

**CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM DOS LAMEIROS DA
ALTA LOMBADA E ONOR, PARQUE NATURAL DE MONTESINHO**

Ana Paula Ranzan

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

Orientado por

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

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

Prof. Doutor Fernando César Manosso (UTFPR-FB)

Bragança

2020

ANA PAULA RANZAN

**CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM DOS LAMEIROS DA
ALTA LOMBADA E ONOR, PARQUE NATURAL DE MONTESINHO**

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Dupla Diplomação do Instituto Politécnico de Bragança, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental. Pesquisa sob a orientação do Professor Doutor Tomás D’Aquino Freitas Rosa de Figueiredo (IPB), Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca (IPB) e Professor Doutor Fernando César Manosso (UTFPR).

BRAGANÇA

2020

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Valdair Ranzan e Neiva Terezinha Maehler Ranzan, pelo amor, exemplo e apoio incondicional. Aos meus irmãos, Gian Carlos Ranzan e Roger Luís Ranzan, por me auxiliarem sempre que necessário. Ao meu namorado, Erik Ian de Moura, pelo amor, apoio, incentivo, revisões ortográficas e traduções.

Ao orientador Prof. Dr. Tomás Figueiredo, pela grande dedicação, paciência, entusiasmo com a investigação e por compartilhar tanto conhecimento que contribuiu muito para o meu crescimento profissional. Aos coorientadores Prof. Dra. Felícia Fonseca e Prof. Dr. Fernando Manosso, pela orientação e dedicação.

À todos os professores do curso de Engenharia Ambiental (UTFPR-FB) e do Mestrado em Tecnologia Ambiental (IPB), que contribuíram para a construção do meu conhecimento, em especial ao Prof. Dr. Júlio Caetano Tomazoni e à Prof. Dra. Elisete Guimarães pelos anos de orientação nos projetos de iniciação científica.

Aos meus amigos e colegas por todos os momentos incríveis compartilhados. Em especial à Karine Stangherlin pela amizade e por tantos momentos de suporte e troca de aprendizados durante a graduação. À Laís Serafini, à Larissa Freitas, à Beatriz Meira, ao Leonardo Correa e ao Guilherme Kyu Hasegawa por todo o apoio nesse período de intercâmbio, foram a minha família de Bragança. À Tamires Bertocco pelo trabalho em conjunto nesse projeto, troca de conhecimento e amizade.

A todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para a realização desse projeto!

*“A vida sem ciência é
uma espécie de morte”.*

Sócrates

RESUMO

Os lameiros são prados permanentes seminaturais de montanhas com elevado valor ecológico, econômico, produtivo, paisagístico, turístico e cultural, pois são base para a alimentação da pecuária, mantêm a biodiversidade em terras agrícolas, são importantes na regulação do ciclo da água, na formação e retenção do solo, e ainda criam manchas descontínuas da vegetação, que auxiliam na proteção contra incêndios. Diante disso, este trabalho tem como objetivo compreender a resposta hidrológica de pequenas bacias hidrográficas de montanhas a partir da determinação de características fisiográficas das bacias de drenagem de 16 lameiros da Alta Lombada e Onor, do Parque Natural de Montesinho, buscando possíveis relações entre as suas características e as tipologias de lameiros, quanto à presença ou ausência de linha de água superficial permanente e quanto à situação de uso, além de compreender a importância hidrológica dos lameiros por meio da distinção de algumas características fisiográficas em relação às áreas ao entorno. A caracterização foi realizada pela determinação das características geométricas (área de drenagem, perímetro, índice de compactidade e fator de forma), sistema de drenagem (comprimento do talvegue principal, comprimento total das linhas de água, ordem do curso de água, densidade de drenagem e percurso médio sobre o terreno), relevo (altura média, as altitudes média, máxima, a 5% da área, a 50%, a 95% e a mínima, a curva hipsométrica, o perfil longitudinal do talvegue principal, o declive médio da bacia, o índice global de declive, a distribuição dos declives por classes, e o retângulo equivalente), litologia, pedologia e uso e ocupação do solo. Utilizou-se o sistema de informações geográficas ArcGIS para obter as informações e o software Excel para calcular os índices e realizar as análises estatísticas. Como resultado, foram obtidas a delimitação das bacias hidrográficas, a caracterização fisiográfica individual de cada lameiro, as comparações das características em relação à tipologia de lameiro e a sua interpretação hidrológica. Também foram obtidas as correlações entre as características e uma breve análise das características diferenciadoras em relação ao lameiro e às áreas ao entorno. As diferenças significativas entre as classes de lameiros são em relação à linha de água, e pode-se distinguir as características em dois grupos: lameiros com rio e sem rio. Verifica-se que as bacias hidrográficas dos lameiros com rio são mais extensas, mais desenvolvidas, em um estado maior de equilíbrio e, com isso, mesmo com maiores fluxos, elas são mais distribuídas e aproveitadas ao longo da bacia. Já as bacias de drenagem dos lameiros sem rio possuem menores áreas e, com isso, os fluxos são menores, mas a velocidade do escoamento é mais elevada e o tempo de concentração é menor, o que ocasiona maiores riscos de cheias e menor retenção de água. Por meio da correlação entre as características fisiográficas, foi possível verificar forte correlação positiva entre a área, o perímetro, o comprimento do talvegue principal, o comprimento total dos talvegues, a ordem do curso de água, a altitude máxima e a altura média, e correlações negativas de todas essas características com o índice de declive global da bacia. Com essas correlações, foi possível quantificar os limites dessas características para as bacias dos lameiros com rio e sem rio. Na análise da diferenciação dos lameiros das áreas de encostas, obteve-se que as áreas de lameiros possuem declividades mais baixas. O comprimento e acúmulo do fluxo são muito mais elevados nas áreas de lameiro do que nas demais e, em relação à tipologia de lameiro, são maiores nos lameiros com linha de água permanente. Hidrologicamente, isso demonstra que os lameiros são mais susceptíveis a sofrer inundações do que as áreas em torno, pois possuem uma menor declividade e um maior acúmulo de fluxo e, com isso, acabam atuando como barreiras de contenção de água e sedimentos, diminuindo o risco de cheias e erosão a jusante. Conclui-se que as bacias hidrográficas dos lameiros com rio e sem rio possuem características fisiográficas diferentes entre esses dois grupos, e isso se reflete no comportamento hidrológico. Os lameiros possuem características diferentes das áreas ao entorno, e com isso um papel fundamental na hidrologia das bacias de montanhas. Por fim, conclui-se que as análises por SIG são muito úteis e práticas para estudar o ambiente e suas interações, e assim caracterizar o comportamento hidrológico em pequenas bacias de montanhas parcialmente ocupadas por lameiros.

Palavras-chaves: Características fisiográficas; Hidrologia; Geoprocessamento; Bacias de Montanha; Lameiros; Abandono do uso da terra

ABSTRACT

Lameiros are seminatural mountainous perennial meadows with high ecological, economic, productive, scenic, touristic, and cultural value, since they are the foundation for livestock feed, preserve biodiversity in agricultural land, play an important role on the water cycle regulation, on the soil formation and retention, and create discontinuous patches of vegetation, which help protect against wildfires. In light of this, this work aims to understand the hydrological response of small mountainous drainage basins based on the determination of physiographic characteristics of the drainage basins of 16 lameiros from Alta Lombada e Onor, in Montesinho Natural Park, looking for possible relations between their characteristics and the lameiros' typology, regarding the presence or absence of a permanent surface waterline and the status of use, besides understanding the lameiros' hydrological importance through the differentiation of some of their physiographic characteristics from those of the surrounding areas. The characterization was performed by determining the physiographic (drainage area, perimeter, compactness coefficient, and form factor), drainage system (main thalweg length, total length of the waterlines, stream order, drainage density, and average distance over the terrain), terrain (average height, average altitude, maximum altitude, altitudes at 5%, 50% and 95% of the area, minimum altitude, hypsometric curve, longitudinal profile of the main thalweg, average slope of the basin, the global slope index, the distribution of slopes by class, and the equivalent rectangle), lithological, pedological, and land use characteristics. ArcGIS geographic information system was used to retrieve the information, and Excel was used to calculate the coefficients and to perform the statistical analyses. The delimitation of the drainage basins, the physiographic characterization of each lameiro, the comparison of the characteristics regarding the lameiro typology and their hydrological interpretations were obtained as results. The correlations between characteristics and a brief analysis of the differentiating characteristics regarding the lameiro and the surrounding areas were also obtained. Significant differences between classes of lameiros are related to the waterline, and the characteristics can be separated in two groups: lameiros with and without rivers. The drainage basins of lameiros with rivers are larger, more developed, in a greater state of equilibrium, and therefore, even with greater flows, they're better distributed and used along the basin. On the other hand, the drainage basins of lameiros without rivers have smaller areas, and therefore the flows are smaller, but the flow velocity is higher and the time of concentration is smaller, which results in a greater risk of floods and in a smaller water retention. Through the correlation between physiographic characteristics, it was possible to identify a strong positive correlation between area, perimeter, main thalweg length, total length of thalwegs, stream order, maximum altitude, and mean height, and negative correlations between each of these characteristics and the basin's global slope index. With these correlations, it was possible to quantify the thresholds for these characteristics for the basins of lameiros with and without rivers. Through the analysis of the differentiation between lameiros and sloped areas, it was identified that the areas with lameiros have lower slopes. Length and flow accumulation are much higher in the areas with lameiros than in other areas and, regarding the lameiro typology, they're higher in lameiros with a permanent waterline. From a hydrological point of view, this shows that the lameiros are more prone to floods than the surrounding areas, because they have lower slopes and a greater flow accumulation, and therefore they end up acting as barriers that retain water and sediments, reducing the risk of downstream floods and erosion. It can be concluded that the drainage basins of lameiros with and without rivers have different physiographic characteristics between them, and this is reflected on the hydrological behavior. The lameiros have characteristics that are different from those of the surrounding areas and, as such, they play a crucial role on the hydrology of mountainous basins. Finally, it can be concluded that GIS analyses are very useful and practical to study the environment and its interactions, and hence to describe the hydrological behavior of small mountainous basins partially occupied by lameiros.

Keywords: Physiographic characteristics; Hydrology; Geoprocessing; Mountainous basins; Lameiros; Abandonment of land use.

SUMÁRIO

1.	Introdução	1
2.	Referencial Bibliográfico	3
2.1	Hidrologia	3
2.1.1	Ciclo Hidrológico	3
2.1.2	Bacia hidrográfica.....	5
2.1.2.1	Bacia como um sistema.....	7
2.1.2.2	Características fisiográficas	8
2.2	Lameiros	10
2.2.1	Conceito e origem.....	10
2.2.2	Classificação	11
2.3	Parque Natural de Montesinho	12
3.	Material e métodos	15
3.1	Área de estudo	15
3.2	Processamento de informação geográfica.....	16
3.2.1	Obtenção das informações geográficas	17
3.2.2	Delimitação das bacias hidrográficas	19
3.2.3	Caracterização fisiográfica das bacias	20
3.2.3.1	Geometria.....	20
3.2.3.2	Sistema de drenagem	20
3.2.3.3	Relevo	21
3.2.3.4	Geologia, solos e uso do solo.....	25
3.3	Áreas de lameiros: características fisiográficas diferenciadoras	25
3.4	Análise estatística	26
4.	Resultados.....	27
4.1	Bacias hidrográficas.....	27
4.2	Características fisiográficas	28
4.2.1	Geometria	28
4.2.2	Sistema de drenagem	31

4.2.3	Relevo	36
4.2.3.1	Altitude.....	36
4.2.3.2	Curva hipsométrica	40
4.2.3.3	Perfil longitudinal do curso de água	44
4.2.3.4	Declive	47
4.2.3.5	Retângulo equivalente.....	51
4.2.4	Litologia.....	54
4.2.5	Solo	56
4.2.6	Uso e ocupação do solo	62
4.3	Relação entre as características fisiográficas	67
4.4	Áreas de lameiros: características fisiográficas diferenciadoras	70
5.	Conclusão	76
6.	Referências	79
	Anexo.....	85

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- A – Área da bacia hidrográfica
ANOVA – Análise de variância
AW3D – ALOS World 3D
CIGeoE – Instituto Geográfico do Exército
CO₂ – Gás carbônico
COS – Cartografia de uso e ocupação do solo
Cp – Índice de concavidade
DEM – Modelo digital de elevação
FAO – *Food and Agricultural Organization of the United Nations*
gl – Grau de liberdade
H – Altura média
ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
IGME – *Instituto Geológico y Minero de España*
IGN – Instituto Geográfico Nacional
IH – Integral hipsométrica
I_p – Índice de declive global
ITACyL – *Instituto Tecnológico Agrário da junta de Castilla y Leon*
K_c – Índice de compacidade
K_f – Fator de forma
L – Comprimento axial da bacia hidrográfica
Le – Comprimento do retângulo equivalente
le – Largura do retângulo equivalente
LiDAR – *Light Detection And Ranging*
L_p – Percurso médio do terreno
P – Perímetro da bacia hidrográfica
PNM – Parque Natural de Montesinho
SIG – Sistema de informação geográfico
SIOSE – *Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España*
SNIG – Sistema Nacional de Informação Geográfica
UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*
Y – Densidade de drenagem
Z – Altitude média
Z₅ – altitude a 5% da área da bacia
Z₉₅ – altitude a 95% da área da bacia
Λ – Comprimento total dos cursos da bacia hidrográfica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo Hidrológico.....	5
Figura 2. Exemplo de uma delimitação de bacia hidrográfica.	6
Figura 3. Corte transversal de bacias hidrográfica com identificação dos divisores topográfico e freático.....	7
Figura 4. Resposta hidrológica da bacia hidrográfica.	8
Figura 5. Lameiros do Parque Natural de Montesinho. A – Lrio21_05; B – Lave20_13.	10
Figura 6. Fotografias do Parque Natural de Montesinho.	14
Figura 7. Localização dos lameiros da Alta Lombada e Onor, Parque Natural de Montesinho.	15
Figura 8. Mapa das bacias hidrográficas dos lameiros da Alta Lombada e Onor, do Parque Natural de Montesinho.	27
Figura 9. Área (A) e perímetro (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.	29
Figura 10. Gráfico de barras das médias com erro associado do (A) índice de compacidade (Kc) e (B) fator de forma (Kf) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros. .	30
Figura 11. Gráfico de barras das médias com erros associados do comprimento do talvegue principal das bacias hidrográficas para as classes de lameiros (A) quanto ao uso e (B) quanto à presença de linha de água permanente.....	32
Figura 12. Gráfico de barras das médias com erros associados do comprimento das linhas de água (A) e a ordem do curso de água principal (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.	33
Figura 13. Gráfico de barras das médias com erros associados da densidade de drenagem (A) e percurso médio sobre o terreno (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.	34
Figura 14. Gráfico de barras das médias com erros associados densidade de drenagem (A) e percurso médio sobre o terreno (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros, utilizando a rede de drenagem mais detalhada.	35
Figura 15. Gráfico de barras das médias com erros associados da altitude média (A) e da altura média (Z) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.	37
Figura 16. Gráfico de barras das médias com erros associados da altitude máxima das bacias hidrográficas para as classes de lameiros quanto ao uso e quanto à presença de linha de água permanente.	38

Figura 17. Gráfico de barras das médias com erros associados a altitude à 5% (A) e a altitude mediana (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.....	39
Figura 18. Gráfico de barras das médias com erros associados a altitude a 95% (A) e a altitude mínima (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.....	40
Figura 19. Curvas hipsométricas das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.	42
Figura 20. Integral da curva hipsométrica.	43
Figura 21. Perfil longitudinal do talvegue principal das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.	45
Figura 22. . Exemplo de um perfil longitudinal normalizado e parâmetros associados para calcular o indicador de concavidade (Cp).	47
Figura 23. Gráfico de barras com as áreas acumuladas para as classes de declive das bacias hidrográficas para cada tipologia de lameiros.	50
Figura 24. Mapa das classes de declive das bacias hidrográficas dos lameiros da Alta Lombada e Onor, do Parque Natural de Montesinho.	50
Figura 25. Gráfico de barras das médias com erros associados do declive médio das bacias hidrográficas para as classes de lameiros quanto ao uso (A) e quanto à presença de linha de água permanente (B).	51
Figura 26. Gráfico de barras das médias com erros associados do índice de declive global das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.	51
Figura 27. Retângulos equivalentes divididos por classe de lameiros (ver também Anexo).	53
Figura 28. Gráfico de barras com as áreas acumuladas para a Litologia das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.....	55
Figura 29. Mapa da litologia das bacias hidrográficas.	56
Figura 30. Distribuição das unidades principais (A) e unidade secundárias (B) de solo em área acumulada (%) das bacias por classe de lameiro.	57
Figura 31. Mapa das unidades principais dos solos.	59
Figura 32. Mapa das unidades secundárias dos solos.....	59
Figura 33. Classificação dos solos referente a área acumulada (%) em relação (A) 1º e 2º nível de classificação dos solos associados, (B) Tipologia hidrológica dos solos.	61
Figura 34. Classificação dos solos: unidades principais e secundárias associadas.	61
Figura 35. Distribuição das classes de uso e ocupação do solo do 3º nível da COS 2015.	63

Figura 36. Mapa de uso e ocupação do solo.....	63
Figura 37. Gráfico da distribuição das megaclasses de uso e ocupação do solo, por tipologia de lameiro.....	65
Figura 38. Megaclasses de uso e ocupação do solo em cada bacia hidrográfica.	66
Figura 39. Regressão linear entre as características com as maiores correlações.	69
Figura 40. Mapa de localização das áreas dos lameiros da Alta Lombada e Onor.	71
Figura 41. Gráfico de barras das médias com erros associados para o declive em diferentes áreas.....	72
Figura 42. Gráfico de barras das médias das características de fluxo em escala logaritmo, A e B relacionado com o comprimento de Fluxo (m) e B e C com a acumulação de fluxo (adimensional).	74
Figura 43. Gráfico de barras das médias da acumulação de fluxo para as áreas e classes de lameiros.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos lameiros e coordenadas do ponto de identificação.	16
Tabela 2. Classificação do relevo de acordo com intervalos de declive.	23
Tabela 3. Características geométricas das bacias hidrográficas dos lameiros.....	28
Tabela 4. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características de geometria.	29
Tabela 5. Características do sistema de drenagem das bacias hidrográficas dos lameiros.	31
Tabela 6. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características do sistema de drenagem.....	31
Tabela 7. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características do sistema de drenagem, com a rede de drenagem mais detalhada.....	34
Tabela 8. Altitudes das bacias hidrográficas dos lameiros.....	36
Tabela 9. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características do relevo relacionadas com a altitude.....	37
Tabela 10. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as constantes das equações das curvas hipsométricas.	41
Tabela 11. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as constantes das equações dos perfis longitudinais dos talwegues.	45
Tabela 12. Resultados das características de declive das bacias hidrográficas dos lameiros.	48
Tabela 13. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características do relevo relacionadas com a declividade.	48
Tabela 14. Informações dos retângulos equivalentes das bacias hidrográficas dos lameiros.	52
Tabela 15. Litologia das bacias hidrográficas dos lameiros.....	55
Tabela 16. Classificação dos solos das bacias hidrográficas dos lameiros.	57
Tabela 17. Classificação dos solos associada a tipologia hidrológica.....	60
Tabela 18. Uso e ocupação dos solos das bacias hidrográficas por tipologia de lameiro.	62
Tabela 19. Megaclasses do uso e ocupação do solo por tipologia de lameiro.	65
Tabela 20. Correlações entre as características fisiográficas.	67
Tabela 21. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características fisiográficas diferenciadoras.....	71

1. INTRODUÇÃO

As montanhas são áreas com especificidade geomorfológica, biológica, agrônômica, social e econômica, apresentam variações muito acentuadas de variáveis ambientais em um território relativamente limitado. As regiões de montanhas Mediterrânicas são áreas com elevada prestação de serviços ecossistêmicos, normalmente possuem maior biodiversidade que as áreas planas ao entorno, pois são ricas em espécies endêmicas. Elas também desempenham um papel fundamental na disponibilidade de recursos hídricos, regulação do escoamento superficial e na qualidade da água (Águiar et al., 2009; Azevedo et al., 2016; Nunes, 2016).

Os complexos montanhosos da região de Trás-os-Montes sofreram grandes modificações geomorfológicas, hidrológicas, pedológicas e biológicas pela atividade humana, através de práticas agrícolas e pastoris. Uma relação milenar entre processos naturais e antrópicos que desenvolveu um equilíbrio dinâmico, com uma elevada complementariedade de funções (Pereira & Pedrosa, 2007).

A região onde se localiza o Parque Natural de Montesinho, assim como outros complexos montanhosos do Centro e do Norte de Portugal, tem sofrido alterações da paisagem devido ao aumento das áreas abandonadas, alterando o estado de equilíbrio dinâmico dessas áreas. O abandono se deve ao envelhecimento da população, ao despovoamento e à desvalorização social e econômica do setor agrícola. Esse processo favorece o aumento de áreas ocupadas pelos habitats naturais com elevado valor paisagístico, mas modifica a paisagem, tornando-a mais homogênea e com menor resiliência a alterações externas (Pereira & Pedrosa, 2007; Ribeiro & Monteiro, 2014).

Devido às mudanças climáticas, as áreas de montanhas estão sofrendo cada vez mais com perturbações externas, como aumento das temperaturas e situações extremas de cheias e secas (Nunes, 2016; Gonçalvez et al., 2012). Esses fatores, associados às características das áreas abandonadas mais afastadas dos centros urbanos, com orografia complexa (como declives acentuados, altas massas de combustíveis, formações vegetais contínuas e com espécies muito inflamáveis), aumentam o risco e a propagação de incêndios florestais (Pereira & Pedrosa, 2007; Pereira & Arrobas, 2010).

Diante disso, é desenvolvido o Projeto HabMonte, do Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF), com ações para assegurar a proteção e a conservação do Parque Natural de Montesinho, gerenciar espaços florestais sob cogestão pública, valorizar o habitat de espécies prioritárias e informar, sensibilizar e mobilizar a população

para a conservação do patrimônio natural. É um projeto estratégico e fundamental para gerir essa paisagem estruturalmente complexa, com várias etapas sucessionais naturais juntamente com agroecossistemas (ICNF, 2018).

Os lameiros são prados permanentes seminaturais de montanhas, muito importantes nos sistemas tradicionais de uso da terra, pois mantêm a biodiversidade em áreas agrícolas. Possuem um grande valor ecológico, econômico, produtivo, paisagístico, turístico e cultural, pois são base para a alimentação da pecuária, têm grande importância na regulação do ciclo da água, na formação e retenção do solo, e ainda criam manchas descontínuas da vegetação que auxiliam na proteção contra perturbações externas, como incêndios (Poças et al., 2007; Ribeiro & Monteiro, 2014). São de grande interesse para o Parque Natural de Montesinho, e por isso 100 lameiros estão compreendidos pelas áreas de ação do projeto HabMonte.

Para auxiliar na execução de um dos objetivos do projeto HabMonte, que é “promover a investigação científica e o conhecimento sobre os ecossistemas presentes”, este estudo tem como objetivo analisar a resposta hidrológica a partir da determinação de características fisiográficas das bacias de drenagem de 16 lameiros da Alta Lombada e Onor, do Parque Natural de Montesinho, buscando compreender possíveis relações entre as suas características e uma tipologia de lameiros que os distingue quanto à presença ou ausência de rio (linha de água superficial permanente), e quanto à situação de uso ou abandono, além da importância hidrológica dos lameiros por meio da distinção de suas características fisiográficas em relação às áreas ao entorno.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 HIDROLOGIA

A hidrologia é a ciência que estuda a circulação e a distribuição de água na Terra, assim como suas propriedades físicas e químicas e a interação com o meio. Compreende o conhecimento das águas na atmosfera, nos continentes e nos oceanos. No entanto, os estudos específicos do ramo atmosférico e do ramo oceânico são objetos, respectivamente, da meteorologia e oceanografia. Com isso, a hidrologia em si abrange apenas o ramo terrestre. O conhecimento científico sobre hidrologia é importante para que as diversas intervenções humanas ocorram de forma mais segura, econômica e sustentável (Ward & Robinson, 2000; Hipólito & Vaz, 2017).

2.1.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico representa os inúmeros percursos que a água circula e se transforma na natureza, é impulsionado principalmente pela ação da energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre, estabelecendo um sistema fechado a escala global de enorme complexidade. No entanto, quando se consideram áreas menores de drenagem, o ciclo hidrológico se comporta como um ciclo aberto a escala local (Hipólito & Vaz, 2017; Silveira, 2001).

Há diversos fatores que contribuem para a variabilidade do ciclo hidrológico, em distintos locais do globo, tais como a incidência solar desigual; o comportamento térmico diferente dos continentes em relação aos oceanos; a quantidade atmosférica de vapor de água, gás carbônico e ozônio; a diversidade de solos e coberturas vegetais; e a rotação e inclinação do eixo terrestre, que influenciam na circulação atmosférica (Silveira, 2001).

Como o ciclo hidrológico é um sistema fechado a nível global (Figura 1), ele pode ser descrito a partir de qualquer ponto. Inicia-se a descrição a partir do vapor de água presente na atmosfera, que ao sofrer condições meteorológicas específicas, condensa-se, formando microgotículas de água que permanecem suspensa devido à turbulência natural. O agrupamento dessas microgotículas com partículas de poeira e gelo gera um aerossol que é chamado de nuvem ou nevoeiro, quando é formado próximo ao solo (Silveira, 2001; Lousada; Camacho, 2018).

Em nuvens com uma quantidade significativa de umidade e núcleos de condensação, por meio de complexos fenômenos de aglutinação e crescimento das microgotículas, forma-se um grande agrupamento de gotas com tamanho e peso suficientes para que a força da gravidade seja maior que a turbulência normal, ocasionando a chuva, a forma mais comum de precipitação. A precipitação também pode ocorrer em forma de neve ou granizo, quando o vapor de água passa por sublimação, formando cristais de gelo e estes alcançam tamanho e peso suficientes (Silveira, 2001).

A precipitação é o principal deslocamento de água da atmosfera para a superfície terrestre, e pode seguir vários caminhos ao cair: uma parte sofre evaporação durante a queda, outra parcela é interceptada pela cobertura vegetal ou de edificações, de onde evapora e uma outra parte atinge o solo (Hipólito & Vaz, 2017).

Ao chegar no solo, que é um meio poroso, inicia-se o processo de infiltração, que decresce à medida que o solo vai saturando, e com o excedente da precipitação gera-se o escoamento superficial. Os processos de movimento de água dentro do solo são ordenados pelas tensões capilares nos poros e pela gravidade. A água infiltrada no solo, em parte, é absorvida pelas raízes de plantas, que a devolvem para a atmosfera por meio da transpiração, e evaporação direta do solo, denominada evapotranspiração. A outra parte percola para zonas mais profundas (lençol freático) pela ação da gravidade, o que pode contribuir para o escoamento dos rios. Já a água subterrânea pode escoar diretamente para os oceanos (Machado, 1996; Hipólito & Vaz, 2017; Silveira, 2001).

O escoamento superficial inicia-se na forma de pequenos filetes de água que seguem o microrrelevo do solo, impulsionados pela gravidade para os locais de menor altitude. O transporte das partículas de solo pelo escoamento das águas, juntamente com a topografia preexistente, modela uma microrrede de drenagem efêmera, que conflui para cursos de água mais permanentes, como rios, lagos, arroios, albufeiras e pântanos. Na maioria das vezes, esses cursos mais estáveis fluem para os oceanos (Silveira, 2001; Lousada; Camacho, 2018).

Nos oceanos, o fluxo da água ocorre por meio de uma série de fenômenos físicos e meteorológicos, como a rotação terrestre, os ventos de superfície, a variação da energia solar absorvida e as marés. Para fechar o ciclo hidrológico, há presença de evaporação para a atmosfera em todos os locais onde há circulação de água na superfície terrestre, sendo que 70% da contribuição é dos oceanos, por cobrirem a maior parte da Terra (Silveira, 2001).

Em relação à movimentação da água entre solo e atmosfera, os subciclos terrestres são mais eficientes que o ciclo nos oceanos. Apenas 9 % da água evaporada nos oceanos cai nos continentes, e desta 40 % volta aos oceanos por meio dos rios. Os outros 60 % são utilizados em subciclos repetitivos de evaporação e precipitação que mantêm a umidade no solo, o crescimento da vegetação e o abastecimento dos aquíferos subterrâneos (Machado, 1996).

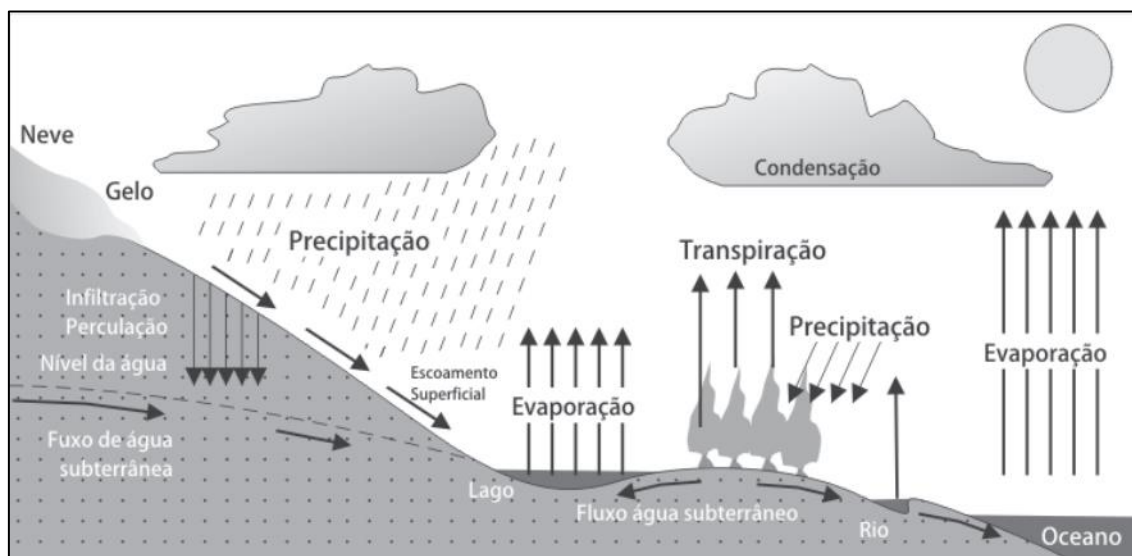


Figura 1. Ciclo Hidrológico.
Fonte: Tucci & Mendes (2006).

2.1.2 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é definida por Lencastre e Franco (2006) como uma área delimitada topograficamente, drenada por um curso de água ou por um conjunto de cursos interligados de tal modo que todos efluem para o mesmo ponto de saída, que é a seção de referência da bacia, denominada exutório.

Para determinar a área de uma bacia topograficamente, utiliza-se o divisor de água, que é uma linha imaginária sobre o relevo que divide o escoamento das águas da chuva. Para delimitar esse divisor de água, utilizam-se as características do relevo, na forma de curvas de nível, traçando uma linha imaginando a direção do escoamento, das cotas mais altas para as mais baixas. A intercepção entre as linhas das curvas de nível e do divisor de água deve ser ortogonal, como demonstrado na Figura 2. O divisor de água não pode cruzar com um curso de água, exceto no exutório (Collischonn; Dornelles, 2013; Lousada; Camacho, 2018).

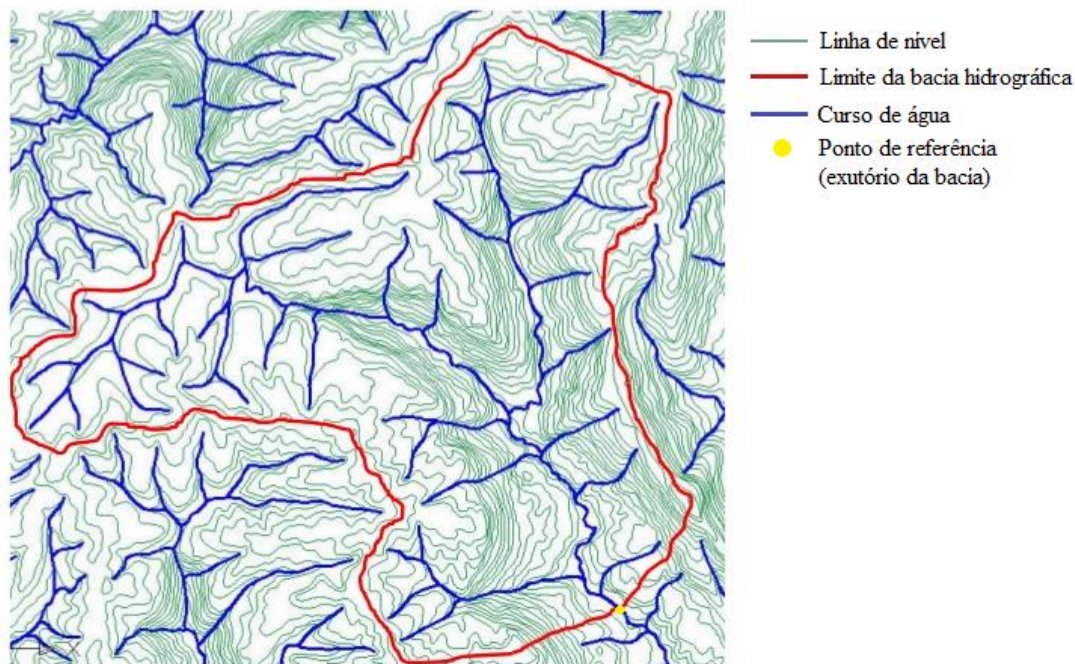


Figura 2. Exemplo de uma delimitação de bacia hidrográfica.
Fonte: Adaptado de Hipólito & Vaz, 2017.

O divisor de águas topográfico representa o escoamento superficial das águas. No caso das águas que infiltram no solo, elas não necessariamente seguem o mesmo percurso, pois dependem das estruturas geológicas do subsolo, gerando um divisor de águas subterrâneo. Dificilmente o divisor de água superficial e subterrâneo coincidem com exatidão, como é esquematizado na Figura 3, com o corte transversal de três bacias adjacentes. No entanto, como é difícil determinar o divisor subterrâneo, já que ele muda com as flutuações do lençol freático ao longo do ano, é considerado apenas o divisor topográfico para a delimitação das bacias hidrográficas. Esse erro ocasionado por não considerar o escoamento real subterrâneo não tem muita influência, com exceção de bacias muito pequenas ou com características específicas, como depósitos geológicos muito permeáveis (Collischonn & Dornelles, 2013; Lencastre & Franco, 2006).

O ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica é uma função das suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem e solo) associadas com o uso e ocupação do solo. Com isso, as características físicas, bióticas e antrópicas da bacia influenciam nos processos hidrológicos de precipitação, infiltração, evaporação, escoamento superficial e subterrâneo e evapotranspiração. As análises dessas características são importantes para compreender o ciclo hidrológico em escala local. Podem ser usadas em diversas aplicações, como a modelação de fluxos hidráulicos, na

movimentação e deposição de sedimentos e poluentes, na previsão de inundações, na adoção de medidas de conservação, e com isso na orientação do planejamento ambiental (Teodoro et al., 2007; Deus et al., 2011; Lopes et al., 2018).

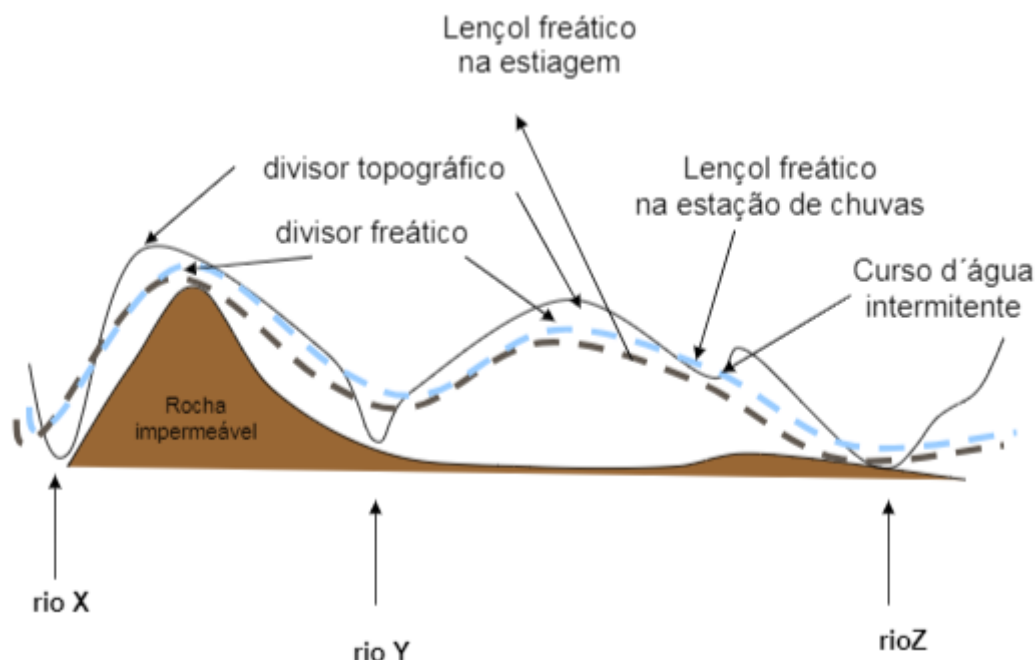


Figura 3. Corte transversal de bacias hidrográficas com identificação dos divisores topográfico e freático. Fonte: Lencastre & Franco (2006).

2.1.2.1 Bacia como um sistema

Segundo Silveira (2001), a bacia pode ser considerada um sistema físico, no qual a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, com perdas intermediárias, como as parcelas evaporadas, transpiradas e infiltradas profundamente. Na Figura 4, observa-se a análise de um evento isolado, desconsiderando as perdas, da transformação da chuva em caudal realizada pela bacia. A bacia tem como função modificar essa entrada de volume de água concentrado no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) em um tempo maior.

Na Figura 4, pode-se observar também que há dois escoamentos. Um deles é rápido, representado pelo rápido aumento do fluxo, gerando um pico, que decresce em um curto espaço de tempo, normalmente relacionado ao escoamento superficial. Já o outro é lento, e está relacionado ao escoamento subterrâneo. A determinação do formato de um hidrograma de saída de uma bacia hidrográfica, como o da Figura 4, ainda não é

totalmente compreendida cientificamente, mas tem sido abordada por vários métodos baseados na análise de dados de históricos meteorológicos e características físicas das bacias.

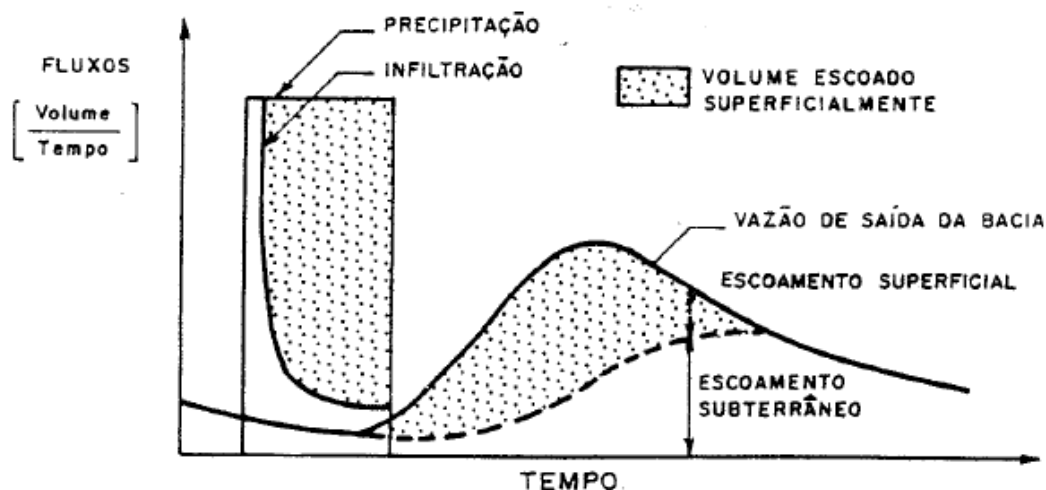


Figura 4. Resposta hidrológica da bacia hidrográfica.
Fonte: Silveira (2001).

2.1.2.2 Características fisiográficas

As características fisiográficas de uma bacia hidrográfica são aquelas que podem ser obtidas a partir de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite, medidas diretamente ou através de índices. Essas características são divididas em geometria, sistema de drenagem, relevo, geologia, solos, cobertura vegetal e uso do solo. Essa caracterização permite encontrar relações entre bacias hidrográficas distintas e regionalizar parâmetros hidrológicos (Silveira, 2001; Lencastre & Franco, 2006; Lousada; Camacho, 2018).

As características geométricas são compostas pela área de drenagem, perímetro, índice de compactidade e fator de forma. A área de drenagem influencia nos valores de escoamento, pois geralmente os escoamentos tendem a ser funções crescente da área. O perímetro, assim como a área, é relevante para calcular outros índices. O índice de compactidade, associado a outros índices, pode indicar a tendência para pontas de cheias, pois quanto mais circular for a bacia, maior a tendência de cheias. O fator de forma também está associado a cheias, pois quanto menor o fator de forma, mais irregular ou

estreita é a forma da bacia, e com isso mais distribuído será o escoamento, diminuindo a tendência de cheias (Teodoro et al., 2007; Hipólito & Vaz, 2017).

Em relação ao sistema de drenagem, as características fisiográficas são a constância do escoamento, a ordem do curso de água, a densidade de drenagem e percurso médio sobre o terreno. A densidade de drenagem possui tendência a apresentar valores elevados em bacias com relevos acentuados e com baixa permeabilidade. Já o percurso médio sobre o terreno é a distância média que a água precipitada precisa percorrer do ponto onde cai até encontrar o curso de água mais próximo. A densidade de drenagem e o percurso médio sobre o terreno também são indicadores para tendência de cheias, pois quanto maior a densidade e menor o percurso médio, mais rápido é o escoamento (Hipólito & Vaz, 2017; Lencastre & Franco, 2006).

As características de relevo são as variações que se observam à superfície da terra, determinadas pela curva hipsométrica, perfil longitudinal do curso de água, altitude média, altura média, retângulo equivalente e índices de declividade. A curva hipsométrica, o retângulo equivalente e os índices de declividade transmitem a informação da declividade, um fator importante para avaliar a propensão a cheias, pois quanto maior for o declive, maior será a velocidade do escoamento superficial, menor será a infiltração da água no solo e maior será a ocorrência de problemas com erosão (Lousada & Camacho, 2018; Hipólito & Vaz, 2017).

As características de geologia, tipos de solo e uso do solo influenciam na geração da rede de drenagem e na troca do escoamento superficial para o subterrâneo. A geologia está relacionada à presença de permeabilidade, impermeabilidade e de aquíferos, com isso ela condiciona o nível freático. Os tipos de solo estão relacionados com a retenção e a infiltração de água no solo: solos muito permeáveis favorecem a infiltração, aumentando a recarga dos aquíferos e diminuindo o escoamento superficial, enquanto solos menos permeáveis favorecem o escoamento superficial, gerando cheias mais fortes e de menor duração (Lousada & Camacho, 2018; Hipólito & Vaz, 2017).

A vegetação tem grande influência no sistema da bacia hidrográfica, pois ela intercepta a precipitação, aumentando a evaporação; atua no processo de evapotranspiração da água do solo; forma um obstáculo para o escoamento superficial, auxiliando no aumento da infiltração; além de diminuir a energia cinética das gotas de chuva ao atingirem o solo, diminuindo a erosão. A substituição da cobertura vegetal por outra, ou então pela urbanização, altera o ciclo hidrológico. A urbanização impermeabiliza o solo, diminuindo a retenção superficial e taxa de infiltração,

aumentando o escoamento superficial e aumentando o risco de cheias em menor tempo (Hipólito & Vaz, 2017; Silveira, 2001).

2.2 LAMEIROS

2.2.1 Conceito e origem

Os lameiros são prados permanentes seminaturais de montanhas. Geralmente possuem como características a elevada disponibilidade hídrica (próximos a linhas de água perenes, periódicas ou esporádicas) e os solos de textura fina que, devido aos prados, possuem grandes quantidade de matéria orgânica (Figura 5). Na ausência de vegetação em situações de encharcamentos, ocorre o acúmulo de lama, e por isso são denominados “lameiros” (Poças et al., 2007; Pereira; Pedrosa, 2007). As dimensões de um lameiro normalmente são reduzidas, com largura entre 20 e 70 metros, delimitados entre eles por muros de pedras baixos e por linhas de árvores (Riso et al., 2016).

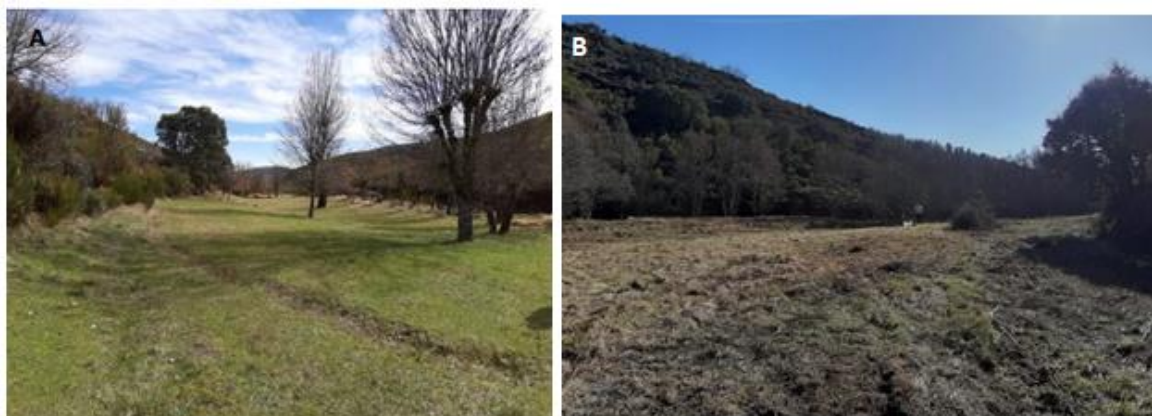


Figura 5. Lameiros do Parque Natural de Montesinho. A – Lrio21_05; B – Lave20_13.
Fonte: Fernandes (2019).

Surgiram com o povoamento de áreas de montanha no período da Alta Idade Média (séculos VIII a X), após o desmatamento de bosques úmidos, normalmente associados a uma rede de drenagem natural, para ser utilizados em pastagens comunitárias. No século XIV, já eram muito abundantes e produtivos nas terras altas do Norte e do Centro de Portugal (Azevedo et al., 2016; Ribeiro & Monteiro, 2014). As pastagens mais produtivas podem ultrapassar $12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de matéria seca, enquanto as menos produtivas (geralmente associadas a terrenos com pouca umidade, declive

excessivo, solos pouco férteis, ou longe de povoados) até 4 a 6 t.ha⁻¹.ano⁻¹ de matéria seca (Pereira & Arrobas, 2010).

Os lameiros são ecossistemas muito importantes, pois possuem funções econômicas, produtivas, paisagísticas, turísticas, culturais e ambientais. Eles atuam na regulação do ciclo da água e dos nutrientes, estabilização e aproveitamento da água em montanhas, contribuem para formação e consolidação do solo, diminuição do risco de erosão e na criação de manchas descontínuas que diminuem o risco da propagação do incêndio (Poças; et al., 2007).

Para manter a sustentabilidade ambiental desses prados seminaturais, é necessário realizar intervenções sobre os processos naturais, condicionando a drenagem superficial e subterrânea dos solos, conservando e limpando as matas e florestas, e assim auxiliando na preservação da biodiversidade. No entanto, devido às alterações climáticas, à crescente limitação de recursos hídricos, juntamente ao êxodo e abandono de regiões de montanhas, sua sustentabilidade está em risco (Nunes, 2016; Pereira & Pedrosa, 2007; Poças; et al., 2007).

2.2.2 Classificação

Os lameiros podem ser classificados tanto pela disponibilidade de água quanto pelo tipo de uso. Quanto à disponibilidade de recursos hídricos, são divididos em: lameiros de regadio (próximos a cursos de água permanentes, geralmente em fundos de vale e meia-encosta); lameiros de regadio imperfeito (ao longo de cursos de água não permanentes ou com caudal reduzido, com menores nascentes de água, normalmente em fundos de vale, meia encosta e em alguns planaltos); e lameiros de sequeiro ou “secadal” (junto de cursos de água temporários) (Poças et al., 2007).

A separação dos lameiros quanto ao uso está diretamente relacionada com as características de disponibilidade de água, proximidade com as povoações e declividade, e, segundo Pires et al. (1994), são divididos em:

Lameiros de pasto ou “pastigueiros” – são exclusivamente usados para pastoreio, normalmente em lameiros menos férteis de sequeiro e de regadio imperfeito, e nos mais declivosos em regadios.

Lameiros de erva “segadeiros” – aproveitados quase exclusivamente para corte, podendo ter um único pastoreio no ano. Composto por lameiros de regadio, com solos férteis, próximos a populações.

Lameiros de feno – são os que mais provêm alimentos por serem os mais abundantes. São lameiros de regadio ou regadio imperfeito, utilizados em regimes mistos de corte e pastoreio, com declive brando.

2.3 PARQUE NATURAL DE MONTESINHO

O Parque Natural de Montesinho (PNM) foi instituído pelo Decreto-Lei n° 355 de 30 de agosto de 1979, devido à necessidade urgente de iniciar ações para salvar e preservar o património de riqueza natural e paisagística do maciço montanhoso Montezinho-Coroa e à animação sociocultural das populações. Segundo o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas – ICNF (2007), o PNM está localizado na sub-região Alto Trás-os-Montes, no Norte de Portugal Continental. Compreende uma área de fronteira entre Portugal e Espanha, por isso, a Norte, a Este e Oeste é delimitado pela fronteira com a Espanha, e situa-se ao Norte dos Concelhos de Bragança e Vinhais. O PNM possui uma área total de 74.229 hectares, atualmente com uma população de aproximadamente 8.000 habitantes, em 88 aldeias, pertencentes a 38 freguesias e a 2 conselhos.

O clima pela classificação de Köppen é Csb, que corresponde a um clima temperado com invernos brandos, denominado clima mediterrâneo (Charraza, 2011). Tem como características a temperatura do mês mais frio entre -3 e 18°C. O verão é seco, longo e fresco, com precipitação menor que 40mm e com 1/3 da precipitação do mês de inverno mais úmido, com a temperatura média abaixo de 22°C, com pelo menos quatro meses com temperatura média acima de 10°C. A temperatura média anual no Parque varia entre os 8,5°C na Serra de Montesinho e os 12,8°C na Baixa Lombada.

Geologicamente o Parque Natural de Montesinho encontra-se nas Zonas Centro Ibérica e Galiza-Trás-os-Montes, que é uma região peninsular com o enquadramento geológico mais complexo da Península Ibérica. No nordeste peninsular, encontram-se maciços alóctones, polimetamórficos, máficos-ultramáficos. Na região transmontana ocorrem os maciços básicos e ultrabásicos de Bragança e Morais, que constituem unidades alóctones superior e intermédia. Em relação à Litologia, possuem, de maneira simplificada, rochas sedimentares recentes (Cenozóico), rochas metassedimentares e ígneas (Paleozóico), rochas ígneas básicas e ultrabásicas (Câmbrico e Pré-Câmbrico) (ICNF, 2007).

As altitudes do PNM variam de 438 metros, no ponto mais baixo no rio Mente, a 1.486 metros no ponto mais alto da Serra de Montesinho, sendo que, em sua maioria, as cotas de altitude são superiores a 800 metros. O relevo é movimentado, com vales profundamente encaixados, mas com superfícies aplanadas nas áreas de cumeada, refletindo a formação geológica antiga do território (Pré-câmbrico e Paleozoico), juntamente com os agentes que o moldaram. A área protegida é classificada em unidades geomorfológicas territoriais: Quintalha, Alta Lombada, Baixa Lombada, Onor, Montesinho, Espinhosela, Escusanba-Soutelo, Coroa, Moimenta, Oinheiros e Lomba (ICNF, 2007).

A rede hidrográfica do Parque Natural de Montesinho pertence à bacia hidrográfica do Rio Douro, sendo que o Rio Tua e o Rio Sabor são dois dos principais afluentes da margem direita desse rio. Os cursos mais relevantes que percorrem o Parque são os rios Mente, Rabaçal, Tuela e Baciero, pertencentes à bacia de drenagem do Rio Tua, e os rios Sabor, Igrejas, Onor e Maças incluídos na rede hidrográfica do Rio Sabor. Com isso, a rede de drenagem é relativamente densa e se distribui por todo o Parque, composta por rios principais com maior caudal, seus afluentes e ainda pequenas ribeiras e cursos de águas temporários. No entanto, os cursos de água sofrem grande variabilidade do seu nível, devido ao regime dos rios irregulares, à fraca permeabilidade das rochas, à presença de fortes declives das encostas e às ripícolas pouco desenvolvidas que favorecem o escoamento superficial das águas (ICNF, 2007).

Os solos presentes no PNM na sua maior parte são Leptossolos (75,6%), seguido de Cambissolos (19,7%), Pararregossolos (2,0%), Luvisolos (1,8%), Alissolos (0,7%) e Fluvisolos (0,2%). Segundo Figueiredo (2013), esses solos encontrados na região de Trás-os-Montes sofrem limitações quando ao uso agrário devido a várias características, entre elas: espessura, carência de água no solo, pedregosidade e declive. De acordo com essas limitações, a aptidão do solo no Parque para usos agrários é praticamente nula, para usos agrícolas e pastagem melhorada, ou moderada, para uso florestal. 17% da área não tem aptidão para nenhum uso agrário, enquanto apenas 3% tem aptidão igual ou superior a moderada para os três usos consecutivos. O uso atual do solo ultrapassa a potencialidade da terra, tendo como consequência a baixa produtividade e o aumento do risco de degradação do solo (ICNF, 2007).

O PNM possui uma grande diversidade de comunidades e espécies, devido à posição geográfica e à complexidade geológica e geomorfológica, associada a atividades humanas desenvolvida por séculos (Figura 6). Com isso, há presença de habitats distintos

de enorme relevância, dentre eles: matos, prados naturais, soutos, sardoais, ecossistemas ribeirinhos, vegetação ultrabásica e carvalhais (ICNF, 2020). Bompastor et al. (2009) realizou a valoração dos serviços ecossistêmicos dos matos do PNM e verificou que possuem classe máxima (3 em 3) em relação às funções de retenção do solo, regulação do ciclo da água, sequestração de CO₂, regulação climática, formação do solo, e de regulação do ciclo de nutrientes. Os matos representam 1/3 da área do parque e possuem elevado valor ecológico pelos serviços que prestam.



Figura 6. Fotografias do Parque Natural de Montesinho.
Fonte: Rota da terra fria transmontana (2020); A. Montesinho (2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende as bacias de drenagem de 16 lameiros da Alta Lombada e Onor. Os lameiros pertencem à bacia do Rio Sabor, que em sua maior parcela está localizada no Parque Natural de Montesinho, na região de Trás-os-Montes no Noroeste de Portugal, e que também tem uma parcela localizada na Espanha (Figura 7).

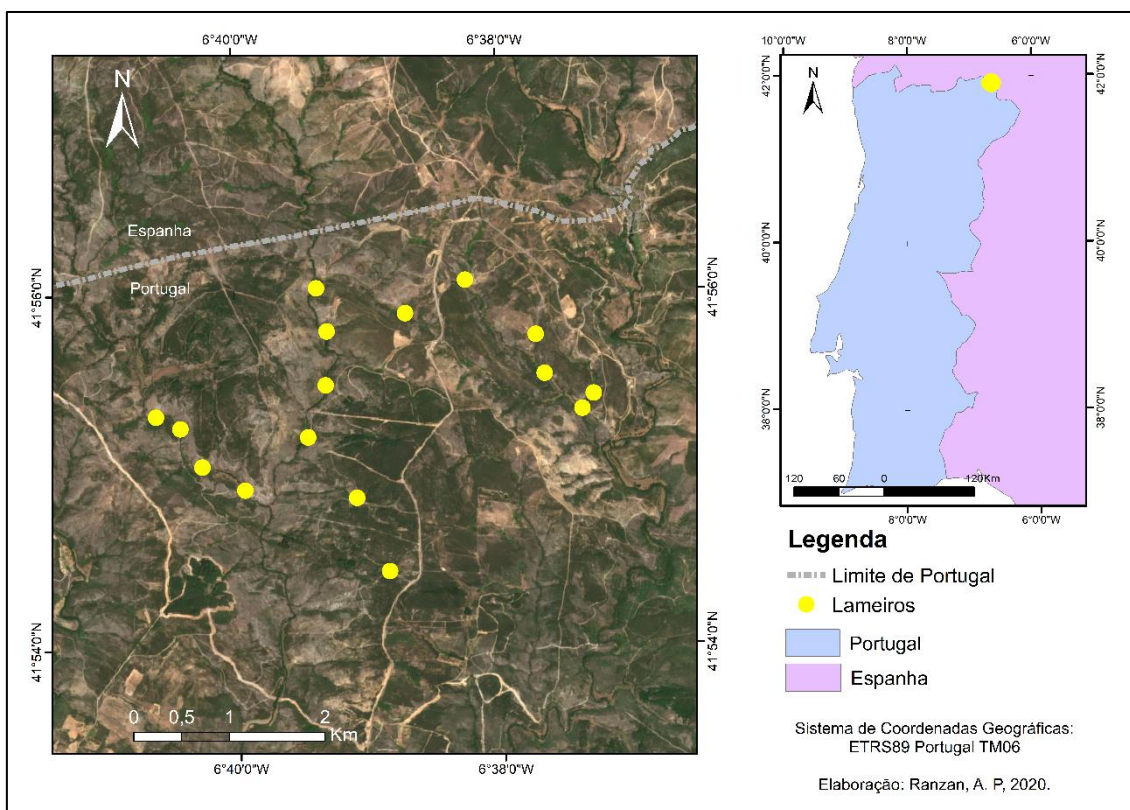


Figura 7. Localização dos lameiros da Alta Lombada e Onor, Parque Natural de Montesinho.
Fonte: Autoria própria, 2020.

Os lameiros em estudo pertencem às áreas selecionadas para intervenção pelo projeto HabMonte, por serem áreas relevantes para a conservação da natureza, sob cogestão pública, pertencerem ao território conhecido do lobo-ibérico, com vegetação arbórea autóctone importante para a conservação da natureza, e por possuírem suscetibilidade à ocorrência e propagação de incêndios. O projeto HabMonte possui 29 áreas de intervenção, divididas em três parcelas (Lombada, Montesinho e Coroa), que totalizam 100 pontos de amostragem em lameiros.

Neste estudo, os lameiros são classificados em quatro tipologias, sendo elas: lameiros com rio em uso, com rio abandonado, sem rio em uso e sem rio abandonados. Cada categoria possui quatro repetições, totalizando 16 lameiros. Dentre os 100 lameiros do projeto HabMonte, foram selecionados, com a orientação do Eng. José Luís Rosa, técnico do ICNF (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas) que trabalha no Parque Natural de Montesinho, os 16 lameiros que melhor representam as categorias para realização de pesquisas, como já realizado por Fernandes (2019). Na Tabela 1, constam os lameiros com as suas coordenadas e categorias.

Tabela 1. Classificação dos lameiros e coordenadas do ponto de identificação.

Lameiro	Classificação		Localização	
	Uso	Rio		
Lave20_05	Em uso	Com rio	6°40'36.42"W	41°55'18.74"N
Lave20_06	Em uso	Com rio	6°40'25.48"W	41°55'14.68"N
Lave20_07	Em uso	Com rio	6°40'15.76"W	41°55'1.63"N
Lave20_08	Em uso	Com rio	6°39'56.46W	41°54'53.57"N
Lave20_13	Abandonado	Com rio	6°39'27.53"W	41°55'11.21"N
Lave20_15	Abandonado	Com rio	6°39'19.22"W	41°55'28.75"N
Lave20_19	Abandonado	Com rio	6°39'22.80"W	41°56'1.65"N
Lave20_25	Abandonado	Com rio	6°39'18.39"W	41°55'46.96"N
LRio21_02	Em uso	Sem rio	6°38'15.19"W	41°56'3.74"N
LRio21_04	Em uso	Sem rio	6°37'43.50"W	41°55'44.98"N
LRio21_05	Em uso	Sem rio	6°37'39.71"W	41°55'31.73"N
LRio21_09B	Em uso	Sem rio	6°37'22.87"W	41°55'19.71"N
Lave20_11	Abandonado	Sem rio	6°38'51.39"W	41°54'25.52"N
Lave20_12	Abandonado	Sem rio	6°39'5.78"W	41°54'50.47"N
Lave20_18	Abandonado	Sem rio	6°38'42.61"W	41°55'52.75"N
LRio21_09	Abandonado	Sem rio	6°37'17.65"W	41°55'24.78"N

Fonte: Adaptado de Fernandes (2019).

3.2 PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

A delimitação e definição das características fisiográficas das bacias de drenagem dos lameiros em estudo foi realizada com a utilização do software de geoprocessamento ArcGIS. Para isso, inicialmente é necessário montar um banco de dados com informações geográficas da região, como o modelo digital de elevação (DEM), litologia, pedologia e uso do solo, abrangendo Portugal e a Espanha, conforme realizado por Okada (2019). Assim, foram obtidas a rede de drenagem, as áreas das bacias, mapa de litologia, mapa dos solos e mapa do uso do solo, e também foram extraídas as informações necessárias para o cálculo dos parâmetros geométricos, do sistema de drenagem e do relevo.

3.2.1 Obtenção das informações geográficas

Para a delimitação das bacias de hidrográfica de cada lameiro e geração do sistema de drenagem, e para extrair as informações para calcular os índices de geometria, sistema de drenagem e relevo, foi necessário obter um modelo digital de elevação (DEM) com resolução mínima de 10 metros. Por serem áreas pequenas, é importante utilizar informações com uma resolução maior para obter precisão. Como não há dados abertos disponíveis de DEM com resolução melhor que 10 metros que abrange Portugal e Espanha, foi necessário fazer a união entre informações.

Primeiramente, obteve-se uma informação referente a um modelo digital de elevação unificada entre os dois países, com resolução de 30 metros (DEM 30), disponibilizada pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), que compreende o projeto ALOS World 3D (AW3D), sendo selecionados os quadrantes N41W007 e N42W007. Para o lado espanhol, foram obtidos os arquivos digitais de nuvens de pontos LiDAR, a 1º Cobertura Lidar 2009/2010, pelo Instituto Geográfico Nacional – IGN, para a folha TMN50-305. Para Portugal, foi disponibilizado pelo Sr. José Rosa, Técnico Superior do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, um DEM com resolução de 10 metros referente ao sistema de informações geográficas do Parque Natural de Montesinho/ICNF – obtido por meio do Instituto Geográfico do Exército - CIGeoE.

A técnica LiDAR (Light Detection And Ranging) utiliza radiação eletromagnética nas frequências ópticas do visível e do infravermelho próximo, assim conseguindo realizar medições à distância, é uma alternativa para gerar um DEM de alta densidade e precisão. Os arquivos com informações altimétricas da nuvem de pontos LiDAR possuem densidade de 0,5 pontos/m². O formato extraído é em LAZ (formato de compressão do arquivo LAS), que é um formato de nuvens de pontos tridimensionais, com conjunto de elementos com coordenadas em 3 dimensões x, y e z.

Para poder gerar o DEM a partir do LiDAR, primeiro foram descomprimidas as informações de LAZ para LAS, pelo software CouldCompare. No software ArcGIS, utilizando os dados em formato LAS, empregou-se o filtro “Ground”, para obter as informações da elevação apenas do terreno, removendo os pontos da vegetação e edifícios. Em seguida, utilizou-se a função “LAS Dataset to raster” para converter as informações de elevação do terreno dos pontos LiDAR em um raster com resolução de 5 metros, com isso obtendo o DEM 5.

Devido ao fato de a área de estudo estar localizada na divisa entre Portugal e Espanha, a nuvem de pontos do LiDAR compreende uma parcela da área de Portugal, abrangendo assim a maioria dos lameiros, enquanto as informações do DEM 10 são apenas de Portugal. Para verificar a possibilidade de utilizar essas informações e validar o DEM 5, foram geradas as redes de drenagem e as bacias hidrográficas, foram extraídas as informações para os índices e foram calculadas as características fisiográficas para o DEM 30, DEM 10 e DEM 5.

Utilizando os resultados do DEM 30 como base, verificou-se que a maioria das bacias abrange uma parte da Espanha, com exceção das bacias dos lameiros Lave20_11 e Lave20_12, que estão localizadas mais ao sul e pertencem totalmente ao território português. O DEM 10 gerou com exatidão apenas as informações para os lameiros que estão no território português. O DEM 5 apresentou resultados muito semelhantes aos do DEM 30, o que valida as informações daquele, sendo que o DEM 5, por ter uma resolução mais detalhada, representou muito melhor a rede de drenagem do que o DEM 30, e o DEM 10. No entanto, há uma falha mais a sul das informações, compreendendo os lameiros Lave20_11 e Lave20_12. Com isso, foram utilizadas as informações do DEM 10 para os lameiros Lave20_11 e Lave20_12 e as informações do DEM 5 para os demais.

Para a caracterização da geologia, pedologia e uso e ocupação do solo, foram utilizadas as informações unificadas para Portugal e Espanha obtidas por Okada (2019) para a bacia hidrográfica do Rio Sabor. A litologia compreende as informações disponibilizadas pelo Sistema Nacional de Informação Geográfica - SNIG (Portugal) e Instituto Geológico y Minero de España – IGME (Espanha), e a compatibilização da legenda segundo Agroconsultores e Coba (1991).

A pedologia reúne as informações da “Carta de solos do Nordeste Transmontano à escala 1:100000”, confeccionada por Agroconsultores e Coba (1991) para Portugal, e para a Espanha o “Mapa de clases de suelo de toda la comunidad de Castilla y León com escala 1/400.000 y clasificación FAO”, por meio do Instituto Tecnológico Agrário da junta de Castilla y Leon (ITACyL), a compatibilização das legendas por Figueiredo (2013). O uso e ocupação do solo consiste na unificação da COS 2015 (Cartografia de uso e ocupação do solo de 2015) para Portugal obtida no SNIG, e para a Espanha o SIOSE 2014 (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España de 2014), a legenda é baseada na COS 2015.

3.2.2 Delimitação das bacias hidrográficas

Para a delimitação da rede de drenagem e das bacias hidrográficas, foram utilizados os modelos digitais de elevação (DEM) no software ArcGIS por meio do conjunto de ferramentas denominado “Hydrology”. O primeiro passo foi utilizar a função “fill” para preencher espaços vazios e assim corrigir imperfeições do DEM. Na sequência, foi gerada a direção do fluxo, utilizando a função “Flow Direction” tendo como base o DEM corrigido. A partir da direção do fluxo, obteve-se o acúmulo do fluxo “Flow Accumulation”.

Para definir o sistema de drenagem, aplicou-se uma condicional, por meio da ferramenta “Con”, que definiu a partir de qual valor de acúmulo de fluxo é considerado uma linha de água, pois apenas os valores maiores do que o aplicado na condicional permaneceram no arquivo em formato raster gerado. Com isso, quanto maior a acumulação do fluxo, maior a tendência de ter uma linha de água. Esses valores variam também de acordo com a resolução. Foram testados alguns intervalos de valores e analisados os resultados obtidos no Google Earth para averiguar qual rede gerada representa melhor os talwegues reais. Para o DEM 30 valores maiores que 100, para o DEM 10 valores superiores a 500 e para o DEM 5 valores maiores que 2000.

Após isso, aplicou-se a ferramenta “Stream Link”, que associa a direção às linhas de drenagem geradas pela condicional. Utiliza-se o resultado do stream link para determinar a ordem das linhas de água, pelo método do Strahler pela ferramenta “Stream order. Por fim, foram obtidas as linhas da rede de drenagem em formato shapefile aplicando a função “Stream to Feature”.

Para a delimitação das bacias hidrográficas, foi necessário definir o ponto de localização do final de cada lameiro para ser o exutório da bacia. Para isso, exportaram-se os pontos dos lameiros (Tabela 1) e o sistema de drenagem gerado para Google Earth Pro, e foram analisados pelas imagens os lameiros e, com a relação à rede de drenagem, foram determinados os pontos finais da bacia. As coordenadas dos pontos foram exportadas para o ArcGIS. Pela ferramenta “Watershed”, com a direção do fluxo e o ponto final de cada lameiro, determinaram-se as bacias hidrográficas em formato raster. Com a função “raster to polygon”, as bacias foram convertidas em polígonos no formato shapefile.

3.2.3 Caracterização fisiográfica das bacias

3.2.3.1 Geometria

As características geométricas compreendem a área de drenagem, perímetro, índice de compacidade e o fator de forma. A área de drenagem e o perímetro foram obtidos por meio da projeção horizontal da superfície da bacia através das ferramentas de geoprocessamento.

O índice de compacidade, representado pela Equação (1), é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo que possui área igual à da bacia (Lencastre & Franco, 2006). Para calcular esse índice, utilizou-se o software Excel, com os valores obtidos para a área e perímetro da bacia.

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

Onde:

K_c = Índice de compacidade

P = perímetro da bacia hidrográfica (m)

A = área da bacia hidrográfica (m²)

O fator de forma, representado pela Equação (2), é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia, definido como uma linha que acompanha a extensão do talvegue mais longo dessa bacia (Lencastre & Franco, 2006). Esse valor, assim como a área, foi extraído das informações de drenagem pelo software ArcGIS, e então os dados foram transferidos para o Excel, onde aplicou-se a equação (2).

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

Onde:

K_f = Fator de forma

L = Comprimento axial da bacia hidrográfica (m)

A = Área da bacia hidrográfica (m²)

3.2.3.2 Sistema de drenagem

Em relação ao sistema de drenagem, as características fisiográficas que foram analisadas são o comprimento do talvegue principal, o comprimento total das linhas de água, a ordem do curso de água, a densidade de drenagem e o percurso médio sobre o

terreno. A determinação da ordem dos rios da bacia é baseada no método de Strahler (1957), que consiste em iniciar classificando as nascentes como de ordem 1, e quando dois cursos de ordem 1 se unirem, formarão um de ordem 2, e quando dois da ordem 2 se encontrarem, formarão um da ordem 3 e assim sucessivamente.

A densidade de drenagem, segundo Hipólito & Vaz (2017), consiste na relação entre o comprimento total dos cursos de água de uma bacia com a área da bacia (Equação 3). O comprimento e a área foram obtidos por meio de ArcGIS, e com esses valores aplicou-se a equação no Excel. Após a obtenção da densidade de drenagem, é possível calcular no Excel o percurso médio sobre o terreno, dado pela equação (4).

$$Y = \frac{\Lambda}{A} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

Y = Densidade de drenagem (km^{-1})

Λ = Comprimento total dos cursos da bacia hidrográfica (km)

A = Área da bacia hidrográfica (km^2)

$$L_p = \frac{1}{2Y} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

L_p = Percurso médio do terreno (Km)

Y = Densidade de drenagem (km^{-1})

3.2.3.3 Relevo

O relevo da bacia foi caracterizado pela altitude máxima, altitude a 5% da área acumulada da bacia, altitude mediana (a 50% da área), altitude a 95%, altitude mínima, a altitude média, a altura média, curva hipsométrica, perfil longitudinal do curso de água, distribuição do declive, declive médio da bacia, índice de declive geral e o retângulo equivalente.

Para calcular as características da altitude e sua distribuição pela bacia, primeiramente foi recortado para cada bacia o modelo digital de elevação (DEM), e assim extraída a tabela de atributos com informações referente à quantidade de pixels por altitude. Considerando que cada pixel representa uma área de 900 m^2 (DEM 30), 100 m^2 (DEM 10) ou 25 m^2 (DEM 05), foi possível relacionar as altitudes com a distribuição na bacia. Assim, foram obtidas a altitude máxima, altitude a 5%, altitude a 50%, altitude a 95% e altitude mínima para cada bacia.

Segundo Lencastre & Franco (2006), a altitude média é a relação do somatório da multiplicação entre a altura média e a área, entre duas curvas de nível consecutivas, com a área total da bacia (Equação 6). A altura média parte do mesmo princípio de cálculo da altitude média, com a diferença que a cota não é em relação ao nível médio do mar, mas sim acima da secção de estudo (Equação 7). Para obter a altitude média e a altura média mais precisamente, ao invés de usar intervalos de altitudes e altura, usaram-se todos os valores, que foram relacionados com a área corresponde obtida através dos pixels, dividida pela área total da bacia.

$$\bar{Z} = \frac{\sum Z_i A_i}{A} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

\bar{Z} = Altitude média

Z_i = Altura média entre curvas de níveis consecutivas

A_i = Área entre curvas de níveis consecutivas

A = Área da bacia hidrográfica (km²)

$$\bar{H} = \frac{\sum H_i A_i}{A} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

\bar{H} = Altura média

H_i = Altura média entre curvas de níveis consecutivas

A_i = Área entre curvas de níveis consecutivas

A = Área da bacia hidrográfica (km²)

A curva hipsométrica, segundo Hipólito & Vaz (2017), representa a área da bacia que está acima de uma cota com referência ao nível do mar. É curva da relação da área acumulada com a altitude correspondente. Foram obtidas a partir das informações extraídas pelo DEM. Para poder comparar as curvas entre elas, foram utilizados os valores em escalas unitárias, onde a altitude é representada em relação da altitude (z) com a altitude máxima (Z), e a área em relação à área acumulada (a) dividida pela área total acumulada (A). Para quantificar as diferenças entre as curvas, definiu-se a linha de tendência que melhor se adaptou a todas as curvas, com um r² maior que 0,95, foram extraídos os coeficientes da equação e foram realizadas comparações com os resultados.

O perfil longitudinal do curso de água é a representação da relação com a cota do respectivo curso com a sua distância da foz (Lencastre & Franco, 2006). Para obter a altitude ao longo do talvegue principal, utilizou-se uma função booleana na álgebra de mapas “Raster Calculator” do ArcGIS, associando o percurso do talvegue principal, para cada bacia individualmente, com o DEM, criando-se um arquivo raster com valores de 1

para quando o DEM e o talvegue se sobrepõem e valor de 0, quando não. Na sequência, foi realizado a multiplicação desse novo raster com o DEM, também pela álgebra de mapas e assim foram obtidos valores da altitude relacionada para cada pixel do rio. Extraindo-se a tabela de atributos, pode-se relacionar essas informações de altitude com o comprimento do rio, no Excel. Para a comparação, assim como para a curva hipsométrica, foram usados valores unitários, em relação à altitude (z/Z) e ao comprimento (l/L). Em seguida, definiu-se a linha de tendência e obteve-se os coeficientes das equações para realizar as análises e interpretações.

O declive foi calculado por meio da ferramenta “Slope” a partir do DEM corrigido, tendo sido obtidas informações do declive de cada pixel da bacia. A tabela de atributos foi extraída, com isso pode-se relacionar o declive com a área de cada pixel no Excel. O declive pode ser analisado pela sua distribuição em intervalos que são relacionados com o relevo, por isso realizou-se a classificação de acordo com a tabela x. Para determinar o declive médio da bacia, realizou-se uma média ponderada em relação à associação entre declive e área.

Tabela 2. Classificação do relevo de acordo com intervalos de declive.

Classificação do relevo	Intervalos de declive
Suave	0,00 a 5,00 %
Suave a moderado	5,01 a 15,0 %
Moderado	15,01 a 25,0 %
Íngreme	25,01 a 45,0 %
Muito íngreme	> 45,0 %

Fonte: Santos & Fortuna (2005).

O índice de declive global (I_p), segundo Hipólito & Vaz (2017), é um valor médio de declive que representará as características da bacia, pois exclui os valores extremos. Os valores das cotas foram extraídos da tabela de cálculos da relação entre porcentagem de área e altitude, e do comprimento do retângulo equivalente, o índice global será calculado pela equação (9).

$$I_p = \frac{Z_5 - Z_{95}}{L_e} \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

I_p = Índice de declive global

Z_5 = altitude a 5% da área da bacia

Z_{95} = altitude a 95% da área da bacia

L_e = Comprimento do retângulo equivalente

O retângulo equivalente é uma característica geométrica. No entanto, associando-o com a declividade, ele também representa o relevo. É o retângulo que representa a bacia, por possuir área e perímetro iguais aos da bacia, e pode ser representado matematicamente pelo sistema da equação (10).

Resolvendo o sistema, são obtidas as equações (11) e (12), com as quais foram calculados o comprimento e a largura do retângulo equivalente. Essas equações só possuem soluções reais quando $P^2 \geq 16A$, com isso não existirá retângulo equivalente se alguma das bacias possuir forma circular (Hipólito & Vaz, 2017).

$$\begin{cases} 2 \times (L_e + l_e) = P \\ L_e + l_e = A \end{cases} \quad \text{Equação (10)}$$

$$L_e = \frac{P}{4} + \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad \text{Equação (11)}$$

$$l_e = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - A} \quad \text{Equação (12)}$$

Onde:

L_e = Comprimento do retângulo equivalente

l_e = Largura do retângulo equivalente

P = Perímetro da bacia hidrográfica

A = Área da bacia hidrográfica

Em seguida, foram determinadas no retângulo equivalente várias curvas de nível paralelas, com distância e largura que correspondem à porcentagem de área que o intervalo dessas cotas está presente na bacia, calculado pela equação (11). Os retângulos equivalentes foram confeccionados no software AutoCAD.

$$L_{ei} = \frac{A_i}{l_e} \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:

L_{ei} = Distância que separa as duas retas de cotas Z_i e Z_{i-1}

A_i = Área entre as duas retas

l_e = Largura do retângulo equivalente

3.2.3.4 Geologia, solos e uso do solo

Com a delimitação das bacias hidrográficas, foram extraídas as informações de litologia, pedologia, e de uso e ocupação do solo para cada uma das bacias, usando a base de dados da bacia do Rio Sabor confeccionada por Okada (2019). Com isso, foram obtidas as informações de litologia; de solos em relações a unidades principais, unidades secundárias, a união entre esses dois níveis, e os tipos hidrológicos de solo; e o uso e ocupação do solo em relação ao 3º nível da COS de 2015, e em megaclasses. Os resultados obtidos foram comparados estatisticamente e relacionados com o comportamento hidrológico da bacia.

3.3 ÁREAS DE LAMEIROS: CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DIFERENCIADORAS

Para se obter uma diferenciação entre os lameiros e as suas encostas diretas, em relação a algumas características fisiográficas, primeiramente foi necessário delimitar essas áreas. As delimitações dos lameiros foram realizadas com base em imagens de satélite adicionada no ArcGIS através da função “Add Basemap”, juntamente com análise da COS e do declive.

Para determinar qual a área de influência direta das encostas dos lameiros, iniciou-se com a definição do ponto inicial do lameiro, com esse ponto foi possível gerar uma bacia a montante do lameiro. Através da ferramenta “Symmetrical Difference” do ArcGIS foi extraída a área de influência. Dessa área de influência direta, foi removido o lameiro, que é a parte central e, como consequência, ela ficou dividida em duas partes: uma classificada com lameiros (que drena diretamente para o lameiro) e a outra sem lameiro (que drena diretamente para uma linha de água).

Com bases nessas 3 áreas, juntamente com a área de delimitação da bacia, foram obtidas informações de valores relacionados com as quantidades de pixel, com as características de declive, de comprimento de fluxo e de acumulação do fluxo. Com isso, foi possível fazer uma média ponderada para cada uma dessas características e obter um valor médio para toda amostra em estudo para as quatro diferentes áreas. Foram utilizadas análises estatísticas para a comparação entre as áreas e o as tipologias de lameiros, e as suas interações.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a obtenção de todas as características fisiográficas citadas acima, foram realizadas as análises estatísticas para obter diferenciação entre as tipologias de lameiros. Para isso, foi realizada a comparação entre médias de cada grupo de lameiros para todas as características individualmente, pela análise de variância ANOVA com fator duplo de repetição, no software Excel. A ANOVA identifica se há ocorrência de fatores ou efeitos significativos. Quando existe apenas duas categorias, um efeito significativo representa uma diferença significativa entre as médias correspondentes. Quando há mais que duas categorias, apenas indica que há diferença significativa, mas não entre quais.

Foram comparadas as relações entre os diferentes grupos em relação ao uso, à linha de água e à interação entre os dois. As características diferenciadoras das áreas de lameiros foram comparadas com base na tipologia de lameiro, pelas diferentes áreas e a interação entre elas. Nos casos em que a ANOVA não foi suficiente para identificar aonde ocorrem as diferenças significativas entre os grupos (portanto quando se tratou de comparar mais de dois grupos), foi realizado o teste de Tukey por meio da calculadora automática VassarStats: Website for Statistical Computation (2020).

Também foi realizada uma análise das interações entre as características fisiográficas, por meio de uma matriz de correlação do software Excel. Nela, foram obtidos valores de correlações entre as variáveis que variam de 1 a -1, sendo que valores próximos a 1 têm forte correlação positiva, valores próximos a -1 forte correlação negativa, e de 0 não têm correlação entre as variáveis comparadas. Foram selecionadas as características com maiores relações, e realizou-se uma análise de regressão entre elas. Com essas informações, é possível identificar quais características estão relacionadas entre si e com as tipologias de lameiros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

As bacias hidrográficas de cada lameiro representam uma área definida topograficamente, na qual todo o sistema de drenagem superficial, composto por linhas de águas permanentes ou não, drenam para o mesmo ponto de referência, que é o ponto final do lameiro e o exutório da bacia. As bacias de drenagem obtidas por meio dos pontos do exutório de cada lameiro da Alta Lombada e Onor estão representadas na Figura 8.

As bacias dos lameiros classificados “Com rio em uso” estão destacadas em tons de verdes, as “Com rio abandonados” em tons de azul, “Sem rio em uso”, em tons de marrom e os “Sem rio abandonado” em tons de laranja. Quanto à localização, observa-se que as bacias dos lameiros “com rio” possuem mais da metade da sua área pertencente à Espanha, enquanto que as bacias “sem rio” quase totalmente localizadas apenas em Portugal.

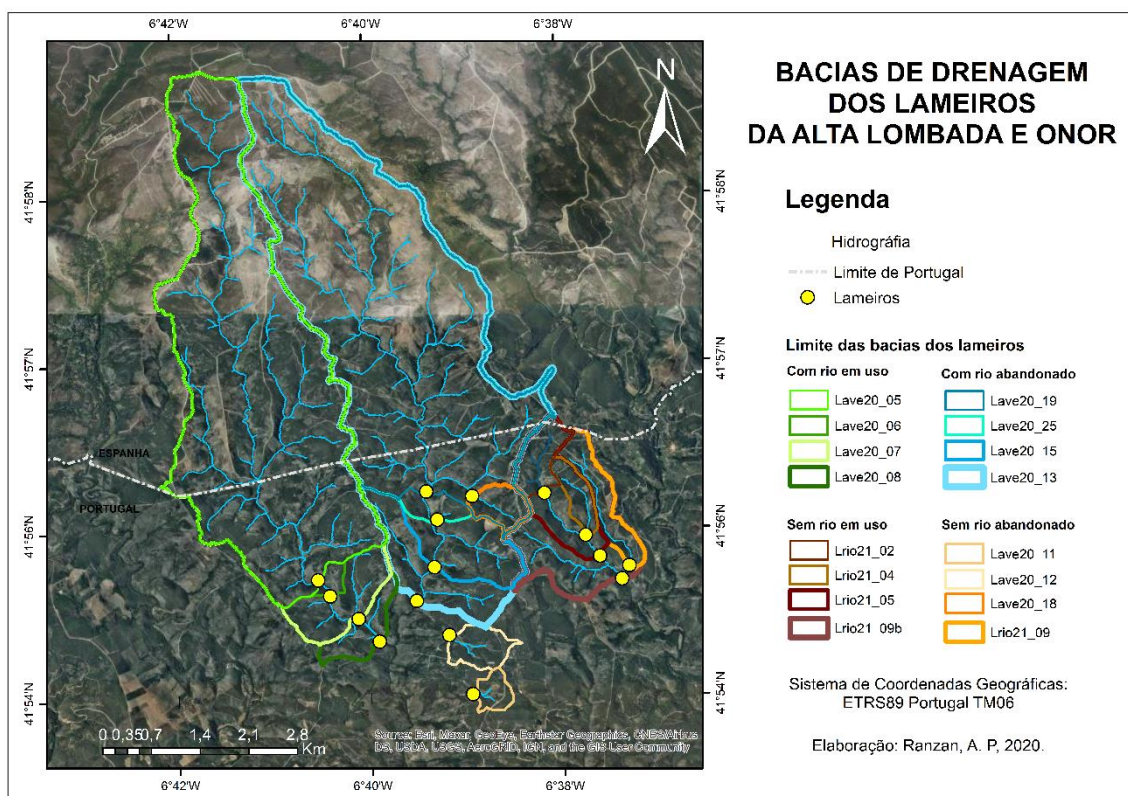


Figura 8. Mapa das bacias hidrográficas dos lameiros da Alta Lombada e Onor, do Parque Natural de Montesinho.

Fonte: Autoria própria, 2020.

4.2 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS

As características fisiográficas das bacias hidrográficas são aquelas que podem ser obtidas a partir de informações geográficas (mapas, imagens de satélite e fotografias aéreas) diretamente ou por meio de índices. Nesse item, será apresentada a caracterização fisiográfica para as bacias de drenagem dos 16 lameiros, em relação a geometria, sistema de drenagem, relevo, geologia, pedologia e uso e ocupação da terra, além das comparações dessas características entre as tipologias de lameiro, relacionando-as com a resposta hidrológica de cada característica.

4.2.1 Geometria

Na Tabela 3 constam os resultados obtidos para as características de geometria, que são a área de drenagem, o perímetro, o índice de compacidade e o fator de forma das bacias hidrográficas dos lameiros.

Tabela 3. Características geométricas das bacias hidrográficas dos lameiros.

Lameiro	Classificação		Área (km ²)	Perímetro (km)	Índice de compacidade K _c (adimensional)	Fator de forma K _f (adimensional)
	Uso	Linha de água				
Lave20_05	Em uso	Com rio	12,8	21,8	1,71	0,21
Lave20_06	Em uso	Com rio	13,0	22,0	1,71	0,20
Lave20_07	Em uso	Com rio	14,0	22,8	1,71	0,19
Lave20_08	Em uso	Com rio	14,5	23,7	1,75	0,18
Lave20_13	Aband.	Com rio	16,3	23,8	1,66	0,22
Lave20_15	Aband.	Com rio	15,0	22,9	1,66	0,22
Lave20_19	Aband.	Com rio	13,5	21,6	1,65	0,28
Lave20_25	Aband.	Com rio	13,8	21,5	1,62	0,24
LRio21_02	Em uso	Sem rio	0,5	3,5	1,35	0,39
LRio21_04	Em uso	Sem rio	0,4	2,9	1,35	0,22
LRio21_05	Em uso	Sem rio	1,4	5,8	1,34	0,27
LRio21_09B	Em uso	Sem rio	3,2	8,9	1,40	0,40
Lave20_11	Aband.	Sem rio	0,2	2,0	1,18	0,86
Lave20_12	Aband.	Sem rio	0,5	3,0	1,25	0,43
Lave20_18	Aband.	Sem rio	0,4	2,8	1,25	0,68
LRio21_09	Aband.	Sem rio	0,7	5,3	1,80	0,14

Fonte: Autoria própria, 2020.

Para poder ter uma análise mais ampla dos lameiros em relação à sua classificação quanto ao uso e à presença de linha de água, foi realizada uma comparação de médias pela análise de variâncias ANOVA com fator duplo de repetição. Nessa análise são

comparadas as médias para cada grupo de com rio ou sem rio, e em uso e abandonado e as interações entre essas categorias para verificar se há efeitos significativos ao grau de 5% de significância. Os resultados estão na Tabela 4. Por meio da comparação das médias e das suas variâncias pela análise ANOVA, verificou-se que, para as características de geometria analisadas apresentaram efeitos significativos ao grau de 5%, apenas em relação à presença ou ausência de linha de água permanente, logo as médias dos dois grupos apresentam diferenças significativas

Tabela 4. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características de geometria.

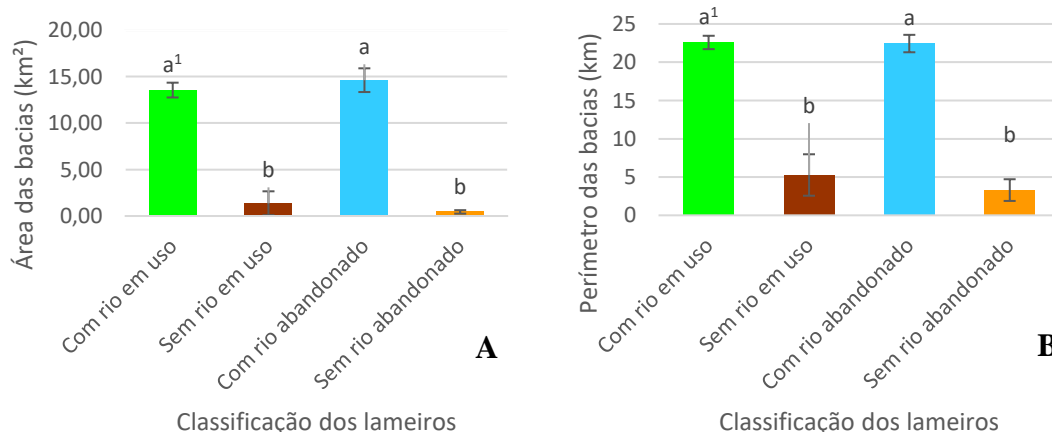
Indicador	p valor ¹		
	Uso	Linha de água	Interações
	gl 1 ²	gl 1	gl 1
Área	0,89	$5,0 \cdot 10^{-12}$	0,07
Perímetro	0,24	$5,7 \cdot 10^{-11}$	0,30
Índice de compactidade	0,67	$9,9 \cdot 10^{-04}$	0,58
Fator de Forma	0,14	$2,5 \cdot 10^{-02}$	0,34

1 Diferença significativa quando p valor < 0,05, para um grau de 5% de significância.

2 gl – grau de liberdade.

Fonte: Autoria própria, 2020.

A área de drenagem para as bacias com rio é, em média, de $14,08 \pm 0,91 \text{ km}^2$, enquanto para as sem rio é de $1,14 \pm 0,98 \text{ km}^2$, ou seja, os lameiros com linha de água permanente possuem bacias hidrográficas maiores (Figura 9). Os perímetros das bacias hidrográficas com presença de rio apresentam um valor de $22,51 \pm 0,94 \text{ km}$, e os perímetros das bacias sem rio de $4,28 \pm 2,26 \text{ km}$, com isso os lameiros com rio também apresentam maior perímetro (Figura 9).



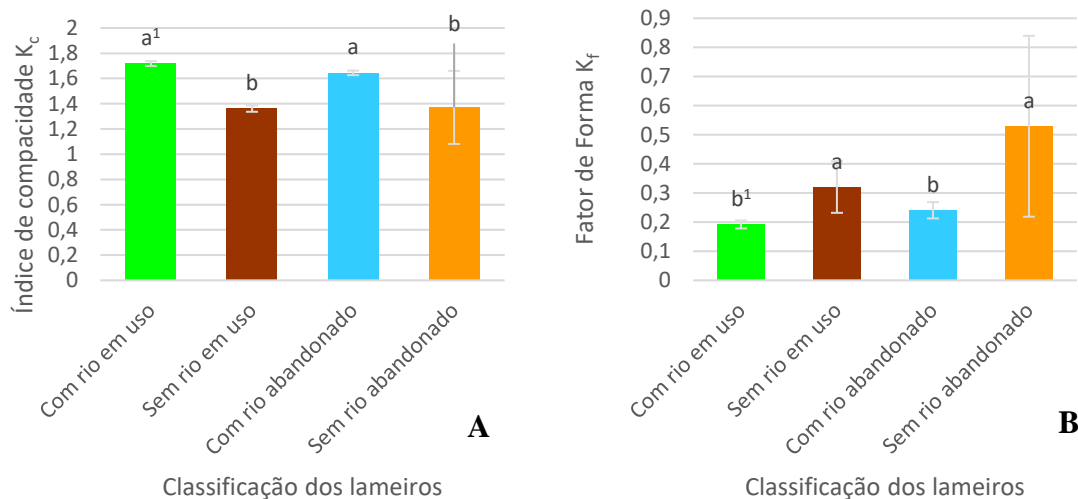
1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

Figura 9. Área (A) e perímetro (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.

Fonte: Autoria própria, 2020.

O índice de compacidade (K_c) para as bacias dos lameiros com presença de rio apresentou valores médios de $1,68 \pm 0,4$ e sem presença de rio valores de $1,37 \pm 0,04$. Assim, verifica-se que os lameiros sem rio possuem bacias com formato mais circular, por apresentarem valores mais próximos de 1,0, que representa um formato circular. No fator de forma (K_f), ao contrário dos outros índices de geometria, os lameiros com rio apresentaram valores inferiores aos lameiros sem rio, respectivamente de $0,22 \pm 0,03$ e $0,42 \pm 0,24$. Ou seja, os lameiros com presença de linha de água permanente possuem bacias mais estreitas ou irregulares por apresentarem um menor fator de forma (Figura 10).

Do ponto de vista hidrológico das características de geometria, os lameiros com presença de linha de água permanente possuem maiores áreas, quando as características de clima e precipitação são semelhantes, os escoamentos em uma bacia tendem ser em função crescente da área, logo, tem propensão a maiores escoamentos. No entanto, pelo K_c e K_f esses lameiros possuem formato mais estreito ou irregular, o que garante uma menor tendência de ter cheias, pois o tempo que o escoamento vai levar para chegar no rio principal não é uniforme, e outro fator é que há uma menor probabilidade de ocorrer chuvas intensas simultaneamente em toda a extensão da bacia (Hipolito & Vaz, 2017; Lencastre & Franco, 2006).



1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

Figura 10. Gráfico de barras das médias com erro associado do (A) índice de compacidade (K_c) e (B) fator de forma (K_f) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.

Fonte: Autoria própria, 2020.

4.2.2 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem foi caracterizado pelo comprimento do talvegue principal, comprimento total das linhas de água, ordem do curso de água, densidade de drenagem e pelo percurso médio sobre o terreno (Tabela 5). Por meio da análise de variância ANOVA, foram obtidos os resultados descritos na Tabela 6.

Tabela 5. Características do sistema de drenagem das bacias hidrográficas dos lameiros.

Lameiro	Classificação		Comp. do talvegue principal ¹ (km)	Comp. total dos talvegues ¹ (km)	Ordem do curso de água	Y ² (km ⁻¹)	Lp ³ (km)
	Uso	Linha de água					
Lave20_05	Em uso	Com rio	9,6	34,9	4,00	2,72	0,18
Lave20_06	Em uso	Com rio	9,9	35,2	4,00	2,72	0,18
Lave20_07	Em uso	Com rio	10,7	38,2	4,00	2,74	0,18
Lave20_08	Em uso	Com rio	11,1	39,9	4,00	2,76	0,18
Lave20_13	Aband.	Com rio	10,3	46,9	4,00	2,88	0,17
Lave20_15	Aband.	Com rio	9,6	43,3	4,00	2,89	0,17
Lave20_19	Aband.	Com rio	8,2	39,6	4,00	2,94	0,17
Lave20_25	Aband.	Com rio	8,8	40,4	4,00	2,93	0,17
LRio21_02	Em uso	Sem rio	1,0	1,3	2,00	2,50	0,20
LRio21_04	Em uso	Sem rio	1,0	1,0	1,00	2,92	0,17
LRio21_05	Em uso	Sem rio	2,3	3,8	2,00	2,62	0,19
LRio21_09B	Em uso	Sem rio	2,9	9,3	3,00	2,94	0,17
Lave20_11	Aband.	Sem rio	0,3	0,5	2,00	2,12	0,24
Lave20_12	Aband.	Sem rio	0,6	0,9	2,00	1,89	0,27
Lave20_18	Aband.	Sem rio	0,7	0,7	2,00	1,80	0,28
LRio21_09	Aband.	Sem rio	2,1	2,3	2,00	3,40	0,15

¹ Talvegues definidos em SIG.

² Densidade de drenagem.

³ Percurso médio sobre o terreno.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 6. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características do sistema de drenagem.

Indicador	p valor ¹		
	Uso	Linha de água	Interações
	gl ²	gl ¹	gl ¹
Comprimento do talvegue principal ³	0,03	1,33.10 ⁻¹⁰	0,80
Comprimento total dos talvegues ³	0,36	5,39.10 ⁻¹²	0,01
Ordem do curso de água	1,00	4,46.10 ⁻⁰⁷	1,00
Densidade de drenagem (Y)	0,51	0,15	0,14
Percurso médio sobre o terreno (Lp)	0,24	0,07	0,07

¹ Diferença significativa entre as médias quando p valor < 0,05, para um grau de 5% de significância.

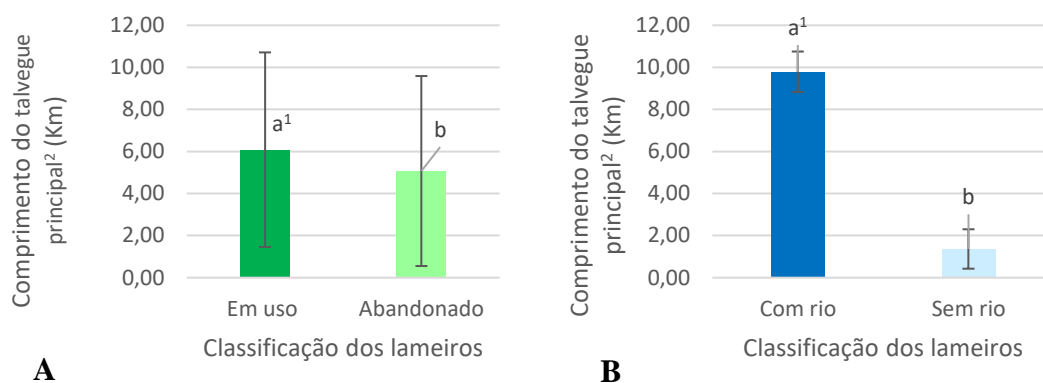
² gl – grau de liberdade

³ Talvegues definidos em SIG.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Verifica-se que os resultados não foram uniformes. No caso do comprimento do talvegue principal e no comprimento total dos talvegues, apresentaram efeitos significativos ao nível de 5% de significância, em mais de duas categorias, com isso não são suficientes para identificar as diferenças entre as médias e realizou-se o teste de Tukey.

O comprimento do talvegue principal apresentou diferenças significativas pelo teste de Tukey entre os lameiros em uso ($6,08 \pm 4,63$ km) e abandonado ($5,07 \pm 4,52$ km) e também entre os lameiros com rio ($9,79 \pm 0,96$ km) e sem rio ($1,36 \pm 0,94$ km). Ou seja, os talvegues principais são maiores nos lameiros com rio do que nos sem rio, e em relação ao uso são maiores nos que estão sendo utilizados do que nos abandonados, como pode ser observado na Figura 11.



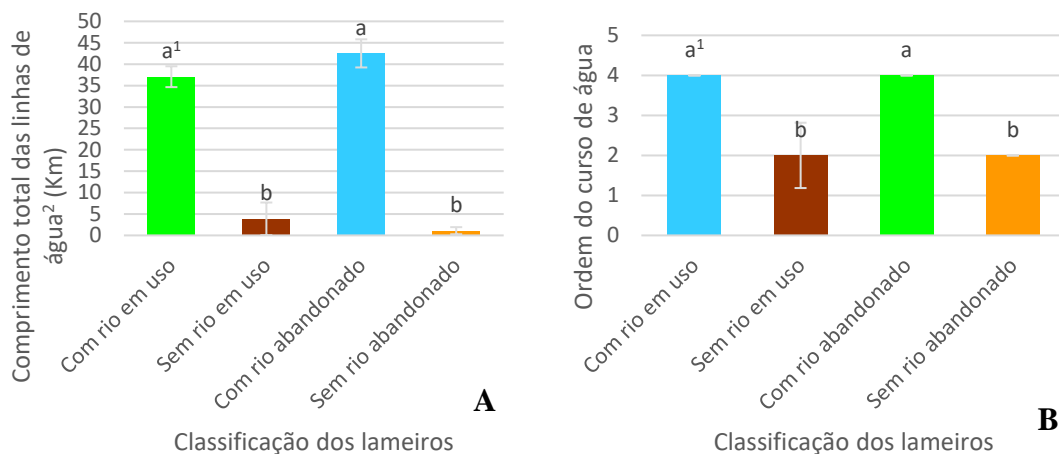
1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

2 Talvegues definidos em SIG.

Figura 11. Gráfico de barras das médias com erros associados do comprimento do talvegue principal das bacias hidrográficas para as classes de lameiros (A) quanto ao uso e (B) quanto à presença de linha de água permanente.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Para o comprimento total das linhas de água, foram encontrados efeitos significativos relativamente às linhas de águas e entre as interações das classificações. Para poder verificar em quais tipologias de lameiros estão as diferenças, utilizou-se o teste de Tukey. Obteve-se como resultado (Figura 12) que realmente só há diferença significativa em relação à linha de água, sendo que as bacias com linha de água permanente possuem maiores valores para o comprimento total dos talvegues ($39,79 \pm 2,48$ km) do que as não permanentes ($2,48 \pm 2,95$ km).



¹ Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

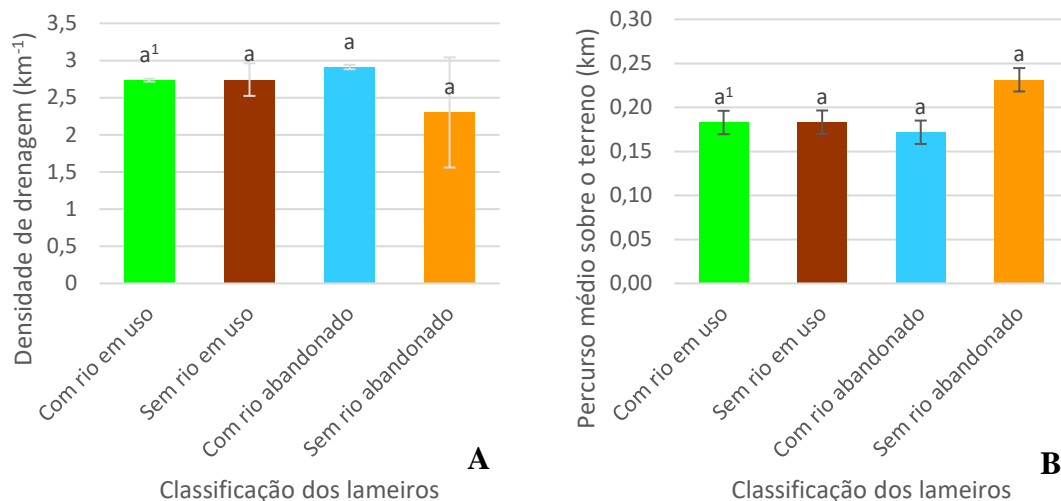
² Talvegues definidos em SIG.

Figura 12. Gráfico de barras das médias com erros associados do comprimento das linhas de água (A) e a ordem do curso de água principal (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.

Fonte: Autoria própria, 2020.

A ordem do curso de água, pela classificação de Strahler (1957), apresentou diferenças significativas apenas para os grupos de lameiros com rio, que possuem, em média, ordem $4 \pm 0,00$ e sem rio com ordem $2 \pm 0,53$. Isso mostra que os lameiros com presença de linha de água permanente possuem uma rede de drenagem mais ramificada, complexa e desenvolvida (Hipolito & Vaz, 2017).

A médias entre os grupos para a densidade de drenagem $-Y$ (km^{-1}) e o percurso médio sobre o terreno $-L_p$ (km) não são diferentes para um grau de 5% de significância (Figura 13). A média para a densidade de drenagem das bacias hidrográficas em estudo é de $2,67 \pm 0,42 \text{ km}^{-1}$, e a média para o percurso médio sobre o terreno de $0,19 \pm 0,04 \text{ km}$. Segundo Lencastre & Franco (2006), os valores menores que $0,5 \text{ km}^{-1}$ para Y são para bacias mal drenadas e maiores que $3,5 \text{ km}^{-1}$ para bacias muito bem drenadas, e valores altos de Y associados a valores baixos de L_p , representam bacias com uma drenagem elevada. Com isso as bacias desses lameiros são relativamente bem drenadas, e assim pouco sujeitas a cheias.



1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

Figura 13. Gráfico de barras das médias com erros associados da densidade de drenagem (A) e percurso médio sobre o terreno (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Com objetivo de obter uma maior diferenciação entre as classificações de lameiros quanto à densidade de drenagem e ao percurso médio sobre o terreno, utilizou-se uma rede de drenagem mais detalhada, também gerada em ambiente SIG resultante do DEM 5 e do DEM 10. Com isso, aumentou-se o comprimento das linhas de água. A rede de drenagem usada para a classificação anterior representa melhor a realidade das bacias, pois é mais próxima do valor de 1,79 km⁻¹ para Y obtido por Okada (2019) para a bacia hidrográfica de Gimonde, na qual essa área de estudo está compreendida.

Tabela 7. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características do sistema de drenagem, com a rede de drenagem mais detalhada

Indicador	p valor ¹		
	Uso gl 1 ²	Linha de água gl 1	Interações gl 1
Comprimento do talvegue principal ³	0,03	1,47.10 ⁻¹⁰	0,80
Comprimento total dos talvegues ³	0,43	2,25.10 ⁻¹²	0,02
Ordem do curso de água	1,00	4,46.10 ⁻⁰⁷	1,00
Densidade de drenagem (Y)	0,91	0,02	0,43
Percurso médio sobre o terreno (Lp)	0,82	0,01	0,31

1 Diferença significativa entre as médias quando p valor < 0,05, para um grau de 5% de significância.

2 gl – grau de liberdade.

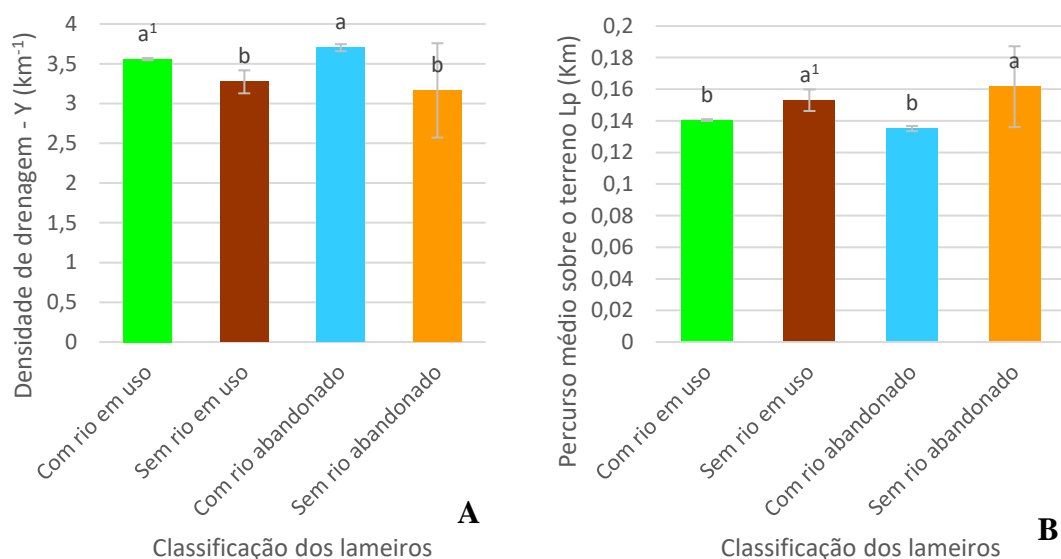
3 Talvegues definidos em SIG.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Os resultados da comparação das médias pela ANOVA para a rede de drenagem mais detalhada estão na Tabela 7. Observa-se que, para o comprimento do talvegue principal, o comprimento total dos talvegues e a ordem do curso de água, com o objetivo

de diferenciação entre as classes, não ocorreram diferenças em relação à análise anterior. No entanto, a densidade de drenagem e o percurso médio sobre o terreno, que antes não tinham diferença significativa entre os grupos, agora têm diferença para a presença de linha de água permanente.

A média para a densidade de drenagem (Figura 14) para bacias hidrográficas dos lameiros da classe “com rio” é maior que a média da classe os “sem rio”, com valores respectivamente de $3,63 \pm 0,08$ (km^{-1}) e $3,22 \pm 0,40$ (km^{-1}). Para o percurso médio sobre o terreno (Figura 14), as bacias dos lameiros sem linha de água permanente apresentaram os maiores valores $0,16 \pm 0,02$ km, e com linha de água permanente $0,14 \pm 0,00$ km. Com essa comparação, pode-se afirmar que ambos os tipos de bacias possuem uma drenagem elevada, sendo que a bacia dos lameiros com rios possuem uma drenagem melhor do que as bacias sem rio.



1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

Figura 14. Gráfico de barras das médias com erros associados densidade de drenagem (A) e percurso médio sobre o terreno (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros, utilizando a rede de drenagem mais detalhada.

Fonte: Autoria própria, 2020.

4.2.3 Relevo

Neste item, serão discutidas as características de relevo obtidas, que consistem nas características hipsométricas das bacias (altura média e altitudes média, máxima, a 95% da área, a 50%, a 5% e a mínima); a curva hipsométrica; o perfil longitudinal do talvegue principal; a declividade (declive médio da bacia, o índice global de declividade e a distribuição dos declives por classes); e o retângulo equivalente.

4.2.3.1 Altitude

A caracterização da altitude das bacias hidrográficas, que é definida em relação à elevação do relevo tendo como ponto de referência o nível do mar, foi determinada pela altitude média (Z), pelas altitudes máxima e mínima e pela distribuição de altitudes em relação às áreas a 5%, a 50% e a 95%. A altura média é uma outra forma de representar a elevação do relevo da bacia, mas tendo como valor de referência a altitude mínima da bacia. Os valores obtidos para essas características estão na Tabela 8. A comparação estatística entre as médias de cada grupo foi realizada pelo teste ANOVA e os resultados obtidos estão na Tabela 9.

Tabela 8. Altitudes das bacias hidrográficas dos lameiros.

Lameiro	Classificação		Z (m)	H (m)	Alt. máxima (m)	Alt. a 5%	Alt. a 50%	Alt. a 95%	Alt. mínima (m)
	Uso	Linha de água							
Lave20_05	Em uso	Com rio	850,7	146,7	1084,0	1019,0	843,0	749,0	704,0
Lave20_06	Em uso	Com rio	849,5	148,5	1084,0	1018,5	842,5	746,5	701,0
Lave20_07	Em uso	Com rio	844,2	149,2	1084,0	1015,0	838,5	739,5	695,0
Lave20_08	Em uso	Com rio	841,0	152,0	1084,0	1012,0	836,0	734,0	689,0
Lave20_13	Aband.	Com rio	853,6	150,6	1067,0	963,5	846,0	761,5	703,0
Lave20_15	Aband.	Com rio	858,0	145,0	1067,0	966,5	850,0	766,5	713,0
Lave20_19	Aband.	Com rio	864,5	131,5	1067,0	971,0	856,5	775,0	733,0
Lave20_25	Aband.	Com rio	862,7	135,7	1067,0	970,0	855,0	771,5	727,0
LRio21_02	Em uso	Sem rio	841,1	50,1	875,0	866,0	843,0	812,0	791,0
LRio21_04	Em uso	Sem rio	811,4	85,4	850,0	844,5	818,0	761,0	726,0
LRio21_05	Em uso	Sem rio	814,3	103,3	875,0	858,5	824,5	743,0	711,0
LRio21_09B	Em uso	Sem rio	805,7	111,7	875,0	856,0	815,0	731,0	694,0
Lave20_11	Aband.	Sem rio	826,2	35,2	842,0	840,0	829,5	809,0	791,0
Lave20_12	Aband.	Sem rio	835,1	55,1	856,0	850,5	840,0	811,0	780,0
Lave20_18	Aband.	Sem rio	820,5	50,5	852,0	845,0	825,0	787,0	770,0
LRio21_09	Aband.	Sem rio	810,2	90,2	875,0	863,0	812,5	751,0	720,0

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 9. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características do relevo relacionadas com a altitude.

Indicador	Uso	p valor ¹	
		Linha de água	Interações
	gl 1 ²	gl 1	gl 1
Altitude média (Z)	0,09	3,02.10 ⁻⁰⁵	0,41
Altura média (H)	0,06	4,76.10 ⁻⁰⁶	0,27
Altitude máxima	0,01	7,81.10 ⁻¹⁵	0,64
Altitude a 5%	4,98.10 ⁻⁰⁶	4,70.10 ⁻¹⁴	7,17.10 ⁻⁰⁵
Altitude mediana	0,16	7,79.10 ⁻⁰⁴	0,28
Altitude a 95%	0,04	0,11	0,95
Altitude mínima	0,06	0,01	0,64

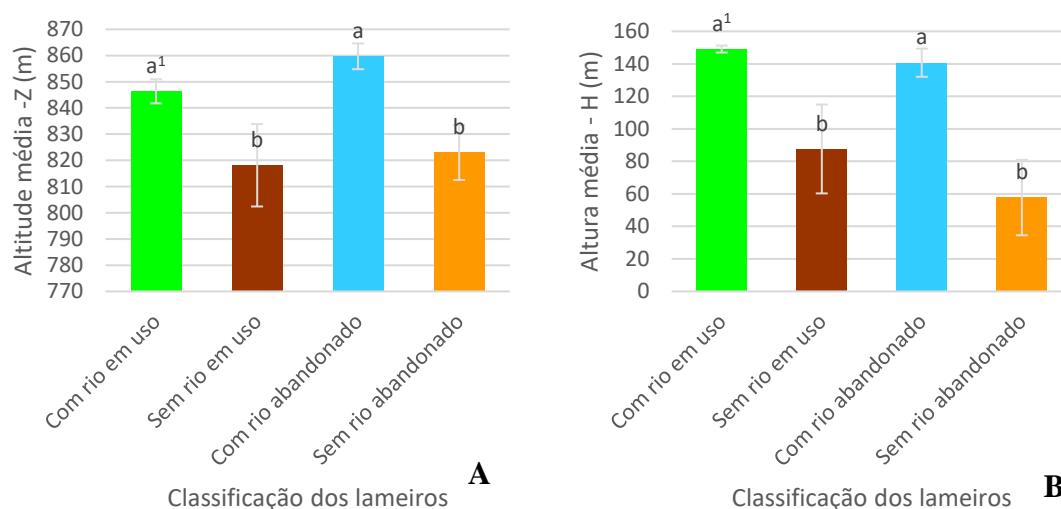
¹ Diferença significativa entre as médias quando p valor < 0,05, para um grau de 5% de significância.

² gl – grau de liberdade.

Fonte: Aatoria própria, 2020.

Em relação aos indicadores de relevo relacionados com a altitude que foram calculados, verificou-se que tanto a altitude média (Z) e a altura média (H) quanto o índice de declive global apresentaram diferença significativa ao grau de 5% de significância apenas em relação à linha de água. A altitude média (Z) das bacias dos lameiros com rio é de $853,03 \pm 8,38$ m e sem rio de $820,57 \pm 12,63$ m (Figura 15).

A altura média (H) das bacias hidrográficas dos lameiros com presença de linha de água permanente é de $144,90 \pm 7,38$ m, bem mais elevada do que as bacias dos com linha de água efêmeras $72,69 \pm 28,39$ (Figura 15). Portanto, tanto o Z quanto o H das bacias dos lameiros classificados “com rio” são mais elevados.

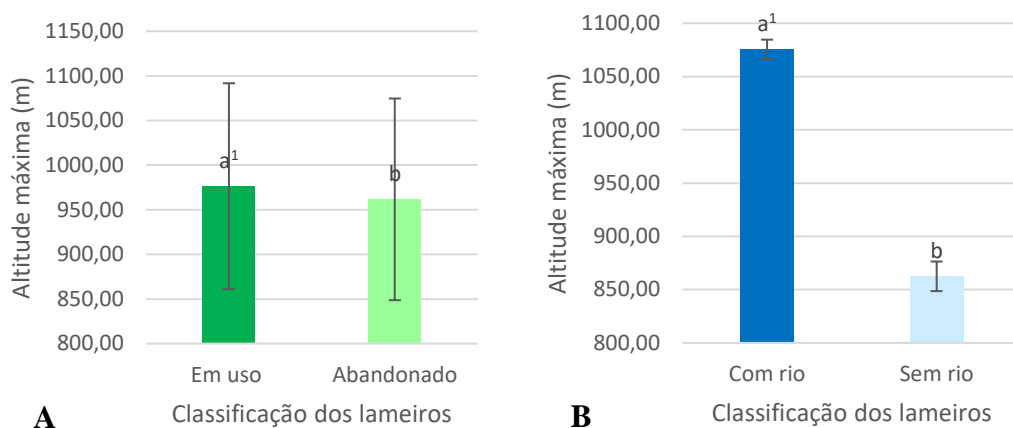


¹ Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

Figura 15. Gráfico de barras das médias com erros associados da altitude média (A) e da altura média (Z) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.

Fonte: Aatoria própria, 2020.

Os resultados das comparações de média pela ANOVA, para a distribuição das altitudes, não foram uniformes. A altitude máxima apresentou diferença tanto em relação à linha de água quanto aos usos. As bacias dos lameiros em uso, apresentaram altitude máximas ($976,38 \pm 115,35$) mais elevadas que os em estado de abandono ($961,63 \pm 113,01$), Figura x. Em relação à linha de água, as bacias das classes dos lameiros com rio a altitude máxima ($1075,50 \pm 9,09$) é significamente mais elevada do que os sem rio ($862,50 \pm 13,91$), Figura 16.

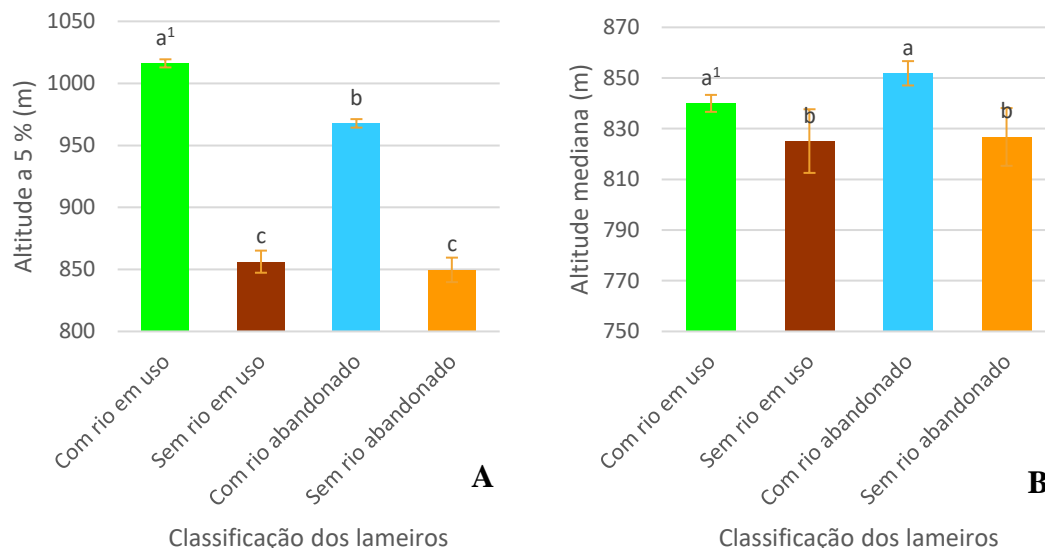


1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

Figura 16. Gráfico de barras das médias com erros associados da altitude máxima das bacias hidrográficas para as classes de lameiros quanto ao uso e quanto à presença de linha de água permanente.

Fonte: Autoria própria, 2020.

A altitude a 5% apresentou efeitos significativos em todas as comparações, para determinar as diferenças foi necessário realizar o teste de Tukey. Como resultado do teste de Tukey (Figura 17), obteve-se que os lameiros classificados como “com rio em uso” ($1016,13 \pm 3,28$ m) apresentam as maiores altitudes, seguidos dos “com rio em abandono” ($967,75 \pm 3,43$ m), e por último os “sem rio” ($852,94 \pm 9,41$ m), que não possuem diferenças significativas entre os usos. A altitude mediana (altitude a 50% da área acumulada da bacia) possui diferença apenas em relação à presença de rio com valores respectivos de $845,94 \pm 7,41$ m e $825,94 \pm 11,13$ m (Figura 17), ou seja, são mais elevadas nas bacias dos lameiros “com rio”.



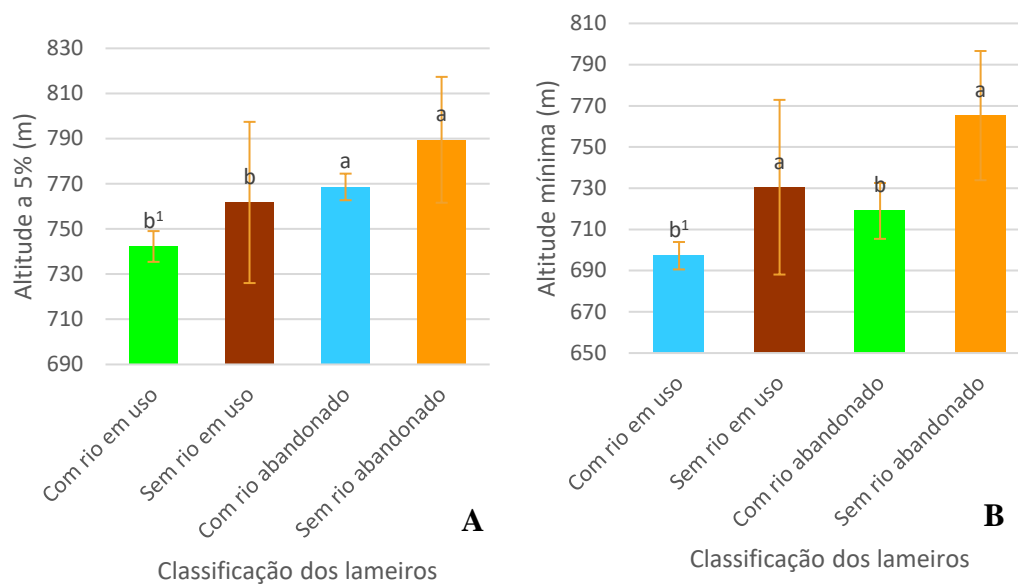
¹ Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Figura 17. Gráfico de barras das médias com erros associados a altitude à 5% (A) e a altitude mediana (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.

Fonte: Autoria própria, 2020.

As altitudes a 95% das bacias de drenagem têm diferenças significativas apenas entre os grupos de lameiros “em uso” ($752,00 \pm 25,97$ m) ou “abandonado” ($779,06 \pm 21,73$ m), sendo mais baixas nas bacias em uso, como pode ser observado na Figura 18. No que se diz respeito às altitudes mínimas, as diferenças estão relacionadas com a presença de linha de água. Nas bacias dos lameiros “com linha de água permanente”, a média das altitudes mínimas é de $708,13 \pm 15,26$ m, que é inferior ao valor de $747,88 \pm 39,20$ m obtido para os lameiros “sem presença de linha de água permanente”.

De forma geral, em relação às comparações das altitudes das bacias dos lameiros, a diferença predominante está relacionada com a linha de água: as bacias de drenagem “com rio” possuem os maiores valores para a altitude média, altura média, altitude máxima, altitude a 5% e altitude a 50%, sem diferença significativa para altitudes a 95% e valores menores para a altitude mínima. Isso mostra que as bacias dos lameiros “com rio” possuem uma amplitude de altitude muito maior, o que está demonstrado no valor da altura média que é quase o dobro do que as sem rio. Além disso, como os valores da média e da mediana são próximos entre os dois grupos, mesmo com essa diferença da amplitude, pode-se concluir que as bacias dos lameiros “sem rio” estão situadas em locais nos quais as altitudes são mais próximas à média das bacias dos lameiros com rio.



¹ Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

Figura 18. Gráfico de barras das médias com erros associados a altitude a 95% (A) e a altitude mínima (B) das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.

Fonte: Autoria própria, 2020.

4.2.3.2 Curva hipsométrica

A análise hipsométrica é o estudo da distribuição da área da seção transversal horizontal de uma massa de terra em relação à elevação. Segundo Strahler (1952), a forma mais simples de realizar essa análise é por meio da curva hipsométrica. Para uma bacia de drenagem, ela representa a proporção relativa da área da bacia hidrográfica em relação a uma determinada altitude de referência. É uma ferramenta útil para caracterizar o relevo, e assim poder realizar comparações entre bacias. Isso se deve ao fato de o formato da curva hipsométrica estar relacionado ao desenvolvimento geomorfológico da bacia, podendo, com isso, transmitir informações referente ao comportamento hidrológico e de erosão (Pérez-Peña, Azañón & Azor, 2009; Liffner, Hewa & Peel, 2018; Asp et al., 2009; Luo, 2000).

Para poder realizar a comparação entre as curvas hipsométricas das bacias hidrográficas dos lameiros, foram utilizados os valores de altitude (z/Z) e de área (a/A) em valores unitários, ou seja, os valores de altitude (z) em relação a altitude máxima (Z) e a área (a) em relação à área total acumulada (A). Na sequência, obteve-se uma linha de tendência que melhor se ajustou às curvas hipsométricas, com r^2 superior a 0,95, que foi uma polinomial de terceiro grau, e foram extraídos os valores das constantes a_3 , a_2 , a_1 , e a_0 da equação da curva (Equação 12).

$$f(x) = a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 \text{ Equação (12)}$$

Com as médias das equações, determinou-se a curva hipsométrica adaptada para cada classe de lameiro (Figura 19). Com os valores das constantes, realizou-se uma análise ANOVA com fator de 5% de significância para verificar se há efeitos diferenças significativos entre as curvas hipsométricas de cada grupo de lameiros.

Obteve-se como resultado (Tabela 10) que as diferenças mais significativas estão entre as bacias dos lameiros classificados quanto à linha de água. Com isso, foi possível determinar que, para bacias hidrográficas dos lameiros com linha de água permanente, a curva hipsométrica é representada pela equação (13), e para lameiros sem linha de água permanente, pela equação (14).

$$f(x)_{com\ rio} = -3,09x^3 + 5,15x^2 - 2,96x + 0,96 \text{ Equação (13)}$$

$$f(x)_{sem\ rio} = -2,26x^3 + 2,82x^2 - 1,46x + 1,00 \text{ Equação (14)}$$

Tabela 10. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as constantes das equações das curvas hipsométricas.

Indicador	p valor		
	Uso	Linha de água	Interações
	gl 1	gl 1	gl 1
a3	0,261	0,020	0,071
a2	0,173	$2,07 \cdot 10^{-04}$	0,031
a1	0,036	$1,80 \cdot 10^{-07}$	0,003
a0	0,086	$7,38 \cdot 10^{-05}$	0,002

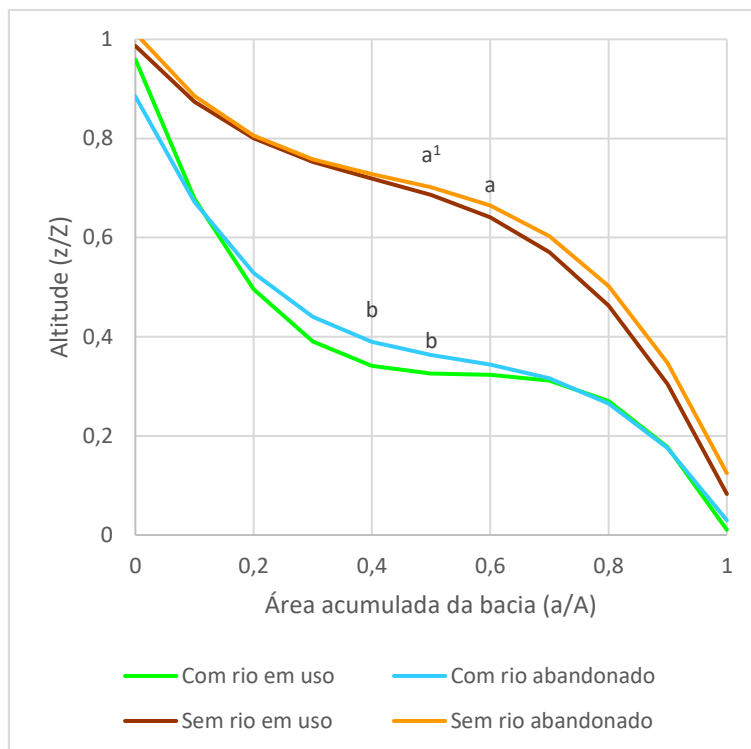
1 Diferença significativa entre as médias quando p valor < 0,05, para um grau de 5% de significância.

2 gl – grau de liberdade.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Para se poder ter uma avaliação do grau de maturidade de cada bacia por meio de um indicador, é utilizada a integral hipsométrica (IH), que pode ser definida como a área abaixo da curva hipsométrica (Figura x). Foi definida por Strahler (1952) pela equação (15).

$$IH = \int_0^1 f(x)dx \text{ Equação (15)}$$



1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.
 Figura 19. Curvas hipsométricas das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.
 Fonte: Autoria própria, 2020.

Nas equações 16, 17, 18 e 19, demonstra a aplicação da IH para as funções obtidas das curvas hipsométricas (Equação 13 e 14). Como resultado, foram obtidos os valores de 0,39 para bacias com lameiros classificados com presença de rio, e de 0,65 para lameiros sem presença de rio.

$$IH_{com\ rio} = \int_0^1 -3,09x^3 + 5,15x^2 - 2,96x + 0,96 dx \quad \text{Equação (16)}$$

$$IH_{com\ rio} = \left[\frac{-3,09x^4}{4} + \frac{5,15x^3}{3} - \frac{2,96x^2}{2} + 0,96x \right]_0^1 \quad \text{Equação (17)}$$

$$IH_{com\ rio} = 0,387$$

$$IH_{sem\ rio} = \int_0^1 -2,26x^3 + 2,28x^2 - 1,46x + 1,00 dx \quad \text{Equação (18)}$$

$$IH_{sem\ rio} = \left[\frac{-2,26x^4}{4} + \frac{2,28x^3}{3} - \frac{1,46x^2}{2} + 1,00x \right]_0^1 \quad \text{Equação (19)}$$

$$A_{sem\ rio} = 0,646$$

A interpretação desses resultados pode ser dada pela relação com o ciclo geomorfológico simplificado em termos de curva hipsométrica, iniciando em uma curva que represente a fase jovem (desequilíbrio) até uma curva que representa a fase madura

(equilíbrio). Ainda pode ocorrer a fase Monadnock, na qual permanece partes de um relevo mais elevado enquanto a maior parte já foi erodida (Asp et al. 2009).

Por isso, curvas convexas são típicas para estágios de maturidade juvenil, e curvas em forma de S e curvas côncavas para estágios maduros e antigos (Pérez-Peña, Azañón & Azor, 2009). Strahler (1952) associa a maturidade das curvas hipsométricas com valores da IH, sendo que valores 0,0 a 0,35 para estado Monadnock, de 0,35 a 0,6 para antigos, e 0,6 a 1,0 para relevos jovens geologicamente. Assim, com a relação entre a forma da curva e o valor da integral hipsométrica, pode-se identificar a maturidade do relevo (Figura 20).

Analisando os resultados obtidos para a curva hipsométrica dos lameiros com presença de linha de água permanente, verifica-se que possuem um formato em S, sendo consideradas bacias antigas geologicamente, que coincidem com o valor de 0,39 da IH, passando pelo processo de erosão e estando em equilíbrio. Para as bacias dos lameiros sem presença de linha de água permanente, a curva hipsométrica apresentou um formato convexo, e o IH de 0,65, o que caracterizam como relevos jovens, que sofreram uma erosão menos intensa que as bacias anteriores. Por serem bacias próximas, com características de geologia e clima muito semelhantes entre si, o que ocasionou diferenças significativas no relevo foi a presença de linhas de água que aumentam a erosão e moldam o terreno, como mencionado por Pereira et al. (2003).

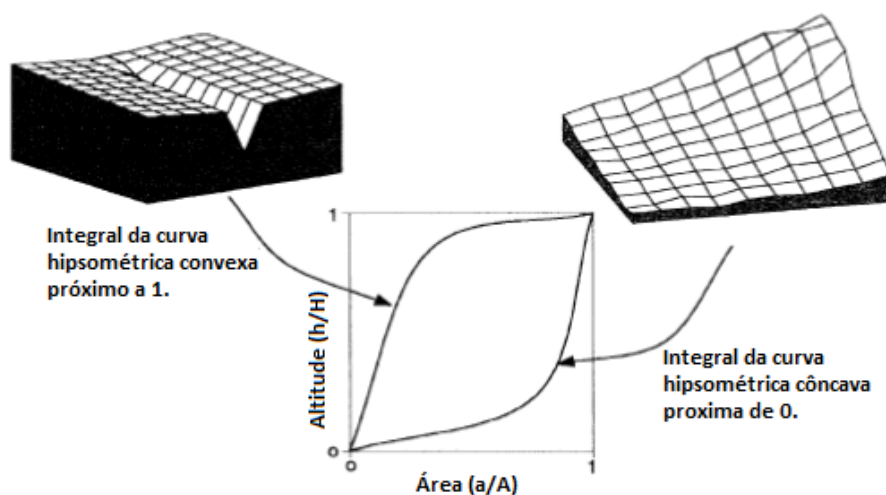


Figura 20. Integral da curva hipsométrica. Adaptada de Hurtrez1, Sol, Lucazeau (1999).

4.2.3.3 Perfil longitudinal do curso de água

O perfil longitudinal é um gráfico da elevação de uma linha de água ao longo da distância do canal da divisão de drenagem ou outro ponto de referência a montante até a foz do rio. É uma medida fundamental na geomorfologia e hidrologia fluvial, pois está relacionada com declives, gradientes de energia e mudanças de altitude. Além disso o perfil longitudinal também é usado em geologia como um indicador dos estágios de evolução da paisagem, elevação ou subsidência tectônica, variações na resistência da rocha, mudanças no nível de base e os efeitos do clima (Laure, 2011; Phillips & Lutz, 2008).

Por meio dos valores de altitude extraídos ao longo do talvegue principal de cada bacia de lameiro, gerou-se o perfil longitudinal por meio de um gráfico com a relação entre a altitude e o comprimento. Para poder comparar os perfis de acordo com as tipologias de lameiros, seguiu-se uma análise semelhante à realizada anteriormente para a curva hipsométrica.

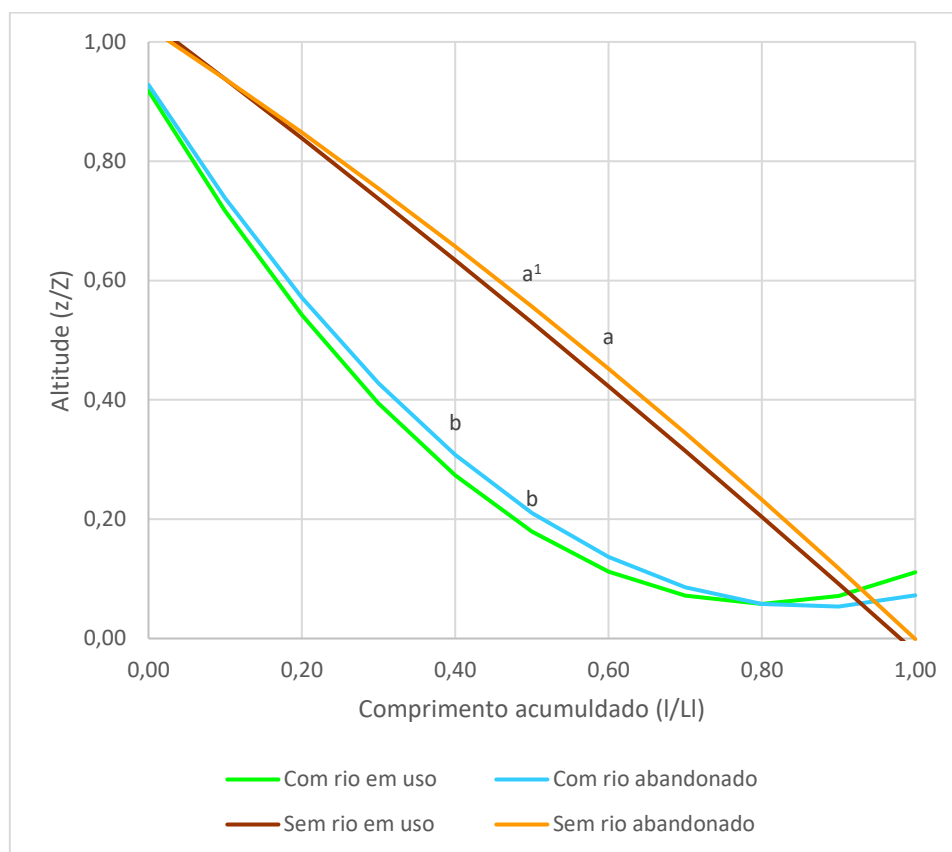
Primeiramente, gerou-se um novo perfil longitudinal em valores relativos, com a relação de altitude (z) por altitude máxima (Z), e de comprimento (l) por comprimento total do talvegue principal (L). Obteve-se uma linha de tendência que melhor se ajustou ao perfil, que foi uma polinomial de segundo grau, com um $r^2 > 0,97$, foram extraídos os valores constantes das equações a_2 , a_1 e a_0 (Equação 20). Com esses valores, foi realizada uma análise ANOVA, para verificar se havia efeitos significativos entre os perfis longitudinais em relação à classificação dos lameiros.

$$f(x) = a_2x^2 + a_1x + a_0 \text{ Equação (20)}$$

Como resultado obteve-se que existe diferença significativa entre os perfis longitudinais do talvegue principal, ao grau de 5% de significância, em relação à presença de linha de água permanente (Tabela 11) (Figura 21). Com isso, pode-se determinar a equação da curva que descreve o comportamento dos perfis longitudinais do talvegue principal com presença de linha de água permanente (Equação 21) e sem presença de linha de água permanente (Equação 22).

$$f(x)_{com\ rio} = 1,25x^2 - 2,08x + 0,92 \text{ Equação (21)}$$

$$f(x)_{sem\ rio} = -0,13x^2 - 0,91x + 1,03 \text{ Equação (22)}$$



1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.
 Figura 21. Perfil longitudinal do talvegue principal das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.
 Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 11. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as constantes das equações dos perfis longitudinais dos talvegues.

Indicador	p valor ¹		
	Uso	Linha de água	Interações
	gl ² 1	gl 1	gl 1
a ₂	0,325	2,15.10 ⁻⁰⁷	0,732
a ₁	0,380	2,24.10 ⁻⁰⁶	0,968
a ₀	0,967	1,42.10 ⁻⁰⁶	0,401

1 Diferença significativa entre as médias quando p valor < 0,05, para um grau de 5% de significância.

2 gl – grau de liberdade.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Para compreender melhor o comportamento da topografia das bacias em relação ao perfil longitudinal, pode-se analisar a concavidade e a inclinação do perfil. O índice de concavidade (C_p) é calculado por meio das Equações 23 e 24. Se o valor de C_p for próximo a 0, a forma do perfil é próxima a uma reta; se seu valor for próximo a 1, o perfil é em forma de L, se negativo é convexo (Rãdoane, Rãdoane & Dumitriu, 2003; Pérez-Peña et al., 2017).

$$Cp = \frac{Ct}{At} \text{ Equação (23)}$$

$$Ct = At - Ap \text{ Equação (24)}$$

Onde:

Cp – indicador da concavidade do perfil longitudinal;

Ct - área numericamente integrada entre a curva do perfil e uma linha reta que une suas extremidades (Figura 22);

At - área do triângulo formado por meio da linha reta entre as extremidades do perfil longitudinal;

Ap – Área da abaixo da curva, obtida por meio da integral da função do perfil longitudinal.

Os valores obtidos para o índice de concavidade dos perfis longitudinais foram de 0,40 para os lameiros com rio, ou seja, com uma concavidade suave, e de -0,06 para os lameiros sem rio, que significa que são perfis retilíneos levemente convexos. Uma concavidade positiva geralmente é o resultado encontrado para rios em estado estacionário, de equilíbrio independentemente das condições climáticas, da extensão do rio ou da rocha cortada pelo leito do rio. Valores que não expressam uma concavidade, como é o caso dos lameiros sem linha de água permanente, indicam um perfil que não está em grau de equilíbrio ou estado estacionário (Rãdoane, Rãdoane & Dumitriu, 2003; Phillips & Lutz, 2008).

Essa característica está relacionada também com a inclinação dos perfis, pois a inclinação do perfil longitudinal é inversamente proporcional à descarga, e conforme aumenta a descarga a jusante, o declive necessário para transportar os detritos disponíveis diminui (Rãdoane, Rãdoane & Dumitriu, 2003; Phillips & Lutz, 2008). Os valores da declividade dos perfis extraídos para cada grupo foi 8,31 % nos lameiros com rio e 10,42% sem rio.

Com isso, conclui-se que o talvegue principal dos lameiros com a presença de rio está próximo a um estado estacionário, possui maior descarga, menor inclinação e o relevo é mais erodido e precisa de uma menor energia para transporte de sedimentos. Já o perfil do talvegue principal dos lameiros sem a presença de linha de água permanente tem uma maior declividade, o que indica que há uma menor descarga a jusante, e sofreu menos processo erosivo.

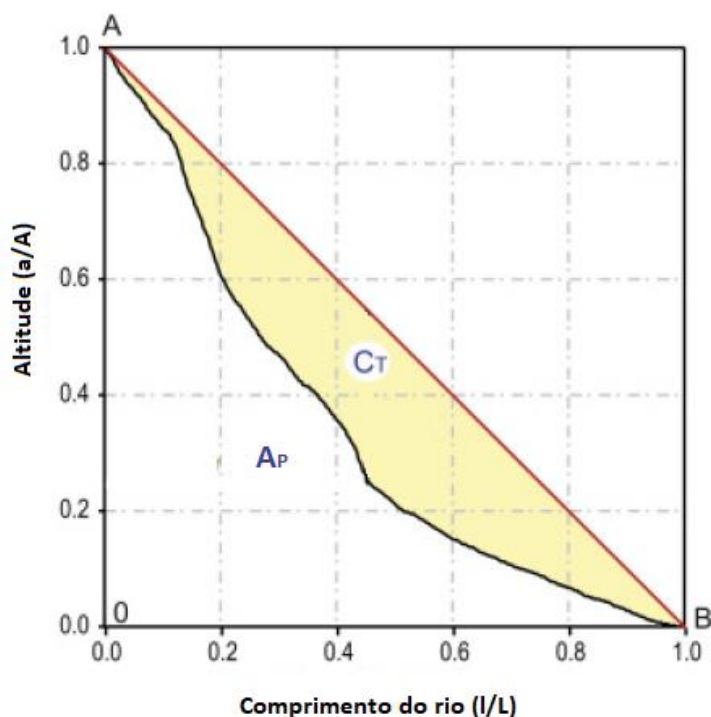


Figura 22. . Exemplo de um perfil longitudinal normalizado e parâmetros associados para calcular o indicador de concavidade (C_p).

Fonte: Adaptado de Pérez-Peña et al. (2017).

4.2.3.4 Declive

Para classificar a declividade das bacias hidrográficas, utilizou-se o declive médio da bacia (%), obtido por meio de uma média ponderada, o índice de declive global (I_p) (Equação 9) e a distribuição de classes de declive por área (%) correspondente da bacia. Os resultados obtidos estão na Tabela 12, e os resultados obtidos pela ANOVA da comparação das médias de cada tipologia de lameiros para esses indicadores estão na Tabela 13.

Em relação à distribuição das classes dos declives (Figura 23), verifica-se que não há diferença significativa entre as classes de relevo suave, suave a moderado e moderado. Para a classe íngreme, há efeitos significativos tanto para os diferentes usos quanto para a presença de linha de água, apresentando os maiores valores para os lameiros da tipologia “com rio”, e “ em uso”. Para os declives muito íngremes, há diferença apenas quanto ao uso, sendo que as bacias dos lameiros “em uso” possuem maiores áreas (%) com declividade acima de 45%. Isso mostra que a distribuição de declividade é semelhante entre os diferentes grupos de lameiros, como pode ser visto no mapa de declividade

(Figura 24), que mostra que o relevo é suave nos topos de morros e próximos às linhas de água, e mais íngreme nas encostas próximas às linhas de água.

Tabela 12. Resultados das características de declive das bacias hidrográficas dos lameiros.

Lameiro	Classificação		Área (%) por classe de declives ¹					Declive médio (%)	Ip (%)
	Uso	Rio	Suave 0 - 5 %	Suave a moderado 5,01 - 15,0 %	Moderado 15,01 - 25,0 %	Íngreme 25,01 - 45,0 %	Muito íngreme > 45,0 %		
Lave20_05	Em uso	Com rio	7,8	35,2	26,9	25,5	4,5	20,4	2,8
Lave20_06	Em uso	Com rio	7,8	35,0	26,9	25,7	4,5	20,5	2,8
Lave20_07	Em uso	Com rio	7,7	34,6	27,0	26,1	4,6	20,7	2,8
Lave20_08	Em uso	Com rio	7,8	34,3	27,2	26,3	4,5	20,7	2,7
Lave20_13	Aband.	Com rio	8,2	38,3	27,2	23,3	3,0	19,2	2,0
Lave20_15	Aband.	Com rio	8,2	38,5	27,7	22,9	2,7	19,0	2,0
Lave20_19	Aband.	Com rio	8,3	39,6	28,3	21,6	2,2	18,5	2,1
Lave20_25	Aband.	Com rio	8,2	39,0	28,1	22,2	2,5	18,8	2,1
LRio21_02	Em uso	Sem rio	15,1	55,8	19,8	8,0	1,2	13,4	3,9
LRio21_04	Em uso	Sem rio	7,6	35,1	29,8	22,9	4,6	20,1	7,4
LRio21_05	Em uso	Sem rio	8,8	35,6	21,9	23,9	9,7	21,9	5,2
LRio21_09B	Em uso	Sem rio	8,8	33,4	23,5	25,3	8,9	22,2	3,5
Lave20_11	Aband.	Sem rio	53,8	31,5	9,4	5,2	0,0	7,9	4,6
Lave20_12	Aband.	Sem rio	44,9	38,0	12,5	4,6	0,1	8,9	3,6
Lave20_18	Aband.	Sem rio	10,0	42,6	30,7	14,0	2,7	17,1	5,7
LRio21_09	Aband.	Sem rio	11,4	44,9	26,2	14,8	2,7	16,8	4,7

¹ Classes dos declives segundo Santos & Fortuna (2005)

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 13. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características do relevo relacionadas com a declividade.

Indicador	p valor ¹		
	Uso gl ² 1	Linha de água gl 1	Interações gl 1
Classes de declives			
Suave (0 - 5 %)	0,10	0,06	0,11
Suave a moderado (5,01 - 15,0 %)	0,592	0,374	0,447
Moderado (15,01 - 25,0 %)	0,57	0,07	0,40
Íngreme (25,01 - 45,0 %)	0,02	0,00	0,18
Muito íngreme (> 45,0 %)	0,01	0,87	0,22
Declive médio (%)	0,02	4,18.10 ⁻⁰²	0,15
Índice de declive global (%)	0,22	1,38.10 ⁻⁰³	0,65

¹ Diferença significativa entre as médias quando p valor < 0,05, para um grau de 5% de significância.

² gl – grau de liberdade.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Os declives médios (%) das bacias de drenagem apresentaram diferenças pelo teste ANOVA ao nível de 5% de significância em relação aos tipos de uso da terra e à presença de rio nos lameiros. As bacias dos lameiros em uso ($19,99 \pm 2,75$ %) possuem uma maior declividade dos que os em estado de abandono ($15,77 \pm 4,62$ %), como pode ser observado na Figura 25.

Em relação à presença de linha de água permanente, os lameiros com rio possuem um declive de $19,71 \pm 0,94$ %, que é mais elevado do que nos sem rio com $16,05 \pm 5,53$ % (Figura 25). Todos os grupos de declives médios estão na mesma classificação de relevo, como moderado. O índice de declive global possui diferença apenas em relação à presença de linha de água permanente: a classe com rio possui um valor de $1,65 \pm 0,20$ % que é inferior ao sem rio que é de $3,48 \pm 1,23$ % (Figura 26).

As diferenças mais significativas obtidas são em relação à presença de linha de água, e os índices que melhor descrevem essas diferenças são o declive médio e o I_p . O declive, em relação à hidrologia, influencia diretamente na velocidade do escoamento superficial, e com isso na infiltração de água no solo e na suscetibilidade de erosão do solo, e como consequência na concentração do fluxo, ocasionando cheias (Torres, et al, 2008; Lencastre & Franco, 2006).

As bacias com lameiros com rio possuem um declive médio mais elevado, o que ocasiona uma maior velocidade do escoamento superficial, em comparação com as bacias dos lameiros sem rio. O índice global de declive associa a diferença de altitude com o comprimento da bacia hidrográfica, isso significa que mesmo as bacias com presença de rio possuindo uma maior declividade, e assim uma maior velocidade no escoamento superficial, esse escoamento é melhor dividido do que se comparando com os lameiros sem rio, que possuem um menor declive médio e um maior I_p .

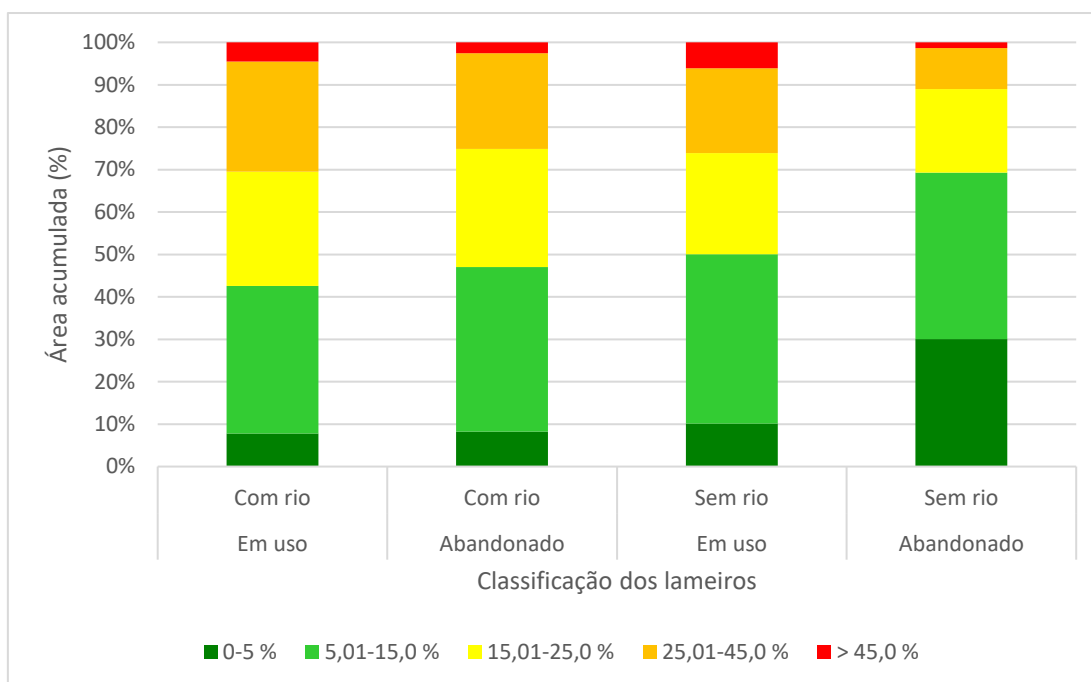


Figura 23. Gráfico de barras com as áreas acumuladas para as classes de declive das bacias hidrográficas para cada tipologia de lameiros.

Fonte: Autoria própria, 2020.

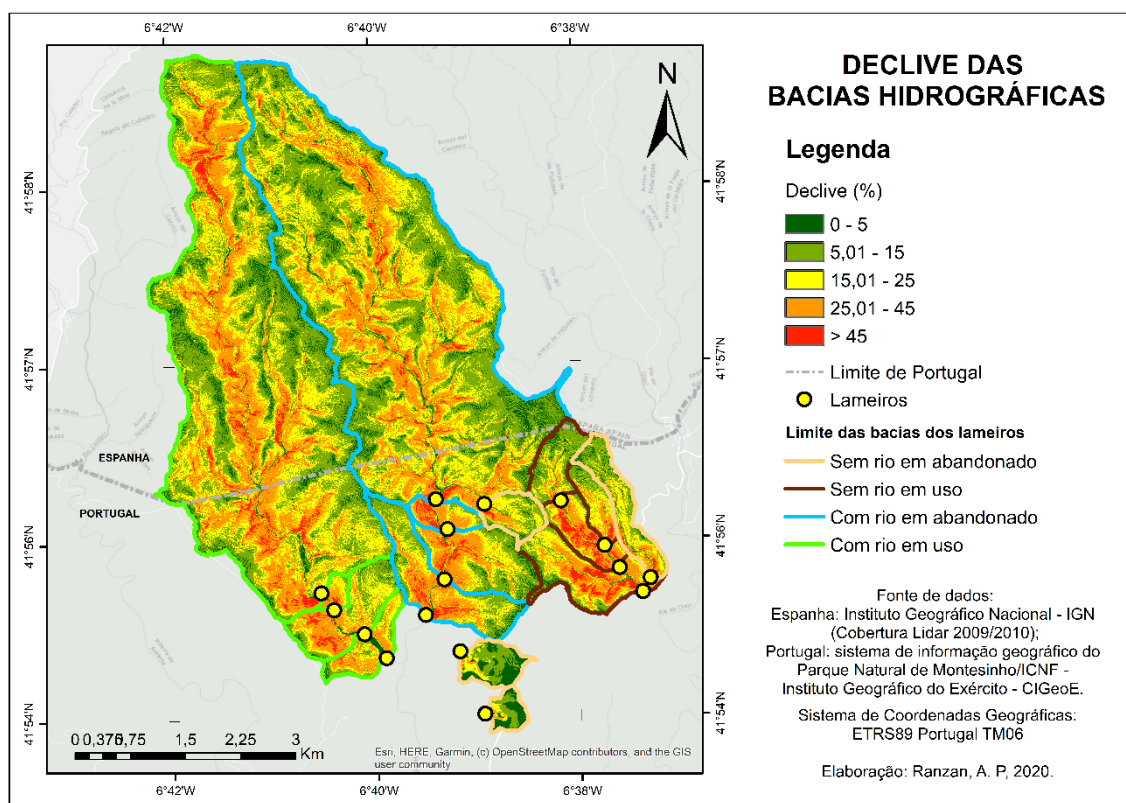
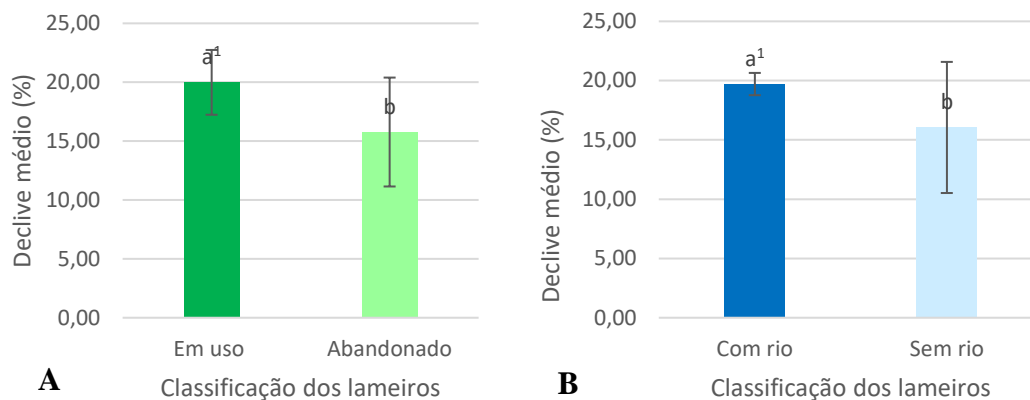


Figura 24. Mapa das classes de declive das bacias hidrográficas dos lameiros da Alta Lombada e Onor, do Parque Natural de Montesinho.

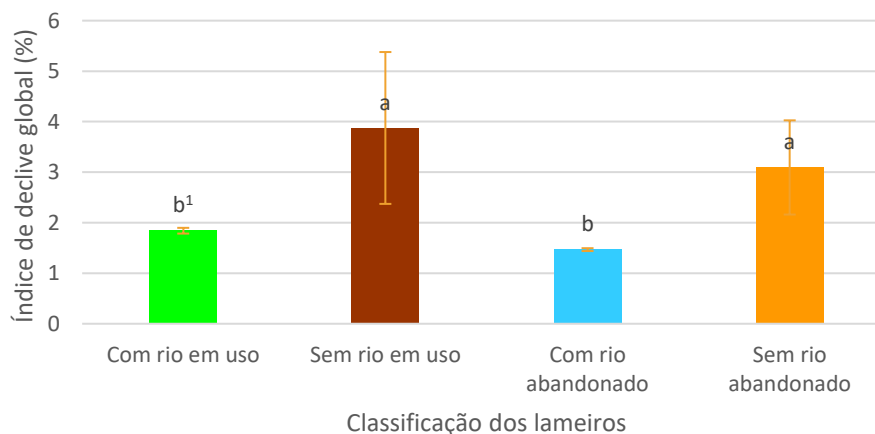
Fonte: Autoria própria, 2020.



¹ Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

Figura 25. Gráfico de barras das médias com erros associados do declive médio das bacias hidrográficas para as classes de lameiros quanto ao uso (A) e quanto à presença de linha de água permanente (B).

Fonte: A autoria própria, 2020.



¹ Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de ANOVA ao nível de 5% de significância.

Figura 26. Gráfico de barras das médias com erros associados do índice de declive global das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.

Fonte: A autoria própria, 2020.

4.2.3.5 Retângulo equivalente

O retângulo equivalente é uma característica que associa o relevo à forma. Isso porque ele aproxima a forma da bacia à de um retângulo por meio da relação entre área e perímetro, descrita nas equações 11 e 12, e assim se obtém o comprimento e a largura do retângulo. Para transpor as informações sobre o relevo no retângulo, foram traçadas várias curvas de níveis paralelas à largura do retângulo, com distâncias que correspondem à porção de área naquele intervalo de altitude. Com essas informações, é possível ter uma representação visual da forma da bacia, da distribuição de altitude e declividade (Guimarães, 2017).

As informações obtidas para a geração dos retângulos equivalentes estão na Tabela 14. Informações dos retângulos equivalentes das bacias hidrográficas dos lameiros, e os retângulos equivalentes para cada bacia hidrográfica dos lameiros estão representados a seguir na Figura 27, com mais detalhes no Anexo I.

Analisando os retângulos por grupo, percebe-se uma diferença nítida entre as bacias dos lameiros com e sem linha de água permanente. As bacias com rio são mais estreitas e compridas, com variação mais brusca de altitude nos valores extremos e mais suave nas altitudes intermediárias, o que também pode ser observado na curva hipsométrica. Já as bacias dos lameiros sem rio possuem formato mais largo e curto, com intervalos menores entre as curvas de níveis nas altitudes mais elevadas e mais suave nas menores altitudes.

Na questão hidrológica, essas características indicam que as bacias com lameiro “com rio” têm um acúmulo maior de fluxo, no entanto, o fluxo será mais distribuído devido ao formato mais alongado, com isso terão menor tendência a ter cheias se comparado às bacias dos lameiros “sem rio”.

Tabela 14. Informações dos retângulos equivalentes das bacias hidrográficas dos lameiros.

Lameiro	Classificação		Le km	le km	Altitude mínima (m)	Altitude máxima (m)	Intervalo das curvas de níveis (m)
	Uso	Linha de água					
Lave20_05	Em uso	Com rio	9,6	1,3	704,0	1084,0	50,0
Lave20_06	Em uso	Com rio	9,6	1,3	701,0	1084,0	50,0
Lave20_07	Em uso	Com rio	10,0	1,4	695,0	1084,0	50,0
Lave20_08	Em uso	Com rio	10,5	1,4	689,0	1084,0	50,0
Lave20_13	Aband.	Com rio	10,4	1,6	703,0	1067,0	50,0
Lave20_15	Aband.	Com rio	9,9	1,5	713,0	1067,0	50,0
Lave20_19	Aband.	Com rio	9,4	1,4	733,0	1067,0	50,0
Lave20_25	Aband.	Com rio	9,2	1,5	727,0	1067,0	50,0
LRio21_02	Em uso	Sem rio	1,4	0,4	791,0	875,0	10,0
LRio21_04	Em uso	Sem rio	1,1	0,3	726,0	850,0	25,0
LRio21_05	Em uso	Sem rio	2,2	0,6	711,0	875,0	25,0
LRio21_09B	Em uso	Sem rio	3,6	0,9	694,0	875,0	25,0
Lave20_11	Aband.	Sem rio	0,7	0,3	791,0	842,0	10,0
Lave20_12	Aband.	Sem rio	1,1	0,4	780,0	856,0	10,0
Lave20_18	Aband.	Sem rio	1,0	0,4	770,0	852,0	10,0
LRio21_09	Aband.	Sem rio	2,4	0,3	720,0	875,0	25,0

Fonte: Autoria própria, 2020.



Figura 27. Retângulos equivalentes divididos por classe de lameiros (ver também Anexo).

Fonte: Autoria própria, 2020.

4.2.4 Litologia

A geologia é um fator importante a ser analisado para entender o processo hidrológico dentro de uma bacia hidrográfica. Ela condiciona a existência de formações permeáveis e impermeáveis, de aquíferos, assim como a maneira que esses aquíferos são alimentados e se eles contribuem para o escoamento de rios, ou presença de linha de água permanente. Além disso, os solos presentes são resultantes da geologia. Com isso, a geologia está diretamente relacionada ao escoamento superficial, à infiltração, à recarga de aquíferos, ao escoamento subterrâneo e à formação do sistema de drenagem (Hipolito & Vaz, 2017; Alves & Castro, 2003).

Em relação ao enquadramento geológico, o local de estudo está nas Zonas Centro Ibérica e Galiza-Trás-os-Montes, que é um dos mais complexos da Península Ibérica, no entanto, devido ao fato de a área de estudo ser muito pequena, há pouca diferença relacionada a essa característica entre as diferentes classificações de lameiros (Pereira et al., 2003). Isso pode ser verificado nos resultados obtidos para a distribuição das rochas em relação à área (%) das bacias hidrográficas por lameiros que estão na Tabela 15, Figura 28 e Figura 29. Pode-se observar que, para as bacias dos lameiros com rio, 100% da área é composta por xisto, enquanto para as bacias dos lameiros com rio em sua maioria também é xisto, sendo que nos lameiros classificados “com rio em uso”, há uma pequena porção de quartzitos e quartzitos em áreas de xistos, e nos “com rio abandonados” apenas quartzitos em áreas de xisto.

A litologia, juntamente com a tectônica, tem influência no sistema de drenagem que hoje existe, pois, esses fatores moldaram os percursos da água e deram forma aos vales atuais. Os xistos, por serem rochas de elevada impermeabilidade, facilitam o processo erosivo e o escoamento superficial, o que ocasionou em rede de drenagem densa e ramificada. As pequenas porções de quartzitos presentes na área de estudo são um relevo resistente, as rochas são muito duras e impermeáveis e se sobressaem em superfícies com erosão, formando cristas, que por vezes podem ser consideradas um horst (Aguiar, 2000; ICNF, 2007).

Os xistos fragmentam-se com um certo grau de facilidade, se comparado a outras rochas mais duras como o quartzito, o que facilita o transporte de sedimentos para os cursos de água. Assim, é possível verificar a existência de vales levemente meandrizados, com variações entre encostas suaves e escarpadas, o que caracterizam um envelhecimento mais rápido do que em outras litologias, como no caso de granitos e quartzitos. Com isso,

nas áreas de xistos, há uma rede de drenagem superficial densa e caótica (Aguiar, 2000; ICNF, 2007).

A litologia também está relacionada com o regime das linhas de água, pelos xistos serem rochas impermeáveis, favorecem o escoamento superficial, com isso há grandes variações do nível da água em um curto intervalo de tempo. Nos períodos húmidos, com elevadas e constantes precipitações, há tendência de acúmulo de água, ocasionando em cheias e inundações. Nos períodos secos, com baixa precipitação, muitas linhas de águas de pequenas dimensões se tornam intermitentes (ICNF, 2007).

Os xistos têm baixa capacidade de armazenamento subterrâneo devido à elevada impermeabilidade. Os aquíferos presentes nessas rochas estão relacionados com fissuras, ou então com associação a rochas calcárias em camadas inferiores. Em relação à capacidade de captação de águas subterrâneas em formações rochosas do Trás-os-Montes, os xistos têm uma capacidade de 2,1 L/s, que é superior à capacidade de 0,2 L/se dos granitos (Fernandes, 1996; Almeida et al., 2000).

Tabela 15. Litologia das bacias hidrográficas dos lameiros.

Litologia	Área (%)			
	Com rio em uso	Com rio aband.	Sem rio em uso	Sem rio aband.
Xisto	93,2%	97,4%	100,0%	100,0%
Quartzitos	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%
Quartzitos em áreas de xisto	6,4%	2,6%	0,0%	0,0%

Fonte: Autoria própria, 2020.

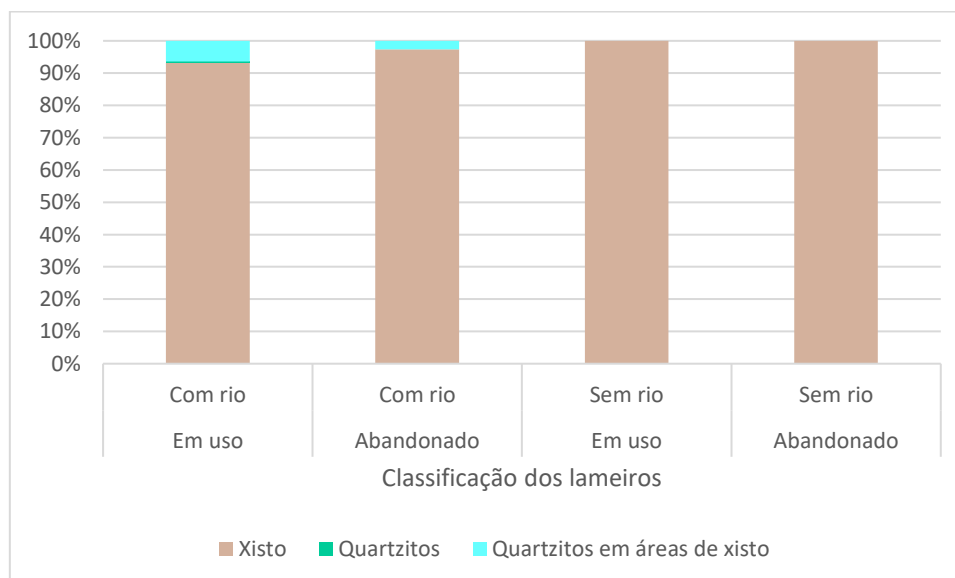


Figura 28. Gráfico de barras com as áreas acumuladas para a Litologia das bacias hidrográficas para cada classe de lameiros.

Fonte: Autoria própria, 2020.

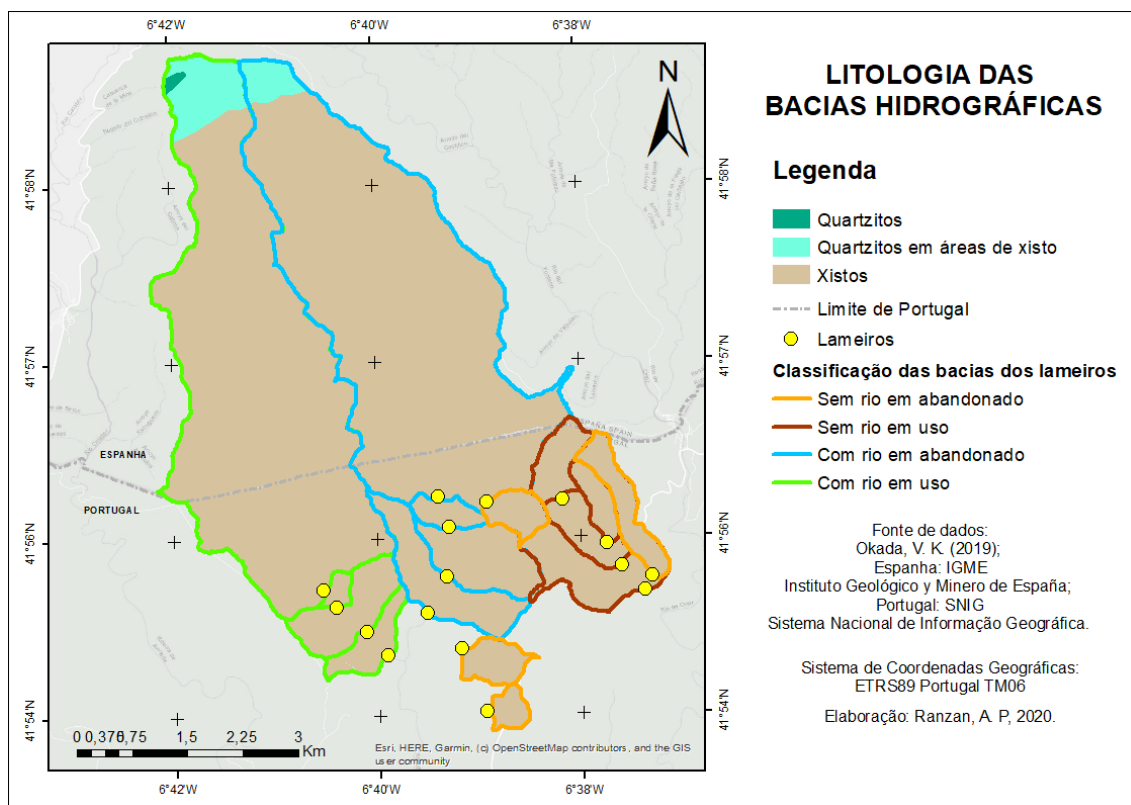


Figura 29. Mapa da litologia das bacias hidrográficas.
Fonte: Autoria própria, 2020.

4.2.5 Solo

O tipo de solo é um fator importante a ser considerado na caracterização de bacia hidrográfica quanto à sua hidrologia, pois ele influencia diretamente na infiltração e retenção de água no solo e no escoamento subterrâneo e, como consequência, no escoamento superficial no e tempo de concentração de água na bacia após a precipitação. Além disso, é um fator que influencia na erosão superficial, juntamente com a geologia (Hipólito & Vaz, 2017). A pedologia das bacias de drenagem em estudo foi classificada no primeiro nível de classificação de solo, que consiste nas categorias principais de solo e no segundo nível, que são as características com complementos qualificadores (Tabela 16).

Relativamente ao primeiro nível de solo, as classes obtidas foram de Leptosolos e Cambissolos, sendo que, para as bacias sem rio, praticamente 100% da área é composta por Leptosolos, enquanto que, para as bacias com rio, em torno de 75% por Leptosolos e 25% de Cambissolos. Esses resultados podem ser observados no mapa de unidades

principais de solos (Figura 31) e no gráfico de barras com a distribuição de acordo com a tipologia de lameiros (Figura 30).

Tabela 16. Classificação dos solos das bacias hidrográficas dos lameiros.

Classificação dos solos	Área (%)			
	Com rio em uso	Com rio abandonado	Sem rio em uso	Sem rio abandonado
1° Nível				
Cambissolos	25%	28%	1%	0%
Leptossolos	75%	72%	99%	100%
2° Nível				
Líticos	45%	50%	0%	0%
Úmbricos	55%	50%	100%	100%

Fonte: Autoria própria, 2020.

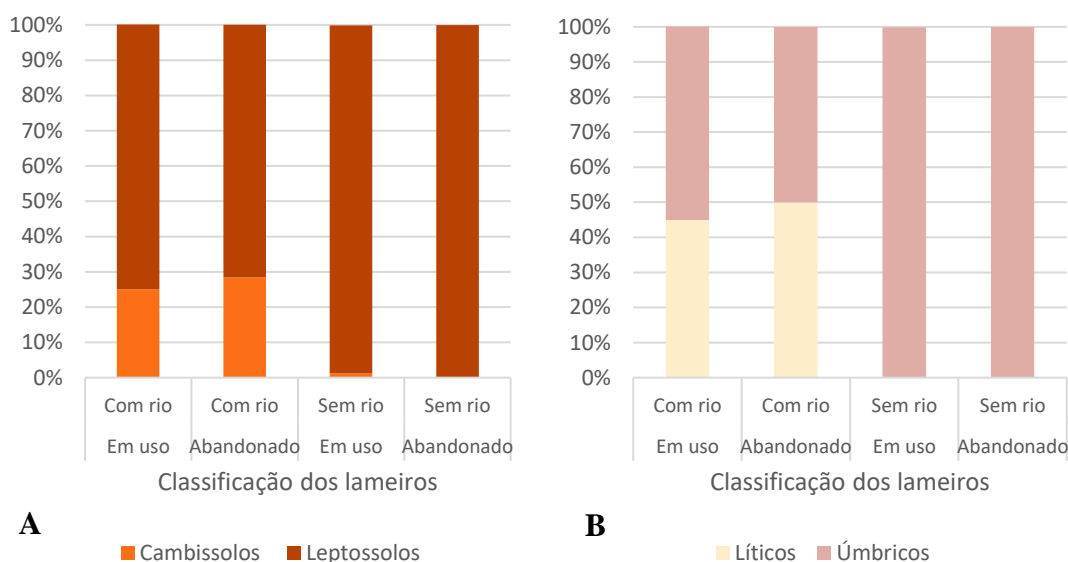


Figura 30. Distribuição das unidades principais (A) e unidade secundárias (B) de solo em área acumulada (%) das bacias por classe de lameiro.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Os Leptossolos são solos jovens, por isso são rasos e com alta pedregosidade, sem horizontes nitidamente definidos, normalmente com perfil A-R, A-C-R ou A-B-C-R, característicos de zonas com declive elevado, principalmente em regiões montanhosas. Possuem drenagem excessiva, pouca profundidade e suscetibilidade à erosão. Com isso, são rapidamente saturados e drenados, vulneráveis a encharcamento e a secas, e contribuem para aumento do escoamento superficial (FAO/UNESCO, 2014; Figueiredo, 2013; Figueiredo, 2012; Afonso & Arrobas, 2009)

Os Cambissolos são poucos ou moderadamente desenvolvidos, com horizontes com pelo menos uma leve diferenciação, geralmente com perfil A-B-R ou A-B-C-R, com leve ou moderada pedregosidade. Também possuem drenagem elevada e pouca profundidade, mas são mais profundos e mais desenvolvidos que os Leptossolos. Por isso, os Cambissolos têm uma saturação mais lenta e um maior período de retenção de água no solo, diminuindo o fluxo do escoamento superficial e o mantendo por mais tempo. Por esse fator ele também é mais favorável para o desenvolvimento da vegetação (FAO/UNESCO, 2014; Figueiredo, 2013; Figueiredo, 2012; Afonso & Arrobas, 2009).

As unidades secundárias dos solos presentes na área de estudo são Líticos e Úmbricos (Figura 30 e Figura 32). Os Líticos estão presentes apenas nas bacias com rio (50%), estão associados ao Leptossolos e indicam um solo muito fino, com a rocha parental a uma profundidade inferior a 10 cm. Os Úmbricos compreendem totalmente as bacias sem rio, e em torno de 50% das com rio.

Os solos caracterizados como Úmbricos possuem teor médio a elevado de matéria orgânica (Figueiredo, 2013). A matéria orgânica é um componente que melhora as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo. Em relação à hidrologia, ela favorece a formação e estabilidade de agregados no solo, e com isso aumentam a porosidade, aeração, infiltração, retenção e escoamento subterrâneo de água no solo, diminuindo o escoamento superficial e a erosão (Cunha et. al, 2015; Guerra, 1990).

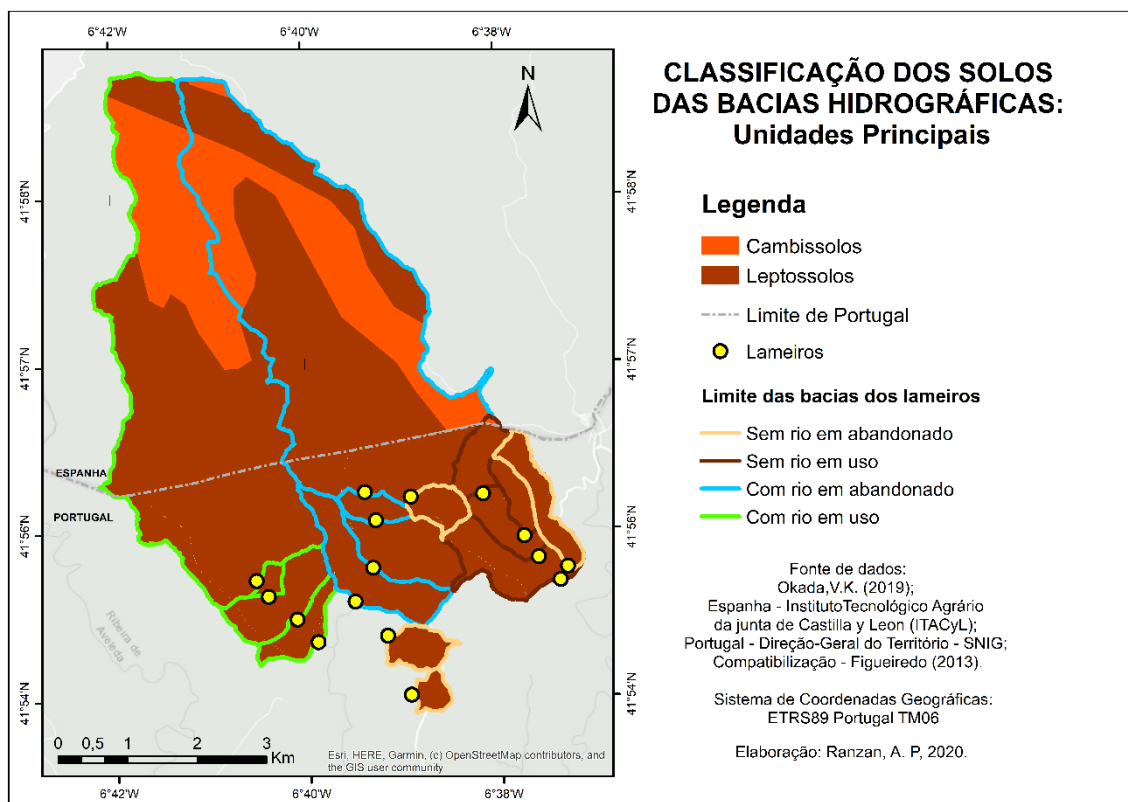


Figura 31. Mapa das unidades principais dos solos.
Fonte: Adaptado de Okada, V. K, 2019.

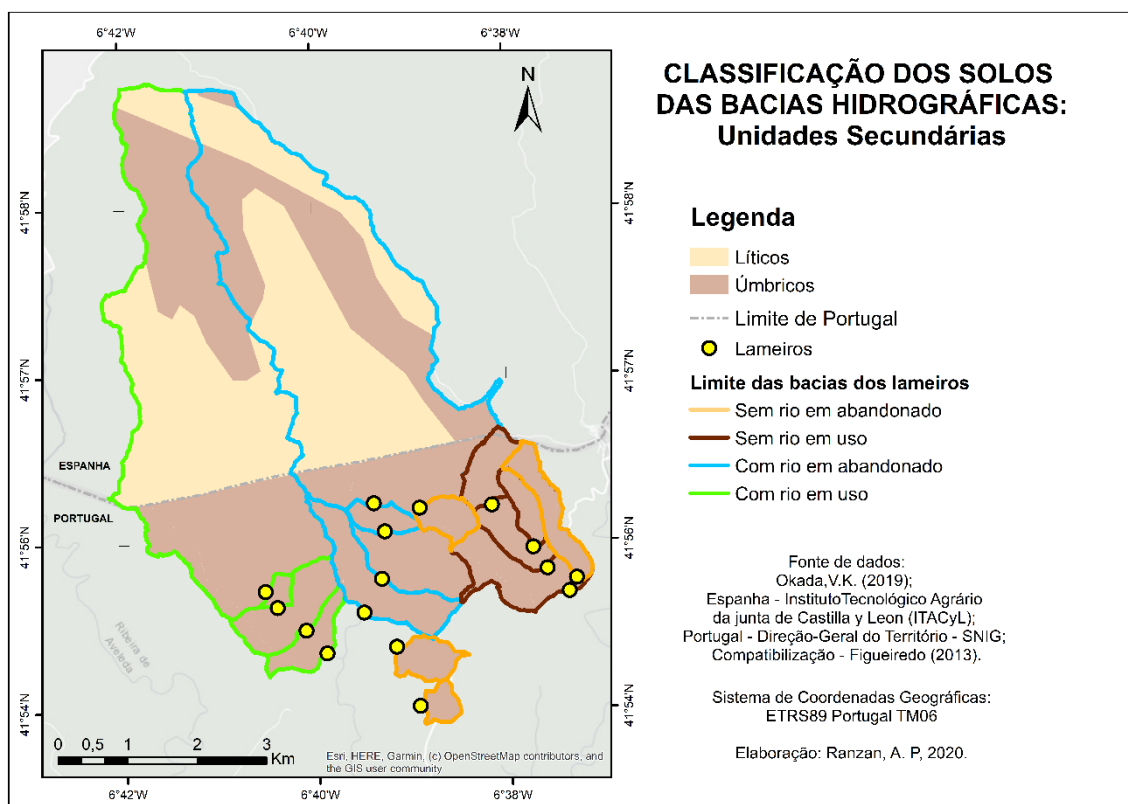


Figura 32. Mapa das unidades secundárias dos solos.
Fonte: Adaptado de Okada, V. K, 2019.

Com a associação do primeiro e do segundo nível de classificação dos solos, é possível ter uma caracterização mais detalhada do solo da sua influência nos processos hidrológicos. Como resultado, obteve-se que as bacias hidrográficas dos lameiros sem linha de água permanente possuem praticamente 100% de Leptossolos Úmbricos, enquanto nas bacias com linha de água permanente a maior parte da área é composta de Leptossolos Líticos (45%), seguido de Leptossolos Úmbricos (30%) e Cambissolos Úmbricos (25%) (Tabela 17). Com essas definições, foi possível definir o comportamento hidrológico de cada solo de acordo com a classificação *Soil Conservation Service* (1973), que é dividida em quatro grupos, A, B, C e D, pelo potencial em gerar escoamento superficial, sendo o A com o menor potencial e o D com o maior.

Com base na classificação de Okada (2019), os Leptossolos, por serem solos rasos e limitados inferiormente por rocha maciça, são classificados como tipo D. Os Cambissolos, por possuírem uma maior espessura e estarem em estágio de formação mais avançado, são classificados como tipo C. Relacionando as classes principais com as secundárias, verifica-se uma melhoria da qualidade do solo quando estes são associados a classe de Úmbricos, e com isso uma diminuição do potencial de gerar escoamento, e por isso os solos sobem uma classe na classificação em relação ao tipo hidrológico. Portanto, os Leptossolos Líticos são do Tipo D, os Leptossolos Úmbricos do Tipo C e os Cambissolos Úmbricos do Tipo B (Figura 34).

Tabela 17. Classificação dos solos associada a tipologia hidrológica.

Classificação do solo	Tipos Hidrológicos de solo	Com rio em uso	Área (%)		
			Com rio abandonado	Sem rio em uso	Sem rio abandonado
Cambissolos Úmbricos	B	25%	28%	1%	0%
Leptossolos Úmbricos	C	30%	22%	99%	100%
Leptossolos Líticos	D	45%	50%	0%	0%

Fonte: Autoria própria, 2020.

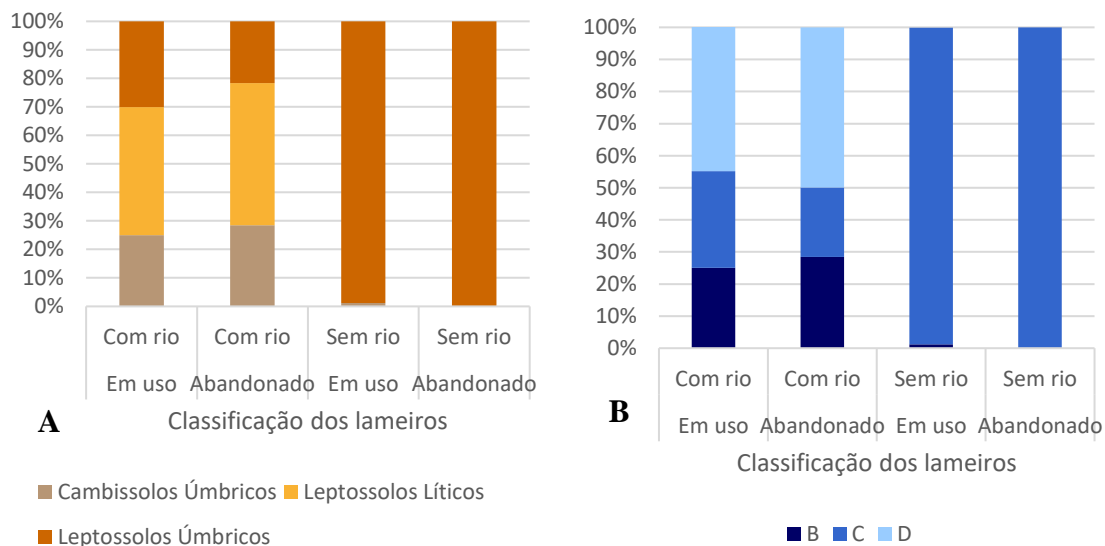


Figura 33. Classificação dos solos referente a área acumulada (%) em relação (A) 1º e 2º nível de classificação dos solos associados, (B) Tipologia hidrológica dos solos.
 Fonte: Autoria própria, 2020.

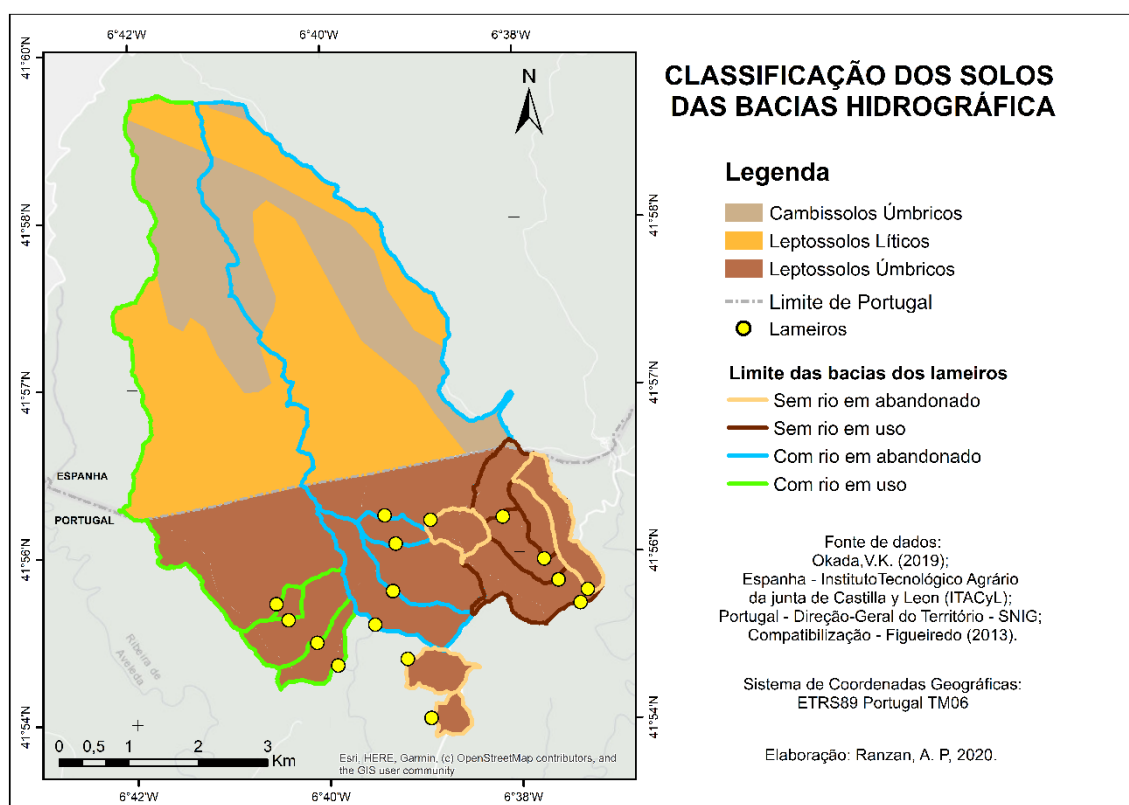


Figura 34. Classificação dos solos: unidades principais e secundárias associadas.
 Fonte: Adaptado de Okada, V. K, 2019.

4.2.6 Uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo, associado às características do solo e da litologia, tem grande influência em todo o ciclo hidrológico em uma bacia de drenagem. A vegetação atua nos processos de interceptação, evapotranspiração, infiltração e retenção de água no solo, assim como na formação e na melhoria da qualidade do solo. Por isso, diferentes usos de solos têm diferentes respostas aos processos hidrológicos e sedimentológicos (Lencastre & Franco, 2006).

Para se ter uma caracterização detalhada do uso e ocupação do solo, utilizou-se a associação de dados de Portugal e Espanha, realizada por Okada (2019), com base na legenda de 3º nível da COS 2015, adaptada com outros níveis para compreender as características da Espanha, que são menos detalhadas. Algumas das adaptações são referentes às florestas, que no lado português tem detalhado diferentes tipos de folhosas e resinosas, enquanto no lado espanhol as classes de folhosas e resinosas.

Com essas informações, foram obtidas as porcentagens de áreas para cada classe de uso e ocupação do solo, para cada bacia. Os resultados das médias de cada classe para as diferentes tipologias de lameiro podem ser analisados na Tabela 18 e na Figura 35 e a distribuição das classes pelo mapa de uso e ocupação de solo (Figura 36).

Tabela 18. Uso e ocupação dos solos das bacias hidrográficas por tipologia de lameiro.

Classes de uso e ocupação do solo	Área (%)			
	Com rio em uso	Com rio aband.	Sem rio em uso	Sem rio aband.
Áreas áridas	0,44%	23,90%	0,00%	0,00%
Agricultura com espaços naturais e seminaturais	0,45%	0,61%	3,77%	1,48%
Culturas temporárias e/ou pastagens associadas	0,00%	0,93%	0,00%	0,00%
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	8,05%	0,62%	0,00%	0,00%
Florestas abertas, cortes e novas plantações	12,51%	0,30%	0,00%	0,00%
Florestas de castanheiro	0,00%	0,10%	1,78%	2,62%
Florestas de folhosas	4,54%	0,00%	0,00%	0,00%
Florestas de outras folhosas	1,00%	9,29%	0,00%	0,08%
Florestas de outras resinosas	28,16%	5,84%	0,45%	38,55%
Florestas de outros carvalhos	0,28%	0,39%	0,08%	0,00%
Florestas de pinheiro bravo	1,04%	0,70%	0,89%	0,18%
Florestas de sobreiro	0,21%	0,00%	0,00%	0,00%
Matos	38,41%	40,19%	88,99%	54,69%
Pastagens permanentes	4,85%	17,11%	0,00%	0,00%
Vegetação herbácea natural	0,00%	0,00%	3,88%	2,38%

Fonte: Autoria própria, 2020.

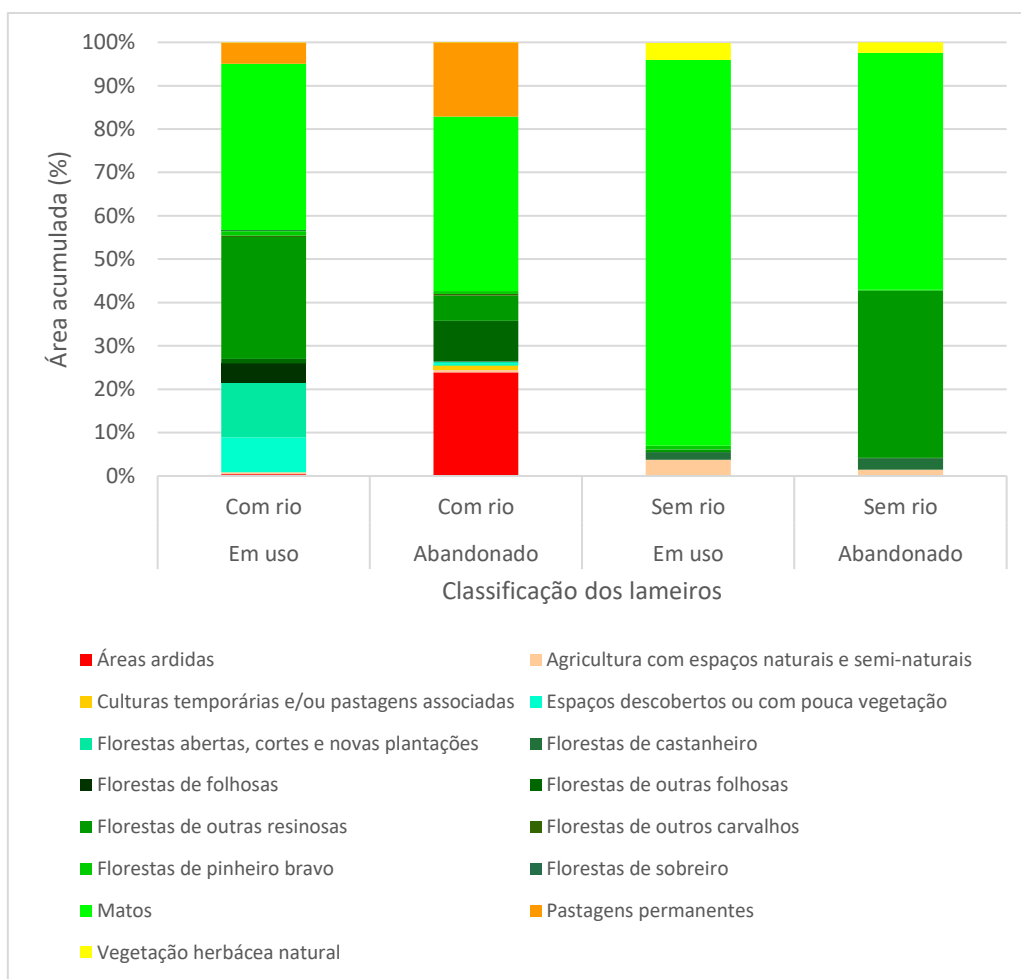


Figura 35. Distribuição das classes de uso e ocupação do solo do 3º nível da COS 2015.
Fonte: Autoria própria, 2020.

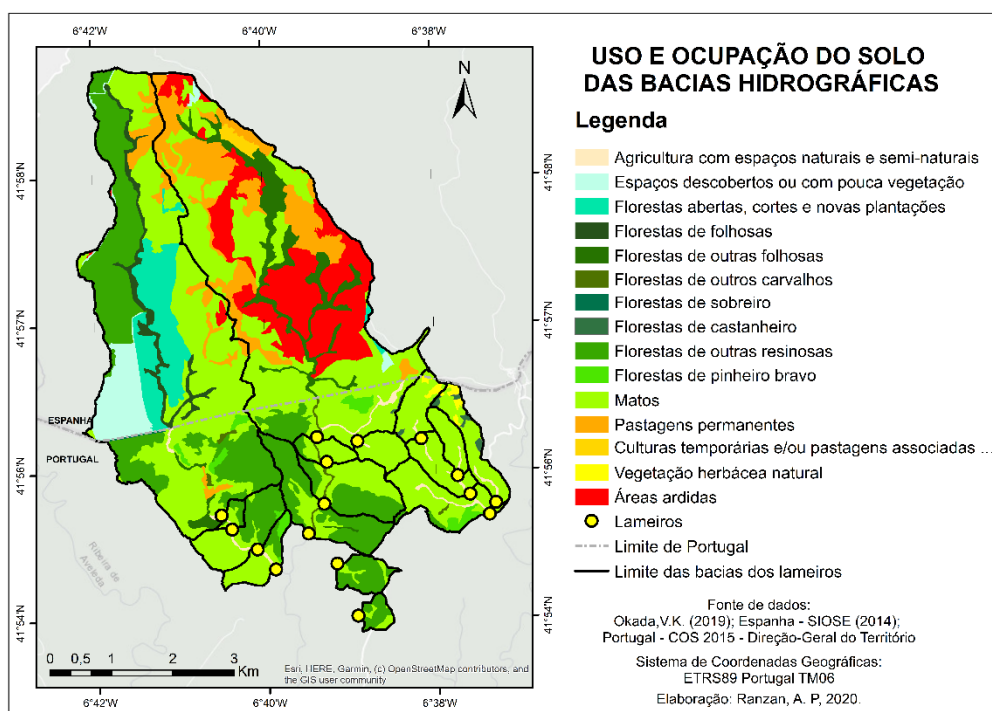


Figura 36. Mapa de uso e ocupação do solo.
Fonte: Adaptado de Okada, V. K., 2019.

Com o objetivo de comparar os tipos de lameiro em relação à resposta hidrológica referente às classes de uso e ocupação dos solos do solo, agrupando-as em megaclases (Figura x). A megaclasse “Agricultura” compreende a “Agricultura com espaços naturais e seminaturais”; a “Florestas” agrupa todas as florestas de resinosas e folhosas; “Matos” compreende os matos e as áreas ardidas; “Pastagens” as pastagens permanentes, culturas temporárias e/ou pastagens associadas e vegetação herbácea natural; “Espaços descobertos ou com pouca vegetação” e “Florestas abertas, cortes e novas plantações não sofreram alterações”.

As florestas são as principais classes relacionadas à interceptação da chuva, ao aumento da evapotranspiração, maior infiltração, percolação, e absorção pela vegetação, aumento da qualidade do solo, como consequência diminuição do tempo de saturação do solo, de escoamento superficial e da erosão do solo. Essas relações podem ser observadas no estudo realizado por Šípek et al. (2020), que comparou florestas (coníferas e caducifólias), com pastagens e prados, e obteve que as maiores taxas de evapotranspiração são das florestas folhosas, seguidas das resinosas, e depois prados e pastagens, e resultados opostos se relacionando ao acúmulo de água no solo, ou seja, as pastagens possuem solos mais húmidos.

Segundo Balbinot (2008), o escoamento superficial da água é inversamente proporcional à cobertura vegetal, e como consequência o que foi demonstrado por Santos et al., (2010) e Wiekenkamp et al., (2016) após o desmatamento de florestas, ocorre aumento do caudal médio da bacia, diminuição da evapotranspiração, aumento do conteúdo de água no solo e, como consequência, maior frequência de altas descargas. Também se verificou por Santos et al., (2010) que, quando são implantadas diferentes culturas agrícolas, há diferentes resultados, quando são culturas perenes o escoamento é amenizado se comparando com coberturas anuais.

Os resultados da classificação estão representados em porcentagem de área por megaclasse (Tabela 19 e Figura 37) e pelo mapa de megaclases para cada bacia hidrográfica (Figura 38). Com essas informações, é possível verificar que as classificações são distintas em cada grupo. Em relação à cobertura vegetal das bacias hidrográficas dos lameiros em estudo, pode-se concluir que a vegetação dos classificados como “sem rio e abandonados” possuem as melhores características para diminuir o escoamento, pois há grandes áreas estabelecidas com florestas (41,4%), seguidas de matos (54,7%), que são vegetações arbustivas nativas da região de Trás-os-Montes com

elevado valor ecológico, prestam diversos serviços ecossistêmicos e auxiliam na regulação do ciclo hidrológico e, portanto, diminuem o escoamento (Bompastor et al., 2009).

As bacias dos lameiros “com rio abandonados” e “com sem rio em uso” apesar de terem porcentagens reduzidas de floresta, também têm a maior parte da sua área compostas por matos, o que auxiliam no controle do escoamento. As bacias dos lameiros “com rio e em uso” possuem médias elevadas de áreas com florestas e matos, no entanto, por possuírem áreas com florestas abertas, cortes e novas plantações (12,5%) e espaços descobertos (8,1%), em altas proporções da bacia, acabam contribuindo para um aumento do escoamento superficial, erosão do solo, e maior tendência a cheias.

Tabela 19. Megaclases do uso e ocupação do solo por tipologia de lameiro.

Megaclases de uso do solo	Área (%)			
	Com rio em uso	Com rio abandonado	Sem rio em uso	Sem rio abandonado
Agricultura	0,4%	0,6%	3,8%	1,5%
Espaços descobertos ou com pouca vegetação	8,1%	0,6%	0,0%	0,0%
Florestas	35,2%	16,3%	3,2%	41,4%
Florestas abertas, cortes e novas plantações	12,5%	0,3%	0,0%	0,0%
Matos	38,9%	64,1%	89,0%	54,7%
Pastagens	4,9%	18,0%	3,9%	2,4%

Fonte: Autoria própria, 2020.

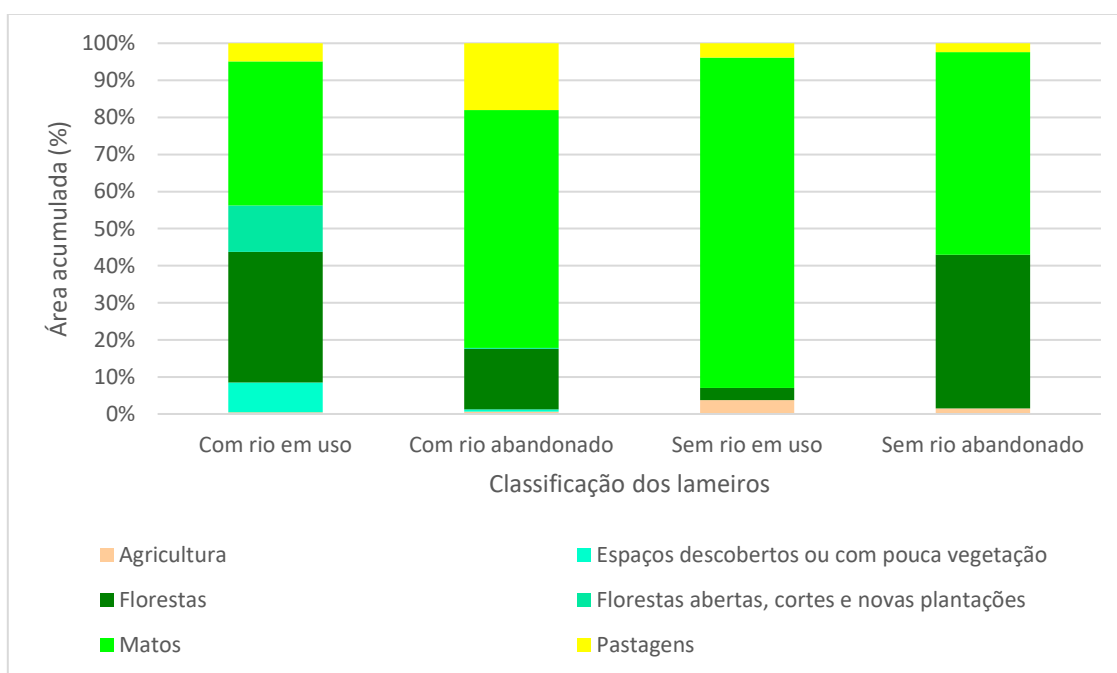


Figura 37. Gráfico da distribuição das megaclases de uso e ocupação do solo, por tipologia de lameiro. Fonte: Autoria própria, 2020.

MEGACLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

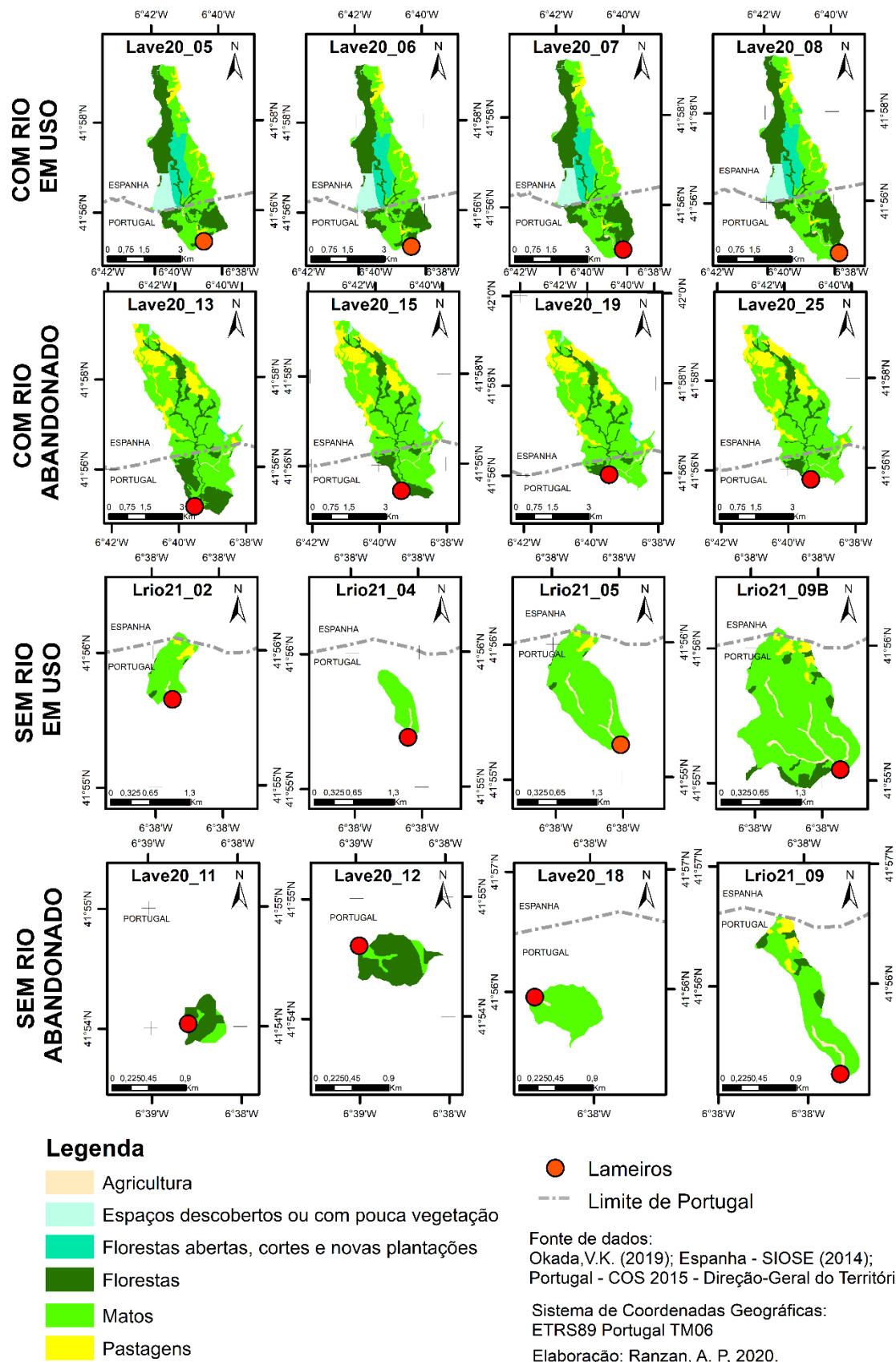


Figura 38. Megaclasse de uso e ocupação do solo em cada bacia hidrográfica.

Fonte: Adaptado de Okada, V. K, 2019.

4.3 RELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS

Com a identificação de relações entre os indicadores das características fisiográficas, é possível compreender as relações que estão associadas às diferentes tipologias de lameiros em cada bacia. Essa análise foi realizada por meio da matriz de correlação de Pearson, no software Excel. Os resultados relevantes da matriz obtida estão Tabela 20. Os valores do coeficiente de Pearson variam de -1 a 1, sendo que valores próximos de -1 são correlações negativas, 1 correlações positivas e de 0 quando não há correlação.

Tabela 20. Correlações entre as características fisiográficas.

Características Fisiográficas	A	P	CTP	CT LA	Zmax	Ord	H	Ip
Área (A)	1,00							
Perímetro (P)	0,99	1,00						
Comprimento do talvegue principal (CTP)	0,99	0,99	1,00					
Comprimento total das linhas de água (CTLA)	1,00	0,99	0,98	1,00				
Altitude máxima (Zmax)	0,99	0,99	0,99	0,98	1,00			
Ordem do curso de água (Ord)	0,96	0,97	0,95	0,95	0,95	1,00		
Altura média (H)	0,91	0,94	0,94	0,90	0,91	0,87	1,00	
Índice de declive global (Ip)	-0,83	-0,83	-0,79	-0,84	-0,81	-0,91	-0,68	1,00

Fonte: Autoria própria, 2020.

Analisando as correlações, verifica-se que há vários parâmetros com correlação forte com maior destaque são entre a área, o perímetro, o comprimento do talvegue principal, o comprimento total dos talvegues, a ordem do curso de água, a altitude máxima e a altura média que são todos também tem correlações negativas ao índice de declive global da bacia. Para compreender melhor as relações entre esses indicadores, realizou-se a análise de regressão linear (Figura 39).

As correlações entre a área da bacia hidrográfica (km²) e os indicadores de relevo, a altitude máxima (m) e a altura média (m) é fortemente positiva, e todos têm uma correlação negativa com o índice global de declive, ou seja, são inversamente proporcionais. Com essas relações, pode-se concluir que as bacias com as maiores áreas estão localizadas nas maiores altitudes e possuem a maior amplitude de altitude e os menores índices de inclinação. Ou seja, mesmo com uma elevada diferença de altitude, o relevo não é acentuado, pois é distribuído por uma área extensa. O oposto ocorre com as

bacias menores: elas possuem pequenas variações de altitude, estão localizadas em pontos mais baixos, mas possuem as maiores inclinações.

A área também possui uma forte correlação linear positiva com o comprimento total das linhas de água, com um R^2 de 0,9978. O comprimento total das linhas de água tem uma forte correlação positiva com o comprimento do talvegue principal ($R^2 = 0,9565$) e com a ordem do curso de água ($R^2 = 0,9092$), com a altura média uma correlação positiva ($R^2 = 0,8167$) e uma correlação negativa com o índice global da declividade ($R^2 = 0,6901$). Com isso, verifica-se que as maiores bacias hidrográficas têm uma rede de drenagem mais desenvolvida e ramificada, distribuídas por uma área ampla e com uma inclinação, mas suave, se comparada às menores bacias.

Como já analisado anteriormente pelas comparações das características fisiográficas, as maiores diferenças entre as tipologias de lameiros são referentes à linha de água. Como foi constatado no item 4.2.1 as bacias hidrográficas com as maiores áreas são aquelas com presença de linha de água permanente. Com isso, pode-se definir que as bacias áreas acima de 12 km², com comprimento do talvegue principal maior que 8 km, com comprimento total das linhas de água maiores que 34 km, com ordem do curso de água maior que 3, com altura média superior a 130 m, altitude máxima maior que 1050 m e índice global de declividade menor que 3,0% possuem linha de água permanente.

As bacias com área até 3,5 km², com comprimento do rio principal abaixo de 3,0 km, comprimento total de linhas de água inferior a 10 km, com ordem do curso de água menor ou igual a 3, altura média menor que 120 m, altura máxima inferior a 880 m e índice global de declividade maior que 3,5% ainda não possuem uma linha de água permanente. Para poder definir o limiar que caracteriza quais valores determinam se há presença de rio, é necessário analisar o comportamento no intervalo entre esses dois grupos, portanto com bacias de características intermediárias.

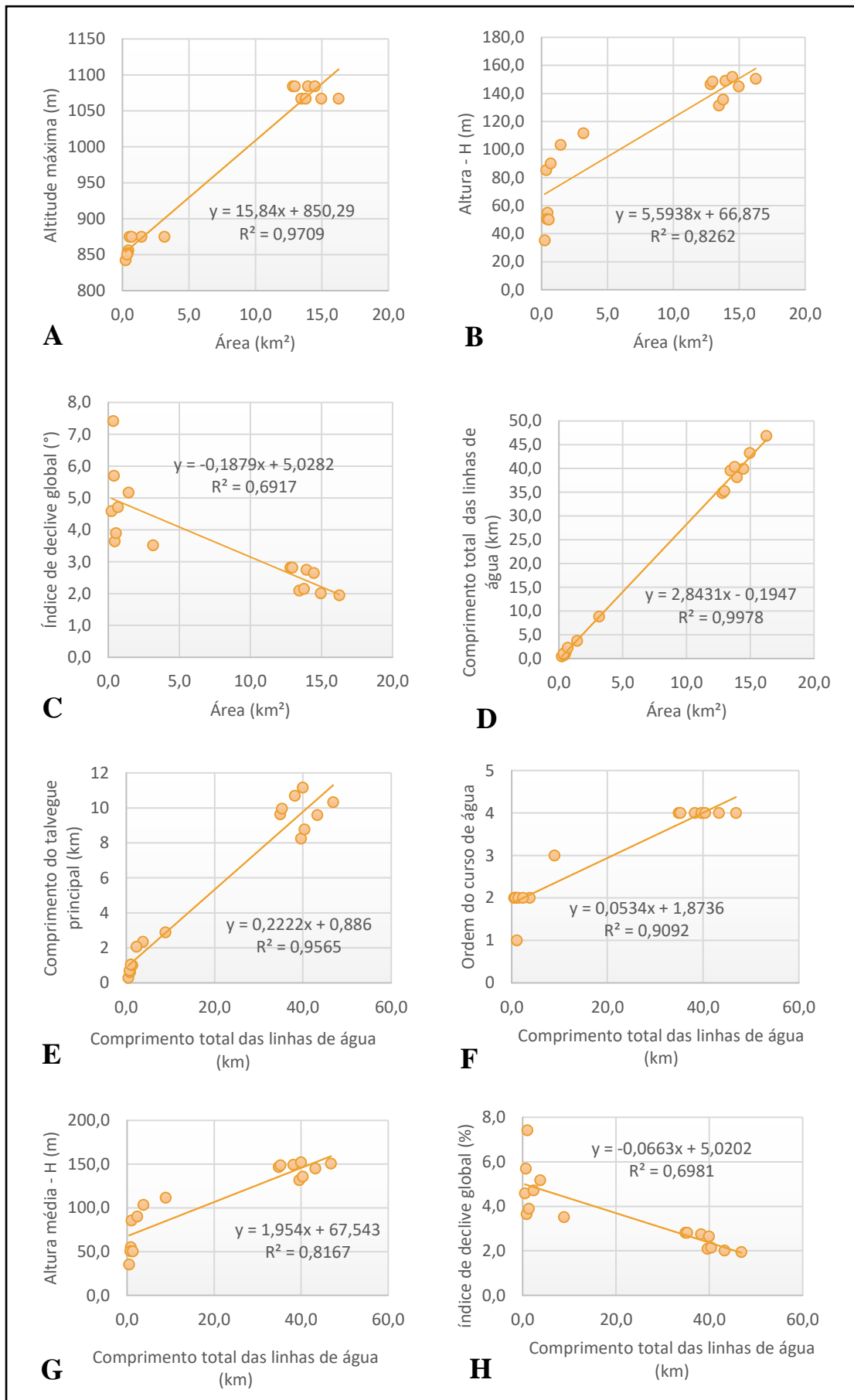


Figura 39. Regressão linear entre as características com as maiores correlações.
 Fonte: Autoria própria, 2020.

4.4 ÁREAS DE LAMEIROS: CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DIFERENCIADORAS

Os lameiros são prados permanentes seminaturais de montanhas. Geralmente localizados em fundos de vales ou meia-encosta, associados a elevada disponibilidade hídrica (próximos a linhas de água perenes, periódicas ou esporádicas). Possuem um grande valor econômico, social e ecológico (Azevedo et al., 2016; Pereira & Pedrosa, 2007; Pires et al., 1994). Diante disso, é importante compreender como as características dos lameiros se distinguem das áreas ao seu entorno, para poder diferenciá-los e identificá-los, além de compreender a sua influência no ciclo hidrológico de bacias hidrográficas de montanhas (Figura 40).

Com esses objetivos, foram selecionadas como características a serem analisadas o declive médio, o acúmulo do fluxo e o comprimento do fluxo. Para a comparação, definiu-se as áreas, para cada bacia em estudo, dos lameiros, das encostas que têm influência direta nos lameiros, divididas em encosta com lameiro (que drenam diretamente para o lameiro) e encosta sem lameiro (que drenam diretamente para a linha de água) e a bacia hidrográfica em si. Na divisão de encostas que drenam diretamente para os lameiros, verificou-se que nos lameiros Lrio21_05 e o Lrio21_09, o talvegue gerado pelo SIG, representando a linha de água, divide de forma simétrica o lameiro, por isso, nestes dois casos os valores dos parâmetros em análise para as duas encostas foram considerados iguais à média dos obtidos em SIG para cada encosta.

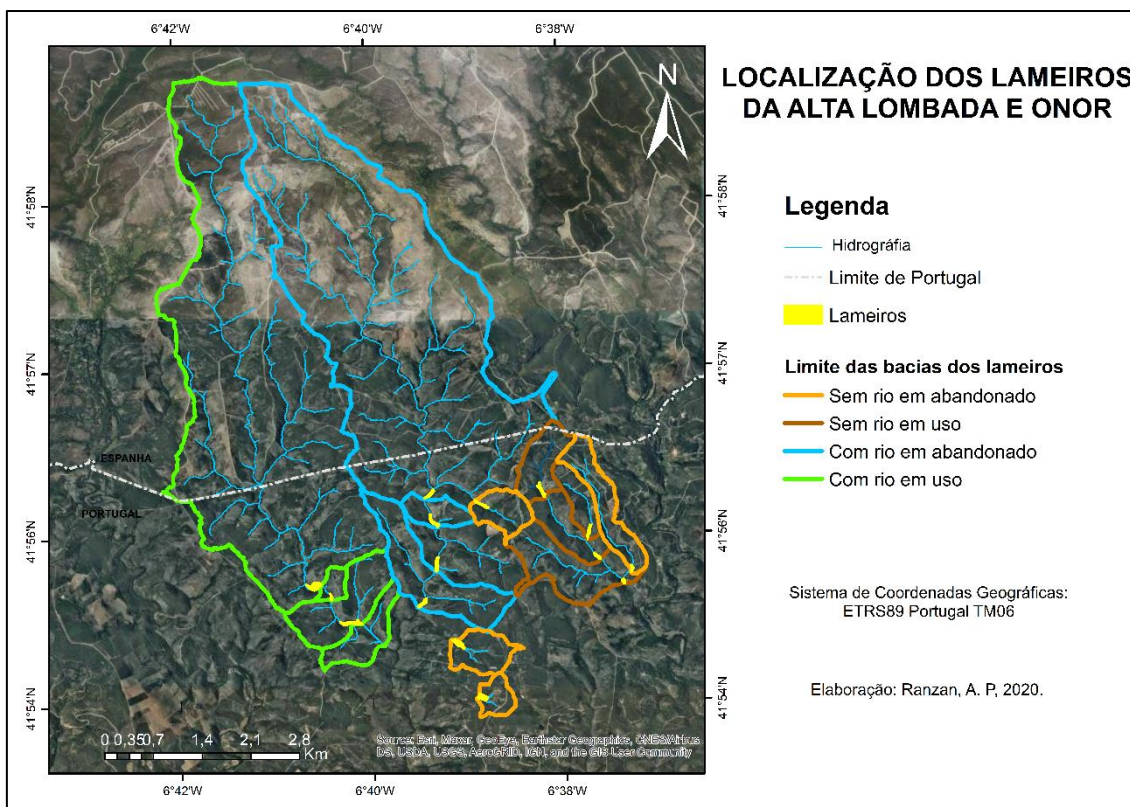


Figura 40. Mapa de localização das áreas dos lameiros da Alta Lombada e Onor.
Fonte: Autoria própria, 2020.

Para realizar essa análise, utilizou-se do teste de variância ANOVA com fator duplo de repetição, para verificar se há diferença efeitos significativos ao grau de 5% de significância entre as áreas, entre as classes de lameiros e na interação de ambos, para cada característica. Como resultado (Tabela 21), verificou-se que há ocorrência de efeitos diferenças significativos nas médias de todas as características. Para identificar em quais fatores estão das categorias de lameiros comparadas se encontram as diferenças significativas, realizou-se o teste de Tukey.

Tabela 21. Resultados da ANOVA com fator duplo de repetição para as características fisiográficas diferenciadoras.

Característica	p valor ¹		
	Classes de lameiros	Classes de áreas	Interações
	gl ² 3	gl 3	gl 9
Declive	0,217	$3,61 \cdot 10^{-05}$	0,013
Acumulação do fluxo	$2,42 \cdot 10^{-08}$	$1,80 \cdot 10^{-16}$	$1,14 \cdot 10^{-12}$
Comprimento do fluxo	$1,02 \cdot 10^{-05}$	$1,95 \cdot 10^{-17}$	$1,30 \cdot 10^{-08}$

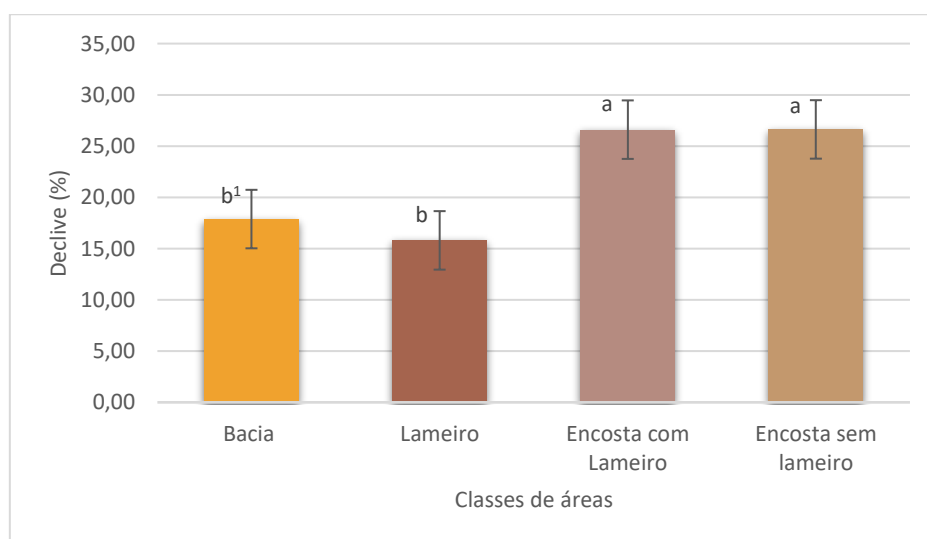
¹ Diferença significativa entre as médias quando p valor < 0,05, para um grau de 5% de significância.

² gl – grau de liberdade.

Fonte: Autoria própria, 2020.

Pelo teste de Tukey (Figura 41), verificou-se que, em relação ao declive médio, as diferenças mais significativas estão relacionadas às áreas analisadas. Os maiores declives estão nas encostas, sem diferenças significativas entre elas, em torno de 26 %. Os lameiros apresentaram os menores valores (16%), mas não têm diferença significativa em relação ao declive global da bacia (18%). Com a análise realizada no item 4.2.3.4 sobre o declive da bacia, foi possível verificar que as áreas com menores declives são nos topos dos morros e no fundo dos vales, e as maiores declividades nas encostas próximas à linha de água, que estão de acordo com os resultados obtidos na comparação dessas médias.

Pode-se afirmar que os lameiros possuem menor declividade por estarem no fundo de vales, e as encostas próximas a eles têm um declive mais acentuado. Com isso, é possível fazer identificar os lameiros analisando a declividade. Em relação à resposta hidrológica da declividade, que está relacionada com a velocidade do escoamento superficial, as encostas, por terem maior declividade, drenam a água para o lameiro em uma velocidade superior à velocidade da água no lameiro, com maior capacidade de transportar sedimentos, com isso o lameiro tem uma tendência a ter acúmulo de caudal e sedimentos vindo das encostas diretas, favorecendo também a infiltração de água no solo.



¹ Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.
 Figura 41. Gráfico de barras das médias com erros associados para o declive em diferentes áreas.
 Fonte: Autoria própria, 2020.

O comprimento do fluxo é a maior distância ascendente de cada pixel do fluxo até o topo da divisão de drenagem. Ou seja, ele determina o comprimento máximo do fluxo para toda a área da bacia. A acumulação de fluxo é um valor adimensional resultante da

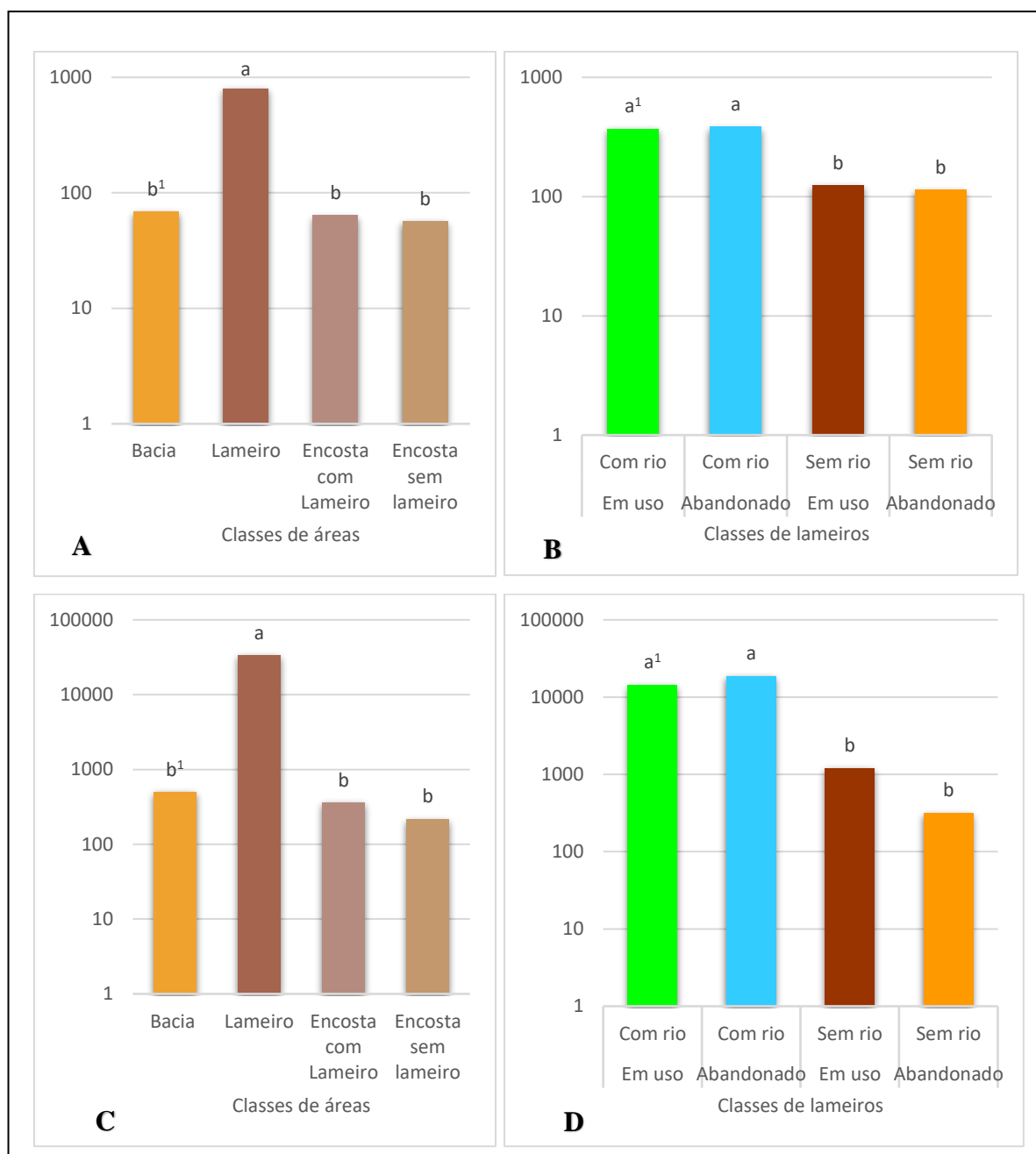
associação de células que têm a mesma direção de fluxo: quanto maior o número de células na mesma direção, maior será o valor do acúmulo de fluxo. Essas duas características estão interligadas, pois quanto maior o comprimento do fluxo maior será a sua acumulação. O resultado das análises estatísticas foi bem semelhante para essas duas características, com diferenças significativas entre as classes de lameiros, áreas e as interações (Figura 42).

Para o comprimento de fluxo, em relação às áreas, verifica-se que o lameiro tem um comprimento de $802,0 \pm 60,9$ metros, que é bem mais elevado do que na encosta e na bacia, que é em média $63,3 \pm 18,8$ m. Nas diferentes tipologias de lameiros, foram obtidas diferenças significativa em relação à presença de linha de água permanente ($377,1 \pm 582,6$ m) e sem linha de água permanente ($118,8 \pm 122,7$ m). Para a acumulação do fluxo, o comportamento foi bem semelhante ao comprimento do fluxo, relacionado com as diferentes as áreas, o “lameiro” também que apresentou valores bem mais significativos, e quanto a tipologia dos lameiros o acúmulo do caudal foi maior nas bacias dos lameiros “com rio”, como pode ser observado na Figura 42.

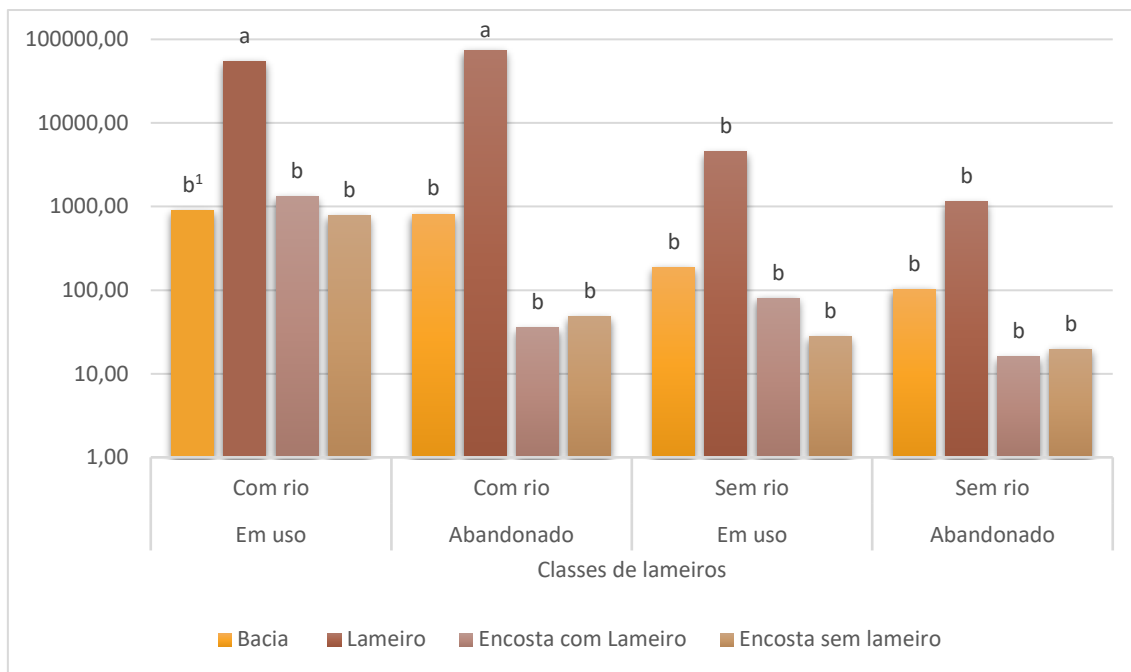
Com esses resultados, confirma-se que os lameiros são áreas com grande tendência a ter acumulação de fluxo, mesmo sem ter uma linha de água permanente. Hidrologicamente, isso significa que os lameiros são mais susceptíveis a inundações. Esse fator, relacionado com a baixa declividade dessas áreas, garante uma certa retenção do fluxo que vem com velocidades mais elevadas das encostas, agindo assim como barreiras naturais de contenção de enxurradas e sedimentos, aumentando com isso a infiltração no solo e diminuindo o risco de erosão a jusante. As diferenças relacionadas à presença de linha de água permanente estão relacionadas com o fato de que as bacias com rio possuem uma área bem maior do que as sem rio e, como consequência, o fluxo de água acumulado também é muito maior.

A análise das interações das áreas com as classes de lameiros, em ambas as características, resultou em diferenças significativas apenas relativamente à interação das áreas de lameiros com as bacias com rio (Figura 43). Em relação às encostas dos lameiros, mesmo não havendo diferenças significativas, pode-se verificar, através da figura com as interações, que elas possuem uma diferença de comportamento em relação ao uso do lameiro. Nas bacias dos lameiros abandonados, as encostas sem lameiro possuem um valor mais elevado de acumulação, enquanto que nos lameiros em uso a encosta que drena direto para o lameiro tem o maior fluxo. Isso mostra que as encostas dos lameiros não são simétricas, o que pode estar relacionado com modificações realizadas nas linhas de água

que passam por esses lameiros para fazer sistemas de irrigação e aumentar a área de cultivo (Pereira & Pedrosa, 2007).



1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.
 Figura 42. Gráfico de barras das médias das características de fluxo em escala logarítmica, A e B relacionado com o comprimento de Fluxo (m) e B e C com a acumulação de fluxo (adimensional).
 Fonte: Autoria própria, 2020.



1 Letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Figura 43. Gráfico de barras das médias da acumulação de fluxo para as áreas e classes de lameiros.

Fonte: Autoria própria, 2020.

5. CONCLUSÃO

Os sistemas de informações geográficas são ferramentas muito úteis e práticas para analisar o ambiente e suas interações. Por meio do software ArcGIS, utilizando modelos digitais de elevação e as coordenadas dos lameiros, foi possível gerar o sistema de drenagem, a delimitação das bacias hidrográficas para cada lameiro e obter todas as informações necessárias para calcular as características fisiográficas de geometria, sistema de drenagem e relevo. Com isso, foi possível caracterizar individualmente a bacia de cada lameiro e comparar e classificar as características de acordo com as tipologias dos lameiros, analisando a sua resposta hidrológica. Observou-se um comportamento semelhante em quase todas as comparações entre as tipologias de lameiros. As diferenças mais significativas estão relacionadas com a linha de água, a única exceção é com o uso e ocupação do solo, que as quatro tipologias se distinguem.

Para as características de geometria, os lameiros com presença de linha de água permanente possuem maiores áreas, um índice de compactidade mais distante de 1,0 e menores valores para o fator de forma, o que os caracterizam como tendo um formato mais estreito e irregular do que os lameiros sem rio. Hidrologicamente, isso significa que os lameiros com rio têm uma maior tendência a terem fluxos de escoamento mais elevados, porém, devido ao formato, o tempo que o escoamento vai precisar para chegar à linha de água principal não será homogêneo, e há uma menor propensão de ocorrer chuvas intensas em toda área da bacia ao mesmo tempo, com isso os lameiros possuem uma menor predisposição geométrica a ter cheias do que os lameiros sem rio.

De acordo com as características do sistema de drenagem, obteve-se que o comprimento do talvegue principal, o comprimento total das linhas de água e a ordem do curso de água são maiores para os lameiros com rio, ou seja, eles possuem uma rede de drenagem mais ramificada, complexa e desenvolvida. Em relação à densidade de drenagem (Y) e ao percurso médio sobre o terreno (L_p), não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos de lameiros, então, em relação ao comportamento hidrológico, todos são relativamente bem drenados, o que reduz a propensão a cheias.

O sistema de drenagem também foi analisado por meio de uma drenagem mais detalhada para buscar diferenças significativas de modo a distinguir melhor os tipos de lameiros por essas características. Com isso, foram obtidas diferenças significativas em relação à linha de água também para a densidade de drenagem e para o percurso médio

sobre o terreno. As bacias dos lameiros com rio apresentam maiores valores para a Y e menores para o Lp, o que significa que a drenagem é melhor nesse grupo.

Com as características de relevo, verificou-se que as bacias hidrográficas dos lameiros com rio possuem as maiores altitudes máximas e as menores altitudes mínimas e, com isso, maiores amplitudes. No entanto, as médias e as medianas são próximas entre os dois grupos, ou seja, as bacias menores estão localizadas em altitudes intermediárias. Em relação ao declive médio, as bacias de todas as classes de lameiros são classificadas como um relevo suave a moderado, sendo que as bacias hidrográficas com rio possuem os maiores valores de declive médio, porém para o índice global de declive os menores. Isso se deve ao formato da bacia, o que pode ser visto também no resultado do retângulo equivalente.

Pela análise da curva hipsométrica, verificou-se que as bacias dos lameiros com rio são mais antigas geologicamente, estando em um estado de maior equilíbrio em comparação às bacias sem rio, por terem sofrido um processo de erosão mais intenso pelas linhas de água e, assim, possuindo um terreno mais modelado, o que está relacionado a um menor índice global de declive e uma inclinação mais suave.

Em relação ao perfil longitudinal do talvegue principal, observou-se nos lameiros com presença de linha de água permanente um perfil com uma concavidade suave, que é característica de proximidade a um estado estacionário, uma menor inclinação, uma carga de fluxo mais elevada e, como consequência, precisam de menos energia para transportar sedimentos. Nos lameiros sem rio, a concavidade é praticamente nula, pois o perfil é retilíneo, com uma maior declividade, o que representa um menor acúmulo de fluxo, mas uma velocidade mais elevada.

Os solos dos lameiros sem rio são quase 100% compostos por Leptosolos Úmbricos, com classificação do tipo hidrológico C, com um potencial de escoamento superficial acima da média. Nos lameiros com rio, as bacias possuem maiores proporções para os Leptosolos Líticos, seguido de Leptosolos Úmbricos e Cambissolos Úmbricos, com os respectivos tipos hidrológicos, D, C e B, com isso pode-se concluir que as bacias desses lameiros têm solos mais favoráveis ao escoamento superficial elevado.

Em relação ao uso e ocupação do solo, os resultados foram bem distintos entre as quatro classes de lameiros. De uma forma geral, os que possuem uma cobertura vegetal que ocasionam em maior retenção e resistência ao escoamento são os lameiros sem rio abandonados, seguidos dos com rio abandonados, sem rio em uso e por fim o com rio em uso. Por ser uma área pequena, a litologia é uniforme, sendo composta basicamente de

xisto, com algumas cristas de quartzito. Os xistos são rochas com elevada impermeabilidade, o que favorece o escoamento superficial e os processos erosivos e, por isso, influenciam no desenvolvimento de uma rede de drenagem densa e ramificada.

Por meio da correlação das características fisiográficas, foi possível verificar forte correlação positiva entre a área, o perímetro, o comprimento do talvegue principal, o comprimento total dos talvegues, a ordem do curso de água, a altitude máxima, a altura média e uma correlação negativa de todas essas características com índice de declive global da bacia. Com essas correlações, foi possível quantificar os limiares dessas características para as bacias dos lameiros com rio e sem rio.

De forma geral, com todas essas características de geometria, sistema de drenagem e relevo, verifica-se que as bacias hidrográficas dos lameiros “com rio” são mais extensas, mais desenvolvidas, em um estado maior de equilíbrio e, com isso, mesmo com maiores fluxos, eles são mais distribuídas e aproveitadas ao longo da bacia. Já as bacias de drenagem dos lameiros sem rio possuem menores áreas e, com isso, os fluxos são menores, mas a velocidade do escoamento é mais elevada e o tempo de concentração é uniforme, o que ocasiona maiores riscos de cheias e menor retenção de água.

Na análise da diferenciação dos lameiros das áreas de encostas, obteve-se que as áreas de lameiros possuem declividades mais baixas. O comprimento e acúmulo do fluxo são muito mais elevados nas áreas de lameiro do que nas demais e, em relação à tipologia de lameiro, são maiores nos lameiros com linha de água permanente. Hidrologicamente, isso demonstra que os lameiros são mais susceptíveis a sofrer inundações do que as áreas em torno, pois possuem uma menor declividade juntamente com um maior acúmulo de fluxo, e com isso eles acabam atuando como barreiras de contenção de água e sedimentos, diminuindo o risco de cheias e erosão a jusante. Esses resultados podem auxiliar em uma análise de identificação automatizada de lameiros, e em uma melhor compreensão da importância dos lameiros nos ciclos hidrológicos de montanha.

6. REFERÊNCIAS

- A.Montesinho (2020). [Postagem de um blog]. Disponível em: <https://amontesinho.pt/regiao/parque-natural-de-montesinho/>.
- Afonso, N., & Arrobas, M. (2009). Contribuição para a Elaboração da Carta de Solos da Cidade de Bragança. *Qualidade do Ambiente Urbano. Novos Desafios*, 137-142.
- Aguiar, C. F. G. (2001). *Flora e vegetação da Serra de Nogueira e do Parque Natural de Montesinho* (Doctoral dissertation, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia).
- Aguiar, C., Rodrigues, O., Azevedo, J., & Domingos, T. (2009). Montanha. Ecosistemas e bem-estar humano: avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment, 295-339.
- Almeida, C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R., & Gomes, A. J. (2000). *Sistemas aquíferos de Portugal continental*. Centro de Geologia da Fac. Ciências Univ. Lisboa, Instituto da Água, 3.
- Alves. J. M. D. P.. & Castro. P. D. T. A. (2003). Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*. 33(2). 117-124.
- Asp. N. E.. Siegle. E.. Schettini. C. A. F.. Losso. A. P.. & da Fontoura Klein. A. H. (2009). Geologia e hipsometria de bacias de drenagem do centro-norte catarinense (Brasil): implicações para a zona costeira. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 1(2).
- Azevedo, J., Cadavez, V., Arrobas, M., & Pires, J. (2016). *Sustentabilidade da montanha portuguesa: realidades*.
- Balbinot, R., de Oliveira, N. K., Vanzetto, S. C., Pedroso, K., & Valério, Á. F. (2008). O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. *Ambiência*, 4(1), 131-149.

- Bompastor, A., Figueiredo, T. D., & Fonseca, F. (2009). Matos do Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal: produção de serviços ecossistémicos. In 15º Congresso da APDR (pp. 338-364). APDR.
- Charraza, A. (2011). Atlas climático ibérico/Iberian climate atlas. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino, Madrid. Instituto de Meteorologia de Portugal.
- Collischonn, W., & Dornelles, F. (2013). Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1.
- Cunha, T. J. F., Mendes, A. M. S., & Giongo, V. (2015). Matéria orgânica do solo. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE).
- Deus, F. P., da Silva, L. A., da Silva, A. M., & Coelho, G. (2011). Caracterização morfológica e climática da sub-bacia do córrego Cana-Brava do município de Guaraciama–MG. *Scientia Plena*, v.7, n.8.
- Fernandes, F. (2020). Efeito do abandono em propriedades físico-químicas do solo em lameiros do Parque Natural de Montesinho (Dissertação de mestrado). Curso de Tecnologia Ambiental. Instituto Politécnico de Bragança.
- Fernandes, L. F. (1996). 26-Hidrogeologia de dois importantes aquíferos (Cova de Lua, Sabariz) do maciço polimetamórfico de Bragança. Instituto Politécnico de Bragança.
- Figueiredo, T. D. (2012). 83-Pedregosidade dos Solos em Trás-os-Montes: importância relativa e distribuição espacial.
- Figueiredo, T. D. (2013). 84-Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano.
- Gonçalves, A. B., Vieira, A., Leite, F. F., & Lourenço, L. (2012). Mudanças climáticas e risco de incêndio florestal no ave (noroeste de Portugal).
- Guerra, A. J. T. (1990). O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. *Anuário do instituto de geociências*, 13, 43-52.
- Guimarães. R. C. (2017). Capítulo 2-Bacia Hidrográfica.
- Hipólito, J. R., & Vaz, A. C. (2017). Hidrologia e recursos hídricos. Editora Universitaria do Instituto Superior Tecnico, Lisboa.

- Hurtrez, J. E., Sol, C., & Lucazeau, F. (1999). Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage basins in the Siwalik Hills (Central Nepal). *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 24(9), 799-808.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2007). Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho: Estudos de Caracterização. Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2018). Projeto de Prevenção Estrutural e Conservação de Habitats Naturais Protegidos e Espécies Prioritárias do Parque Natural de Montesinho - HabMonte. Memória Descritiva.
- ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2020). Habitats do Parque Natural de Montesinho. Disponível em: <http://www2.icnf.pt/portal/ap/p-nat/pnm/habit>
- IGN - Instituto Geográfico Nacional (2009/2010). Nuvens de pontos LiDAR. Disponível em: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscadorCatalogo.do?codFamilia=02211>
- Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). - ALOS Global Surface Model “ALOS World 3D – 30 m” (AW3D30).
- Larue, J. P. (2011). Longitudinal profiles and knickzones: the example of the rivers of the Cher basin in the northern French Massif Central. *Proceedings of the Geologists' Association*, 122(1), 125-142.
- Lencastre, A.; Franco, F., 2006. Lições de Hidrologia. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica.
- Liffner, J. W., Hewa, G. A., & Peel, M. C. (2018). The sensitivity of catchment hypsometry and hypsometric properties to DEM resolution and polynomial order. *Geomorphology*, 309, 112-120.
- Lopes, E., Souza, J., Sousa, J., Albuquerque Filho, J. L., & Lourenço, R. Modelagem ambiental de bacias hidrográficas: caracterização morfométrica e pedológica da bacia do rio Una–Ibiúna, Brasil.

- Lousada, S. A. N., & Camacho, R. F. (2018). Hidrologia, recursos hídricos e ambiente: aulas teóricas.
- Luo, W. (2000). Quantifying groundwater-sapping landforms with a hypsometric technique. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 105(E1). 1685-1694.
- Machado, A. C. (1996). A água e a biosfera: (I) o ciclo biogeoquímico da água. *Revista indústria da água*. (20). 7-13.
- Nunes, J. P. C. (2016). Processos hidrológicos em montanhas e alterações climáticas. In *Sustentabilidade da Montanha Portuguesa: Realidades e Desafios*. Bragança: Instituto Politécnico. Cap. 4. 91-106.
- Pereira, A., & de Sousa Pedrosa, A. (2007). Paisagem cultural das montanhas do noroeste de Portugal: um ciclo de construção, desestruturação e reconversão. *Territorium*, (14), 45-61.
- Pereira, E., & Arrobas, M. (2010). Caracterização da fertilidade química de lameiros do nordeste transmontano. *IV Reunião Ibérica de Pastagens e Forragens*, 81-86.
- Pereira, P., Pereira, D. Í., Alves, M. I. C., & Meireles, C. (2003). Geomorfologia do Parque Natural de Montesinho: controlo estrutural e superfícies de aplanamento. In *VI Congresso Nacional de Geologia*, 4 a 6 de Junho de 2003.
- Pérez-Peña, J. V., Al-Awabdeh, M., Azañón, J. M., Galve, J. P., Booth-Rea, G., & Notti, D. (2017). SwathProfiler and NProfiler: Two new ArcGIS Add-ins for the automatic extraction of swath and normalized river profiles. *Computers & Geosciences*. 104. 135-150.
- Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M., & Azor, A. (2009). CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. *Computers & Geosciences*. 35(6). 1214-1223.
- Phillips, J. D., & Lutz, J. D. (2008). Profile convexities in bedrock and alluvial streams. *Geomorphology*. 102(3-4). 554-566.
- Pires, J., Pinto, P. A., & Moreira, N. (1994). 29-Lameiros de Trás-os-Montes: perspectivas de futuro para estas pastagens de montanha. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária.

- Pôças, I., Pereira, L. S., & Cunha, M. (2007). Pastagens como factor de conservação da água em zonas de montanha. *Revista da Sociedade Portuguesa de Pastagens e Forragens*, 59-77.
- Radoane. M., Rădoane. N., & Dumitriu. D. (2003). Geomorphological evolution of longitudinal river profiles in the Carpathians. *Geomorphology*, 50(4), 293-306.
- Ribeiro, S., & Monteiro, A. (2014). Pastagens permanentes em zonas de montanha: caracterização, gestão e conservação. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(2), 131-140.
- Riso, S., Miranda Arabolaza, M. J., Braga, J., Martins, N., Nóvoa, M., & Silva-Méndez, G. D. (2016). Influência das alterações agrícolas em populações de Orthoptera no Nordeste de Portugal. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*.
- Rosa, J. (2020). Modelo digital de elevação do Parque Natural de Montesinho/ICNF. Instituto Geográfico do Exército - CIGeoE.
- Rota da terra fria transmontana (2020). [Postagem de um blog]. Disponível em: http://www.rotaterrafria.com/pages/221/?geo_article_id=7248
- Santos, E. H. M. D., Griebeler, N. P., & Oliveira, L. F. C. D. (2010). Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite.
- Santos, L., & Fortuna, J. (2005). Modelo de exigências para uso urbano do solo. Critérios urbanísticos e riscos naturais: Um exemplo em Coimbra. *Territorium*, (12), 69-95.
- Silveira, A. L. L. (2001). Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: Tucci, Carlos E. M. (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2. ed. 35-51.
- Šípek, V., Hnilica, J., Vlček, L., Hnilicová, S., & Tesař, M. (2020). Influence of vegetation type and soil properties on soil water dynamics in the Šumava Mountains (Southern Bohemia). *Journal of Hydrology*, 582, 124285.
- Soil Conservation Service (1973) – “A Method for Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watersheds”. U. S. Department of Agriculture, Washington.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.

- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142.
- Teodoro, V. L. I., Teixeira, D., Costa, D. J. L., & Fuller, B. B. (2007). O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, 11(1), 137-156.
- Torres, J. L. R., Guidolini, J. F., Santana, M. G., dos Santos, E. C., & de Jesus Laureano, M. B. (2010). Avaliação das características morfológicas e hidrológicas da microbacia do córrego Buracão, afluente do rio Uberaba. *Caminhos de Geografia*, 11(33).
- Tucci, C. E., & Mendes, C. A. (2006). Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, Governo Federal.
- VassarStats: Website for Statistical Computation (2020). Disponível em: <http://vassarstats.net/anova2u.html>.
- Wiekenkamp, I., Huisman, J. A., Bogena, H. R., Graf, A., Lin, H. S., Drüe, C., & Vereecken, H. (2016). Changes in measured spatiotemporal patterns of hydrological response after partial deforestation in a headwater catchment. *Journal of hydrology*, 542, 648-661.
- WRB, I. W. G. (2014). World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Report*, 106.

ANEXO

ANEXO I - Retângulos Equivalentes

Lameiros classificados “com rio em uso”.

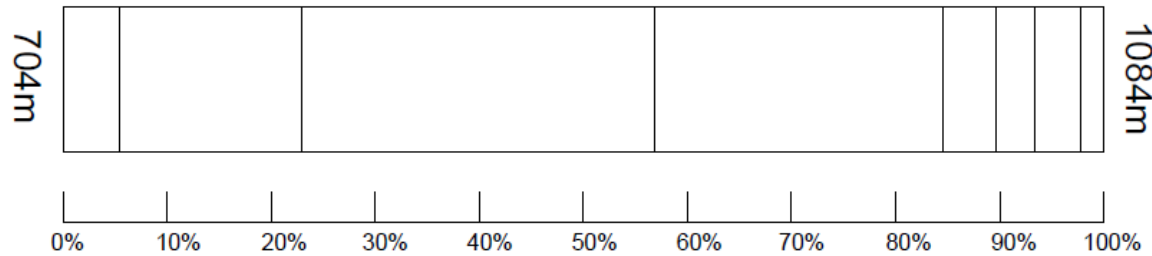


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_05. com curvas de níveis de 50 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

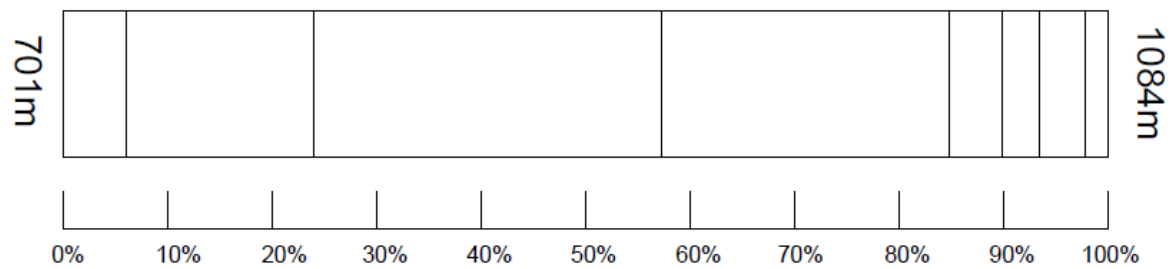


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_06. com curvas de níveis de 50 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

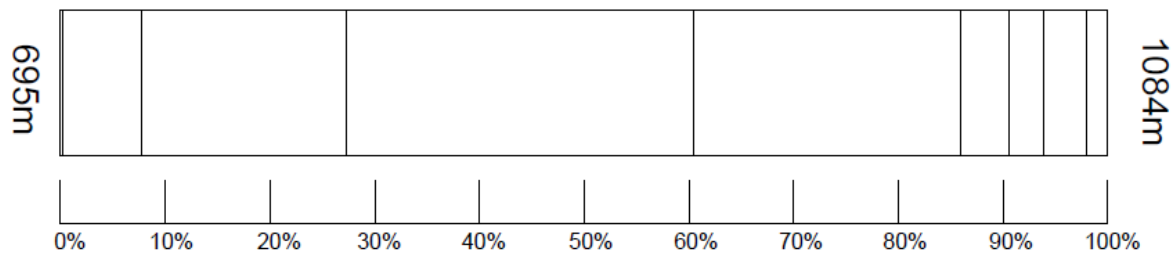


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_07. com curvas de níveis de 50 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

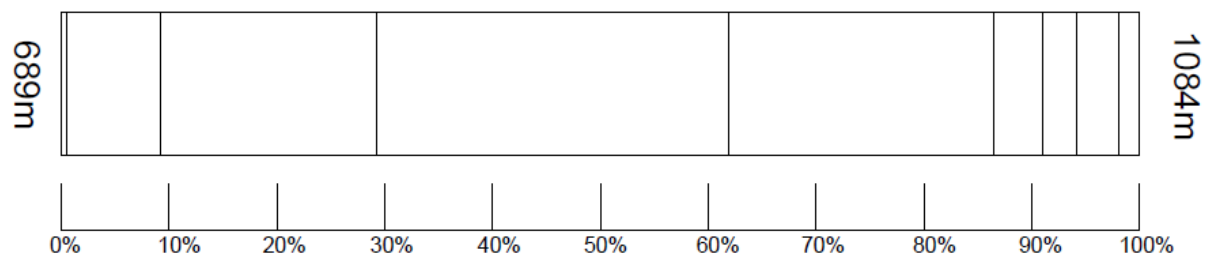


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_08. com curvas de níveis de 50 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

Lameiros classificados “com rio abandonado”.

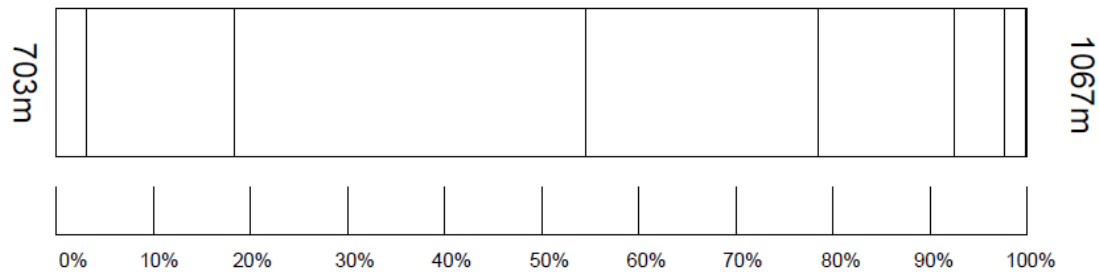


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_13. com curvas de níveis de 50 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

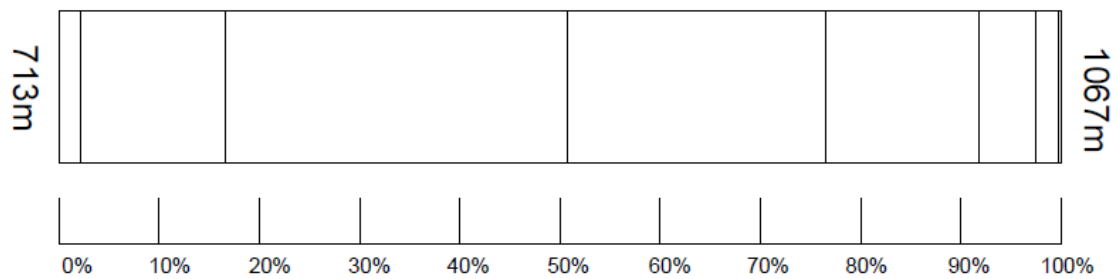


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_15. com curvas de níveis de 50 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

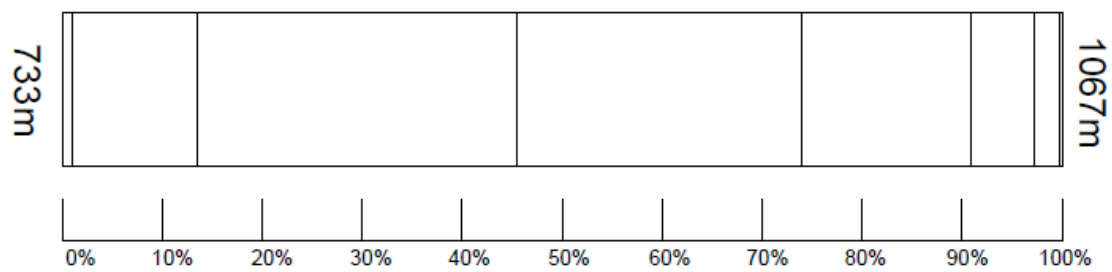


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_19. com curvas de níveis de 50 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

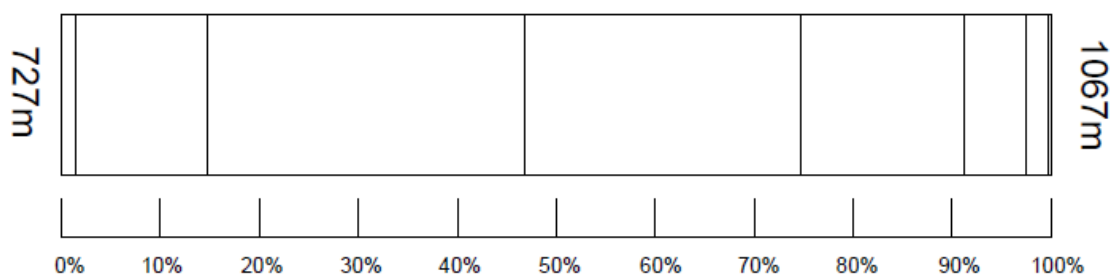


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_25. com curvas de níveis de 50 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

Lameiros classificados “sem rio em uso”.

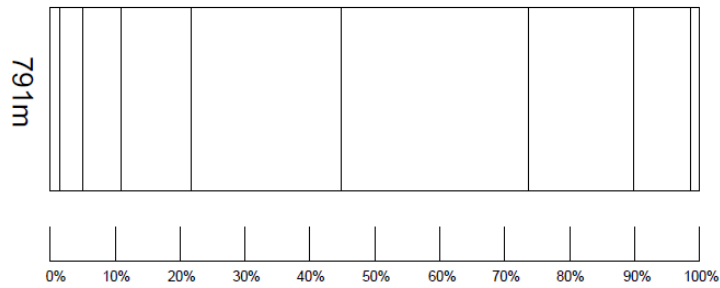


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro LRio21_02. com curvas de níveis de 10 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

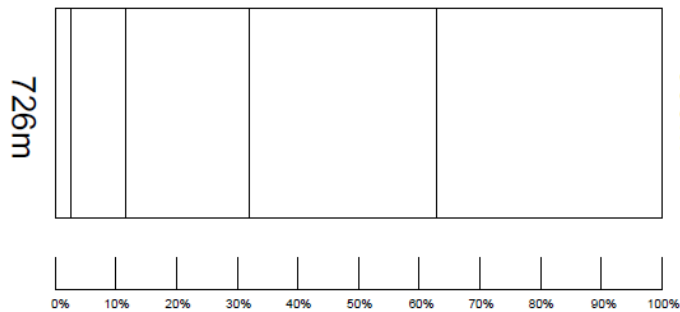


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro LRio21_04. com curvas de níveis de 25 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

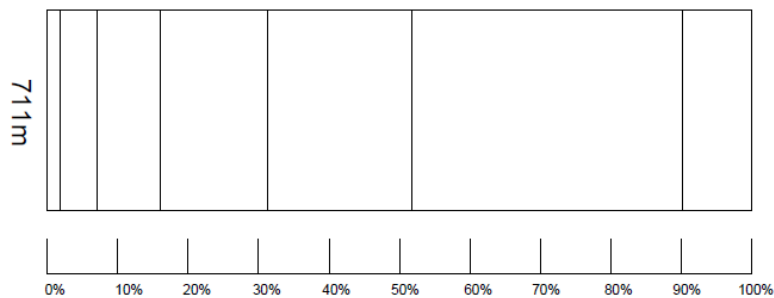


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro LRio21_05. com curvas de níveis de 25 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

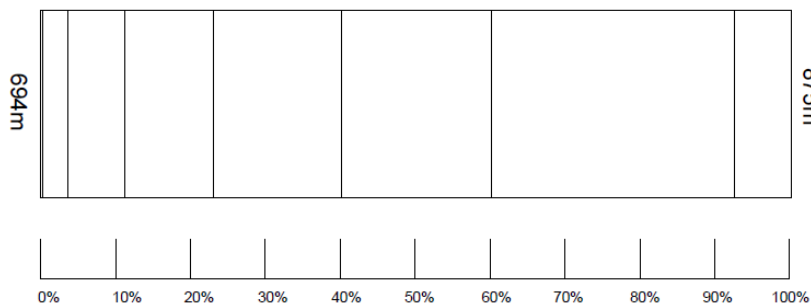


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro LRio21_09B. com curvas de níveis de 25 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

Lameiros classificados “sem rio abandonado”.

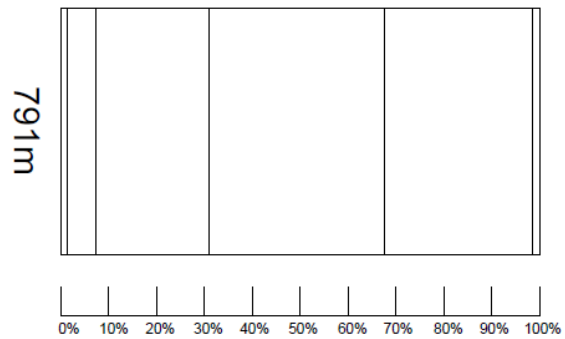


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_11. com curvas de níveis de 10 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

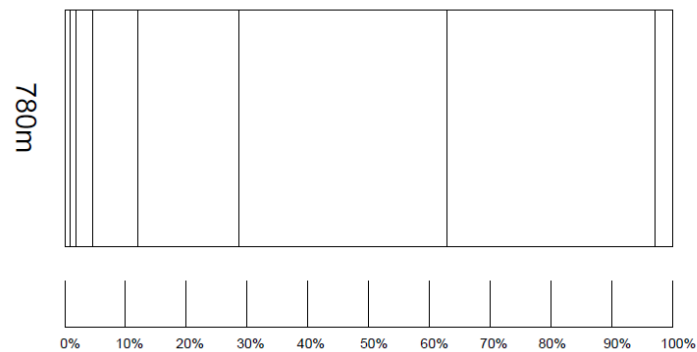


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_12. com curvas de níveis de 10 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

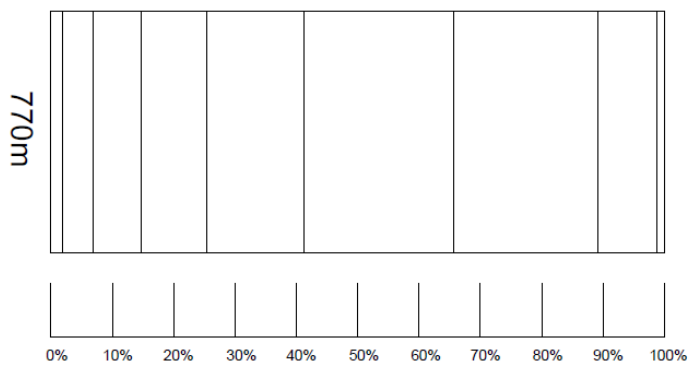


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro Lave20_18. com curvas de níveis de 10 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

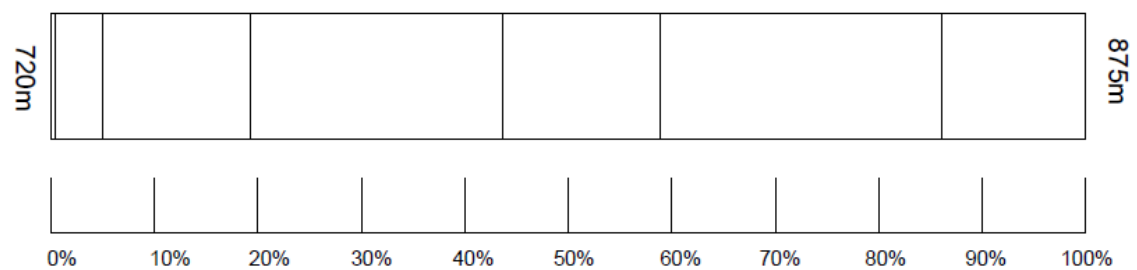


Figura x. Retângulo equivalente da bacia do lameiro LRio21_09. com curvas de níveis de 25 metros.
Fonte: Autoria própria. 2020.

