Tabela 12. Valores de tempo de concentração para cada subbacia. | 51 |
| Tabela 13. Valores para ponderação da precipitação para o período de retorno de 100 anos. | 53 |
| Tabela 14. Valores obtidos de precipitação útil (h_u) e de perdas iniciais (h_o) para o período de retorno de 100 anos..... | 53 |
| Tabela 15. Valores de precipitação útil para períodos de retorno. | 54 |
| Tabela 16. Precipitação máxima diária para diferentes períodos de retorno..... | 54 |
| Tabela 17. Caudais de ponta estimado para as subbacias por meio do método <i>SCS</i> | 55 |
| Tabela 18. Valores de caudal de pico para a estação de Gimonde, utilizando equação de (Lencastre e Franco 2006). | 56 |

| | |
|---|----|
| Tabela 19. Valores de caudal de pico para a estação de Gimonde, utilizando equação original do SCS. | 57 |
| Tabela 20. Valores de caudal para as subbacias para diversos períodos de retorno..... | 63 |
| Tabela 21. Valores de caudal expesso em diferentes unidades para todos os períodos de retorno..... | 64 |
| Tabela 22. Mudanças no valor de N para os diferentes cenários na bacia geral do Alto Sabor..... | 67 |
| Tabela 23. Mudanças no caudal de pico estimado para as mudanças no uso e ocupação do solo do cenário não conservador. | 67 |
| Tabela 24. Classificação do <i>N</i> de acordo com a COS 2007 e o tipo hidrológico de solo. | 78 |
| Tabela 25. Distribuição de uso e ocupação do solo, em porcentagens, de acordo com a COS 2015 nível 3 (Direção Geral do Território, 2018) para as subbacias e para a bacia principal do Alto Sabor. | 83 |

1. Introdução

Os recursos hídricos enfrentam uma pressão crescente devido à demanda em constante aumento, enquanto as mudanças climáticas ampliam a variabilidade no ciclo da água, resultando em um aumento na ocorrência de eventos climáticos extremos e reduzindo a previsibilidade da disponibilidade e qualidade da água. Esses impactos ameaçam o desenvolvimento sustentável, a biodiversidade e o acesso humano à água e saneamento em todo o mundo, com os grupos economicamente desfavorecidos e regiões menos desenvolvidas sendo especialmente vulneráveis (Vila-Traver et al., 2021; Shinde et al., 2023; Rahmani e Danesh-Yazdi, 2022; Gershunov, Benmarhnia e Aguilera, 2018; Fabian et al., 2023).

As montanhas são áreas de grande relevância para os estudos hidrológicos devido às suas especificidades geomorfológicas, biológicas e hidrológicas. Caracterizadas por variações extremas de variáveis ambientais em um território relativamente limitado, as regiões de montanhas desempenham um papel crucial na disponibilidade de recursos hídricos, na regulação do escoamento superficial e na qualidade da água (Field et al., 2012; Araújo et al., 2022; Intergovernmental Panel On Climate Change, 2023). Além disso, são reconhecidas pela alta prestação de serviços ecossistêmicos, abrigando uma biodiversidade significativa, com muitas espécies endêmicas. Nas regiões montanhosas de Trás-os-Montes, localizadas em Portugal, as modificações geomorfológicas, hidrológicas, pedológicas e biológicas decorrentes da atividade humana, principalmente das práticas agrícolas e pastoris, são evidentes. Essas modificações, desenvolvidas ao longo de milênios, estabeleceram um equilíbrio dinâmico entre os processos naturais e antrópicos, com uma complementariedade de funções significativa (Azevedo e Cadavez, 2016; Nunes, 2016).

A integração dos elementos relacionados à hidrologia e ao ciclo da água é fundamental para compreender a dinâmica hídrica e antecipar cenários futuros, alinhados com os princípios da sustentabilidade. Nesse contexto, ferramentas de modelagem hidrológica desempenham um papel crucial na análise de recursos hídricos, com a estimativa de caudais de rios sendo um dos parâmetros-chave para avaliar as implicações das mudanças no uso do solo nas alterações climáticas (Rong et al., 2023; Steenbergen e Willems, 2012).

Portugal, comprometido com a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), reconhece a importância da gestão sustentável dos recursos hídricos, uma vez que muitos dos ODS estão diretamente relacionados à água e aos ecossistemas aquáticos (INE, 2022).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar uma análise abrangente dos eventos de escoamento extremo na bacia do Alto Sabor. O trabalho visa coletar dados e informações essenciais para investigar possíveis cenários futuros, incluindo a capacidade de realizar previsões para uma variedade de parâmetros relevantes. O propósito principal é destacar a interligação entre eventos de escoamento extremo, mudanças climáticas e transformações no uso da terra dentro do contexto hidrológico, com ênfase na promoção do desenvolvimento sustentável. O objetivo primordial consiste em utilizar ferramentas de sistemas de informação geográfica (SIG) para obter características de uma área delimitada da bacia hidrográfica do Alto Sabor, que alimentarão um modelo de simulação. Este, por sua vez, utiliza a equação para estimativa do caudal do *Soil Conservation Service* e a metodologia abordada em Lencastre e Franco (2006) para obtenção de algumas variáveis necessárias. A validação dos resultados é realizada por meio da comparação com os dados observados, obtidos nas estações hidrométricas, provenientes do banco de dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). Por fim, são variadas algumas variáveis para observação de novos resultados em possíveis cenários futuros.

2. Referencial teórico

Nesta seção são exploradas as bases conceituais, teóricas e metodológicas que sustentam o estudo, fornecendo alicerce para compreensão do contexto, dos conceitos-chave e das abordagens adotadas.

2.1. Hidrologia

A hidrologia é a ciência que estuda a relação da água com a Natureza, investigando sua ocorrência, armazenamento, distribuição e fluxo. Esta ciência é essencial para compreender e melhor gerir o ciclo hidrológico, que conecta compartimentos como reservatórios, cursos d'água, solo e atmosfera. A Hidrologia também aborda as atividades da água sobre a superfície terrestre, solo e subsolo, considerando suas propriedades físicas e químicas, circulação, distribuição espacial e interações com o ambiente e seres vivos. É essencial para diversos setores, incluindo energia, abastecimento, controle de cheias e rega de plantas, a hidrologia busca o gerenciamento sustentável da água para atender às necessidades humanas. A avaliação da variação temporal no ciclo hidrológico é crucial para a Engenharia, visando mitigar os impactos de extremos hidrológicos, como estiagens e inundações (Collischonn e Tassi, 2008; Lencastre e Franco, 2006).

2.2. Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico (Figura 1), elemento central na hidrologia, representa o processo global de circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado pela energia solar e influenciado pela gravidade e rotação terrestre. Este ciclo abrange a circulação da água na superfície da Terra, incluindo solos, rochas, oceanos e seres vivos, desempenhando um papel fundamental no ambiente, influenciando a modelagem do terreno, o clima e a manutenção da fauna e flora, sendo indispensável para a manutenção da vida e do ambiente. Entender os processos pelos quais a água passa ao longo de uma bacia hidrográfica fornece a fundação para compreender e descrever a interação entre a água e as paisagens (relevo, formações geográficas, etc.) (Edwards, Williard e Schoonover, 2015).

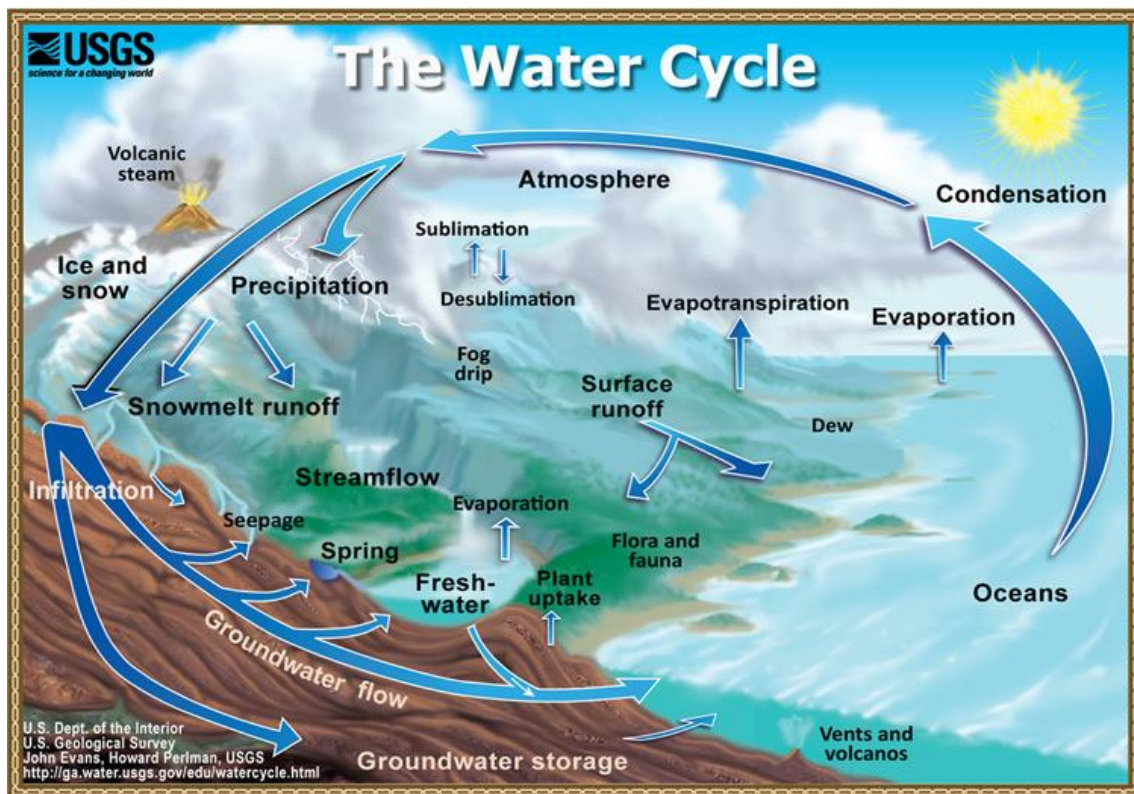


Figura 1. Ilustração do ciclo hidrológico.

Fonte: Water Science School (2016).

Embora o ciclo hidrológico seja considerado fechado globalmente, subciclos podem ocorrer regionalmente. Por exemplo, a água que precipita em rios pode evaporar, condensar e precipitar novamente antes de retornar aos oceanos. A qualidade da água também muda ao longo das fases do ciclo hidrológico, com a evaporação do mar transformando a água salgada em doce. A água doce que se infiltra no solo dissolve sais e, ao fluir nos rios, transporta esses sais para os oceanos, junto com outras substâncias dissolvidas e em suspensão.

A atmosfera, em particular a parte inferior da troposfera, detém 90% da umidade atmosférica e desempenha um papel essencial nas interações do ciclo hidrológico. A água está presente na atmosfera em três estados físicos (vapor, líquido e sólido) e circula nela devido à ação das correntes aéreas. É dada maior atenção ao ciclo hidrológico no que se diz respeito à parte terrestre, cujo elemento fundamental de estudo é a bacia hidrográfica.

Vários fatores contribuem para a variabilidade nas manifestações do ciclo hidrológico em diferentes regiões, incluindo a distribuição desigual da energia solar, a

resposta térmica variada de continentes e oceanos, a composição atmosférica de vapor de água, dióxido de carbono (CO₂) e ozônio (O₃), a diversidade de solos e vegetação, e a influência da rotação e inclinação do eixo terrestre na circulação atmosférica, que é responsável pelas estações do ano (Collischonn e Tassi, 2008; Bertoni e Tucci, 2001; Black, 1996).

2.3. Precipitação

Entende-se por precipitação a água da atmosfera que atinge a superfície de uma determinada área, seja na forma de chuva, granizo, neve, orvalho, neblina ou geada (Edwards, Williard e Schoonover, 2015). A chuva é um processo hidrológico crucial, porém a sua variabilidade em termos de tempo (duração) e espaço podem apresentar desafios para a engenharia (Collischonn e Tassi, 2008). No contexto de uma bacia hidrográfica, a precipitação representa uma entrada de água que deve ser escoada, e o tempo de escoamento é influenciado pelas características geográficas específicas da bacia (Edwards, Williard e Schoonover, 2015).

2.4. Infiltração

Após atingir o solo, a água pode seguir diversos caminhos, sendo um deles a infiltração. A infiltração é definida como o processo pelo qual a água da atmosfera penetra no solo, percorrendo os poros deste até atingir camadas mais profundas. Tanto a infiltração quanto o processo de percolação estão sujeitos à influência da gravidade, às tensões capilares e da vegetação, que aumenta a capacidade do solo de reter água e diminui o escoamento superficial. A água, ao seguir esse caminho, pode atingir estratos mais profundos, onde pode ser retida pelo solo ou contribuir para o abastecimento de aquíferos subterrâneos. À medida que o solo se satura, a taxa de infiltração diminui progressivamente até que o solo atinja sua capacidade máxima de retenção de água, resultando no escoamento superficial do volume precipitado (Collischonn e Tassi, 2008; Edwards, Williard e Schoonover, 2015; Bertoni e Tucci, 2001; Black, 1996).

2.5. Escoamento superficial

Dependendo da intensidade da precipitação, nem toda água consegue penetrar no solo, e assim se acumula na superfície. Este excesso de água tende a escoar pela superfície para as partes mais baixas da bacia, devido à ação gravitacional. Em determinadas situações a água forma pequenos córregos temporários ou lâminas da água em superfícies mais lisas. Este elemento é denominado como escoamento superficial, e sua importância se dá ao gerar os picos de vazão, como respostas aos eventos de chuva.

A vegetação tem um efeito muito significativo sobre a formação do escoamento superficial e sobre a evapotranspiração. O uso do solo pode alterar as características naturais, modificando as quantidades de água que infiltram, que escoam e que evaporam, alterando o comportamento hidrológico de uma bacia (Black, 1996; Lencastre e Franco, 2006; Lucas-Borja et al., 2020)

2.6. Evapotranspiração

É o conjunto de dois processos da água no ciclo hidrológico: a evaporação e transpiração. O primeiro se dá por meio da transformação da água líquida, encontrada em superfícies líquidas (lagos, rios, poças, gotas de orvalho no solo ou folhas), em vapor. O segundo se faz com a retirada da água dos solos pelas raízes das plantas, que a transportam até suas folhas e a lançam na atmosfera por meio de seus estômatos. A evapotranspiração é um caminho inverso da água no ciclo hidrológico, se comparado à precipitação, pois perde a água da bacia hidrográfica para a atmosfera (Collischonn e Tassi, 2008; Edwards, Williard e Schoonover, 2015).

2.7. Hidrograma

Durante o período imediatamente após um evento que gera escoamento, a quantidade de água na bacia naturalmente diminui (Figura 2). À medida que isso acontece, a fonte de água para o fluxo do rio diminui de tamanho, com as partes mais distantes e superiores secando mais cedo do que as áreas mais próximas ao rio. Nas últimas fases do escoamento, se permitido continuar por tempo suficiente, apenas o leito do rio contribuirá para o fluxo.

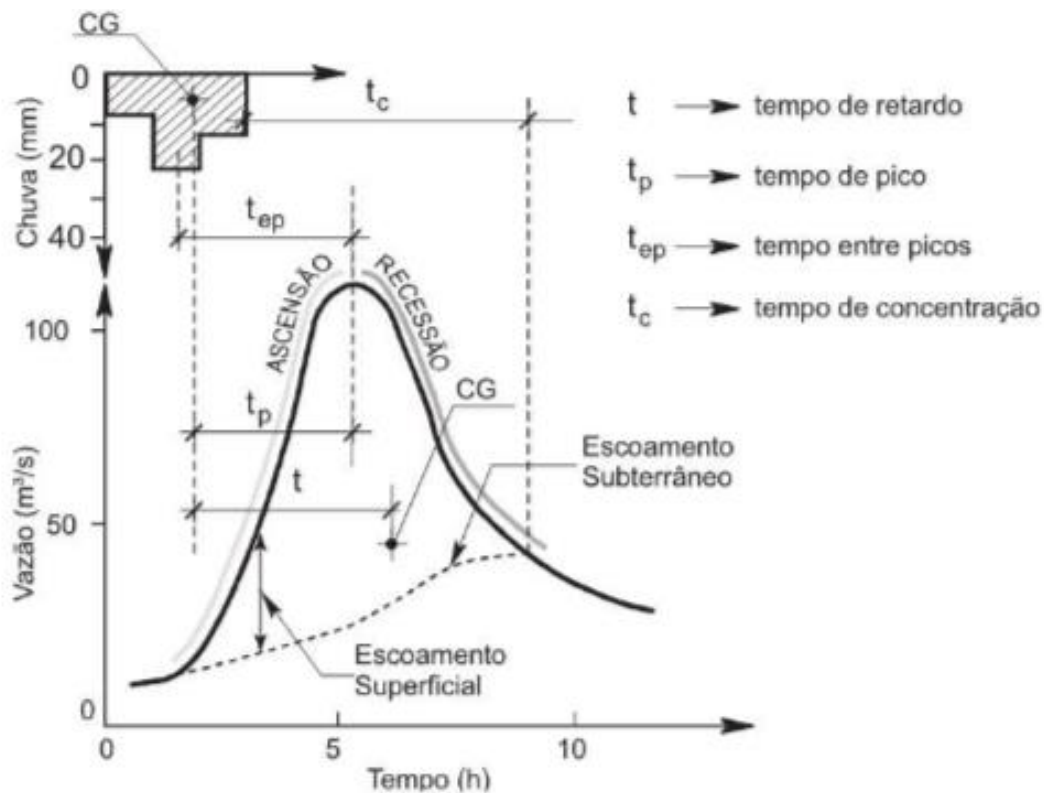


Figura 2. Hidrograma de escoamento superficial.

Fonte: Collischonn e Dornelles (2015).

O hidrograma mostra a variação da vazão de um ponto em uma bacia hidrográfica ao longo do tempo, por exemplo, o exutório reagindo a uma determinada precipitação. Nota-se que o escoamento base aumenta junto com a vazão, voltando ao normal gradativamente depois do tempo de concentração (t_c), caso não haja mais precipitações.

Por outro lado, quando ocorre um evento que gera escoamento (partindo do pressuposto de que toda a bacia é afetada instantaneamente por uma tempestade, por exemplo), a área que contribui para o escoamento cresce gradualmente, de maneira oposta à descrita no parágrafo anterior. O conceito que expressa esse fenômeno é chamado de "área fonte variável", sugerido inicialmente (embora sem esse nome) por Hewlett (1961).

Assim, em condições de solos uniformes e frequentemente profundos, a zona de saturação no entorno de um rio se expande e contrai em resposta à água disponível para o escoamento. Este fenômeno é melhor explicado por autores como Black (1996). Por agora o conceito básico é importante para a compreensão do pulso individual de água durante um evento que causa escoamento (usualmente uma tempestade) em si, bem como

durante períodos não tempestuosos (embora possa ser dominado por outros fatores onde o solo ideal não está presente). Esse pulso de água é referido como "escoamento rápido" ou escoamento de tempestade, o *runoff*.

2.8. Bacia Hidrográfica

Diferentes disciplinas analisam e descrevem dados com base em diferentes unidades terrestres. Na hidrologia, a unidade de terra é a bacia hidrográfica, que também pode ser denominada de bacia ou área de captação. Uma bacia hidrográfica é definida como uma área de terra na qual toda a precipitação que ocorre é direcionada (ou "escoa") para o mesmo lugar - em direção ao mesmo corpo de água ou à mesma área topográfica baixa (por exemplo, uma dolina) - devido à sua topografia. Isso significa que os limites de uma bacia hidrográfica são definidos pelos pontos de maior altitude de sua topografia (Press et al., 2006; Colischonn e Dornelles, 2015).

As bacias hidrográficas são relativamente fáceis de identificar em terrenos montanhosos ou acidentados, pois seus limites são definidos por cristas (Figura 3). No entanto, em áreas planas a identificação dos pontos topográficos mais altos pode ser um desafio, uma vez que as elevações mais altas e mais baixas podem diferir apenas por alguns centímetros. Independentemente da localização na superfície terrestre, se está sempre dentro de uma bacia hidrográfica, mesmo em áreas desérticas onde não há indícios de fluxo superficial. Isso ocorre porque diferenças de elevação ainda existem, e quando ocorre precipitação, não importa com que frequência, as características topográficas na bacia determinarão onde a água se acumulará e fluirá. Afinal, córregos e rios são simplesmente pontos baixos na terra onde o escoamento superficial se acumula (Black, 1996; Lencastre e Franco, 2006).

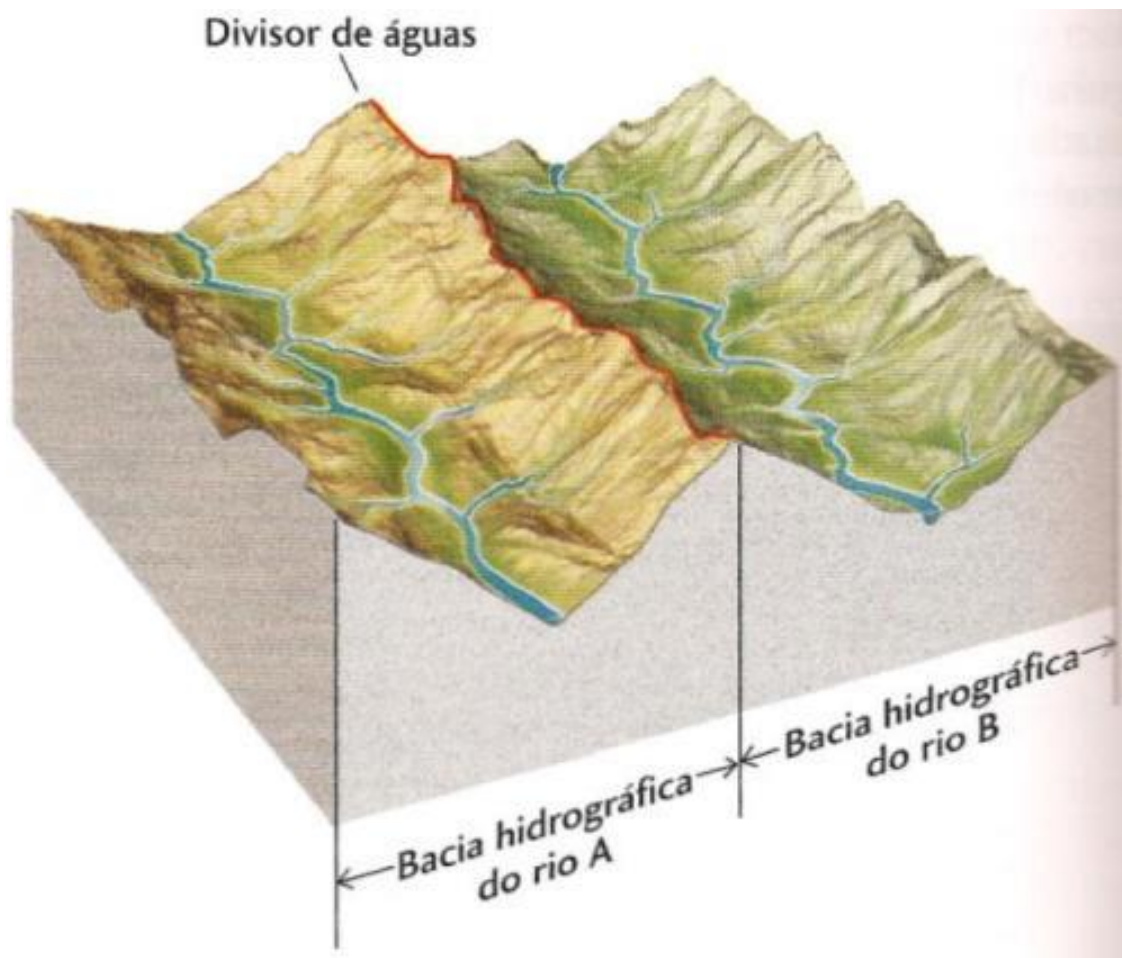


Figura 3. Esquema representativo de relevo e bacias hidrográficas.

Fonte: Para entender a Terra (2006).

A bacia hidrográfica (BH) é a área de coleta natural dos fluxos de água provenientes da precipitação ou derretimento de neve, que direciona esses escoamentos para um único ponto de saída, conhecido como exutório (4). Este pode ser um curso d'água de maior ordem, lago, zonas alagadas ou um oceano. A delimitação da BH requer a identificação de um curso d'água, de um ponto ou seção de referência ao longo desse curso e informações sobre o relevo da região. Além disso, é possível subdividir uma BH em subbacias, cada uma também considerada uma bacia hidrográfica (Black, 1996; Lencastre e Franco, 2006).

A hierarquia dos rios, classificada por ordem, representa o nível de ramificação ou bifurcação presente em uma bacia hidrográfica. Os rios de primeira ordem são os cursos d'água iniciais, sem afluentes. Quando dois rios de primeira ordem se unem,

formam um rio de segunda ordem; a união de dois rios de segunda ordem resulta em um de terceira ordem, e assim por diante. A ordem do rio principal em uma bacia revela a extensão da sua ramificação (Lencastre e Franco, 2006).

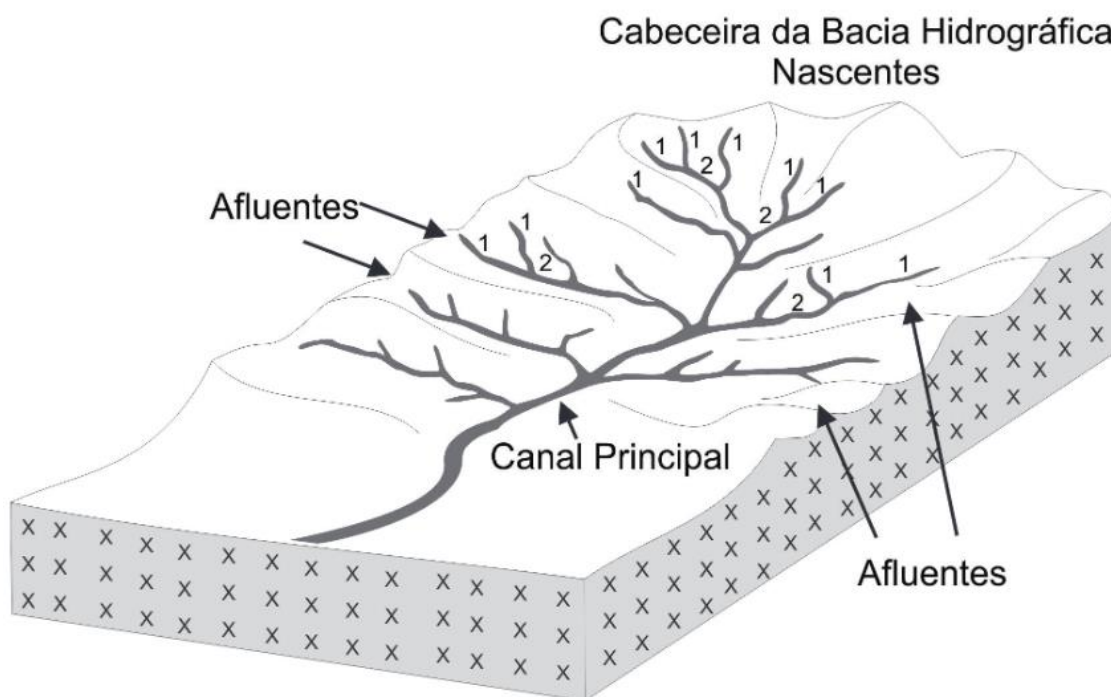


Figura 4. Esquema ilustrativo de uma bacia hidrográfica.

Fonte: Nascimento *et al.* (2015).

Essencialmente, as BH podem ser vistas como um sistema físico sujeito a entrada e saída de água, resultantes da precipitação, do escoamento, evaporação e evapotranspiração. Ela transforma uma entrada de água concentrada em uma saída mais distribuída ao longo do tempo.

As características-chave de uma bacia são influenciadas diretamente pelo relevo, e incluem área, comprimento da principal via de drenagem e declive. A área é um dado crucial para determinar o potencial hídrico de uma bacia, pois representa a região de captação da água da chuva, podendo ser estimada através da delimitação dos divisores da bacia em um mapa topográfico. Assim, a multiplicação da área da bacia pela lâmina precipitada durante um determinado intervalo de tempo define o volume de água recebido nesse período (Collischonn e Tassi, 2008; Bertoni e Tucci, 2001; Black, 1996).

2.9. Curva histórica de caudais

O regime de caudal é baseado em séries de dados históricos naturais ao longo do tempo, que formam a curva histórica de caudais (Figura 5) (Pinheiro, 2019; Pinto, 2018).

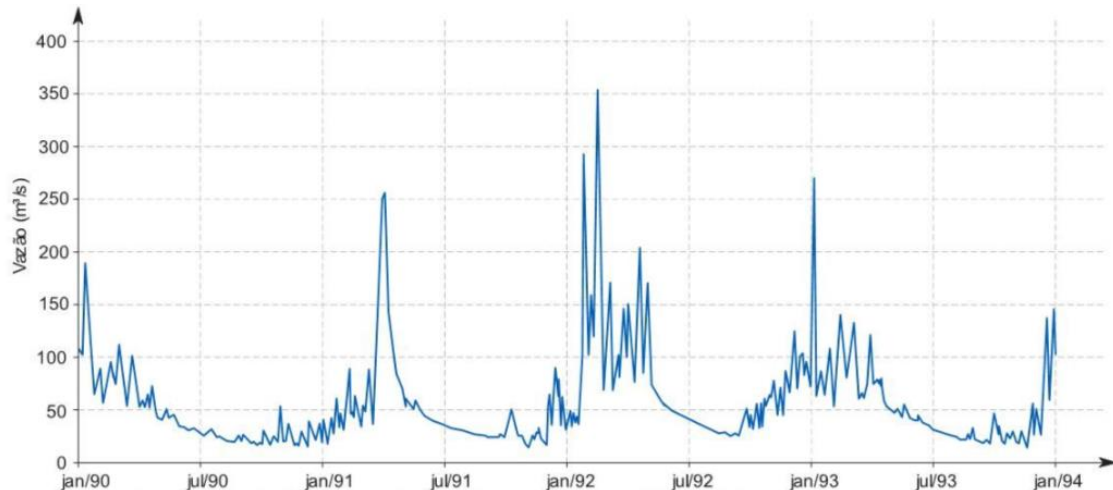


Figura 5. Hidrograma histórico do Rio dos Bois, em Goiás (Brasil), de 1990 a 1993, com respostas às chuvas de verão e recessões durante os meses de junho a setembro.

Fonte: Collischonn e Dornelles (2015).

A vazão de um rio é uma variável que se modifica de forma contínua no tempo, e pode ser representada em um hidrograma, que é o gráfico que relaciona os valores de vazão com o tempo. Diversas análises estatísticas de dados hidrológicos são realizadas de forma mais conveniente sobre valores discretos no tempo, ao contrário das sequências contínuas. A partir de uma sequência contínua de vazões é possível identificar séries temporais de valores discretos, como, por exemplo, as vazões médias anuais, as vazões máximas anuais e as vazões mínimas anuais (Collischonn e Tassi, 2008).

2.10. Mudança no uso e ocupação do solo e impactos no ciclo da água

O uso do solo exerce uma influência direta sobre o ciclo da água, desencadeando impactos evidentes na dinâmica hídrica e no comportamento da bacia hidrográfica. A vegetação desempenha um papel fundamental na capacidade de retenção de água do solo, influenciando a compactação e porosidade, fatores determinantes para a infiltração da água no solo ou para seu escoamento superficial. Portanto, a impermeabilização do solo,

decorrente de atividades humanas como construção civil, tem efeitos imediatos sobre os caudais de cheias (Collischonn e Tassi, 2008; Edwards, Williard e Schoonover, 2015; Bertoni e Tucci, 2001).

Conforme destacado por Tucci e Clarke (1997), a capacidade de infiltração da água no solo, e conseqüentemente o escoamento superficial, são influenciados pela umidade pré-existente, tipo de solo e cobertura vegetal, sendo que quaisquer alterações na superfície da bacia acarretam impactos significativos no padrão de escoamento.

2.11. Pedologia

Segundo Lencastre e Franco (2006), a pedologia é o ramo da ciência do solo que se dedica ao estudo das propriedades, formação, classificação e distribuição dos solos na superfície terrestre. No contexto da hidrologia, a pedologia desempenha um papel crucial ao investigar como as características físicas, químicas e morfológicas dos solos influenciam o comportamento hidrológico de uma determinada região. Isso inclui entender como a textura do solo afeta a infiltração da água, como a porosidade influencia a capacidade de armazenamento de água no solo e como diferentes tipos de solo respondem às precipitações, influenciando o escoamento superficial e a recarga de aquíferos. Assim, o conhecimento pedológico é fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, especialmente em estudos de uso da terra, manejo de bacias hidrográficas e previsão de enchentes e secas.

Os tipos hidrológicos de solo referem-se às características específicas do solo que influenciam seu comportamento hidrológico, como a capacidade de infiltração, armazenamento e transporte de água. Essas características estão relacionadas à textura do solo, densidade, porosidade, estrutura e composição mineral. A classificação dos tipos hidrológicos de solo é fundamental para entender como a água se move através do solo e afeta o ciclo hidrológico em uma determinada área.

2.12. Tipos hidrológicos de solo

Os mesmos autores relatam a relação entre os tipos hidrológicos de solo e a pedologia, que é evidente, pois a caracterização dos tipos hidrológicos de solo envolve

conceitos e métodos da pedologia, como a identificação de horizontes do solo, textura, estrutura e porosidade.

Por exemplo, solos com alta porosidade e estrutura bem desenvolvida tendem a ter uma maior capacidade de infiltração e armazenamento de água, enquanto solos com alta densidade e baixa porosidade podem apresentar menor capacidade de infiltração e maior escoamento superficial. Portanto, compreender os tipos hidrológicos de solo é essencial para avaliar e prever o comportamento hidrológico de uma determinada região (Lencastre e Franco 2006).

2.13. Regiões de montanhas

As montanhas são sistemas que apresentam alta variabilidade ambiental, tanto climática quanto geomorfológica, em espaços relativamente limitados. Estes gradientes encontram-se habitualmente associados à orografia destes territórios (Azevedo e Cadavez, 2016). Estas formações rochosas distribuem-se por todos os continentes, ocupando, no entanto, em algumas regiões, frações muito significativas da sua área e nas quais têm um peso muito elevado na economia e na oferta de serviços ambientais. Em geral as áreas de montanha são mais abundantes no hemisfério Norte e nas regiões climáticas temperadas-subtropicais (Korner e Ohsawa, 2005).

As regiões montanhosas da Europa são definidas com base em critérios como altitude, declividade, uso da terra e clima. A Agência Europeia do Ambiente (EEA) adotou a metodologia de Kapos et al. (2000), com algumas adaptações, para harmonizar essa definição entre os países da União Europeia (UE). Essas adaptações incluíram a criação de uma classe para altitudes inferiores a 300 metros, a exclusão de regiões montanhosas isoladas com uma área menor que 10 km² e a inclusão dessas áreas que estejam cercadas por maciços montanhosos (Pires, 2022).

As áreas de montanha apresentam características únicas devido a fatores físicos, biológicos e socioeconômicos. A altitude desempenha um papel fundamental na diferenciação das montanhas, afetando o clima, com temperaturas médias anuais mais baixas, extremos de temperatura e variabilidade climática. Além disso, essas áreas frequentemente enfrentam desafios climáticos como geadas prolongadas, alta radiação ultravioleta e ventos fortes, que afetam a agricultura e a floresta. A produtividade nessas regiões é limitada devido a um curto período de crescimento vegetal, e algumas áreas

podem até ter limites superiores para o crescimento de árvores (*treeline*) (Azevedo e Cadavez, 2016).

Além das condições climáticas, o relevo montanhoso com declives acentuados, longas encostas e diversas exposições também influencia a diversidade biológica e as atividades econômicas. A biodiversidade de espécies e a diversidade genética variam de acordo com a altitude. Limitações agrícolas surgem devido à falta de solos profundos e férteis, com parcelas pequenas e dispersas no espaço. Esses fatores contribuem para baixa densidade populacional e dominância de florestas e pastagens nas áreas de montanha (Azevedo e Cadavez, 2016).

As montanhas também exercem influência direta sobre a circulação atmosférica, por elevar as massas de ar e, conseqüentemente, reduzir a temperatura destas, favorecendo a condensação do vapor de água presente na atmosfera, resultando em níveis mais elevados de precipitação (Collischonn e Tassi, 2008; Bertoni e Tucci, 2001).

Em Portugal, a demarcação de áreas de montanha foi originalmente estabelecida com base na altitude (≥ 700 m), conforme proposto por Ribeiro (1945). Posteriormente, incorporou-se critérios adicionais, como declive ($\geq 25\%$) (European Environment Agency, 2010). No entanto, mesmo naquela época, além da identificação de áreas de montanha acima dos 700 metros, também se consideraram faixas de altitude mais baixas que exibiam restrições devido a fatores como topografia, clima e solo, permitindo também a definição de áreas de montanha a altitudes de 400-700 metros e 200-400 metros.

2.14. Eventos climáticos extremos

O Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (Lee et al., 2023) define eventos extremos como aqueles que são raros em um local específico e época do ano, enquanto eventos climáticos extremos são padrões de condições climáticas extremas que persistem por algum tempo. A definição de "raro" varia dependendo da aplicação, e eventos considerados sem precedentes podem ser considerados extremos. As mudanças climáticas causadas pelo homem afetam a raridade de eventos extremos, tornando eventos sem precedentes mais prováveis nos dias atuais. Várias abordagens são utilizadas para definir eventos extremos. Geralmente, essas definições são baseadas na determinação de limiares relativos (por exemplo, percentis 5 e 90) ou absolutos (por exemplo, 35°C para um dia quente) acima dos quais as condições

são consideradas extremas. As mudanças nos eventos extremos podem ser avaliadas em termos de mudanças na frequência ou intensidade desses eventos (Field et al., 2012).

A grande preocupação de estudos como os de Novotny and Stefan (2007) e Steenbergen & Willems (2012) é a dificuldade que os modelos hidrológicos tem em relação à predição de caudais de cheia, levando em consideração as mudanças climáticas. Steenbergen & Willems (2012) comparam seis modelos hidrológicos, e concluem que não há divergências significativas quanto à reprodução de hidrogramas históricos, porém os modelos diferem na predição dos resultados quando se aplicam diferentes parâmetros nos cálculos das ferramentas usadas.

2.15. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU

Segundo o antigo secretário geral das Nações-Unidas, Ban Ki-moon, os ODS representam a visão da ONU em relação à humanidade e um contrato social entre os líderes mundiais e os povos. “É uma lista de afazeres em nome dos povos e do planeta e um plano para o sucesso. Define as prioridades e aspirações do desenvolvimento sustentável global para 2030 e procura mobilizar esforços globais à volta de um conjunto de objetivos e metas comuns.” (United Nations, 2015).

A União Europeia (UE) possui um programa político ambicioso do qual os ODS são parte intrínseca das diretrizes políticas da presidência, estando no centro das políticas de ação interna e externa a ela, em todos os setores.

Portugal desempenhou um papel ativo na criação e implementação da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Em 2017, reforçou seu compromisso, apresentando voluntariamente um relatório nacional sobre o progresso na implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Este relatório demonstrou as ações realizadas em nível nacional em relação a vários ODS, incluindo os de número 4, 5, 9, 10, 13 e 14. Em 2022, um relatório da ONU, conduzido por cientistas independentes, destacou Portugal como um dos países mais sustentáveis do mundo (INE, 2022).

O presente trabalho é enfatizado em esferas que abrangem pelo menos quatro dos 17 objetivos, sendo eles os de número 6, 11, 13 e 15. Para exemplos dos respectivos ODS se encontra nos indicadores a proteção a pessoas de catástrofes (climáticas, por exemplo),

desenvolvimento sustentável de cidades (planeamento urbano) e proteção da fauna e flora. Na Figura 6, tem-se as logomarcas dos ODS mencionados:



Figura 6. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Fonte: Organização das Nações Unidas (2015).

2.16. Simulação

A simulação é uma técnica utilizada para representar o comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo, com o objetivo de prever seu desempenho ou entender melhor seu funcionamento. Envolve a construção de um modelo matemático ou computacional que replica as características essenciais do sistema real e permite a análise de diferentes cenários sob condições específicas. O modelo ideal é aquele que consegue retornar os resultados mais próximos do real a partir do menor número de parâmetros e menor complexidade (Devia, Ganasri e Dwarakish, 2015).

3. Materiais e Métodos

3.1. Localização

A escolha da área se deu baseada em estudos prévios já realizados, como os de Okada (2019) e Cassino (2022), por já fornecerem uma base de dados que serão utilizados no presente trabalho, como dados cartográficos tratados e análises de bacias. A área de estudo selecionada está localizada na região transmontana, no Nordeste de Portugal Continental, também conhecida como região de Trás-os-Montes. A bacia hidrográfica escolhida foi a do Alto Sabor, por ter seus afluentes contribuindo diretamente das regiões de cabeceira, e por ter ação significativa no rio principal no qual se desemboca, o rio Douro (Figura 7).

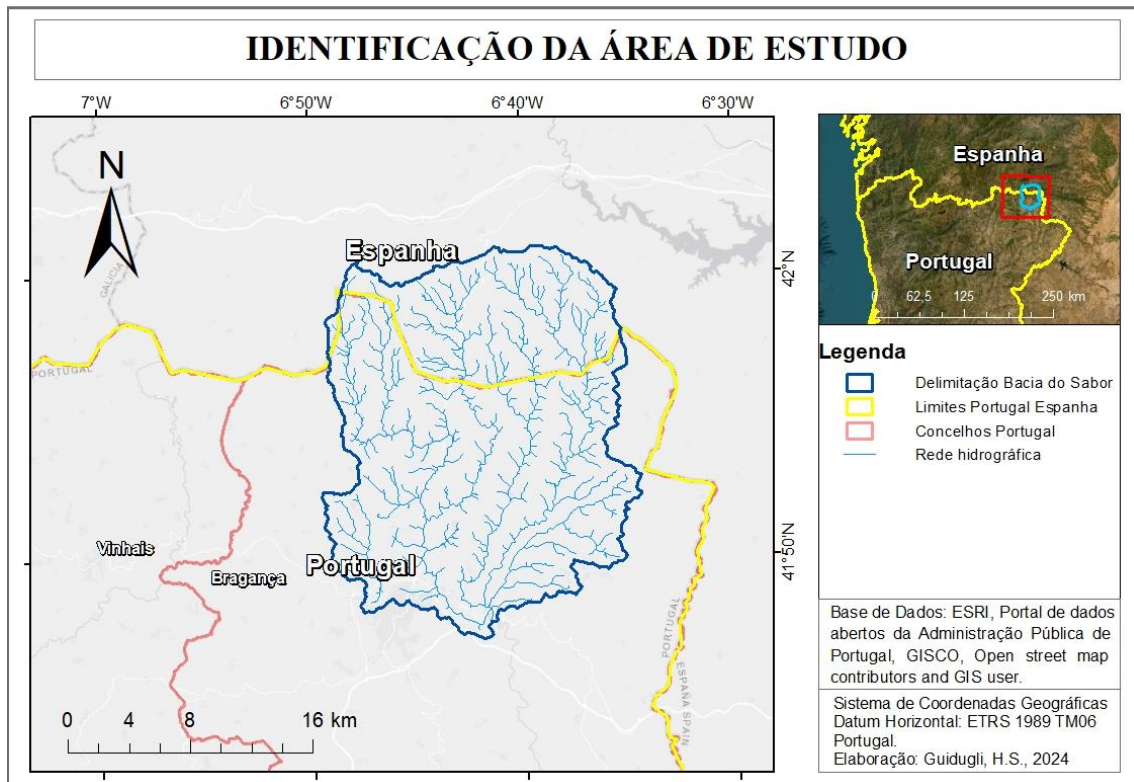


Figura 7. Mapa da bacia hidrográfica do Alto Sabor selecionada para estudo.

Fonte: autoria própria (2024).

3.2. Informação cartográfica

Os dados cartográficos tratados e suas fontes foram:

- Modelo Digital de Elevação (DEM): ALOS World 3D (AW3D), com imagens de resolução de 30 metros, sendo selecionados os quadrantes N41W007 e N41W008, os quais enquadram a área de estudo, disponibilizadas pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA);
- Arquivo em Shapefile com limites dos concelhos de Portugal: Carta Administrativa Oficial de Portugal, fornecido por Direção Geral do Território (2022);
- Arquivos shapefile contendo características do tipo de solo hidrológico e do uso e ocupação do solo (Okada, 2019 apud. Atlas Agroclimático; Instituto Português do Mar e da Atmosfera; Servicio de Mapas);

Com base no DEM e utilizando técnicas de geoprocessamento foi possível estabelecer os limites da bacia hidrográfica definidas pela secção correspondente a um ponto no rio Sabor, a estação hidrométrica de Gimonde (03Q/01H). Após a delimitação da área, foram selecionadas outras três estações meteorológicas que se encontravam dentro dos limites da bacia definida, que foram as de Montezinho (02Q/01UG), Rio Onor (02R/01UG) e Deilão (02R/02G). A estação de Samil (03Q/03UG) foi selecionada também devido à sua proximidade à bacia e à estação de Gimonde, com a finalidade de obter melhor representação da precipitação e sua distribuição na bacia (Figura 8).

Baseando-se nas estações meteorológicas e seus principais cursos da água, foram escolhidos pontos destes cursos, considerados como seus respectivos exutórios, e novamente foram traçados os contornos para cada subbacia, dando origem à subbacia do Alto Sabor, do Rio Onor, rio Igrejas e rio Frio (Figura 8). Finalmente, foram nomeadas com os nomes dos respectivos rios principais, citados acima. Como a bacia do Alto Sabor (Figura 7), que é composta pelas quatro subbacias (Figura 8), e a subbacia do Alto Sabor coincidem seus rios principais, a primeira será referida neste trabalho como bacia principal do Alto Sabor (ou BH Sabor - Tabela 3), e a última será referida como subbacia do Alto Sabor.

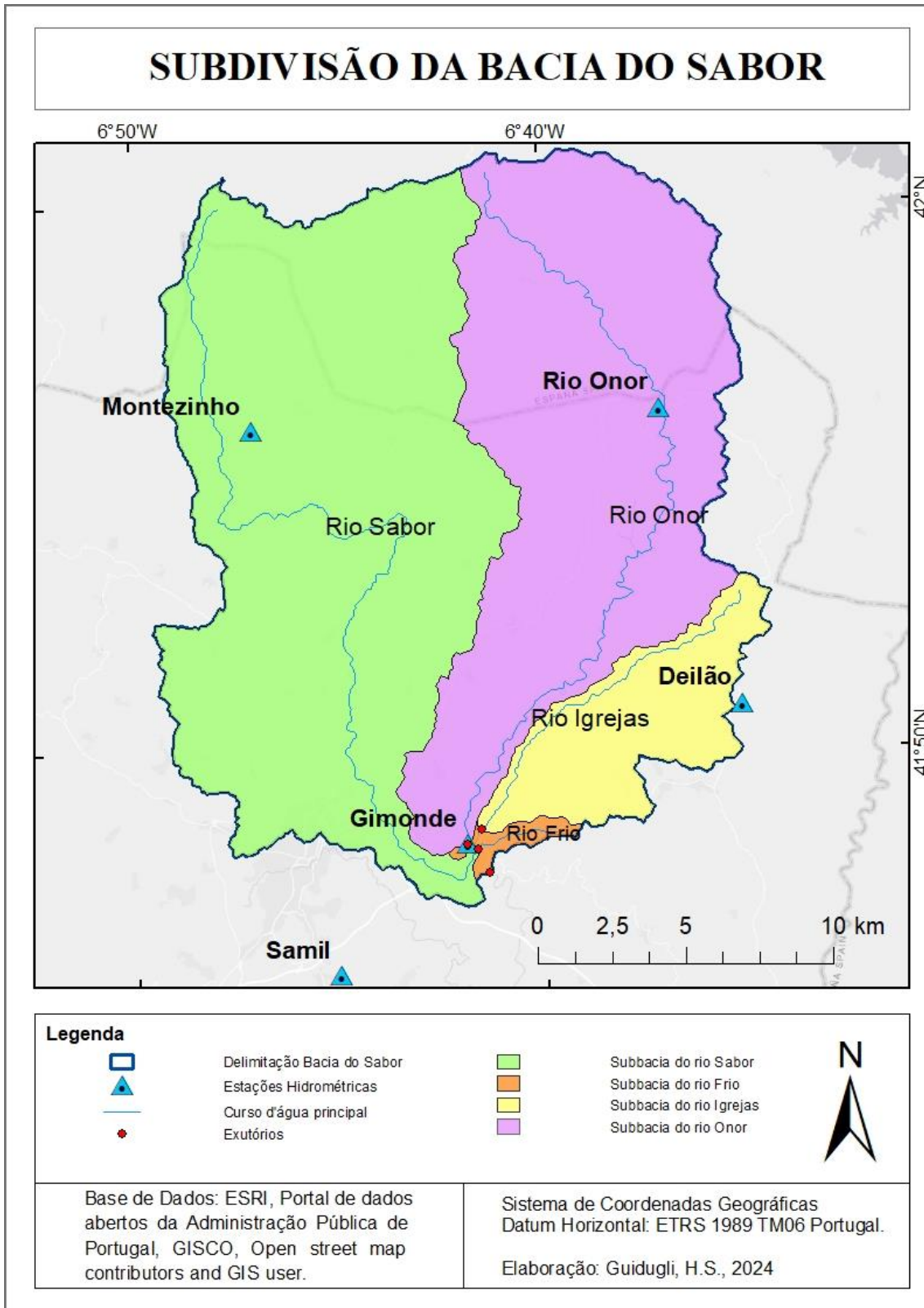


Figura 8. Delimitação das subbacias dos rios Sabor, Onor, Igrejas e Frio.

Fonte: autoria própria (2024).

3.3. Método SCS-CN

Visando cumprir o objetivo principal do trabalho, foram empregados cálculos utilizando métodos estabelecidos e previamente utilizados por Lencastre e Franco (2006) em conjunto com o modelo do *Soil Conservation Service – Curve Number*, desenvolvido originalmente pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América para prever e avaliar o escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas cujo uso do solo era agricultura. Devido à sua simplicidade conceitual e extensa documentação, é amplamente utilizado por engenheiros em numerosas aplicações hidrológicas, tal como bacias hidrográficas urbanas (Zuo et al., 2016; Yao et al., 2018; Fang et al., 2020). Seu sucesso se dá por ser simples e bem estabelecido, incorporando muitos fatores que afetam a geração de escoamento levando em conta um único parâmetro, o *CN* – coeficiente de escoamento (Soulis, 2021).

Este modelo visa obter respostas de caudal de ponta (Q_p) por meio de parâmetros fisiográficos da bacia e da precipitação, através da Eq. 1:

$$Q_p = \frac{0,277 * k * A * h_u}{t_p}$$

Eq. 1

em que, A = área da bacia ou subbacia, em km^2 ; k = fator de ponta, que pode variar entre 1 e 0,5, sendo 1 para bacias muito declivosas e 0,5 para bacias muito planas (adotou-se $k = 0,75$); h_u = altura de precipitação útil, em mm; t_p = tempo para ponta (ou tempo de crescimento), em horas. O fator 0,277 é o fator de conversão das unidades utilizadas.

Para uma dada altura de precipitação h , há uma altura de precipitação útil (h_u) correspondente, calculada por Eq. 2:

$$h_u = \frac{(h - h_0)^2}{h + 4h_0}$$

Eq. 2

se $h > h_0$, senão $h_u = 0$. h_0 expressa as perdas iniciais da precipitação, antes que se tenha o escoamento superficial. Os valores de h , h_u e h_0 são em mm, este último sendo calculado pela Eq. 3:

$$h_0 = \frac{5080}{N} - 50,8$$

Eq. 3

em que o N remete ao número de escoamento, que varia conforme o tipo hidrológico de solo, da sua utilização e das condições de superfície.

A Eq. 3 foi utilizada por Lencastre and Franco (2006), porém no método original do *Soil Conservation Service* é utilizada a Eq. 4:

$$h_0 = \frac{2540}{N} - 25,4$$

Eq. 4

A obtenção do valor de N e da distribuição pela área de estudo é definida na seção 3.4. Assim, por meio da média aritmética da porcentagem de área dos tipos de solo hidrológicos, bem como do uso e cobertura do solo, foram calculados os valores de N para cada bacia hidrográfica, considerando tanto as condições de AMC-II quanto AMC-III (*Antecedent Moisture Condition* – em português: Condições Antecedentes de Umidade). Além disso, foram determinados os valores das perdas iniciais da chuva (h_0) e o montante de precipitação útil para as bacias (h_u).

A variável faltante para se concluir o cálculo de caudal de ponta (Q_p) através da equação do SCS **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é o tempo para ponta (t_p) ou o tempo de crescimento, determinado por Lencastre e Franco (2006) por meio da Eq. 5:

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + 0,6 t_c$$

Eq. 5

onde t_r é a duração da precipitação útil (h_u), em horas e o t_c é o tempo de concentração da bacia, em horas. Como o t_r utilizado foi igual ao t_c , a equação resultante (Eq. 6) e utilizada para os cálculos foi:

$$t_p = 0,5 t_c + 0,6 t_c = 1,1 * t_c$$

Eq. 6

O tempo de concentração (t_c) foi determinado através de duas equações diferentes, sendo a primeira de Giandotti (Eq. 7) e a segunda de Temez (Eq. 8):

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L_r}{0,8\sqrt{\bar{H}}}$$

Eq. 7

$$t_c = 0,3 \left(\frac{L_r}{i_r} \right)^{0,76}$$

Eq. 8

onde A corresponde à área da bacia, em km^2 ; \bar{H} é a altura média da bacia, em metros; L_r é o comprimento total da linha d'água principal da bacia, em km; e i_r é a declividade média da linha d'água principal, em m/m (%).

Foram utilizadas equações diferentes por gerarem resultados de caudal de ponta (Q_p) diferentes, para posteriormente analisar qual seria mais adequada para a bacia de estudo.

3.4. Pedologia, tipo de solo e uso e ocupação de solo

Após a definição dos limites da bacia e suas subbacias, foram criados mapas detalhados que incorporam informações sobre uso e ocupação do solo, pedologia e tipos hidrológicos de solo. Este procedimento tem como objetivo permitir a posterior análise da bacia, onde as características de cada solo são distintas e ponderadas com base em áreas e porcentagens específicas. É imprescindível ressaltar que a bacia de estudo transcende as fronteiras de Portugal, abrangendo na parte norte uma porção do território espanhol, coincidindo com as partes de cabeceira da bacia (Figura 7).

Os *shapefiles* empregados como base para esses mapeamentos são os mesmos utilizados por Okada (2019), que previamente tratou os dados de Portugal e Espanha. Esses dados foram manipulados para coincidirem e ter correspondência das diferentes denominações que possuem características similares.

Segundo os autores Lencastre e Franco (2006) e de acordo com o método do *Soil Conservation Service*, existem os seguintes tipos hidrológicos de solo e suas características:

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

Com base no trabalho de Okada (2019) e suas referências, tais como Agroconsultores e Coba, 1991; Figueiredo, 2013), a classificação *D* foi atribuída aos Luvisolos e Alissolos, por possuírem camadas impermeáveis. Os primeiros possuem camadas de argila nos subsolos e, os últimos, com superfícies verticais e horizontais revestidas em grau moderado e forte. Os Gleissolos e Fluvisolos também foram enquadrados nessa categoria, estes por estarem próximos às margens de rios, e aqueles por se encontrarem saturados de água por longos períodos de tempo.

Os solos categorizados como tipo *C* e *D* foram associados aos Leptossolos e Cambissolos. No contexto dos Leptossolos, definidos por Figueiredo (2013) como solos delgados limitados por rochas duras subjacentes, foram classificados neste estudo como tipo *D*. Por outro lado, os Cambissolos, de acordo com o mesmo autor, apresentam maior espessura e uma camada de rocha limitante mais profunda, sendo, portanto, classificados como tipo *C*. No entanto, quando a classe secundária úmbricos está presente, ocorre uma elevação na classificação: *D* torna-se *C* e *C* torna-se *B*, devido à presença de matéria orgânica que proporciona maior permeabilidade.

Quanto à análise do uso e ocupação do solo, foi empregada a Tabela 24 do Anexo I, adaptada por Moreira (2017), que estabelece a relação entre a COS 2007 e o nível AMC-II, correspondente, segundo Lencastre e Franco (2006), a condições médias de umedecimento do solo. Dado que a COS 2007 e a COS 2015 diferem apenas no quinto nível, e o terceiro nível foi utilizado para a obtenção do *N*, a utilização dessa tabela não comprometeu os resultados (Okada, 2019). Além disso, considerando que as condições AMC-III equivalem aos extremos, isto é, quando o solo está totalmente saturado de água, para a conversão da tabela anterior, que representa valores para AMC-II, foi empregada a tabela subsequente Tabela 1, conforme indicado por Lencastre e Franco (2006).

Tabela 1. 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).

3.4.1. Uso e ocupação do solo

As informações portuguesas provêm do Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG), contendo dados de uso e ocupação do solo conforme a legenda COS 2015. Para o território espanhol, a classificação do Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) foi empregada. Uma compatibilização dos dados da SIOSE com os da COS 2015 foi realizada, gerando uma nova legenda baseada na COS 2015 nível 3. Esse processo permitiu a produção de mapas com fontes de dados homogêneas para a bacia e subbacias estudadas.

3.4.2. Pedologia e tipo hidrológico de solo

A pedologia também apresenta diferenças em sua classificação nos dois países. Os arquivos foram obtidos do SNIG, em Portugal, e do Instituto Tecnológico Agrário da Junta de Castilla y Leon (ITACyL), na Espanha. Para harmonizar esses dados, a referência utilizada foi o trabalho "Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano", realizado por Figueiredo (2013). Este trabalho adota a nomenclatura cartográfica e pedológica presente em Agroconsultores e Coba (1991), que, por sua vez, é baseada na legenda da *Food and Agriculture Organization* (FAO). O mapa dos tipos hidrológicos do solo foi derivado dos tipos pedológicos, sendo sua classificação abordada posteriormente, no tópico "número de escoamento (N)", utilizado para calcular o caudal de ponta (Q_p) de cheia.

Os resultados dos mapeamentos foram exportados para planilhas utilizando a ferramenta "Table to Excel" do software de SIG, que transforma a tabela de atributos em uma planilha eletrônica de cálculos. Essa abordagem possibilitou a criação de gráficos e tabelas, os quais foram empregados na comparação quantitativa das características das bacias hidrográficas.

3.5. Caracterização fisiográfica

Por meio da aplicação do DEM e técnicas de geoprocessamento em um software de SIG, foram adquiridas informações cruciais, como área, perímetro, altitude, altura, comprimento das linhas d'água, comprimento axial da bacia e declividade. Assim, foi possível uma compreensão abrangente da fisiografia da bacia, delineando sua geometria, sistema de drenagem e relevo. A densidade de drenagem (Y), largura média da bacia (L_m), percurso médio do terreno (L_p) foram calculados através das equações Eq. 9, Eq. 10 e Eq. 11 para fundamentar essa caracterização:

$$Y = \frac{L_t}{A}$$

Eq. 9

onde L_t é o comprimento total das linhas de água da bacia, em km; e A é a área total da bacia, em km^2 . As unidades de Y são, portanto, em km^{-1} .

$$L_m = \frac{A}{L_r}$$

Eq. 10

onde L_r é o comprimento da linha d'água principal da bacia, em km; A é a área da bacia, em km²; as unidades de L_m são, portanto, em km.

$$L_p = \frac{1}{Y}$$

Eq. 11

onde Y é a densidade de drenagem, em km⁻¹. Portanto as unidades de L_p são em km.

3.5.1. Caracterização geométrica

Segundo os autores Lencastre e Franco (2006), alguns parâmetros da configuração da bacia hidrográfica, tais como o coeficiente de compacidade (K_c) e o fator forma (K_f), refletem a tendência destas para que ocorram eventos de cheias.

O coeficiente de compacidade (K_c), também conhecido como índice de Gravelius, é derivado da relação entre o perímetro (P) da bacia hidrográfica e o perímetro de uma circunferência que tem uma área equivalente à da bacia, com um raio específico (r), expresso pela Eq. 12:

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

Eq. 12

O fator forma (K_f) é a outra descrição quantitativa da forma da bacia hidrográfica e é representada pela relação entre a área (A) da bacia e pelo comprimento axial da bacia (L_a) ficando explícita pela seguinte equação (Eq. 13):

$$K_f = \frac{A}{L_a^2}$$

Eq. 13

O coeficiente de compacidade (K_c) é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente do seu tamanho. Quanto maior for K_c , tanto mais

irregular é a bacia, enquanto mais se aproximar da unidade, mais próxima de um círculo é a bacia.

Já o fator forma (K_f) constitui o índice de tendência da bacia para ocorrência de cheias, sendo maior a tendência para maiores valores e menor a tendência para valores menores.

3.5.2. Caracterização do sistema de drenagem

Uma componente crucial para a caracterização fisiográfica da bacia é a descrição das características do sistema de drenagem, que é, em parte, representada pela densidade de drenagem (λ). Essa densidade é determinada pela relação entre o comprimento total da malha hidrográfica (L_t) em uma bacia específica e a área total (A) da mesma, como expresso pela Eq. 14:

$$\lambda = \frac{L_t}{A}$$

Eq. 14

Os valores de λ oferecem uma indicação da eficácia da drenagem natural da bacia. Bacias com valores de λ inferiores a 0,5 km/km² são consideradas mal drenadas, enquanto aquelas com valores acima de 3,5 km/km² são categorizadas como esplendidamente bem drenadas. Os valores de λ também apontam para tendências de ocorrência de cheias, indicando que, quanto maior a densidade de drenagem, menor a susceptibilidade da bacia a eventos de inundação (Lencastre e Franco, 2006).

3.5.3. Caracterização do relevo

A caracterização do relevo de uma bacia, conforme descrito por Lencastre e Franco (2006), incorpora a 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. A altitude média da bacia é calculada como a soma da multiplicação entre a altura média Z_i e a área A_i entre duas curvas de nível consecutivas, dividida pela área total da bacia (A), conforme indicado pela Eq. 15:

$$\bar{Z} = \frac{\sum Z_i A_i}{A}$$

Eq. 15

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 (Eq. 16):

$$\bar{H} = \frac{\sum H_i A_i}{A}$$

Eq. 16

Para realizar esses cálculos, foram empregadas as funcionalidades de altitude média, altura média e declividade média disponíveis no software SIG. O declive das bacias hidrográficas foi obtido por meio da ferramenta *slope* do software SIG, resultando em valores expressos em graus e em percentagens. No primeiro caso, os valores foram agrupados em classes com intervalos de 5 graus, enquanto no segundo caso foi calculada a percentagem de cada classe nas bacias hidrográficas. Esses cálculos foram viabilizados pela utilização do arquivo de Modelo Digital de Elevação (DEM). Além disso, por meio da tabela de atributos do software de SIG, foi possível obter o declive médio de cada bacia, utilizando a função *Statistics*.

Na Figura 9 está evidenciado a declividade do terreno, em graus, na bacia principal do Alto Sabor, obtida por meio do DEM, com classes separadas em múltiplos de 2,5. Na Figura 10 observa-se a distribuição dos valores de altitude, em metros, pela área da bacia principal do Alto Sabor.

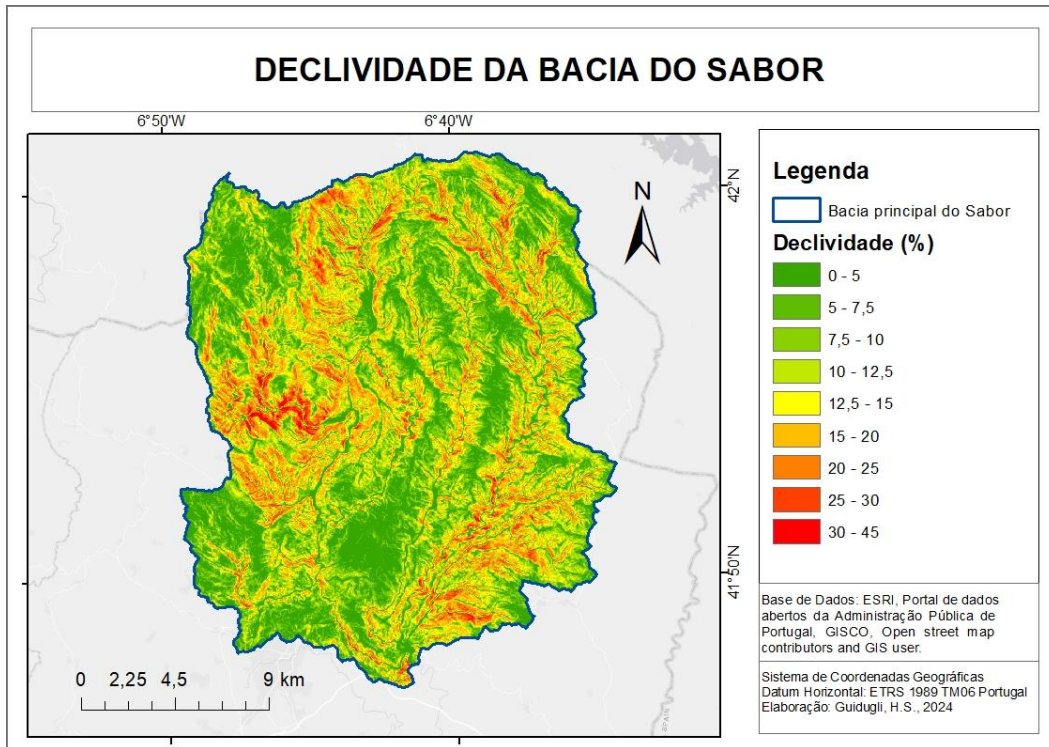


Figura 9. Declividade na bacia do Alto Sabor, representada em porcentagens e intervalos múltiplos de 2,5.

Fonte: autoria própria (2024).

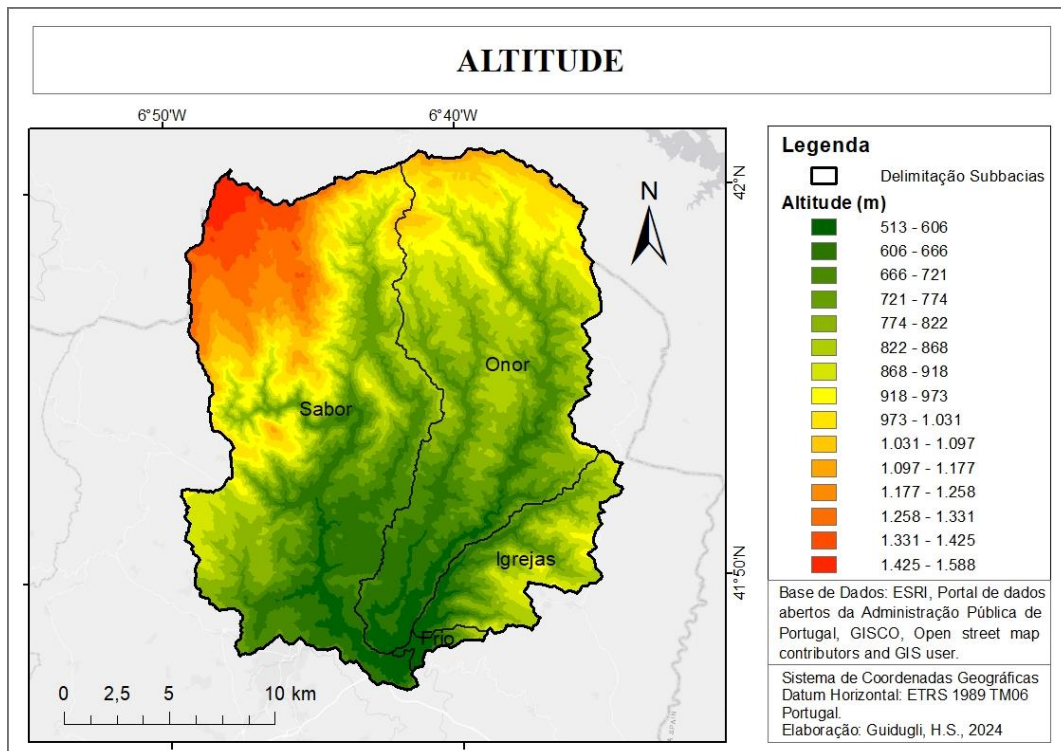


Figura 10. Variação da altitude na bacia principal do Alto Sabor.

Fonte: autoria própria (2024).

3.6. Caracterização do clima

De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo *Csb*, caracterizado como temperado com invernos suaves, geralmente referido como clima mediterrâneo (Charraza *et al.*, 2011). Este clima tem uma temperatura mínima no mês mais frio entre -3 e 18°C. Os verões são secos, longos e suaves, com precipitação inferior a 40 mm e aproximadamente um terço da precipitação do mês mais úmido do inverno. A temperatura média durante o verão permanece abaixo de 22°C, com pelo menos quatro meses com temperatura média superior a 10°C. A temperatura média anual no Parque varia de 8,5°C na Serra de Montesinho a 12,8°C na Baixa Lombada.

3.7. Dados hidrométricos e meteorológicos

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), estabelecido em 1995 pelo Instituto da Água (INAG), representando um marco pioneiro na disponibilização gratuita de dados ambientais online. Para compreender de maneira abrangente o comportamento do rio Sabor (Alto Sabor), as análises foram direcionadas para o volume de caudal na estação hidrométrica de Gimonde (03Q/01H), explorando sua variação ao longo do tempo. Adicionalmente, integrou-se informações meteorológicas, notadamente os registros de precipitação horária, diária e máximas anuais provenientes dos postos de Montezinho (02Q/01UG), Rio Onor (02R/01UG), Deilão (02R/02G) e Samil (03Q/03UG).

Embora Samil esteja localizado fora da delimitação da bacia hidrográfica de estudo, as estações estão posicionadas a montante do posto de Gimonde, sendo de especial interesse devido às suas potenciais influências na resposta do caudal à saída da bacia. A análise sob uma perspectiva multivariada proporciona uma compreensão mais completa e integrada dos fatores que moldam o comportamento hidrológico na bacia do Alto Sabor.

3.7.1. Dados históricos

Os dados foram baixados em formatos CSV ou TSV para viabilizar a manipulação em tabelas. Foram feitos o tratamento e processamento dos dados, assegurando que os períodos analisados contivessem a máxima quantidade de dados simultâneos das estações. Esse procedimento foi executado para permitir análises comparativas entre os

postos, examinando seus dados e avaliando correlações entre as variações, com o objetivo de validar os resultados e conclusões obtidos.

3.7.2. Tratamentos dos dados para cálculos

As séries de precipitação, provenientes das estações meteorológicas de Montezinho (02Q/01UG), Rio Onor (02R/01UG), Deilão (02R/02G) e Samil (03Q/03UG), são representadas pelas médias de precipitação horárias no período de 2003 a 2020. Os dados foram tratados de forma separada para cada estação, separando para aplicações estatísticas apenas os momentos em que a precipitação era diferente de zero. Após essa segmentação, foram criadas somas de precipitação para 3, 6, 12 e 24 horas. Por exemplo, as colunas de 3 horas foram preenchidas com a soma das 3 horas após a primeira precipitação da coluna de precipitações horárias, incluindo o primeiro valor. Para as 6 horas, somavam-se os 6 valores após a primeira precipitação, e assim por diante para cada coluna até 24 horas.

Com base nesses dados, foi elaborada uma tabela estatística para cada período de precipitação, incluindo o número de dados para cada grupo (n valores), média, valores máximos e mínimos, desvio padrão, coeficiente de variação e assimetria da distribuição de frequência.

Para aplicar a distribuição de Gumbel, foi necessário obter os valores de K_T por meio da Eq. 17 para os períodos de retorno (T) escolhidos: 2,33, 10, 25, 50, 100 e 200 anos.

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

Eq. 17

Com base nos valores de média, desvio padrão e coeficiente K_T , os valores máximos de precipitação ou caudal de pico para as estações e para os períodos de retorno foram calculados utilizando a Eq. 18. Os resultados para a estação de Rio Onor, considerando os diferentes intervalos de tempo (em horas) e os períodos de retorno, são apresentados na Tabela 8, utilizando a distribuição de Gumbel (Eq. 18):

$$x_T = \bar{x} + K_T * S$$

Eq. 18

onde, x_T é a precipitação (ou caudal máximo, no caso da estação de Gimonde) para um determinado período de retorno, em mm; \bar{h} é a precipitação média (P); K_T é o coeficiente obtido pela Eq. 17; e S é o desvio padrão, também obtido estatisticamente (exemplo: Tabela 6).

Esses procedimentos, tanto para precipitação quanto para os caudais medidos, possibilitaram a obtenção de uma linha de tendência por ajustamento a uma equação de potência. No caso das precipitações resultou na equação das curvas de possibilidade udométrica para cada período de retorno. Enquanto as precipitações foram analisadas em função da sua duração (em horas), os caudais tiveram que ser estimados para durações inferiores a 24h, pois a fonte de informação não continha valores horários específicos, apenas diários ou instantâneos. Posteriormente, os coeficientes das curvas obtidas por ajustamento à equação potência foram utilizados na estimativa de precipitação e caudal com duração determinada.

Para a estação de Samil, o período selecionado apresentou várias lacunas, resultando na ausência de dados para uma representação considerada insuficiente. Portanto, foi necessário empregar um procedimento estatístico para estimar os dados em falta dessa estação. Realizou-se regressões multivariadas por meio da análise de dados no software de planilhas eletrônicas, utilizando informações das três outras estações, para examinar os coeficientes e as relações entre as variações desses dados. A fim de identificar a relação mais significativa e os coeficientes mais robustos, a regressão multivariada foi inicialmente conduzida com as três outras estações meteorológicas. Após selecionar aquela que apresentava os melhores resultados, reduziu-se para duas estações, realizando mais duas regressões com os valores da estação de melhor desempenho e as outras estações, uma de cada vez, para obter coeficientes de correlação mais elevados.

3.7.3. Método de ponderação de precipitação: Thiessen

A maneira de obtenção da distribuição da precipitação nas subbacias de acordo com cada uma das estações meteorológicas foi por ponderação. A área de influência de cada uma delas foi encontrada por meio do método dos polígonos de Thiessen que,

segundo Lencastre e Franco (2006), definem a área de influência de cada estação. Os polígonos foram traçados através do *software* de SIG, que une as estações duas a duas por um segmento de reta, e traçam outras retas, normais a essas de união, formando os polígonos. Estes, possuem unicamente uma estação dentro de si, e qualquer ponto dentro deste polígono está mais perto desta estação que qualquer outra.

3.7.4. Ajustes de valores de coeficiente de escoamento

Além da comparação dos caudais, foi também realizado um comparativo do N obtido sob condições de AMC-II e AMC-III com o N calculado, e com AMC-III inserido (Tabela 1) a partir do valor obtido para AMC-II, a fim de se obter um escoamento direto mais próximo, proporcionalmente, ao observado nas estações hidrométricas. A escolha da variável N para essa relação se deve ao fato de este trabalho ter considerado o uso e ocupação do solo constantes ao longo do tempo, o que não reflete a realidade, como já afirmado no trabalho de Okada (2019). Isso pode resultar em valores errôneos de caudais, impactando a confiabilidade dos resultados. Portanto, a comparação dos resultados dos caudais e da variável N permite avaliar a confiabilidade da aplicação desse método na previsão de eventos extremos de cheias.

3.8. Simulação

Considerando os impactos das mudanças climáticas e do crescimento populacional, foram selecionadas as variáveis que tendem a ser mais afetadas, nomeadamente o uso e cobertura do solo e a precipitação. Portanto, esses parâmetros foram variados nas tabelas de cálculo para serem comparados com o efeito direto no caudal, ou seja, a resposta da bacia a essas variações em termos de caudal de pico.

3.8.1. Uso e ocupação do solo

A manipulação do uso e ocupação do solo foi realizada considerando as classes que apresentam maior tendência de variação temporal em diferentes cenários, tais como agricultura, matos e florestas. Os valores de área dessas classes foram alterados em 10% e 20%, tanto positivamente quanto negativamente. O aumento de uma classe implicou na redução de outras, ou seja, a variação de área de uma classe foi substituída pelas áreas

outras classes para compensação, sem variar o valor de área total das áreas em questão, para diferentes cenários. Estes foram classificados como conservadores, não conservadores e de abandono.

- Conservadores: as áreas florestais foram aumentadas em 10% e 20%, enquanto esse valor absoluto de aumento foi distribuído de forma proporcional para a redução das classes de agricultura e matos (União Europeia, 1992).
- Não conservador: as áreas de agricultura aumentaram em 10% e 20% às custas das áreas de matos e florestas, considerando o cenário anterior, porém sem o cuidado de inserir espécies de floresta com crescimento rápido.
- Abandono: a área de matos cresceu em 10% e 20% do valor original, às custas das áreas de agricultura, onde ocorre o crescimento de vegetação espontânea devido à falta de manejo (Bertocco, 2020; ICNB, 2007).

3.8.2. Precipitação

Quanto à precipitação, os valores médios foram variados nas mesmas proporções do parágrafo anterior. As variações de 10 e 20%, positivas (porque tendência de incremento dos extremos vem caracterizando os padrões de mudança nas precipitações), foram aplicadas à bacia geral do rio Sabor, considerando as medições de todas as estações hidrométricas, já ponderadas para as áreas de influência. Os mesmos incrementos também foram realizados em cada estação hidrométrica para analisar as consequências dessa variação no caudal de pico final da bacia geral, em uma estação por vez.

4. Resultados e discussão

4.2. Características da área de estudo

A região de estudo (Figura 7) foi delimitada e seus dados foram processados em um *software* SIG. A subdivisão da bacia foi realizada com base no DEM, utilizando ferramentas de hidrologia para traçar as linhas d'água da bacia. A partir disso, foram identificadas as principais linhas d'água que teriam influência nas estações meteorológicas mais próximas, que são os rios Sabor, Onor, Igrejas e Frio. Esses rios possuem as seguintes estações meteorológicas em suas bacias hidrográficas (área de drenagem): Montezinho (02Q/01UG) e Samil (03Q/03UG) para o rio Sabor, Rio Onor (02R/01UG) para o rio de mesmo nome, e Deilão (02R/02G) para os dois últimos. As linhas d'água e a localização das estações são mostradas na Figura 8.

Para delimitar as subbacias desses rios, foi escolhido arbitrariamente um ponto nas respectivas linhas d'água, o mais próximo possível da foz. No caso da subbacia do rio Sabor, que é o rio principal formado por todos esses rios e seus afluentes, foi escolhido um ponto logo antes de se encontrar com os outros rios. O *software* calculou e forneceu as delimitações das áreas, resultando assim em quatro subbacias na área de estudo, evidenciado na Figura 8.

Utilizando ferramentas SIG, com comandos simples e calculadora de geometria na tabela de atributos, calculou-se as propriedades das bacias (Tabela 2 e Tabela 3). Os cálculos incluem características do relevo e fisiográficas da bacia principal do Alto Sabor e as subbacias.

4.1.1. Relevo

Dentre as características do relevo e estão a área (A), perímetro (P), altitude média (\bar{Z}), altura média (\bar{H}), declividade média da bacia (i_b), declividade média da linha d'água principal (i_r). Ainda se calculou valores derivados, tal como a porcentagem da área da bacia do Alto Sabor que cada subbacia representa ($\% BH Sabor$) do valor total. Essas características estão evidenciadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características do relevo da área de estudo.

| | Subbacias | | | | BH |
|--|-----------|----------|-------------|----------|----------|
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| Perímetro (m) | 87672,66 | 73031,55 | 36474,23 | 13378,28 | 126952,9 |
| Área (km²) | 208,0435 | 157,0051 | 37,5774 | 3,2340 | 405,8601 |
| Área BH Sabor (%) | 51,2599 | 38,6845 | 9,2587 | 0,7968 | 100 |
| Altitude média (m) | 899 | 809 | 783 | 644 | 852 |
| Altura média (m) | 386 | 296 | 262 | 131 | 339 |
| Declividade média da bacia (m/m) | 0,19 | 0,18 | 0,23 | 0,19 | 0,19 |
| Declividade média da linha d'água principal (m/m) | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,15 | 0,05 |

Os valores mais elevados de altitude média, altura média, perímetro, área, são observados na subbacia do Alto Sabor. Isso pode ser explicado por esta subbacia conter o rio principal da bacia hidrográfica do Alto Sabor (BH Sabor).

Há uma considerável variação nos parâmetros ao comparar uma bacia com outra. Por exemplo, a área das subbacias apresenta uma disparidade significativa, sendo a do Frio (menor, com 3,2340 km²) substancialmente inferior à subbacia do Alto Sabor (maior, com 208,0435 km²), representando apenas 0,7968% da área total da bacia do Alto Sabor, enquanto esta última contribui com mais da metade (51,2599%) da área total da bacia.

4.1.2. Características fisiográficas

Os parâmetros fisiográficas calculados foram: o comprimento axial da bacia (L_a), comprimento total das linhas d'água (L_t) e o comprimento da linha d'água principal (L_r). Com a posse destes dados, foi possível calcular outras características derivadas destes valores, como a largura média da bacia (L_m), o índice de compacidade (K_c), fator de forma (K_f), densidade de drenagem (Y) e percurso médio do terreno (L_p).

Os parâmetros fisiográficos (Tabela 3) fornecem informações sobre as bacias. Nota-se a proximidade dos valores de densidade de drenagem e percurso médio do terreno, respectivamente, nas subbacias do Alto Sabor (1,1942 km⁻¹ e 0,8374 km), Onor (1,2524 km⁻¹ e 0,7984 km) e Igrejas (1,1858 km⁻¹ e 0,8433 km), ao passo que a subbacia do Frio apresenta valores comparativamente mais elevados (1,4373 km⁻¹ e 0,6957 km).

A bacia principal do Alto Sabor apresenta valores de K_c , K_f , Y e L_p de, respectivamente, 1,7645, 0,2721, 1,2171 km^{-1} e 0,8216 km.

Tabela 3. Características fisiográficas das bacias obtidos por SIG.

| | Subbacias | | | | BH |
|--------------------------|-----------|----------|-------------|----------|---------|
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| L_t (km) | 248,440 | 196,640 | 44,560 | 4,648 | 493,959 |
| L_r (km) | 38,624 | 35,362 | 14,404 | 3,068 | 38,624 |
| L_a (m) | 11.969 | 10.988 | 5.530 | 1.952 | 12.673 |
| L_m (m) | 5.386 | 4.440 | 2.609 | 1.054 | 10.508 |
| K_c | 1,702 | 1,632 | 1,666 | 2,083 | 1,765 |
| K_f | 0,139 | 0,126 | 0,181 | 0,344 | 0,272 |
| Y (km^{-1}) | 1,194 | 1,252 | 1,186 | 1,437 | 1,217 |
| L_p (km) | 0,837 | 0,798 | 0,843 | 0,696 | 0,822 |

Onde, L_t : comprimento total das linhas d'água; L_r : comprimento da linha d'água principal; L_a : comprimento axial da bacia; L_m : largura média da bacia; K_c : índice de compacidade da bacia; K_f : fator de forma da bacia; Y : densidade de drenagem da bacia; L_p : percurso médio do terreno.

4.1.3. Uso e ocupação do solo

A classificação da COS 2015, no nível 3, foi adotada para quantificar a distribuição das classes de uso e ocupação do solo. Na Figura 12, é possível observar a comparação dessa distribuição percentual de área pelas bacias analisadas.

Nota-se que a subbacia do rio Sabor apresenta uma maior proporção de área ocupada por florestas e vegetação arbustiva (42,95%), seguida pelas subbacias do rio Onor (37,2%) e Frio (34,36%), e por último a subbacia do rio Igrejas (18,85%). Isso sugere que a bacia do rio Sabor oferece uma maior resistência ao escoamento superficial, enquanto a bacia do rio Igrejas apresenta menor resistência a esse processo.

Ao se tratar de áreas descobertas e com pouca vegetação, a subbacia do rio Onor é a que possui a maior extensão de área nesse contexto (18,396 km^2), seguida de perto pela subbacia do Alto Sabor (15,481 km^2) e por último as subbacias do Igrejas (6,633 km^2) e do Frio, que não possui área com essa classificação. Este parâmetro da subbacia do Onor pode indicar condições mais favoráveis para a ocorrência de escoamento superficial em comparação com as outras subbacias.

No entanto, é importante ressaltar que a avaliação do risco hidrológico não deve se basear apenas nesse aspecto, sendo necessário considerar também as informações mais detalhadas apresentadas na Tabela 25 do Anexo II, que mostra as porcentagens das classes de acordo com o nível 3 da COS2015.

Na Figura 11, é possível visualizar a distribuição dos tipos de solo pela área de estudo.

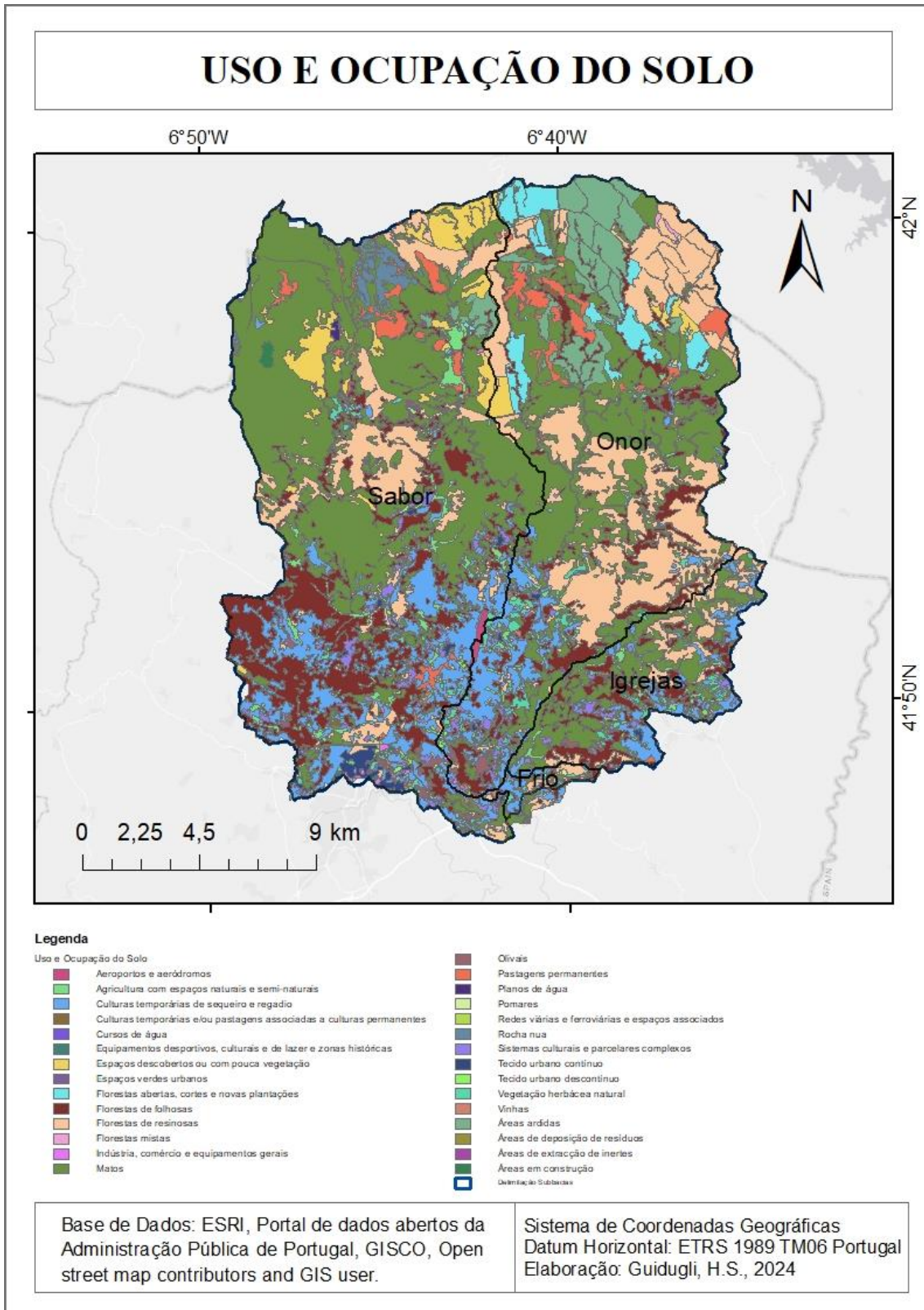


Figura 11. Distribuição do uso e ocupação do solo na bacia do Alto Sabor.

Fonte: autoria própria (2024).

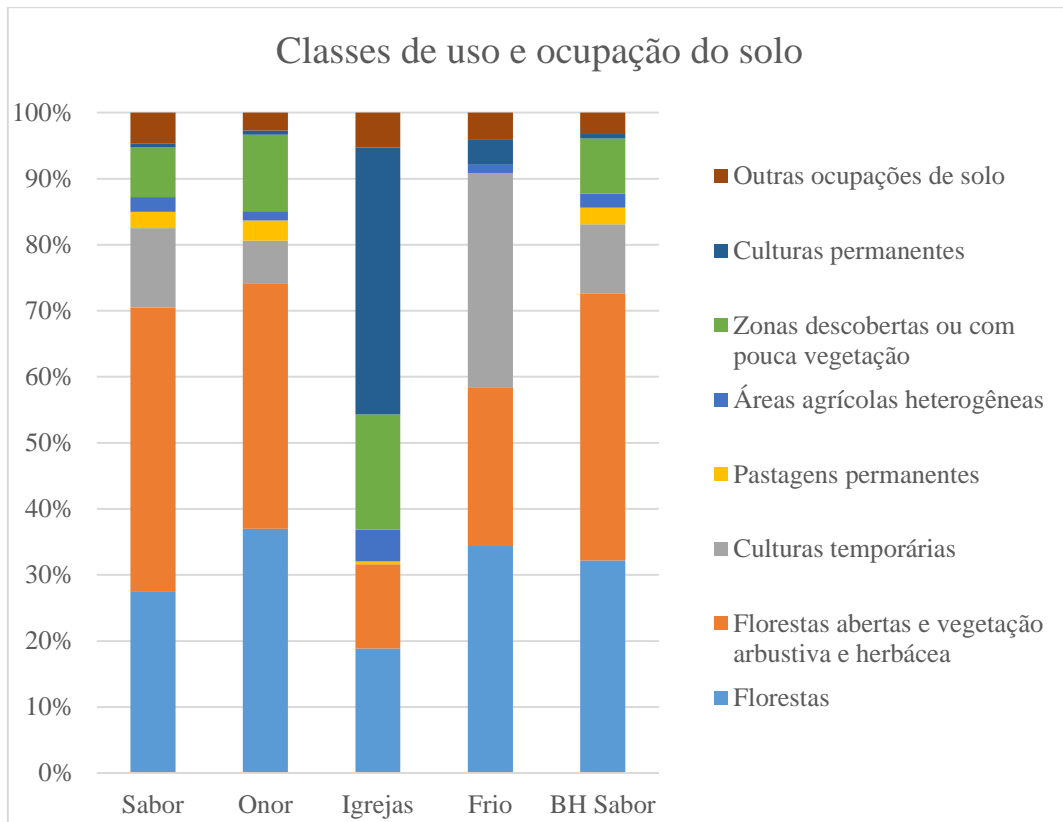


Figura 12. Distribuição percentual de áreas de uso e ocupação do solo nas subbacias e na bacia principal do Alto Sabor.

4.1.4. Pedologia

Uma análise semelhante à de uso e ocupação do solo foi feita para a pedologia, onde buscou-se separar e quantificar os percentuais de área com as classificações pedológicas nas bacias estudadas.

Para caracterizar a área de estudo, foi elaborado um mapa pedológico da região (Figura 13), destacando as principais unidades pedológicas, juntamente com as secundárias. A distribuição percentual é detalhada na Tabela 4, fornecendo uma visão da composição pedológica do solo em cada subárea.

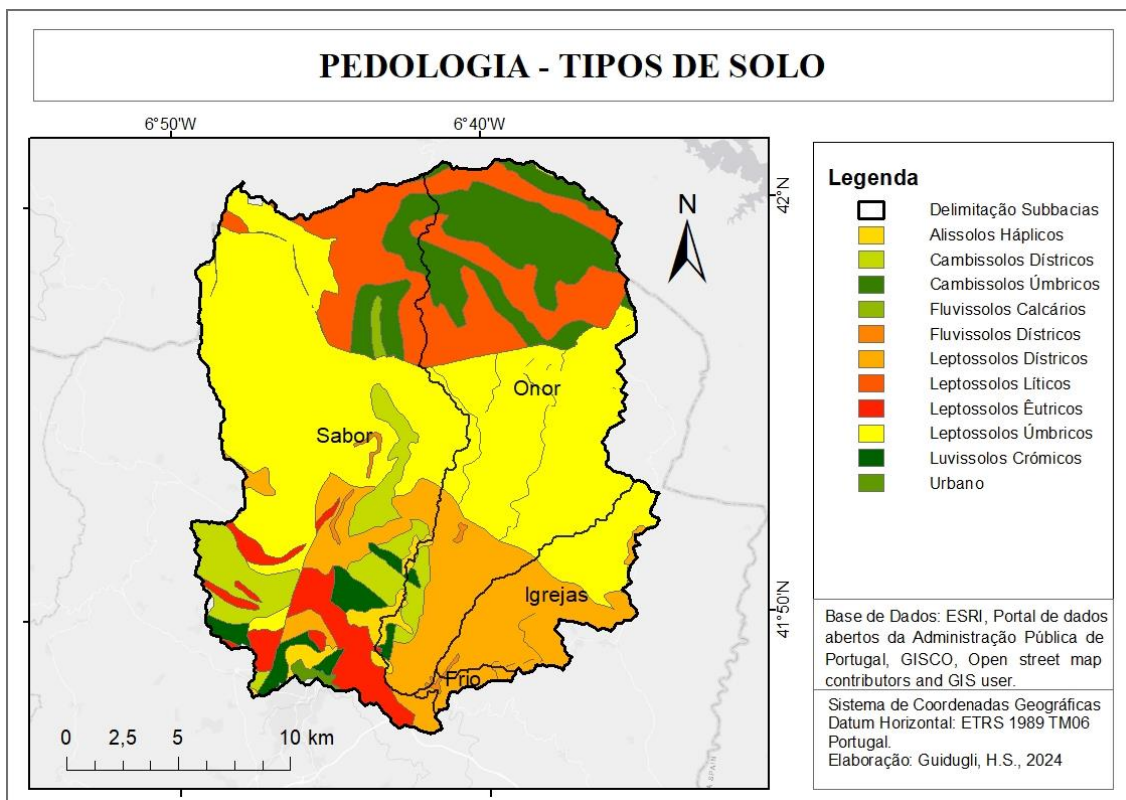


Figura 13. Mapa pedológico da bacia principal do Alto Sabor e suas subdivisões.

Fonte: autoria própria (2024).

Tabela 4. Distribuição de solos em cada bacia conforme classificação pedológica.

| Classificação | Pedologia | | | | |
|-----------------------------|-----------|--------|---------|--------|----------|
| | Sabor | Onor | Igrejas | Frio | BH Sabor |
| Alissolos Háplicos | 2,29% | 0,87% | 0,00% | 0,00% | 1,51% |
| Cambissolos Úmbricos | 5,08% | 22,71% | 1,77% | 0,00% | 11,62% |
| Cambissolos Dútricos | 11,17% | 2,07% | 0,00% | 0,00% | 6,49% |
| Fluviolos Calcários | 0,58% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,30% |
| Fluviolos Dútricos | 0,47% | 0,22% | 0,48% | 5,89% | 0,42% |
| Leptossolos Úmbricos | 47,89% | 39,86% | 34,71% | 0,00% | 43,14% |
| Leptossolos Dútricos | 8,29% | 13,15% | 63,04% | 94,11% | 15,98% |
| Leptossolos Êutricos | 8,60% | 0,05% | 0,00% | 0,00% | 4,39% |
| Leptossolos Líticos | 11,27% | 20,48% | 0,00% | 0,00% | 13,73% |
| Luviolos Crômicos | 3,83% | 0,59% | 0,00% | 0,00% | 2,18% |
| Urbano | 0,52% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,26% |

4.1.5. Tipos hidrológicos de solo

Os cálculos realizados incluíram a classificação de cada tipo de solo pedológico, atribuindo a cada um deles uma classe de tipo hidrológico (*B*, *C* ou *D*) com base em suas características relacionadas ao escoamento superficial. A classificação *A* não foi utilizada, uma vez que o estudo de referência (Okada, 2019) considera quatro tipos de solo, mas este não está presente na bacia principal do rio Sabor.

Ao cruzar esses dados de pedologia com os tipos hidrológicos de solo, foi atribuído um valor de *N*, conforme classificação, (Tabela 24 do Anexo I) para cada tipo de solo, e então foram calculadas as porcentagens de cada composição em termos de área das subbacias e da bacia principal, conforme mostrado na Tabela 5.

O tipo de solo hidrológico classificado como *C* demonstrou ser predominante, cobrindo aproximadamente 49,63% da área total da bacia principal do rio Sabor. Em seguida, o tipo *D* abrange cerca de 38,75% da área, seguido pelo tipo *B*, com uma cobertura de 11,61%. A distribuição desses tipos de solo nas subbacias e na bacia principal do rio Sabor está detalhada na Tabela 5. O mapa da distribuição dos solos está evidenciado na Figura 14.

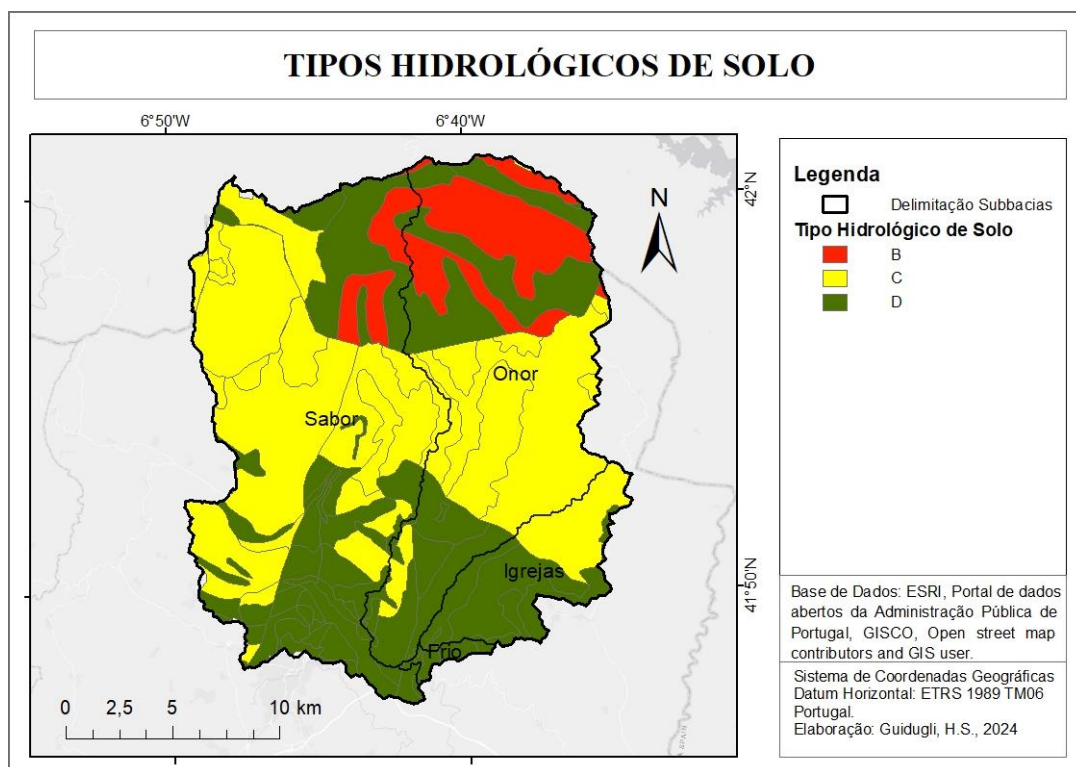


Figura 14. Distribuição dos tipos de solo na bacia principal do Alto Sabor. Fonte: autoria própria (2024).

Tabela 5. Porcentagens de área coberta por cada tipo de solo nas subbacias e na bacia principal.

| Classificação Pedológica | Classificação tipo hidrológico | Porcentagem de área | | | | |
|--|--------------------------------------|---------------------|---------------|--------------|--------------|----------------|
| | | Sabor | Onor | Igreja s | Frio | BH Sabor |
| Alissolos Háplicos | D | 1,17% | 0,34% | 0,00% | 0,00% | 1,51% |
| Cambissolos Úmbricos | B | 2,58% | 8,87% | 0,17% | 0,00% | 11,62% |
| Cambissolos Dístricos | C | 5,68% | 0,81% | 0,00% | 0,00% | 6,49% |
| Fluvisolos Dístricos e Calcários | D | 0,53% | 0,09% | 0,04% | 0,05% | 0,71% |
| Leptossolos Úmbricos | C | 24,33% | 15,57% | 3,24% | 0,00% | 43,14% |
| Leptossolos Dístrico, Êútricos e Líticos | D | 14,31% | 13,15% | 5,88% | 0,75% | 34,10% |
| Luvissolos Crômicos | D | 1,95% | 0,23% | 0,00% | 0,00% | 2,18% |
| Urbano | D | 0,26% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,26% |
| | Soma | 50,82% | 39,05% | 9,33% | 0,79% | 100,00% |

4.2. Séries históricas e dados hidrométricos: variabilidade e tendência temporais

4.2.1. Extremos anuais de caudal

A disponibilidade dos dados de caudal foi limitada. O período de coincidência foi razoável, cerca de 20 anos, e houve poucas interrupções. Uma das dificuldades encontradas foi a limitação temporal dos dados, pois apenas médias diárias e máximos anuais estavam disponíveis. Esse tipo de informação resulta na perda de detalhe, já que eventos de pico instantâneo podem não ser capturados nos registros. Por exemplo, em um dia com uma certa média de caudal pode ter ocorrido um pico instantâneo horário 1,6 vezes maior que a média, o qual não fica explicitamente registrado na base de dados.

Na , os resultados estatísticos para os dados de média diária máxima (nos dias que coincidem com máximos instantâneos anuais) da estação de Gimonde são apresentados na coluna esquerda, enquanto os valores para os dados de máximo instantâneo anual são exibidos na coluna da direita.

Tabela 6. Estatísticas para a estação hidrométrica de Gimonde.

| Gimonde - caudal (Q_p - m³/s) | | |
|--|---------------------|---------------------------------|
| Estatística | Média diária | Máxima instantânea anual |
| n | 20 | 20 |
| Média | 69,76 | 291,17 |
| Desvio Padrão | 55,27 | 257,09 |
| Coefficiente de Variação | 79,22% | 88,30% |
| Assimetria | 123,57% | 150,98% |
| Máximo | 221 | 1061 |
| Mínimo | 12 | 21 |

As distribuições de Gumbel Eq. 18 foram utilizadas para analisar as médias diárias de caudal nos dias em que coincidiam com os picos máximos anuais, os quais representam o valor máximo registrado durante um ano hidrológico, correspondendo à maior média observada nesse período. Na Tabela 7 se tem os valores de caudal máximo, tanto para a série de média diária quanto para a de máximos instantâneos anuais para cada período de retorno. As Tabela 18 e Tabela 19 evidenciam os valores observados e os compara com os valores estimados.

Tabela 7. Valores de caudal máximo anual e médio diário para a estação de Gimonde (distribuição de Gumbel).

| Gimonde | | |
|-----------------------------------|--|--|
| Períodos de retorno (anos) | Caudal médio diário (m³/s) | Caudal máximo anual (m³/s) |
| 2,33 | 69,82 | 291,45 |
| 10 | 141,86 | 626,56 |
| 25 | 182,72 | 816,62 |
| 50 | 213,03 | 957,62 |
| 100 | 243,12 | 1097,58 |
| 200 | 273,09 | 1237,03 |

Na Figura 15, tem-se o gráfico que foi plotado com os resultados da distribuição de Gumbel e foi traçado uma linha de tendência com coeficiente linear, cujo valor encontrado foi de 0,2225, e um R² de 0,9986. Devido ao alto valor de R², pode-se afirmar

que há alta correlação entre os valores das médias diárias e que os máximos valores das médias diárias correspondem em torno de 22% do valor do pico anual.

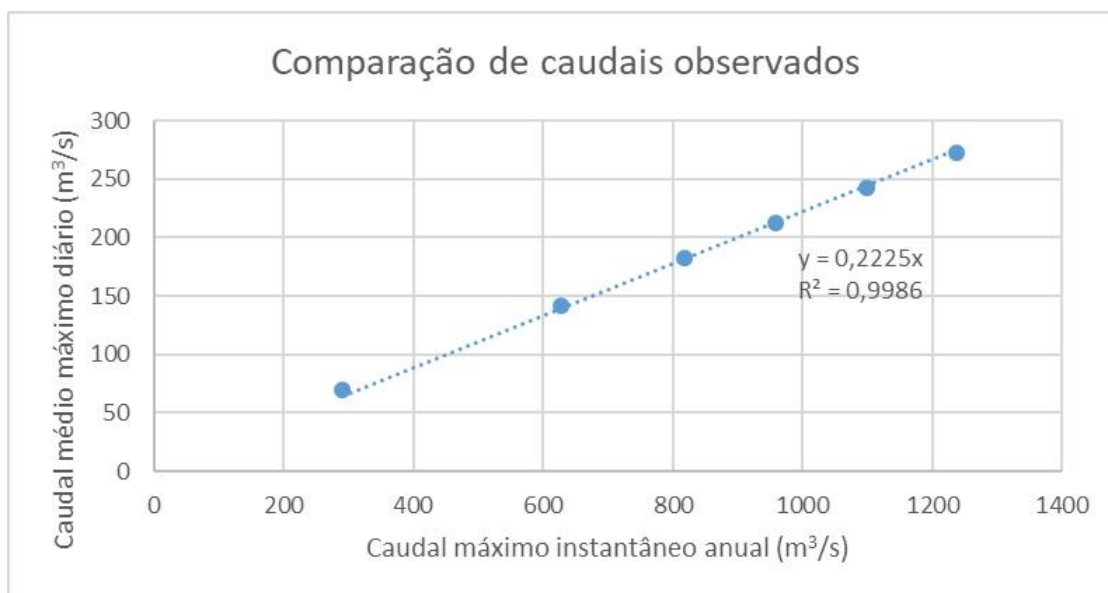


Figura 15. Comparação de caudais para os períodos de retorno de 2,33, 10, 25, 50, 100 e 200 anos.

Fonte: autoria própria (2024).

Destaca-se a relevância do caudal médio máximo diário no dia do pico instantâneo, que representa aproximadamente 22% do pico anual, se assemelhando à proporção do caudal médio em relação ao caudal de ponta no hidrograma adimensional adotado pelo *SCS* para descrever o escoamento direto após uma precipitação.

4.2.2. Extremos anuais de precipitação

Os dados de precipitação foram coletados em intervalos horários durante o período de 2003 a 2023, nas estações de Montezinho, Rio Onor, Deilão e Samil. Embora algumas estações tenham apresentado falhas ao longo do período, a estação de Samil mostrou uma inconsistência significativa, exigindo a aplicação de técnicas estatísticas para a estimativa de valores em falta. Optou-se por essa abordagem em vez da exclusão dos dados, dada a importância da estação de Samil na representação precisa da distribuição de chuvas na subbacia do rio Sabor, devido ao gradiente climático presente.

Aplicando os mesmos métodos descritos na seção anterior, foram geradas as tabelas de estatísticas e de precipitação estimada, calculadas utilizando o método de Chow e a distribuição de Gumbel. O resultado consiste em tabelas contendo os valores de precipitação para os diferentes períodos de retorno e durações de precipitação, conforme ilustrado na Tabela 8. Aqui estão os resultados para a estação meteorológica Rio Onor:

Tabela 8. Resultados de precipitação máxima de Rio Onor após aplicação da distribuição de Gumbel.

| Precipitação máximo - Rio Onor (02R/01UG) | | | | | |
|--|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Período de retorno (anos) | P1h | P3h | P6h | P12h | P24h |
| 2,33 | 11,3 | 19, | 27,2 | 38,0 | 48,3 |
| 10 | 21,0 | 32,4 | 45,7 | 62,2 | 76,9 |
| 25 | 26,4 | 39,7 | 56,2 | 75,9 | 93,2 |
| 50 | 30,5 | 45,1 | 64,0 | 86,1 | 105,2 |
| 100 | 34,5 | 50,4 | 71,7 | 96,2 | 117,2 |
| 200 | 38,5 | 55,7 | 79,4 | 106,3 | 129,1 |

A partir dessas tabelas foram gerados gráficos individuais para cada estação, como exemplificado a seguir na Figura 16. Nele estão representadas as curvas de possibilidade udométrica da estação Rio Onor (02R/01UG) para cada período de retorno e para as durações de precipitação.

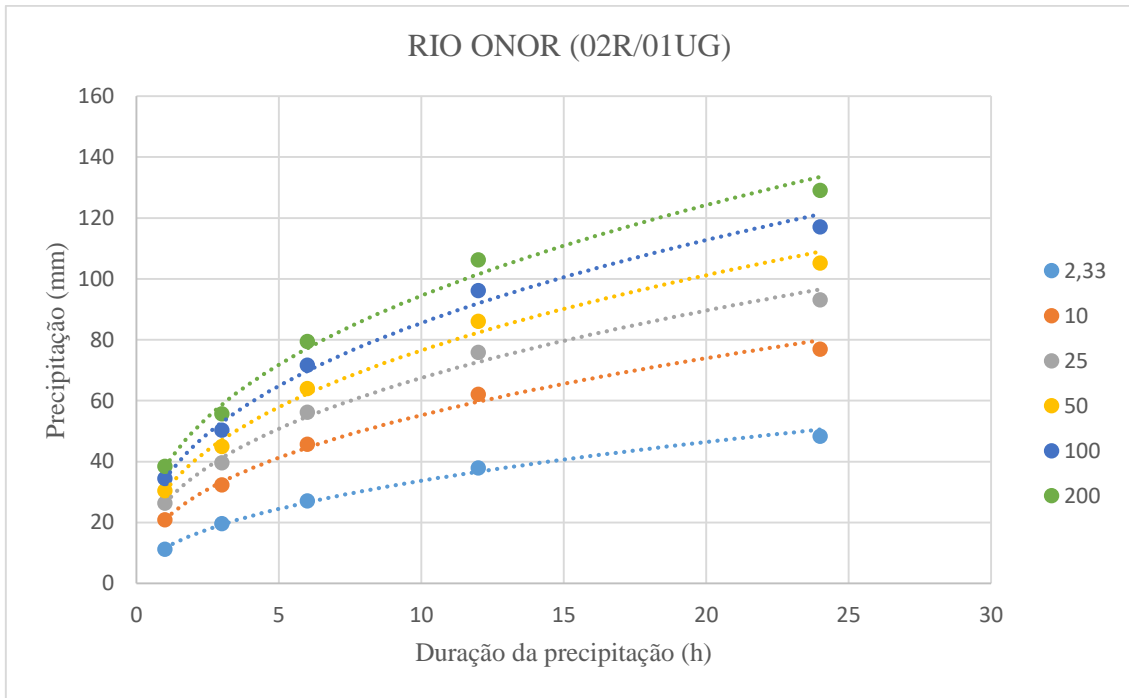


Figura 16. Curvas de possibilidade udométrica para cada período de retorno para Rio Onor.

Fonte: autoria própria (2024).

O *software* ainda permite mostrar a linha de tendência e sua equação, de forma a se obter os coeficientes a e b da reta (Eq. 19) e o R^2 . O mesmo procedimento foi aplicado para as outras estações meteorológicas, para se obter as equações de possibilidade udométrica em função do tempo (h), para cada período de retorno, como mostra a Tabela 9.

A Eq. 19 mostra o formato das retas de possibilidade udométrica nas estações meteorológicas:

$$P(h) = a * h^b$$

Eq. 19

A Eq. 20 é a equação da reta obtido para Rio Onor em um período de retorno de 100 anos, onde o coeficiente a é igual a 18,771 e o coeficiente b é igual a 0,5518.:

$$P(h) = 18,771 * h^{0,5518}$$

Eq. 20

Realizando este procedimento para todas as estações e todos os períodos de retorno, obteve-se os coeficientes listados na Tabela 9:

Tabela 9. Coeficientes a e b das curvas de possibilidade udométrica das estações meteorológicas.

| Período de retorno (anos) | Estações meteorológicas | | | |
|---------------------------|-------------------------|----------|--------|--------|
| | Montezinho | Rio Onor | Deilão | Samil |
| | a | | | |
| 2,33 | 7,8314 | 11,624 | 13,678 | 13,246 |
| 10 | 12,375 | 20,993 | 25,035 | 25,788 |
| 25 | 14,955 | 26,304 | 31,542 | 32,888 |
| 50 | 16,87 | 30,244 | 36,386 | 38,154 |
| 100 | 18,771 | 34,154 | 41,203 | 43,379 |
| 200 | 20,665 | 38,049 | 46,009 | 48,585 |
| | b | | | |
| 2,33 | 0,592 | 0,4624 | 0,3903 | 0,3594 |
| 10 | 0,5673 | 0,4203 | 0,3104 | 0,3247 |
| 25 | 0,5596 | 0,4091 | 0,2867 | 0,3165 |
| 50 | 0,5553 | 0,4032 | 0,2738 | 0,3123 |
| 100 | 0,5518 | 0,3986 | 0,2636 | 0,3092 |
| 200 | 0,5489 | 0,395 | 0,2553 | 0,3067 |

4.3. Valores estimados de precipitação e caudal de cheia

Com os dados observados e as equações derivadas por meio da análise estatística desses dados, foi viável calcular variáveis que permitem a obtenção do caudal de pico estimado de uma bacia com base nos valores de precipitação. Essa estimativa foi realizada por meio da aplicação do método *SCS*, que requer a determinação de alguns parâmetros a serem incorporados em sua equação, como o tempo de crescimento (t_p) e a precipitação útil (h_u).

Os valores apresentados nas tabelas desta seção, como precipitação útil (h_u), precipitação média (h) e caudais (Q), podem variar conforme o período de retorno considerado. Em alguns casos, foram mostrados apenas para o período de retorno de 100 anos, a menos que especificado para diferentes cenários.

4.3.1. Número de escoamento (N) e condições de solo

O cálculo do número de escoamento (N) é crucial para determinar as perdas iniciais da chuva (h_0), conforme apresentado nas Eq. 3 e Eq. 4. A partir desse valor, é possível obter a precipitação útil (h_u), como indicado pela Eq. 2.

O N foi computado para as quatro subbacias e para a bacia principal do Alto Sabor, considerando a ponderação entre os valores dos tipos de solo hidrológico e o uso e ocupação do solo na área de estudo. Além disso, foram consideradas duas condições de umidade do solo, conforme detalhado na metodologia deste estudo. Cada tipo de solo hidrológico (B, C ou D – Tabela 10) recebeu um valor de N para cada classificação da COS 2015 de uso e ocupação do solo, conforme valores da Tabela 24 do Anexo I, adaptada de Moreira (2017). Esses valores foram multiplicados pelos respectivos percentuais de composição da área em relação ao uso e ocupação do solo (Tabela 10), resultando em um valor para cada tipo de solo. A soma desses valores proporcionou o valor médio de N para as subbacias individuais e para a bacia principal (Tabela 11). Por exemplo, a bacia do rio Frio possui composição exclusiva de solo do tipo D, distribuindo 100% para o tipo D e zero para os tipos B e C. Já as outras subbacias possuem uma composição variada em termos de tipos de solo hidrológico, como evidenciado na Tabela 10.

Tabela 10. Composição do tipo de solo hidrológico de cada subbacia, em porcentagens de área.

| Tipo de Solo | Subbacia | | | | BH |
|--------------|-----------|----------|-------------|----------|--------|
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| B | 5,08% | 22,71% | 1,77% | 0,00% | 11,62% |
| C | 59,06% | 41,93% | 34,71% | 0,00% | 49,63% |
| D | 35,86% | 35,36% | 63,52% | 100,00% | 38,75% |

Os valores de N para as condições de solo AMC-III foram calculados de duas maneiras. A primeira abordagem seguiu o mesmo procedimento descrito no parágrafo anterior para as condições de AMC-II. Neste caso, foi atribuído à subbacia do Rio Frio os N de 78,55 para AMC-II e 89,84 para AMC-III. A segunda abordagem envolveu a conversão do valor do AMC-II nos números correspondentes de N , conforme demonstrado na Tabela 11 (chamados de valores inseridos). Para isso, o valor do N obtido para o AMC-II foi arredondado, uma vez que a tabela só aceita números inteiros.

Posteriormente, os valores correspondentes de N para o AMC-III (Tabela 11) foram inseridos manualmente. A subbacia do Rio Frio obteve, para os valores inseridos de N , 79 para AMC-II, que foi convertido em 91 para condições de solo em AMC-III.

Os resultados calculados e inseridos para os valores de N sob as condições de solo AMC-II e AMC-III, para todas as bacias, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Valores médios de N calculados e inseridos para cada bacia.

| | Subbacia | | | | BH |
|-------------------------|-----------|----------|-------------|----------|-------|
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| N AMC-II | 73,66 | 69,30 | 77,70 | 78,55 | 72,42 |
| N AMC-III | 86,92 | 83,42 | 88,49 | 89,84 | 85,50 |
| N AMC-II inserido | 74 | 69 | 78 | 79 | 72 |
| N AMC-III inserido | 88 | 84 | 90 | 91 | 86 |

4.3.2. Tempo de concentração e tempo para ponta

Os tempos de concentração (t_c) foram determinados utilizando as fórmulas de Giandotti (Eq. 7) e Temez (Eq. 8), resultando em médias de 8 horas para as subbacias do rio Sabor e do rio Onor, 4 horas para a subbacia do rio Igrejas e 1 hora para a subbacia do rio Frio. A bacia principal do rio Sabor apresentou um tempo de concentração de 9 horas. Esses valores foram obtidos por meio da média aritmética dos resultados das fórmulas de Giandotti e Temez, com arredondamento para o número inteiro mais próximo, conforme destacado na Tabela 12.

Como mostrado na metodologia (Eq. 6), por usar o tempo de precipitação útil (t_r) igual ao tempo de concentração (t_c), os valores de tempo para ponta (t_p) são obtidos apenas multiplicando os valores de tempo de concentração por 1,1.

Tabela 12. Valores de tempo de concentração para cada subbacia.

| Tempo de concentração | Subbacia | | | | BH |
|-----------------------------|-----------|----------|-------------|----------|-------|
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| Giandotti | 7,35 | 7,50 | 3,56 | 1,29 | 9,41 |
| Temez | 8,39 | 8,45 | 4,27 | 1,00 | 8,39 |
| t_c (h) | 8 | 8 | 4 | 1 | 9 |
| t_p (h) | 8,8 | 8,8 | 4,4 | 1,1 | 9,9 |

Onde, t_c : tempo de concentração; t_p : tempo para ponta.

4.3.3. Precipitação total, perdas iniciais e precipitação útil

O método de ponderação de Thiessen subdividiu as subbacias em áreas de influência (Figura 17), usando porcentagens dessas áreas para calcular os valores de precipitação com base na localização. A subbacia do rio Sabor, por exemplo, cuja área é 74,55% influenciada pela precipitação da estação de Montezinho, 5,98% da estação Rio Onor e 19,45% da estação de Samil. A subbacia do Alto Sabor não tem área sob influência da estação de Deilão. Cada valor de precipitação (em termos de estações), foi multiplicado pelos percentuais das áreas de cada subbacia influenciados pela estação em questão, e ao final, esses valores foram somados. Para cada subbacia, a soma das precipitações das estações que exerciam influência sobre elas forneceu o valor final médio de precipitação.

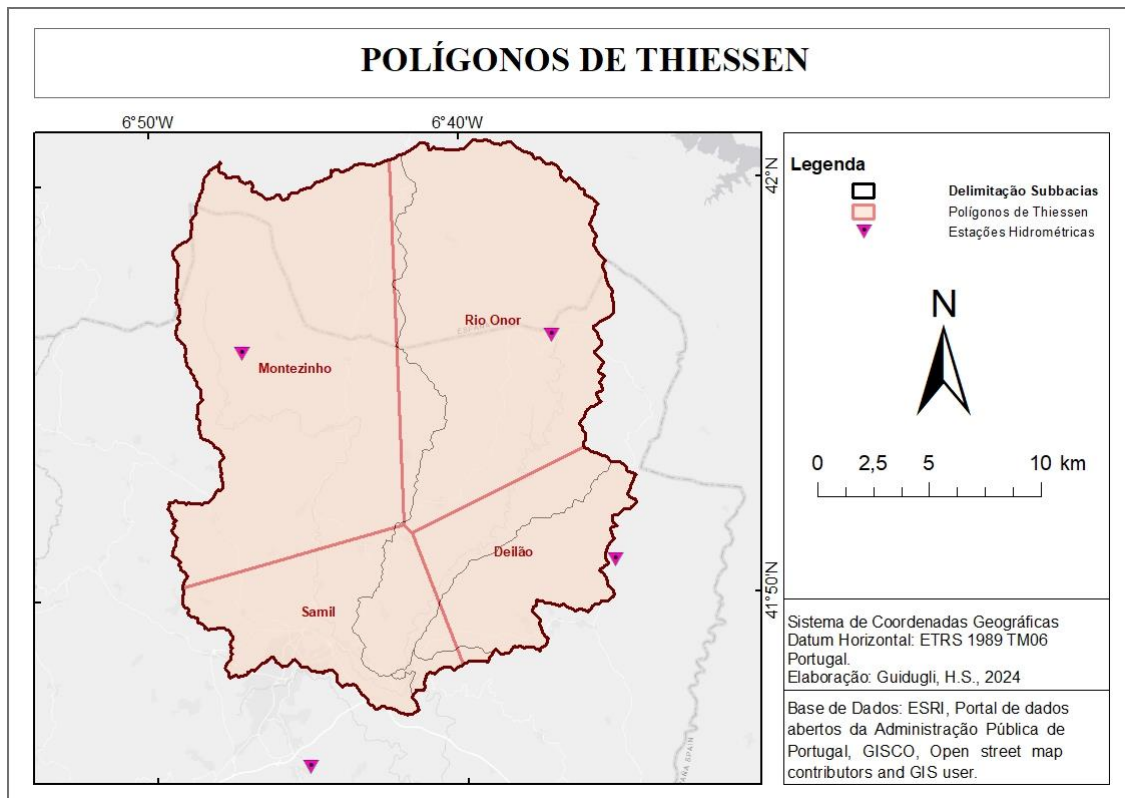


Figura 17. Identificação das áreas de ponderação, realizadas pelo método de Thiessen.

Fonte: autoria própria (2024).

A Tabela 13 exhibe os valores de precipitação de cada estação, calculados para um período de retorno de 100 anos, juntamente com as porcentagens das áreas de cada subbacia contidas em cada polígono de Thiessen, identificados pelos nomes das estações. A precipitação de cada estação é indicada por P , seguido da letra inicial de cada estação meteorológica em formato subscrito (M – Montezinho, R – Rio Onor, D – Deilão e S – Samil). Esses valores foram obtidos através da Eq. 19, com os coeficientes da Tabela 9, em que o valor de h foi o mesmo que t_c . Em outras palavras, para cada subbacia, foi utilizada uma equação com os coeficientes e t_c próprios. A última linha indica a soma dos produtos entre a porcentagem da área e a precipitação correspondente àquela área de influência.

Tabela 13. Valores para ponderação da precipitação para o período de retorno de 100 anos.

| | Subbacia | | | | BH |
|-------------------------------|-----------|----------|-------------|----------|--------|
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| A_M (%) | 74,55% | 0,04% | 0,00% | 0,00% | 36,34% |
| A_R (%) | 5,98% | 77,18% | 0,00% | 0,00% | 31,60% |
| A_D (%) | 0,00% | 13,28% | 93,75% | 25,44% | 9,49% |
| A_S (%) | 19,45% | 9,49% | 6,19% | 74,32% | 23,30% |
| P_M (mm) | 59,13 | 59,13 | 40,34 | 18,77 | 63,10 |
| P_R (mm) | 78,24 | 78,24 | 59,35 | 34,15 | 82,00 |
| P_D (mm) | 71,28 | 71,28 | 59,38 | 41,20 | 73,53 |
| P_S (mm) | 43,78 | 43,78 | 34,37 | 21,17 | 45,62 |
| P_{TOTAL} (mm) | 57,27 | 74,03 | 57,79 | 26,22 | 66,45 |

Nota, A_M: área sob influência da estação Montezinho; A_R: área sob influência da estação Rio Onor; A_D: área sob influência da estação Deilão; A_S: área sob influência da estação Samil; P_M: precipitação estimada para a estação Montezinho; P_R: precipitação estimada para a estação Rio Onor; P_D: precipitação estimada para a estação Deilão; P_S: precipitação estimada para a estação Samil; e P_{TOTAL}: precipitação ponderada entre as áreas de influência.

De posse dos valores de precipitação médio para cada subbacia, foi possível o cálculo dos valores de precipitação útil (h_u) e perdas iniciais da chuvada (h_0), como mostra a Tabela 14:

Tabela 14. Valores obtidos de precipitação útil (h_u) e de perdas iniciais (h_0) para o período de retorno de 100 anos.

| | Subbacia | | | | BH |
|--------------------------------------|-----------|----------|-------------|----------|-------|
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| h_0 AMC-II (mm) | 18,16 | 22,50 | 14,58 | 13,87 | 19,34 |
| h_0 AMC-III (mm) | 7,64 | 10,10 | 10,10 | 6,60 | 8,61 |
| h_u AMC-II (mm) | 11,78 | 16,18 | 16,08 | 1,87 | 15,43 |
| h_u AMC-III (mm) | 28,05 | 35,73 | 23,17 | 7,31 | 33,16 |

Onde, h_0 : perdas iniciais; e h_u : precipitação útil.

Finalmente, como para o cálculo do caudal de ponta só era necessário o valor de precipitação calculado, obteve-se um valor para cada período de retorno e para cada condição de solo em cada uma das subbacias. Segundo a classificação de Köppen, que diz que o inverno da região é chuvoso, e a observação dos dados temporais, notou-se que na maioria dos momentos onde houve picos de precipitação coincidiram com períodos

chuvosos (por exemplo, Figura 23), onde já havia alguma precipitação anterior, indicando condição de alta umidade dos solos (AMC-III). Portanto os valores preferencialmente escolhidos foram os obtidos para a condição indicada. A Tabela 15 evidencia os valores de precipitação útil para todos os períodos de retorno calculados com o N da condição AMC-III.

Tabela 15. Valores de precipitação útil para períodos de retorno.

| Período de retorno (anos) | Subbacia | | | | BH |
|--|-----------|----------|-------------|----------|-------|
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| Precipitação útil (h_u) (mm) – AMC-III | | | | | |
| 2,33 | 5,72 | 5,34 | 2,59 | 0,19 | 6,23 |
| 10 | 13,97 | 16,25 | 9,64 | 2,18 | 16,14 |
| 25 | 19,40 | 23,70 | 14,72 | 4,00 | 22,70 |
| 50 | 23,66 | 29,61 | 18,85 | 5,58 | 27,86 |
| 100 | 28,05 | 35,73 | 23,17 | 7,31 | 33,16 |
| 200 | 32,54 | 42,03 | 27,68 | 9,17 | 38,61 |

Estes valores de precipitação útil (h_u) retornaram os seguintes valores de precipitação (h) para os mesmos períodos de retorno (Tabela 16):

Tabela 16. Precipitação máxima diária para diferentes períodos de retorno.

| Período de retorno (anos) | Subbacia | | | | BH |
|---|-----------|----------|-------------|----------|-------|
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| Precipitação máxima diária (h) (mm) | | | | | |
| 2,33 | 25,57 | 29,4 | 22,91 | 9,23 | 28,39 |
| 10 | 38,77 | 47,98 | 37,49 | 16,25 | 44,24 |
| 25 | 46,24 | 58,50 | 45,70 | 20,26 | 53,21 |
| 50 | 51,78 | 66,30 | 51,77 | 23,25 | 59,86 |
| 100 | 57,27 | 74,03 | 57,79 | 26,22 | 66,45 |
| 200 | 62,75 | 81,74 | 63,79 | 29,18 | 73,02 |

4.3.4. Caudal de ponta

Com os valores de todas as variáveis necessárias para o cálculo do caudal de pico (Q_p) obtidos, foi possível estimar os valores para cada precipitação máxima e período de

retornos. Por meio da Eq. 1, referente ao método do SCS, e aplicando para cada período de retorno e nas condições de solo AMC-III, os caudais de pico para cada subbacia foram determinados em m³/s (Tabela 17):

Tabela 17. Caudais de ponta estimado para as subbacias por meio do método SCS.

| Período de retorno (anos) | Subbacia | | | | BH |
|---------------------------|--|----------|-------------|----------|-------|
| | Caudais de ponta (Q_p) (m ³ /s) - AMC-III | | | | |
| | Rio Sabor | Rio Onor | Rio Igrejas | Rio Frio | Sabor |
| 2,33 | 107,2 | 90,1 | 35,2 | 4,1 | 204,2 |
| 10 | 171,4 | 158,0 | 60,9 | 8,3 | 337,6 |
| 25 | 207,9 | 196,7 | 75,4 | 10,7 | 413,5 |
| 50 | 235,0 | 225,5 | 86,1 | 12,5 | 469,8 |
| 100 | 261,9 | 254,0 | 96,8 | 14,3 | 525,8 |
| 200 | 288,7 | 282,5 | 107,4 | 16,1 | 581,5 |

4.4. Comparação de valores estimados e observados

Com os valores calculados das seções 4.2 e 4.3, tornou-se possível realizar uma comparação entre os dados obtidos e os valores estimados para os caudais da estação hidrométrica de Gimonde. Este processo é crucial para validar os dados, demonstrando a confiabilidade do método utilizado. Ele evidencia que o valor calculado corresponde, pelo menos em alguma medida, ao valor registrado nas estações. Embora possa representar apenas uma parte desses valores, essa correspondência é suficientemente confiável para permitir a realização de outros cálculos. Isso significa que, ao modificar diferentes parâmetros, é possível obter pelo menos uma parte dos valores reais, proporcionando uma base sólida para análises subsequentes.

Para validar os dados, optou-se por comparar os resultados da bacia principal do Alto Sabor com os dados da estação de Gimonde. Desta forma, também foi possível realizar comparações com estudos anteriores, como o de Okada (2019), que analisa três bacias no nordeste de Portugal, incluindo uma coincidente com a bacia principal do Alto Sabor abordada neste estudo.

Os caudais de pico foram calculados para os períodos de retorno de 2,33, 10, 25, 50, 100 e 200 anos, empregando a mesma equação (Eq. 1), mas com variações em quatro abordagens distintas, tanto para AMC-II quanto para AMC-III. Essas variações incluíram:

utilizar a Eq. 3, conforme empregada por Lencastre e Franco (2006), para determinar h_0 , variando o valor de N entre o calculado e o inserido, e repetir o procedimento utilizando a equação original do SCS (Eq. 4).

4.4.1. Bacia principal do Alto Sabor

Na Tabela 18 são apresentados os valores obtidos utilizando a Eq. 1 e variando os valores de N . É perceptível que, sob as condições de solo AMC-II, os valores são, em média, apenas 10% do valor observado, enquanto para AMC-III essa proporção aumenta para cerca de 20%.

Tabela 18. Valores de caudal de pico para a estação de Gimonde, utilizando equação de (Lencastre e Franco 2006).

| Máximo anual Período de retorno (anos) | Q_p Lencastre - N calculado Observado | Q_p Lencastre - N calculado | | Q_p Lencastre - N inserido | |
|--|--|---------------------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| | | AMC-II | AMC-III | AMC-II | AMC-III |
| | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s |
| 2,33 | 291,4 | 6,6 | 53,0 | 5,9 | 56,1 |
| 10 | 626,6 | 43,4 | 137,4 | 41,4 | 142,5 |
| 25 | 816,6 | 74,8 | 193,3 | 72,1 | 199,3 |
| 50 | 957,6 | 101,9 | 237,2 | 98,6 | 243,9 |
| 100 | 1097,6 | 131,5 | 282,4 | 127,6 | 289,6 |
| 200 | 1237,0 | 163,2 | 328,8 | 158,9 | 336,5 |

Da mesma maneira, os valores de caudais estimados sobem quando calculados por meio da equação original do SCS (Eq. 4). Isto se deve ao fato de esta equação fornecer um valor menor de h_0 , e este ser denominador na equação para obtenção do caudal de pico (Q_p) (Eq. 1). Portanto, a utilização desta resulta no aumento dos valores de caudais estimados.

A Tabela 19 revela o aumento dos os valores de caudais estimados em relação aos resultados da Tabela 18, conforme descrito anteriormente. Os valores de caudais para condições AMC-II representam, em média, 45% do valor do caudal observado, enquanto para condições AMC-III essas proporções aumentam para cerca de 53%.

Tabela 19. Valores de caudal de pico para a estação de Gimonde, utilizando equação original do SCS.

| Período de retorno (anos) | Máximo anual | Q_p Original - N calculado | | Q_p Original - N inserido | |
|---------------------------|--------------|--------------------------------|---------|-------------------------------|---------|
| | Observado | AMC-II | AMC-III | AMC-II | AMC-III |
| | m^3/s | m^3/s | m^3/s | m^3/s | m^3/s |
| 2,33 | 291,4 | 165,0 | 202,8 | 163,7 | 204,1 |
| 10 | 626,5 | 293,3 | 336,1 | 291,7 | 337,6 |
| 25 | 816,6 | 367,4 | 412,0 | 365,8 | 413,5 |
| 50 | 957,6 | 422,8 | 468,3 | 421,1 | 469,8 |
| 100 | 1097,6 | 477,8 | 524,2 | 476,2 | 525,8 |
| 200 | 1237,0 | 532,9 | 579,9 | 531,2 | 581,5 |

Os dados das Tabela 18 e Tabela 19 foram representados graficamente para facilitar a observação do comportamento da variação dos caudais para os diferentes períodos de retorno e equações utilizadas. Pode-se notar que ao utilizar a mesma equação que Lencastre e Franco (2006), ou seja, a Eq. 3, tanto para os valores de N calculados quanto para os valores inseridos, a tendência dos resultados de AMC-II não acompanha os de AMC-III. Isso é evidenciado pelo coeficiente de inclinação da reta de tendência, que é aproximadamente 31 para AMC-II, enquanto para AMC-III é cerca de 53 (Figura 18 e Figura 19).

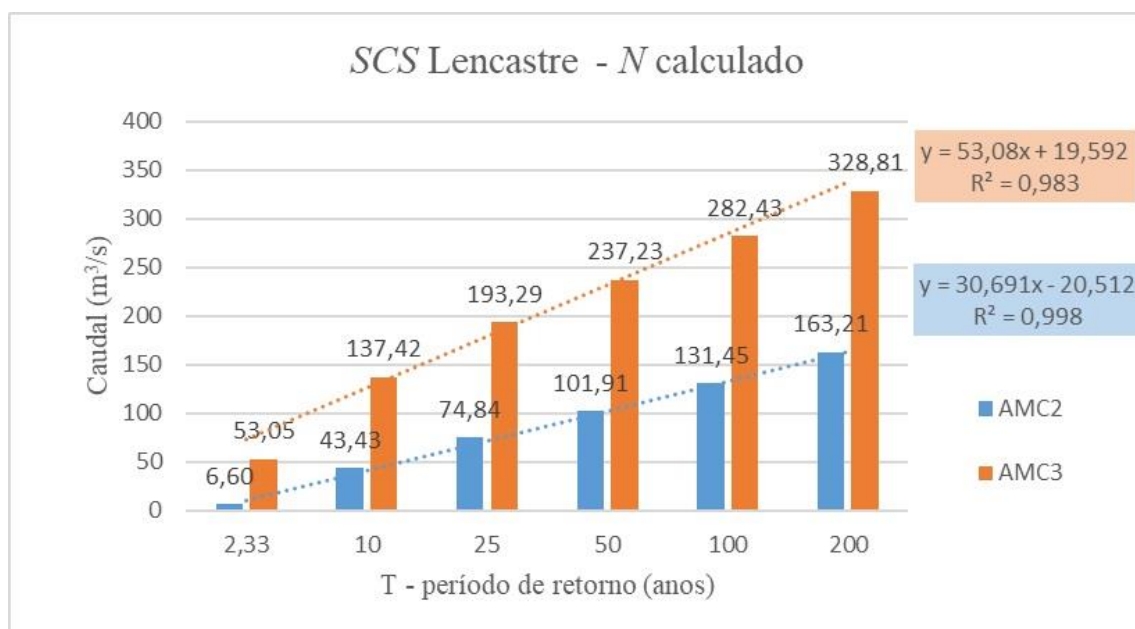


Figura 18. Valores de caudal para diferentes períodos de retorno e diferentes condições de solo (AMC-II e AMC-III), utilizando a equação 3 e N calculado.

Fonte: autoria própria (2024).

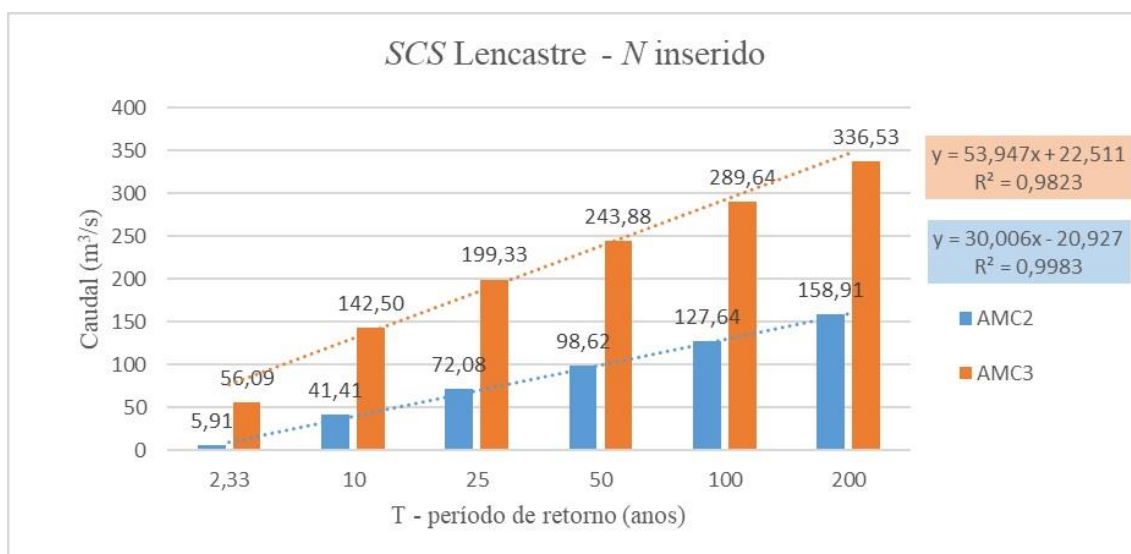


Figura 19. Valores de caudal para diferentes períodos de retorno e diferentes condições de solo (AMC-II e AMC-III), utilizando a equação 3 e N inserido.

Fonte: autoria própria (2024).

Ao utilizar a Eq. 4 é evidente que o comportamento dos valores para condições de solo AMC-II e AMC-III é mais semelhante entre si. Observa-se uma proximidade significativa nos valores dos coeficientes das retas de tendência, muito próximos de 70. Tanto nos gráficos das Figura 18 e Figura 19 quanto das Figura 20 e Figura 21, a mudança entre N calculado e N inserido não é tão marcante, principalmente pela diferença entre eles ser de poucas unidades de medida. A mudança mais significativa ocorre ao trocar a equação utilizada para os cálculos, já que há uma grande variação, proporcionalmente, dos valores de perdas iniciais (h_0) obtidos por cada uma delas. O valor obtido pela Eq. 3 retorna praticamente o dobro do valor obtido pela Eq. 4, acarretando em maiores mudanças nos valores de precipitação e, conseqüentemente, de caudal estimado.

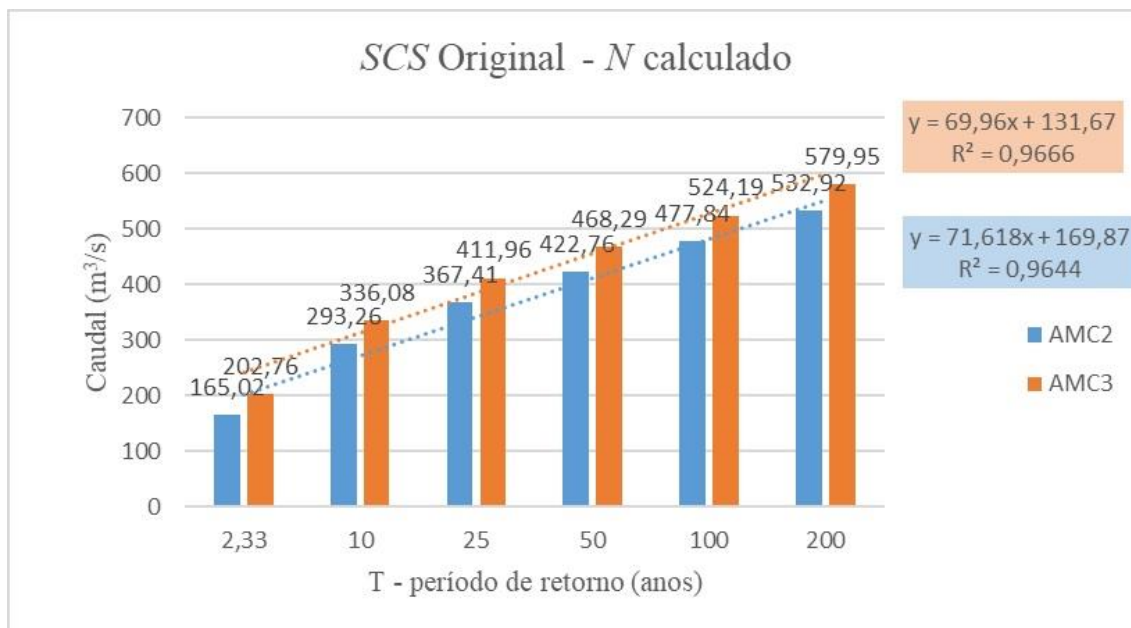


Figura 20. Valores de caudal para diferentes períodos de retorno e diferentes condições de solo (AMC-II e AMC-III), utilizando a equação 4 e N calculado.

Fonte: autoria própria (2024).

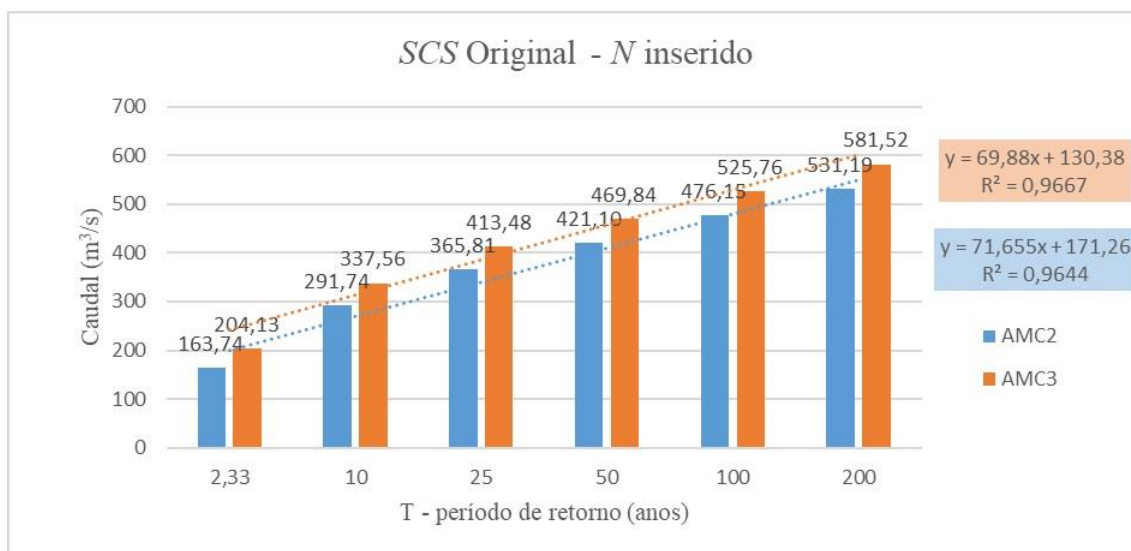


Figura 21. Valores de caudal para diferentes períodos de retorno e diferentes condições de solo (AMC-II e AMC-III), utilizando a equação 4 e N inserido.

Fonte: autoria própria (2024).

A comparação adicional com os valores apresentados no estudo de Okada (2019) acrescenta uma camada extra de validação aos dados obtidos, permitindo uma avaliação mais robusta da precisão e consistência das informações.

De acordo com os estudos do autor mencionado acima, os valores de escoamento direto se aproximam de 60% em relação aos valores de escoamento total, em geral. O escoamento direto representa aquele que é uma consequência direta da chuva, o que, neste trabalho, equivaleria aos valores de escoamento estimado, pois são calculados com base nos valores de precipitação e considerando as perdas iniciais (h_0). Por outro lado, o escoamento de base é obtido por meio da diferença entre os escoamentos direto e total. Este corresponde, neste trabalho, aos valores de escoamento observados (medidos). Portanto, o valor de 60% representa a relação desejada entre os valores estimados e os observados.

O gráfico da Figura 22 ilustra a relação entre os valores observados e os valores estimados, no qual foi traçada uma linha de tendência com intersecção indefinida, que retornou a equação $y = 0,491x$ e $R^2 = 0,9397$. Apesar de o caudal estimado representar menos dos 60% (apenas 50%), essa análise reafirma que o caudal estimado compõe uma parte do caudal observado, neste caso, 49%.

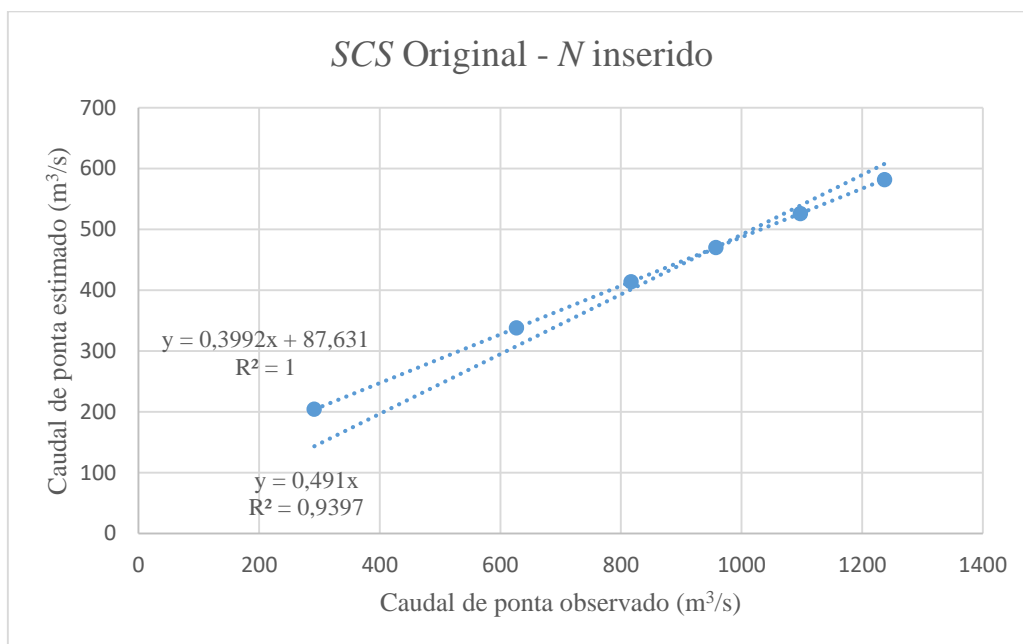


Figura 22. Relação entre o caudal de ponta observado e estimado, obtido por meio da equação original do SCS e valores inseridos de N para AMC-III.

Fonte: autoria própria (2024).

Conforme se observa na Tabela 19, os valores de Q_p estimados que mais se aproximam de 60% dos valores observados são aqueles obtidos por meio da equação original do SCS (Eq. 4), para valores inseridos de N , em condições de solo AMC-III. Isso pode ser explicado pelo fato de que as maiores precipitações ocorrem principalmente nas estações de outono ou inverno, as quais, como explicado anteriormente, registram um alto montante de precipitação para a região. Em outras palavras, as condições do solo tendem a ser mais úmidas nessas épocas, aproximando-se mais de AMC-III do que de AMC-II. Nessas condições, o solo está saturado e o caudal de base provavelmente está acima da média. Além disso, os picos de chuva tendem a ser precedidos por precipitações menores, as quais não aparecem nos dados de picos anuais, mas contribuem significativamente para o aumento dos picos de caudal observados.

O gráfico da Figura 23 ilustra esse cenário para a estação de Montezinho, representando um período que envolve a data do pico máximo anual de 15,20 mm, registrado em 25/10/2006, incluindo alguns dias antes e depois dessa data. É possível observar que antes do pico, ocorreram pequenas precipitações durante alguns dias, e outras em algumas horas prévias ao pico.

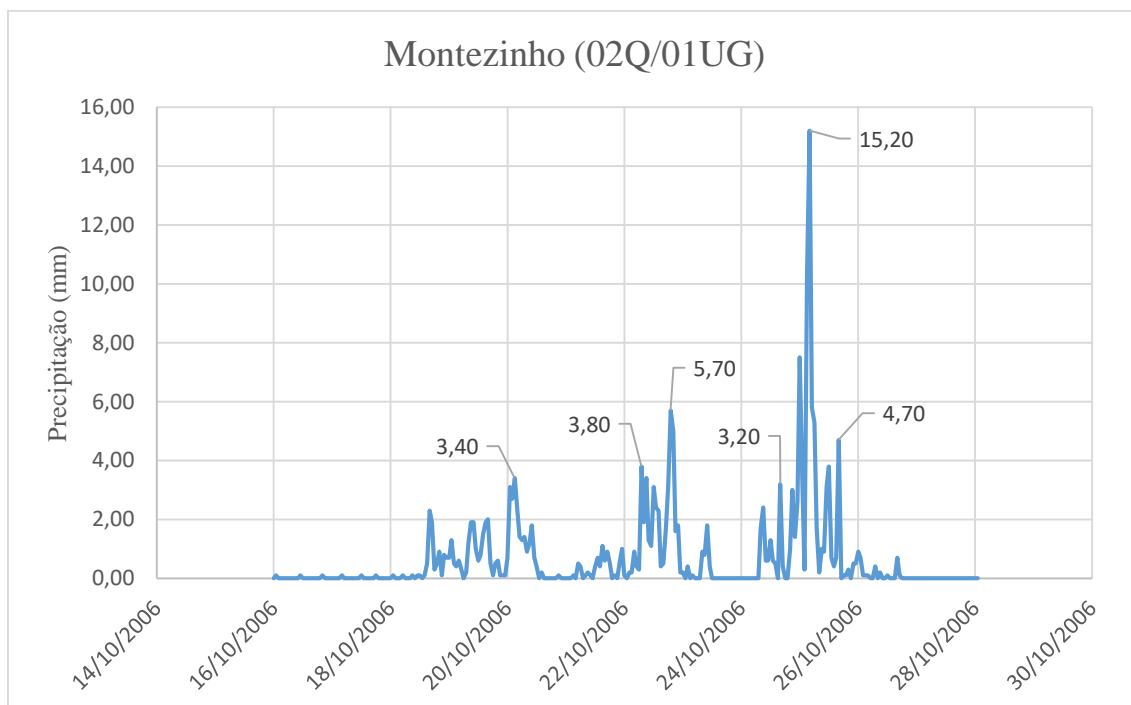


Figura 23. Precipitação horária registrada na estação meteorológica de Montezinho.

Fonte: autoria própria (2024).

4.4.2. Subbacias

Após validar os dados para a bacia principal do Alto Sabor, definiu-se a condição de solo AMC-III como a mais adequada para as análises subsequentes, utilizando a equação original do SCS para os cálculos, e assim avançou-se para a análise das subbacias. Os mesmos cálculos foram realizados para cada uma delas, visando obter os valores de caudal de cada subbacia e possibilitar comparações entre elas.

Os valores de caudal de pico estimados para cada subbacia foram convertidos em diferentes unidades para permitir diversas representações. Por exemplo, ao dividir o caudal estimado em uma subbacia pela respectiva área, obtém-se o valor da contribuição daquela subbacia por unidade de área, ou seja, a quantidade de caudal gerado pela subbacia em relação à sua extensão territorial. Essa abordagem possibilita comparações proporcionais entre subbacias de diferentes tamanhos, como a do rio Frio, em relação a subbacias maiores.

Além disso, foi calculado o coeficiente de escoamento de cada subbacia, que indica o valor de caudal gerado por unidade de precipitação que atingiu aquela bacia. Esse coeficiente revela a capacidade de retenção de precipitação de uma bacia, ou seja, a habilidade de retardar a resposta de caudal à medida que é impactada pela precipitação.

Os valores de caudal de pico (Q_p) para o período de retorno de 100 anos foram aproximadamente 261,87 m³/s para a subbacia do Alto Sabor, 253,98 m³/s para a subbacia do Onor, 96,76 m³/s para a subbacia do Igrejas e 14,30 m³/s para a subbacia do Frio. Foi observado que a classificação dos valores de caudal de pico seguiu a mesma ordem dos valores de área, ou seja, a maior subbacia apresentou o maior caudal, a segunda maior subbacia apresentou o segundo maior caudal, e assim por diante. A Tabela 20 mostra os valores de caudal para as subbacias em todos os períodos de retorno, com a soma dos caudais em uma coluna adicional.

Tabela 20. Valores de caudal para as subbacias para diversos períodos de retorno.

| Q_p AMC-III (m ³ /s) | Subbacias | | | | |
|-----------------------------------|-----------|-------|---------|------|-------|
| | Sabor | Onor | Igrejas | Frio | Soma |
| 2,33 | 107,3 | 90,1 | 35,2 | 4,1 | 236,6 |
| 10 | 171,4 | 158,0 | 60,9 | 8,3 | 398,5 |
| 25 | 207,9 | 196,8 | 75,4 | 10,7 | 490,7 |
| 50 | 235,0 | 225,5 | 86,1 | 12,5 | 559,1 |
| 100 | 261,9 | 254,0 | 96,8 | 14,3 | 626,9 |
| 200 | 288,7 | 282,5 | 107,4 | 16,1 | 694,6 |

Após análise desses valores, destaca-se uma descoberta significativa em relação à soma dos caudais. Verificou-se que o total se aproxima ainda mais dos 60% desejados (57% para T = 100 anos) em comparação com o valor observado, conforme evidenciado nos resultados da Tabela 19. Essa constatação é crucial, pois sugere uma possibilidade promissora para a aplicação em cálculos de outras estimativas futuras. Além disso, observou-se também as proporções dos caudais de cada subbacia em relação ao escoamento total (soma), sendo elas, respectivamente, 42,5%, 39,9%, 15,6% e 1,9%.

A conversão dos valores de caudal para outras unidades proporcionou novas perspectivas. A contribuição por unidade de área (Q_p/A) alterou as classificações de cada subbacia, sendo que a menor (rio Frio) apresentou a maior contribuição, com 4424,12 L/s/km², quase o dobro da segunda subbacia de maior contribuição, a do Igrejas, com 2575,17 L/s/km². A do rio Onor aparece como a terceira maior contribuição (1617,65 L/s/km²), seguida pela do rio Sabor com 1258,73 L/s/km². As unidades de volume foram convertidas de metros cúbicos (m³) para litros (L) para facilitar a observação do valor final e possibilitar uma melhor comparação em termos de grandeza.

Já a representação dos caudais em unidades equivalentes às de precipitação, ou seja, em milímetros, indica a altura que a água alcançaria na bacia em questão se fosse distribuída uniformemente pela sua área. Nesse caso, a subbacia do Onor destaca-se com o valor de 51,25 mm, seguida pela do Igrejas e do Alto Sabor (praticamente iguais) com 40,8 mm e 39,9 mm, respectivamente, e por último a do Frio com 17,5 mm. Isso sugere que a subbacia do Onor possui a maior quantidade de água sendo escoada em relação à sua área.

Finalmente, ao converter os valores de caudal de pico em coeficiente de escoamento (Q_p/P), os resultados representam a parte da precipitação que é efetivamente

transformada em escoamento. Em outras palavras, a parcela da chuva que se converte em vazão para cada subbacia. É relevante destacar que o cálculo para cada subbacia levou em consideração diferentes parâmetros, pois cada uma delas possuía valores próprios de precipitação, de N e tempo de concentração (t_c), devido às suas características particulares como bacias hidrográficas.

As subbacias do Alto Sabor, Onor e Igrejas apresentaram valores de coeficiente de escoamento muito próximos, sendo eles 69,62%, 69,23% e 70,58%, respectivamente. Isso sugere uma consistência nos processos de escoamento nessas áreas, refletindo possivelmente em características semelhantes do solo e da topografia. Por outro lado, a subbacia do Frio registrou um coeficiente de escoamento ligeiramente menor, de 66,83%. Isso pode indicar diferenças significativas nas propriedades do solo, na cobertura vegetal ou na morfologia da bacia, que influenciam na resposta hidrológica frente às precipitações. Na Tabela 21 tem-se os resultados para todos os períodos de retorno.

Tabela 21. Valores de caudal expresso em diferentes unidades para todos os períodos de retorno.

| AMC-III | Subbacias | | | | |
|---------|---------------------------|----------------------------------|--------|---------|--------|
| | Período de retorno (anos) | Sabor | Onor | Igrejas | Frio |
| | | Q_p / A (L/s/km ²) | | | |
| | 2,33 | 515,4 | 573,6 | 936,7 | 1279,5 |
| | 10 | 823,7 | 1006,4 | 1619,7 | 2564,2 |
| | 25 | 999,3 | 1252,9 | 2005,5 | 3310,6 |
| | 50 | 1129,5 | 1436,0 | 2291,5 | 3868,4 |
| | 100 | 1258,7 | 1617,7 | 2575,2 | 4424,1 |
| | 200 | 1387,5 | 1799,0 | 2857,8 | 4979,5 |
| | | Q_p (mm) | | | |
| | 2,33 | 16,3 | 18,2 | 14,8 | 5,1 |
| | 10 | 26,1 | 31,9 | 25,7 | 10,2 |
| | 25 | 31,7 | 39,7 | 31,8 | 13,1 |
| | 50 | 35,8 | 45,5 | 36,3 | 15,3 |
| | 100 | 39,9 | 51,3 | 40,8 | 17,5 |
| | 200 | 44,0 | 57,0 | 45,3 | 19,7 |
| | | Q_p / P | | | |
| | 2,33 | 0,64 | 0,62 | 0,65 | 0,55 |
| | 10 | 0,67 | 0,66 | 0,68 | 0,63 |
| | 25 | 0,68 | 0,68 | 0,70 | 0,65 |
| | 50 | 0,69 | 0,69 | 0,70 | 0,66 |
| | 100 | 0,70 | 0,69 | 0,71 | 0,67 |
| | 200 | 0,70 | 0,70 | 0,71 | 0,68 |

4.4.3. Matriz de correlação

Utilizando um software dotado de uma ferramenta de análise de dados, foi elaborada uma matriz de correlação que inclui os dados físicos e geométricos das bacias, bem como suas relações com os dados estimados de vazão e suas unidades de medida transformadas, como em termos de área, milímetros de lâmina d'água e coeficiente de escoamento. Essa matriz contemplou as quatro subbacias e a bacia principal do rio Sabor, englobando suas características físicas e os resultados das estimativas para cada uma delas. O cálculo das estimativas foi feito apenas para o período de retorno de 100 anos e para a situação de N relativa às condições de solo AMC-III, com os tempos de concentração descritos na seção 4.3.2., onde o resultado final é a média dos valores obtidos pelas equações de Giandotti (Eq. 7) e Temez (Eq. 8).

O resultado das correlações foi apresentado como o coeficiente de correlação de Pearson, representado pela letra r , que varia de -1 a 1. Quando r é igual a 1, indica uma correlação perfeita e positiva entre duas variáveis. Por outro lado, quando r é igual a -1, representa uma correlação perfeita e negativa entre as duas variáveis, o que significa que enquanto uma aumenta, a outra diminui. À medida que o valor de r se aproxima de 1, a correlação se torna cada vez mais perfeita.

O tempo de concentração (t_c) apresentou os maiores índices de correlação com o comprimento da linha d'água principal (L_r) ($r = 0,992$) e o comprimento axial da bacia (L_b) ($r = 0,996$). Isso sugere que à medida que essas medidas aumentam, o tempo de concentração da bacia também aumenta, o que é coerente, pois o percurso percorrido pela água aumenta com o aumento deste comprimento.

O caudal de pico (Q_p) demonstrou correlações significativas com o perímetro (P), área (A), comprimento total de linhas d'água (L_t) e largura média da bacia (L_m), com valores de r iguais a 0,983, 0,994, 0,996 e 0,991, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo fato de que esses fatores estão diretamente relacionados à capacidade de drenagem de uma bacia hidrográfica, aumentando o caudal devido à maior coleta de água implicando em uma área de recepção maior.

Por outro lado, a contribuição de caudal por unidade de área (Q_p / A) apresentou maior correlação com as medidas de altitude (\bar{Z}) e altura médias (\bar{H}), comprimento da linha d'água principal (L_r), distância da nascente e comprimento axial da bacia (L_b), onde os valores de r foram, respectivamente: -0,967, -0,974, -0,984, -0,992, -0,992, -0,987. Os

coeficientes negativos indicam que a redução das medidas de \bar{Z} , \bar{H} , L_r e L_b resultaria em um aumento na contribuição por área, uma vez que está isolando o caudal pela área.

O coeficiente de escoamento mostrou alta correlação com os mesmos parâmetros da contribuição de caudal por unidade de área, porém com um valor ligeiramente menor.

No Anexo II encontra-se a tabela de correlação com os dados mencionados acima. Ao analisar os valores mencionados e os da tabela, pode-se associar a variação da resposta de caudal com maior correlação às mudanças geométricas de uma bacia, em vez das mudanças nos parâmetros de cálculo, como as variáveis obtidas neste estudo.

Apesar de serem menores, essas correlações não podem ser descartadas, pois algumas delas, como o N , apresentam coeficientes de correlação ainda relativamente altos, superiores a 0,8 no caso da correlação com o caudal de pico (Q_p).

4.5. Simulação

Nesta seção são apresentados os resultados das variações no uso e ocupação do solo e na precipitação, bem como seus efeitos na resposta do caudal de pico para a bacia geral do Alto Sabor.

4.5.1. Uso e ocupação do solo

Conforme descrito na metodologia deste estudo e na seção 4.3.1, o número de escoamento utilizado na equação de estimativa do caudal da bacia foi um valor inteiro arredondado com base no cruzamento das informações de uso e ocupação do solo com os tipos hidrológicos de solo.

No cenário 1, denominado conservador, as variações não ultrapassaram as casas decimais, tanto para as de 10% quanto para as de 20%. Nessas circunstâncias, as alterações não foram suficientes para modificar o valor inteiro de N . Portanto, os valores dos caudais de pico, calculados com mudanças no uso do solo, não apresentaram diferenças no valor final.

No cenário 2, as mudanças resultaram em um incremento de uma unidade no valor de N , o que gerou diferenças no caudal de pico estimado.

Já para o terceiro cenário, considerado de abandono, as variações no uso do solo também não foram suficientes para alterar o valor médio de N .

Os detalhes das variações com as casas decimais para AMC-II estão apresentados na Tabela 22, enquanto para AMC-III, os valores foram convertidos a partir do inteiro mais próximo de AMC-II, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 22. Mudanças no valor de N para os diferentes cenários na bacia geral do Alto Sabor.

| Bacia geral do Alto Sabor | | | | | |
|----------------------------------|----------------|--------------------|------------------------|-----------------|-------------------------|
| N original | | Conservador | Não conservador | Abandono | Variações de uso |
| 72,48 | AMC-II | 72,12 | 72,68 | 72,14 | 10% |
| 86 | AMC-III | 86 | 87 | 86 | |
| 72,48 | AMC-II | 71,76 | 72,87 | 71,80 | 20% |
| 86 | AMC-III | 86 | 87 | 86 | |

Com as mudanças do cenário não conservador aplicadas, as diferenças do caudal de pico estimadas ficaram entre 2,5 e 3,2 m^3/s , correspondendo a variações de 1,3 e 0,5% do valor final. A Tabela 23 mostra os resultados de caudal de pico obtidos para os diferentes períodos de retorno na bacia geral do Alto Sabor.

Tabela 23. Mudanças no caudal de pico estimado para as mudanças no uso e ocupação do solo do cenário não conservador.

| Bacia geral do Alto Sabor | | |
|----------------------------------|--|------------------------------------|
| | Q_p AMC-III (m^3/s) | |
| Período de retorno | N original | Cenário 2 - Não conservador |
| 2,33 | 204,13 | 206,91 |
| 10 | 337,56 | 340,56 |
| 25 | 413,48 | 416,56 |
| 50 | 469,84 | 472,95 |
| 100 | 525,76 | 528,90 |
| 200 | 581,52 | 584,70 |

Nas subbacias, as variações no número de escoamento seguiram a mesma ordem de magnitude da bacia geral do Alto Sabor. No entanto, dado que essas subbacias representam apenas uma fração do valor do caudal de pico da bacia geral do Alto Sabor,

as mudanças no número de escoamento não resultaram em alterações significativas no caudal de pico estimado.

4.5.2. Precipitação

Para a precipitação foram definidas variações positivas de 10% nos valores médios de cada estação hidrométrica, uma por vez, e também na média ponderada já existente para a bacia geral do Alto Sabor. Isso significa que os valores estimados do caudal de pico foram obtidos tanto para o caso de aumento da precipitação em toda a bacia geral do Alto Sabor (em todas as quatro estações hidrométricas) quanto para o caso de aumento em apenas uma delas.

Para justificar esse aumento percentual foi obtida a equação da linha de tendência que melhor descreve o comportamento (com o melhor R^2), que no caso foi a curva logarítmica ($R^2 = 0,999$), através de software de planilhas eletrônicas. Por meio desta equação foi possível obter os novos períodos de retorno necessários para alcançar esses novos valores do caudal de pico. Em outras palavras, foi calculada a probabilidade de que esse caudal fosse atingido com base nos valores obtidos através dos dados observados. Os resultados dos caudais de pico estimados para as novas precipitações, para a bacia geral do Alto Sabor, com as linhas de tendência e a equação da curva logarítmica para os dados originais estão apresentadas na Figura 24.

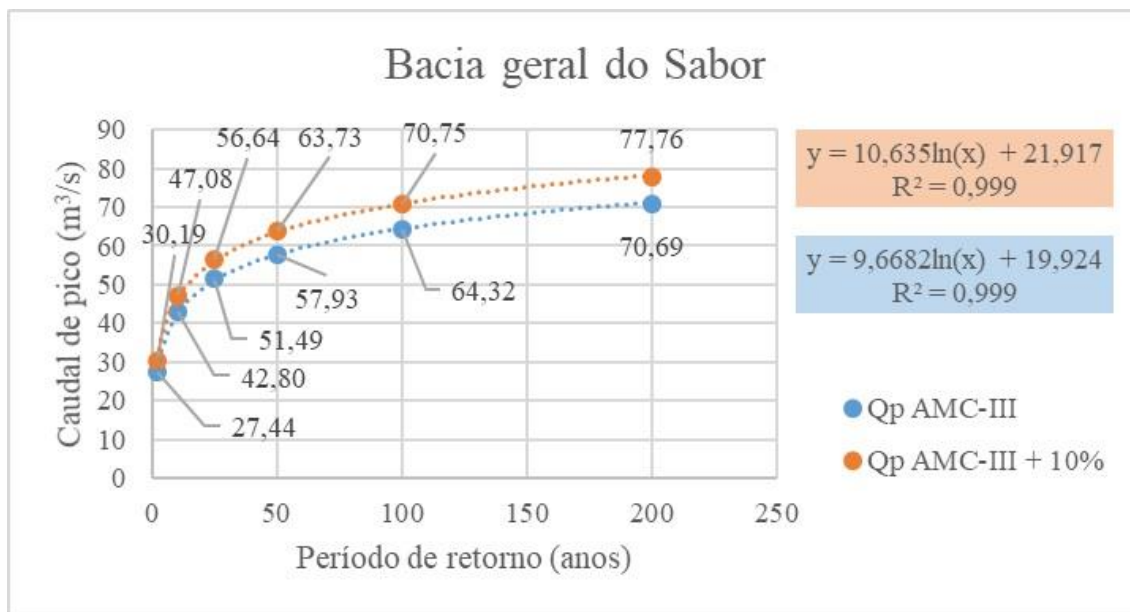


Figura 24. Resultados dos valores de caudal de pico estimados para condições AMC-III e para os períodos de retorno de 2,33, 10, 25, 50, 100 e 200 anos.

Com os novos valores de caudal e períodos de retorno, um novo gráfico foi elaborado, que continha os períodos de retorno originais e os novos calculados (Figura 25). Os resultados dos novos períodos de retorno foram, respectivamente, para 2,33, 10, 25, 50, 100 e 200 anos, de 3,25, 24, 74, 170, 390 e 890 anos.

Foi traçada uma linha de tendência para a função que define o comportamento destes períodos de retorno, cujo coeficiente indica o fator pelo qual o período de retorno original precisaria ser multiplicado para obter os novos valores do caudal de pico. Para a bacia geral do Alto Sabor, um aumento de 10% na precipitação média na bacia implicaria em quadruplicar o valor do período de retorno. Ou seja, os valores estimados do caudal de pico para esse aumento de precipitação só seriam alcançados com períodos de retorno quatro vezes maiores do que os calculados neste estudo. Esta relação pode ser melhor observada nos períodos de retorno maiores, como os de 100 e 200 anos.

A Figura 25 mostra os pontos e a linha de tendência, com a equação da reta que a define, cujo fator de multiplicação foi de aproximadamente 4,28.

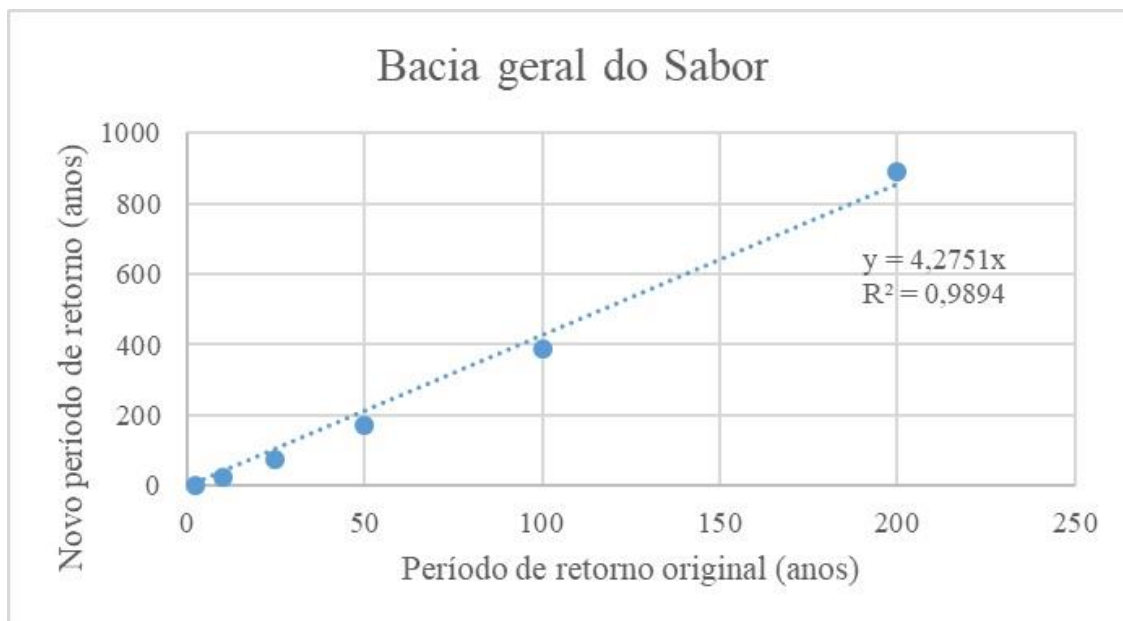


Figura 25. Linha de tendência e equação da reta definida pelos pontos de período de retorno originais vs. os novos períodos de retorno.

Para as estações hidrométricas, a variação de 10% em cada apresentou resultados próximos às suas áreas de influência (polígonos de Thiessen). Ao variar apenas a precipitação na estação Montezinho, observou-se um aumento médio de 3,8% no caudal de pico da bacia geral do Alto Sabor. Sua área de influência representa 36% da bacia. Na estação Rio Onor, cuja área de influência corresponde a 31%, a variação resultou em um aumento de 4,1% nos caudais de pico. A estação Deilão apresentou uma variação de 1% nos caudais de pico, com uma área de influência de aproximadamente 9%. Por fim, na estação Samil, a variação de 10% resultou em um aumento de 1,7% nos caudais de pico, cobrindo cerca de 23% da área total da bacia do Alto Sabor.

5. Conclusão

Após a análise dos resultados, constatou-se a eficácia do uso do software SIG na caracterização das bacias hidrográficas. A extração de dados do Modelo Digital de Elevação permitiu a delimitação precisa das áreas e cálculos do relevo, além da obtenção de variáveis cruciais como declividade e comprimento das linhas d'água, que podem ser desafiadoras de obter de outras maneiras. Essas informações foram utilizadas no modelo de estimativa do caudal de pico do *Soil Conservation Service* (SCS), permitindo a comparação entre as variáveis. Apesar de algumas medições realizadas por diferentes ferramentas apresentarem erros de baixa ordem (centesimal), os resultados foram considerados adequados para uso.

O método de estimativa do SCS demonstrou eficácia, aproximando-se dos resultados de estudos anteriores, como o de Okada (2019), em relação às proporções de caudal estimado e observado. Os valores obtidos para condições de solo AMC-III foram considerados mais adequados neste estudo, levando em conta a realidade dos períodos chuvosos da região, enquanto os resultados do estudo anterior foram melhores para simulações com condições de solo AMC-II, menos comuns durante os períodos de chuva.

Após a validação, foi possível estabelecer correlações entre variáveis e suas principais influências nas mudanças de comportamento da bacia por meio do coeficiente de Pearson. Observou-se que as medidas físicas e geométricas de uma bacia hidrográfica, como área, perímetro e comprimentos de linhas d'água, são mais significativas para determinar a resposta do caudal por meio da estimativa da equação do SCS, em comparação com variáveis de cobertura de solo e precipitação. Isso ocorre porque os coeficientes dessas medidas tendem a se aproximar de 1, indicando uma correlação próxima à perfeita. Especialmente quando apresentam maiores fatores que influenciam na capacidade de drenagem, como comprimentos de linhas d'água e área de captação, tendem a corresponder a caudais de pico mais altos.

Destacou-se a relevância de variáveis suscetíveis a mudanças ao longo do tempo, como a cobertura do solo e a precipitação, as quais podem influenciar diretamente na resposta do caudal. Os resultados obtidos pelo método do SCS revelaram-se pouco sensíveis a mudanças nas distribuições de áreas de uso do solo, exigindo alterações substanciais para observar respostas mais expressivas no caudal de pico. Recomenda-se a integração com outros métodos de cálculo para esta variável, que sejam mais sensíveis

às mudanças de proporções do uso do solo, a fim de serem utilizados em conjunto com o método do *SCS* e, possivelmente, obter um modelo hidrológico mais robusto e otimizado para o cálculo de caudal e a sua resposta às mudanças no uso do solo. Por outro lado, o método demonstrou eficácia e alta sensibilidade em relação à precipitação, permitindo a simulação de novos cenários e proporcionando resultados significativos. Isso possibilitou a comparação e estabelecimento de novos períodos de retorno, enriquecendo a interpretação dos resultados.

Além disso, observou-se que a proporção das áreas de influência das estações hidrométricas pode desempenhar um papel significativo nos caudais de pico estimados quando são feitas variações individuais. Isso ressalta a importância do gradiente climático, mesmo em áreas relativamente pequenas.

Este estudo é relevante, principalmente ao simular as áreas mais suscetíveis às mudanças climáticas, como as regiões montanhosas. Destaca-se a importância de considerar as possíveis consequências das mudanças climáticas no desenvolvimento urbano, expansão de áreas agrícolas e ações governamentais, tanto em nível municipal quanto em escalas maiores, como internacionais, visando conter e mitigar esses efeitos adversos.

6. Referências

Agroconsultores & Coba. (1991). Carta de solos, carta do uso atual da terra e carta da aptidão da terra do nordeste de Portugal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Araújo, J. R.; Ramos, A. M.; Soares, P. M. M.; Melo, R.; Oliveira, S. C.; Trigo, R. M. (2022). Impact of extreme rainfall events on landslide activity in Portugal under climate change scenarios. *Landslides*, 19(10), 2279–2293. <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01895-7>.

Azevedo, J. C. & Cadavez, V. (2016). Sustentabilidade da montanha portuguesa: realidades. Instituto Politécnico de Bragança. <http://hdl.handle.net/10198/15034>.

Bertocco, T.; Figueiredo, T.; Fonseca, F. (2020). Caudais de ponta de cheia em bacias de drenagem de lameiros do Parque Natural de Montesinho: Estimativas pelo método Soil Conservation Service (SCS) sob cenários de mudança global. Dissertação de Mestrado, Programa de dupla diplomação em Tecnologia Ambiental. Instituto Politécnico de Bragança (IPB) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Bertoni, J. C. & Tucci, C. E. M. (2001). Hidrologia: Ciência e aplicação (2nd ed.). Editora da Universidade/UFRGS.

Black, P. E. (1996). *Watershed hydrology* (2nd ed.). CRC Press.

Cassino, R. P. (2022). Distribuição de zonas verdes e redução de caudais de projeto em drenagem urbana na cidade de Bragança, Portugal. Dissertação de Mestrado, Programa de dupla diplomação em Tecnologia Ambiental. Instituto Politécnico de Bragança (IPB) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Collischonn, A. & Tassi, R. (2008). *Introduzindo hidrologia*.

Collischonn, W. & Dornelles, F. (2015). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Acedido a 22 de outubro de 2023, de <https://livros.abrhidro.org.br/heca/?CHAVE=04094FEEB5#p=2>.

Cunha, S.; Silva, Á.; Herráez, C.; Pires, V.; Mestre, A.; Nunes, L.; Mendes, M.; et al. (2011). *Atlas climático ibérico – Iberian climate atlas*.

Devia, G. K.; Ganasri, B. P.; Dwarakish, G. S. (2015). A review on hydrological models. *Aquatic Procedia*, 4, 1001–1007. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>.

Direção Geral do Território. (2022). Carta Administrativa Oficial de Portugal. Acedido a 8 de março de 2023, de <https://dados.gov.pt/pt/datasets/concelhos-de-portugal/>.

Edwards, P. J.; Williard, K. W. J.; Schoonover, J. E. (2015). Fundamentals of watershed hydrology. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 154(1), 3–20. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2015.03185.x>.

European Environment Agency. (2010). Annual report 2010 and environmental statement 2011.

Fabian, P. S.; Kwon, H.-H.; Vithanage, M.; Lee, J.-H. (2023). Modeling, challenges, and strategies for understanding impacts of climate extremes (droughts and floods) on water quality in Asia: A review. *Environmental Research*, 225, 115617. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115617>.

Fang, Z.; Song, S.; He, C.; Liu, Z.; Qi, T.; Zhang, J.; Li, J. (2020). Evaluating the impacts of future urban expansion on surface runoff in an alpine basin by coupling the LUSD-Urban and SCS-CN models. *Water*, 12(12), 3405. <https://doi.org/10.3390/w12123405>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Soils Portal. Recuperado de <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faunesco-soil-map-of-the-world/en/>.

Field, C. B.; Barros, V.; Stocker, T. F.; Dahe, Q. (Eds.). (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>.

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

Gershunov, A.; Benmarhnia, T.; Aguilera, R. (2018). Human health implications of extreme precipitation events and water quality in California, USA: A canonical correlation analysis. *The Lancet Planetary Health*, 2, S9. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30094-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30094-9).

Hewlett, J. D. (1961). Watershed management.

Instituto da Conservação da Natureza e da Biodiversidade (ICNB). (2007). Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Instituto Nacional de Estatística (INE). (2022). Indicadores ODS para Portugal. Recuperado de <https://ods.pt/ods/>.

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

Intergovernmental Panel On Climate Change. (2023). Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

Instituto Tecnológico Agrario da Junta de Castilla y Leon (ITACyL). Atlas Agroclimático. Recuperado de <http://atlas.itacyl.es/>.

Kapos, V.; Rhind, J.; Edwards, M.; Price, M.; Ravilious, C.; Butt, N. (2000). Developing a map of the world's mountain forests.; Forests in sustainable mountain development: A state of knowledge report for 2000. Task Force For. Sustain. Mt. Dev.; 4–19.

Korner, C. & Ohsawa, M. (2005). Mountain systems. Comunicação apresentada em Ecosystems and human well-being: Current state and trends, Volume 1. Washington, DC: Island Press. <https://pubs.usgs.gov/publication/87289>.

Lee, H.; Calvin, K.; Dasgupta, D.; Krinner, G.; Mukherji, A.; Thorne, P. W.; Trisos, C.; et al. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. First. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.

Lencastre, A. & Franco, F. M. (2006). Lições de Hidrologia (3rd ed.). Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.

Lucas-Borja, M. E.; Carrà, B. G.; Nunes, J. P.; Bernard-Jannin, L.; Zema, D. A.; Zimbone, S. M. (2020). Impacts of land-use and climate changes on surface runoff in a tropical forest watershed (Brazil). <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1787417>.

Moreira, F. D. (2017). Protótipo do Atlas da Qualidade do Solo e Cartografia da Suscetibilidade à Contaminação de Solos. Lisboa: Universidade de Lisboa.

Nascimento, A.; Silva, M. S.; Marques, F.; Neto, M.; Parahyba, R.; Amaral, A. (2015). Caracterização geoambiental em áreas com barragem subterrânea no semiárido brasileiro. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23442.25284>.

Novotny, E. V. & Stefan, H. G. (2007). Stream flow in Minnesota: Indicator of climate change. *Journal of Hydrology*, 334(3–4), 319–333. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.011>.

Nunes, J. P. C. (2016). Sustentabilidade da Montanha Portuguesa: realidades e desafios. In *Processos Hidrológicos em montanhas e alterações climáticas* (pp. 91–106).

Okada, V. K. (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, Programa de dupla diplomação em Tecnologia Ambiental. Instituto Politécnico de Bragança (IPB) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Pinheiro, P. (2019). Regime de Caudais Ecológicos em Portugal: Enquadramento e Casos de Práticos.

Pinto, V. O. (2018). Guia Metodológico para a Definição de Regimes de Caudais Ecológicos em Aproveitamentos Hidráulicos de Portugal Continental.

Pires, J. M. (2022). Desenvolvimento sustentável em ambientes de montanha: Estratégias e experiências (2.a ed.). Nova Friburgo: Adriana Maria de Aquino; Amazile López Netto; Renato Unhares de Assis.

Press, F.; Siever, R.; Grotzinger, J.; Jordan, T. H. (2006). *Para entender a Terra* (4.a ed.). São Paulo: Bookman.

Rahmani, J. & Danesh-Yazdi, M. (2022). Quantifying the Impacts of Agricultural Alteration and Climate Change on the Water Cycle Dynamics in a Headwater Catchment of Lake Urmia Basin. *Agricultural Water Management*, 270, 107749. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107749>.

Ribeiro, O. (1945). *Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico* (1.a ed.). Coimbra: Coimbra.

Rong, Q.; Zhu, S.; Yue, W.; Su, M.; Cai, Y. (2023). Predictive Simulation and Optimal Allocation of Surface Water Resources in Reservoir Basins under Climate Change. *International Soil and Water Conservation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.08.003>.

Servicio de Mapas. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Recuperado de http://mapas.igme.es/Servicios/default.aspx#IGME_MAGNA_50.

Shinde, R.; Shivansh, Shastri, Y.; Rao, A. B.; Mondal, A. (2023). Quantification of Climate Change-Driven Water Stress on Thermal Power Plants in India. *Computers & Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108454>.

Soulis, K. X. (2021). Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Method: Current Applications, Remaining Challenges, and Future Perspectives. *Water*, 13(2), 192. <https://doi.org/10.3390/w13020192>.

Steenbergen, N. V. & Willems, P. (2012). Method for Testing the Accuracy of Rainfall–Runoff Models in Predicting Peak Flow Changes Due to Rainfall Changes, in a Climate Changing Context. *Journal of Hydrology*, 414–415, 425–434. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.017>.

Tucci, C. E. M. & Clarke, R. T. (1997). Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão.

União Europeia. (1992). Regulamento (CEE) n.o 2080/92 do Conselho, de 30 de junho de 1992 (RLRQ, n.o 215/96).

United Nations. (2015). The 17 goals to Sustainable Development. Acedido a 20 de março de 2024, de <https://sdgs.un.org/goals>.

Vila-Traver, J.; Aguilera, E.; Infante-Amate, J.; González de Molina, M. (2021). Climate change and industrialization as the main drivers of Spanish agriculture water stress. *Science of The Total Environment*, 760, 143399. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143399>.

Yao, L.; Wei, W.; Yu, Y.; Xiao, J.; Chen, L. (2018). Rainfall-Runoff Risk Characteristics of Urban Function Zones in Beijing Using the SCS-CN Model. *Journal of Geographical Sciences*, 28(5), 656–668. <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1497-6>.

Zuo, D.; Xu, Z.; Yao, W.; Jin, S.; Xiao, P.; Ran, D. (2016). Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Science of The Total Environment*, 544, 238–250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.060>.

Anexo I

Tabela 24. Classificação do *N* de acordo com a COS 2007 e o tipo hidrológico de solo.

| 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 estacionamento 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 | Praias, dunas e areais interiores | 30 | 60 | 70 | 80 |
| 3.3.1.02.1 | Praias, 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 áridas | 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 |

Fonte: adaptado de Moreira (2017).

Anexo II

Tabela 25. Distribuição de uso e ocupação do solo, em porcentagens, de acordo com a COS 2015 nível 3 (Direção Geral do Território, 2018) para as subbacias e para a bacia principal do Alto Sabor.

| COS | Descrição | Subbacias | | | | BH |
|-------|---|-----------|--------|---------|--------|--------|
| | | Sabor | Onor | Igrejas | Frio | Sabor |
| 1.1.1 | Tecido urbano contínuo | 1,26% | 0,18% | 2,73% | 1,27% | 0,77% |
| 1.1.2 | Tecido urbano descontínuo | 0,46% | 0,14% | 0,50% | 0,22% | 0,31% |
| 1.2.1 | Indústria, comércio e equipamentos gerais | 0,37% | 0,03% | 0,00% | 0,00% | 0,20% |
| 1.2.2 | Redes viárias e ferroviárias e espaços associados | 0,20% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,10% |
| 1.2.4 | Aeroportos e aeródromos | 0,15% | 0,12% | 0,00% | 0,00% | 0,12% |
| 1.3.1 | Áreas de extração de inertes | 0,09% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,05% |
| 1.3.2 | Áreas de deposição de resíduos | 0,01% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 1.3.3 | Áreas em construção | 0,21% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,11% |
| 1.4.1 | Espaços verdes urbanos | 0,04% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,02% |
| 1.4.2 | Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas | 0,05% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,03% |
| 2.1.2 | Culturas temporárias de sequeiro e regadio | 11,97% | 6,36% | 0,00% | 32,56% | 10,47% |
| 2.2.1 | Vinhas | 0,15% | 0,31% | 2,52% | 1,27% | 0,23% |
| 2.2.2 | Pomares | 0,03% | 0,00% | 0,38% | 2,61% | 0,03% |
| 2.2.3 | Olivais | 0,49% | 0,33% | 37,50% | 0,00% | 0,42% |
| 2.3.1 | Pastagens permanentes | 2,47% | 3,06% | 0,44% | 0,00% | 2,49% |
| 2.4.1 | Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes | 0,06% | 0,09% | 0,00% | 0,00% | 0,06% |
| 2.4.2 | Sistemas culturais e parcelares complexos | 1,75% | 0,86% | 0,01% | 0,00% | 1,48% |
| 2.4.3 | Agricultura com espaços naturais e semi-naturais | 2,25% | 1,40% | 4,80% | 1,24% | 2,15% |
| 3.1.1 | Florestas de folhosas | 17,72% | 11,38% | 0,01% | 8,36% | 15,33% |
| 3.1.2 | Florestas de resinosas | 9,81% | 25,48% | 18,84% | 26,01% | 16,79% |
| 3.1.3 | Florestas mistas | 0,00% | 0,15% | 0,00% | 0,00% | 0,06% |
| 3.2.1 | Vegetação herbácea natural | 1,01% | 1,79% | 0,16% | 5,31% | 1,50% |
| 3.2.2 | Matos | 41,81% | 29,63% | 12,61% | 18,62% | 36,59% |
| 3.2.4 | Espaços descobertos ou com pouca vegetação | 5,00% | 2,21% | 17,47% | 0,00% | 3,41% |
| 3.2.4 | Florestas abertas, cortes e novas plantações | 0,13% | 5,73% | 0,00% | 0,00% | 2,30% |
| 3.3.2 | Rocha nua | 1,51% | 0,02% | 0,00% | 0,00% | 0,77% |
| 3.3.4 | Áreas ardidas | 0,88% | 9,35% | 0,00% | 0,00% | 4,10% |
| 5.1.1 | Cursos de água | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,95% | 0,01% |
| 5.1.2 | Planos de água | 0,13% | 0,00% | 0,00% | 1,77% | 0,08% |