

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

Etec Cel. Fernando Febeliano da Costa

Ensino Médio com Habilitação Técnica em Meio Ambiente

Isadora Zani Tomazini

Marina Lobo Oliveira

**ANÁLISE DA DINÂMICA HIDROLÓGICA EM MICROBACIAS
HIDROGRÁFICAS COM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS**

PIRACICABA – SP

2024

Isadora Zani Tomazini

Marina Lobo Oliveira

**ANÁLISE DA DINÂMICA HIDROLÓGICA EM MICROBACIAS
HIDROGRÁFICAS COM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso técnico em Meio Ambiente da Etec Cel. Fernando Febeliano da Costa, orientado pelos professores Bianca Furlan Danelon e Rafael de Souza, como requisito parcial para a obtenção do título de técnico em Meio Ambiente.

PIRACICABA – SP

2024

AGRADECIMENTOS

Isadora Zani Tomazini:

Agradeço a minha parceira Marina Lobo, que sempre esteve presente com sua calma e fé de que as coisas dariam certo.

Agradeço, de maneira especial, à minha fiel orientadora Aline Aparecida Fransozi, que além de chefe, é uma amiga. Obrigada pela paciência e por todo apoio durante esta pesquisa.

Sou grata também à minha irmã, Maria Clara, pela confiança e as horas dedicadas a me apoiar com sua experiência acadêmica.

Por fim, expresso minha gratidão aos professores que nos passaram conhecimento tanto técnico, quanto de vida durante esses três anos. O conhecimento de vocês nos torna pessoas melhores.

Marina Lobo Oliveira:

Agradeço primeiramente a Deus por ter me ensinado muitas coisas com este trabalho, como as dificuldades, as quais produzem paciência, a paciência, experiência, e a experiência a esperança. Carinhosamente, também sou grata a minha parceira e amiga Isadora Zani, que se mostrou sempre pronta a ajudar, além de sempre propor ideias a fim de realizar, sempre da melhor forma, o trabalho que evidentemente é sua paixão. Obrigada pela rica oportunidade de trabalhar com você, e por não ter desistido.

“A Lei de Murphy diz que “Se algo pode dar errado, dará”, mas se existe uma probabilidade de dar certo, então ainda há esperança.”

LOBO;ZANI.

RESUMO

O presente estudo foi realizado com o objetivo de evidenciar a importância da cobertura florestal para promover maior índice de infiltração de água no solo. Para isso, foi feito o levantamento das características de uso e ocupação do solo de duas microbacias pareadas, localizadas na cidade de Tacuarembó no Uruguai. Uma delas constituída por pastagem e a outra, majoritariamente por floresta de eucalipto, ambas situadas no Bioma Pampa, com mesmas características edafoclimáticas. A análise foi realizada a partir do banco de dados do Programa Cooperativo de Monitoramento e Modelagem de Microbacias Hidrográficas (PROMAB), do Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais de Piracicaba (IPEF). Esta base, consiste em dados diários de vazão, precipitação e deflúvio, que são coletados por meio da metodologia de estação limimétrica usada pelo programa. Finalmente, foram compilados os dados de deflúvio de dois anos de monitoramento, 2021 e 2022, e em seguida essas informações foram aplicadas ao método Base Flow Index (BFI) - Índice de Escoamento Base – que inferiu sobre a quantidade de água infiltrada em ambas as microbacias. Os resultados de maior taxa de infiltração em um dos anos analisados foram na área florestada, enquanto na pastagem, foram significativamente menores. Já no segundo ano, a taxa de escoamento base na microbacia de pastagem superou a de eucalipto. Além disso, foi construído um simulador de chuva para demonstrar a dinâmica hidrológica em menor escala e de forma didática, a partir de duas caixas montadas com o mesmo tipo de solo e que demonstra uma microbacia com cobertura vegetal, e a outra, desprotegida. Os testes resultaram na compreensão de que solos sem coberturas ocasionam o escoamento superficial, tanto quanto a erosão, e a vegetação além de interceptar a água da chuva, promove maior infiltração dentre o teste quantitativo.

Palavras-chave: Usos do solo; Microbacias; Infiltração da água; Índice de escoamento base.

SUMMARY

The aim of this study was to highlight the importance of forest cover in promoting a higher rate of water infiltration into the soil. To this end, the land use and occupation characteristics of two paired micro-watersheds located in the city of Tacuarembó in Uruguay were surveyed. One consists of pasture and the other is mostly eucalyptus forest, both located in the Pampa Biome, with the same soil and climate characteristics. The analysis was carried out using the database of the Cooperative Program for Monitoring and Modeling Watersheds (PROMAB), of the Piracicaba Institute for Forestry Research and Studies (IPEF). This database consists of daily flow, rainfall and runoff data, which is collected using the limimetric station methodology used by the program. Finally, the rainfall data from two years of monitoring, 2021 and 2022, was compiled and then this information was applied to the Base Flow Index (BFI) method, which inferred the amount of water infiltrated in both watersheds. The highest infiltration rates in one of the years analyzed were in the forested area, while in the pasture they were significantly lower. In the second year, the base flow rate in the pasture watershed exceeded that of the eucalyptus. In addition, a rainfall simulator was built to demonstrate hydrological dynamics on a smaller scale and in a didactic way, using two boxes assembled with the same type of soil and showing one micro-basin with vegetation cover and the other unprotected. The tests resulted in the understanding that soils without cover cause surface runoff as well as erosion, and vegetation, in addition to intercepting rainwater, promotes greater infiltration in the quantitative test.

Keywords: Land uses; Micro-basins; Water infiltration; Base flow index.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados BFI	35
Tabela 2. Resultado da simulação de chuva	39

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Ciclo Hidrológico.	5
Figura 2. Ilustração de uma bacia hidrográfica de eucalipto	7
Figura 3. Simulador de chuva produzido no Paint 3D	9
Figura 4. Estrutura de ferro do simulador de chuva concluída.	10
Figura 5. Perfuração delimitada pelo diâmetro do cano.	11
Figura 6. Imagem de vedação resistente a água	11
Figura 7. Perfil do solo (Vela, c2024)	12
Figura 8. Massa impermeabilizante (seca) na base das caixas.	14
Figura 9. Camada de material parental acima da rocha matriz.	14
Figura 10. Proporção de areia inserida na terra vermelha.	15
Figura 11. Muda de Eucalipto em referência de tamanho com a caixa.	16
Figura 12. Caixa representativa da microbacia com cobertura florestal.	16
Figura 13. Montagem do subsolo microbacia de pastagem	17
Figura 14. Mistura dos diferentes componentes	17
Figura 15. Camada superficial do pasto e captadores da água superficial instalados	18
Figura 16. Inserção da inclinação à estrutura	18
Figura 17. Simulador pronto para iniciação dos testes.	19
Figura 18. Localização das microbacias experimentais pertencentes ao PROMAB.	20
Figura 19. Ilustração de uma estação linimétrica de uma microbacia experimental.	21
Figura 20. Pluviômetro (à esquerda) e os dois tipos de sensores de altura da água: bóia e contrapeso e transdutor de pressão, com datalogger (à direita).	22
Figura 21. Régua linimétrica instalada na parede do tanque principal de sedimentação e tranquilização de fluxo.	23
Figura 22. Mapa do Uruguai e a cidade de Tacuarembó (GOOGLE EARTH, 2024)	23
Figura 23. Localização das microbacias em gradiente topográfico.	26
Figura 24. Delimitação das bacias em terreno.	26
Figura 25. Visão frontal de um vertedor tipo HL (UPM 2023)	27
Figura 26. Visão do interior do vertedor (UPM 2023)	27
Figura 27. Mapas de solos do Uruguai (c2024.); Localização das microbacias (MAPS, 2024).	29
Figura 28. Tipos de escoamento hídrico	30

Figura 29. Dado bruto de vazão (Data e Hora(Coluna A); Vazão(Coluna B); Precipitação(Coluna C)).	31
Figura 30. Equação 1 (BFI).	32
Figura 31. Equação 2 (BFI).	32
Figura 32. Equação 3 (BFI).	32
Figura 33. Planilha (BFI)	33
Figura 34. Últimos passos da metodologia	34
Figura 35. Fluxo base 2021 - Microbacia Floresta.	35
Figura 36. Fluxo base 2021 - Microbacia Pasto.	36
Figura 37. Fluxo base 2022 - Microbacia Floresta.	37
Figura 38. Fluxo base 2022 - Microbacia Pasto.	37
Figura 39. Precipitação mensal (2021)	38
Figura 40. Precipitação Mensal 2022.	39
Figura 41. Obtenção dos resultados práticos.	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. DESENVOLVIMENTO	5
2.1. MODELAGEM	9
2.2. OBTENÇÃO DOS DADOS	21
2.3. ÁREA DE ESTUDO	26
2.5. METODOLOGIA	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

Desde o começo da Revolução Industrial e o início da revolução agrícola os recursos naturais começaram a ser explorados intensivamente e, sem dúvida, a água foi a mais explorada durante esse processo, o qual ainda continua ocorrendo. Acreditava-se que a água era um elemento infinito, e por isso, não haveria problemas em utilizá-la sem planejamento. Contudo, a natureza reagiu a esse acentuado abuso dos recursos, os rios começaram a secar e as chuvas diminuíram, estabelecendo um alerta hídrico mundial, o qual já não era mais possível ignorar.

O alerta hídrico, assim como as consequências do aquecimento global, acabaram por criar consciência sobre a responsabilidade na utilização e conservação da água. Porém, se faz importante ressaltar que a crise hídrica é um problema que tende a se deteriorar com o passar dos anos, obrigando os seres humanos a se adaptarem e investirem em práticas mais sustentáveis. A água certamente não irá se esgotar por completo, mas a tendência é que com o passar do tempo ela esteja mais escassa, o que inevitavelmente afetará a humanidade como um todo, principalmente as pessoas com menos poder aquisitivo, tendo em vista a dinâmica do sistema desigual em qual vivemos (Lima, 2010).

Há milênios a vida humana se desenvolve na Terra, mas bem antes disso a natureza já estava presente. Apesar disso, apenas nos últimos 60 anos, o homem começou a demonstrar preocupação com o meio ambiente, o que é contraditório, já que existe uma relação de dependência total do sistema natural e seus recursos para assegurar a vida humana no planeta (Thame, 2001). Felizmente essa preocupação teve início, ainda que tarde, contudo, ela não foi movida com motivação suficiente, pois ainda não havia nenhum alerta sobre possibilidade de escassez iminente. A verdade é que a preocupação só é genuína quando de fato falta, e é por esse motivo que a apreensão é maior apenas agora.

Dentre os principais eventos que marcaram a mudança de pensamento em relação à responsabilidade ambiental, pode se destacar a Conferência de Estocolmo, em 1972, a qual foi um marco na história da preservação do meio ambiente, pois pela primeira vez dirigentes do mundo inteiro se reuniram para falar sobre o tema e discutir as consequências da degradação ambiental, como as mudanças climáticas e a qualidade da água (Bezerra, 2020). Já no Brasil, a temática hídrica se tornou um assunto mais discutido nas últimas décadas tanto na mídia, quanto em congressos e fóruns, bem como nas salas de aula, devido à crescente ameaça de falta de água

potável para atender toda a população (Venancio, 2015). Como exemplo, se pode mencionar o evento no sudeste brasileiro, que atingiu a grande São Paulo em 2014.

Nesse período, o estado mais importante do país enfrentou uma escassez de chuvas sem precedentes, que atingiu dezenas de cidades do interior, além dos principais sistemas produtores de água potável que abastecem a região metropolitana da capital, assim como o maior desses mananciais, o Cantareira. Isso mostra um caso representativo dos desafios que se impõem à governança da água nas grandes metrópoles no contexto das mudanças climáticas antropogênicas (Coutinho, 2019).

O problema da falta de água para o abastecimento da população está ligado, principalmente, com o fato de que nas últimas décadas houve um rápido crescimento demográfico. Entre 1950 e 2022, por exemplo, a população cresceu de 2,5 bilhões, para 8 bilhões de pessoas (UNFPA, 2022). A sociedade continua crescendo, mas o sistema natural da Terra, não. Sendo assim, a quantidade de água doce produzida pelo ciclo hidrológico em 1950 é, provavelmente a mesma que será produzida em 2050, a diferença será a quantidade de pessoas necessitadas dos recursos e a disponibilidade deles, que vem sendo cada vez mais escassa, devido à intensa exploração (Thame, 2001).

A hidrosfera do planeta é composta por consideráveis massas de água, todavia é importante levar em conta que somente 2,6% são de água doce, dos quais 99,7 desse total não estão disponíveis devido ao fato de estarem formando calotas polares (76,4%), ou então integrando aquíferos (22,8%). Apenas uma pequena fração cerca de 0,3% dos 2,6% do total das águas doces encontra-se disponível como água superficial formando áreas alagadas, como rios, represas e lagos (Bicudo *et al.*, 2010 *apud* Venancio, 2015). Assim, fica claro como a quantidade de água disponível para uso é mínima, sendo que essa pequena porcentagem precisa ser conservada e tratada de maneira adequada para ser possível a distribuição.

Deste modo, é possível compreender que embora a disponibilidade de água pareça ilimitada, na realidade ela não é, pois à medida que a população e a economia crescem, menos o ciclo natural da água é respeitado, como consequência, tem-se a degradação e a água vai se tornando inadequada para o consumo (Barros & Amin, 2007 *apud* Venancio, 2015). Corroborando com o exposto, o relatório sobre o desenvolvimento da água no mundo, da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), lançado no terceiro fórum mundial da água, em Quioto, no Japão, em 2003, assevera que as reservas de água estão

enfraquecendo, enquanto o consumo cresce, propondo que, num futuro longínquo, bilhões de pessoas não terão água potável de fácil acesso (Venancio, 2015).

Segundo a visão de BICUDO et al. (2010), do ponto de vista qualitativo, a preocupação com o recurso disponível é ainda maior, pois continuar-se-á tendo água, porém será difícil utilizá-la. Os recursos hídricos apresentam um valor ambiental, social, econômico, cultural, dentre outros, mas sua utilização com qualidade dependerá da percepção da população no sentido de valorização através da relação sociedade – ecossistema.

De acordo com Barros & Amin (2007), a economia é um sistema aberto que tanto influencia, quanto é influenciada pela natureza, desta forma, os seres governam o ecossistema para prover suas necessidades de um amplo número de serviços ecológicos, mas por outro lado dependem da sua inteira participação quanto a alguns fatores, como por exemplo, a regulação do regime de chuva, promovido pelas florestas.

A preservação das florestas é fundamental para um adequado e equilibrado funcionamento dos ecossistemas e para a manutenção da diversidade biológica. As árvores também exercem funções significativas no controle da erosão, da desertificação, da qualidade da água e do sequestro do carbono atmosférico, além de constituírem espaço para desenvolvimento de atividades sociais, ambientais e econômicas (Bacellar, 2005). A importância da cobertura florestal se mostra insubstituível atualmente, um claro exemplo foi o recente desastre ambiental no estado do Rio Grande do Sul em maio deste ano, que foi ocasionada pelas mudanças climáticas e agravado pelo desmatamento em massa do solo riograndense. Dados produzidos pela ONG MapBiomas (Jornal USP, 2024), mostram que, entre 1985 e 2022, o Rio Grande do Sul perdeu aproximadamente 3,5 milhões de hectares de vegetação nativa. Segundo o docente da USP, Edson Vidal (Jornal USP, 2024), o papel da vegetação, nesses casos, é de intermediar a água e o solo. Ele dá exemplos: “Evitar ou reduzir a velocidade da água, faz com que essa água consiga infiltrar no solo e evitar a erosão”. Sobre o caso do RS, ele complementa: “Se tivesse essa vegetação como uma proteção, provavelmente a situação seria menos catastrófica”.

Diante deste cenário, é de extrema necessidade a conservação dos cursos da água para melhorar, sobretudo, a qualidade distribuída à população. Muitos estudiosos discorrem sobre a importância da floresta para essa qualidade, sendo a principal contribuição deste estudo a análise da dinâmica hidrológica e da comparação

de uma microbacia hidrográfica com cobertura florestal e de outra sem esta cobertura. Esse tipo de pesquisa ajuda na comprovação da importância da vegetação densa para a promoção de serviços ecossistêmicos, tanto para o meio ambiente, quanto para os seres humanos.

Há grande interesse no desenvolvimento de tecnologias mais eficazes para o monitoramento dos recursos naturais, estando presente o monitoramento hidrológico. Este controle vem sendo uma alternativa que permite o entendimento do uso e ocupação do solo de uma área através de sua reflexão nos cursos d'água. Ele é realizado através da medição hidrológica, que envolve, sobretudo, a coleta sistemática de informações relacionadas ao ciclo da água numa microbacia hidrográfica. Esses dados fornecem informações sobre quantidade, qualidade, vazão e armazenamento de água (ABRH).

Com isso, é possível visualizar que este projeto é de suma importância para o conhecimento de características da hidrologia florestal, pois além de ter grande participação socioeconômica e ambiental, é fundamental para conhecer e desenvolver melhores formas para a realização do manejo de áreas florestadas quando instaladas em uma bacia hidrográfica.

Ainda, é necessário destacar que aqui iremos tratar especificamente da dinâmica hidrológica do bioma pampa, isso porque as características desse tipo de pesquisa foram conceituadas a partir de análises realizadas em distintos biomas, o que pode vir a afetar o resultado de nossa conclusão.

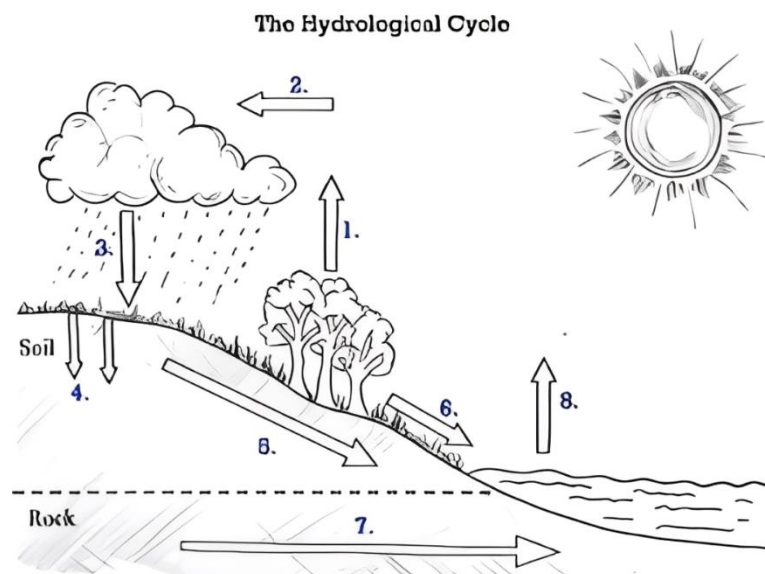
A finalidade deste trabalho de conclusão de curso é aplicar todos os conceitos já vistos em sala de aula (como o clima, solos e hidrologia), mas também compreender os dados gerados do monitoramento hidrológico dos riachos, para sintetizar se a dinâmica da água é diferente quando se trata de pastagens naturais.

2. DESENVOLVIMENTO

Inicialmente, convém definir o que se entende por floresta, que seriam áreas relativamente extensas, cobertas de vegetação lenhosa de porte, composta por espécies nativas ou exóticas (Bacellar, 2005). Em conjunto, é fundamental a compreensão do conceito de florestas plantadas e o que as diferenciam de florestas nativas. Quando se fala de floresta plantada, tem-se como característica um ambiente homogêneo, planejado e cultivado para fins econômicos e comerciais, como exemplos é possível mencionar as plantações de eucalipto e a de pinus. Enquanto uma floresta nativa se trata de um conjunto de vegetação formada por espécies diversas de árvores, arbustos e ervas, que, ao longo da história, foram se adaptando a diferentes condições de solo, clima, biodiversidade etc. A floresta a ser estudada neste projeto, são as florestas plantadas.

A maneira como o senso comum pensa a questão da conservação da água vem de ideias que a separam de outros recursos naturais, mas, na verdade, os recursos presentes no meio ambiente estão interligados e a conservação de um, depende da estabilidade do outro. Por exemplo, o ciclo hidrológico, acima de tudo, provém de agentes do solo e sobre a forma que a água se relaciona com os outros meios em sua fase terrestre. Por isso existe a importância de manejar corretamente o solo em que se planta, pois a vegetação se origina diante da forma que a água infiltrará no solo, e também, sobre a disponibilidade do recurso para o seu desenvolvimento (Ferraz, 2022).

Figura 1. Ciclo Hidrológico.



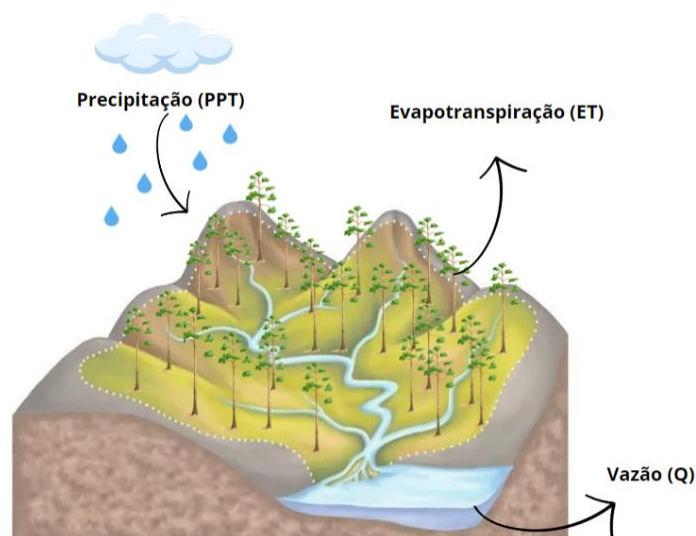
A dinâmica da água se dá primeiramente pela umidade da atmosfera, que se condensa (2) e precipita sobre a superfície (3). Uma parte dessa água pode ser interceptada pela vegetação (retida na copa das árvores), outra pode escoar pela superfície dos terrenos (6), ou infiltrar no solo (4), contribuindo para a água subterrânea (7). Uma vez presente no solo, a água pode ser absorvida pelas plantas, e, pelo processo de transpiração, retorna novamente a atmosfera (1), gerando mais chuvas, e assim, o ciclo se repete. (Ferraz, 2022).

Apesar de o ciclo se repetir constantemente, a interferência antropológica pode alterá-lo de diversas formas, seja para produção de energia, bens de consumo, alimentos, assim como para barramentos, retificações, canalizações, etc. No sistema hidrológico, processos e intervenções nos cursos de água ou no ciclo hidrológico desencadeiam reações e outros processos em todos os elementos que compõem esse sistema, como impactos na vazão, modificações na vegetação e no solo, entre outros. Nesse sentido, as intervenções nos cursos de água não somente afetam os sistemas hidrológicos locais como todo o ecossistema, provocando diversos desastres, um deles bastante comum no Brasil, como as enchentes, causadas pela impermeabilização do solo (ADASA [s.d]).

Por certo, o comportamento da água na terra, ou seja, o comportamento da fase terrestre do ciclo hidrológico, é resultado das condições e do uso do solo. A vegetação tem papel crucial no ciclo da água, já que participa diretamente dos processos de retenção nas copas e a transpiração, que influenciam os demais processos. Dentro dessa temática, chegamos à relação entre a floresta e a água – A Hidrologia Florestal - que pode ser observada na regularidade e na qualidade desta em bacias hidrográficas.

Para o geógrafo Carlos Tucci (Silva, 2019), uma bacia hidrográfica é a área de captação de água da chuva, ou seja, pode ser entendida como um espaço na terra onde toda a água se encontra e converge para um único ponto de saída, formando rios e lagos. Do mesmo modo, as microbacias hidrográficas, são áreas com corpos hídricos bem definidos, mas em menor escala ($< 100 \text{ km}^2$) se comparada às bacias hidrográficas grandes ($> 1.000 \text{ km}^2$), sendo assim, utilizadas como ferramentas que sintetizam a base teórica para os estudos de hidrologia, justamente pela sua precisão de refletir os efeitos da cobertura do solo presente em sua área. Elas são selecionadas a partir de sua caracterização topográfica, de acordo com o relevo e sua cota de altitude.

Figura 2. Ilustração de uma bacia hidrográfica de eucalipto



A partir da figura 2, é possível visualizar as entradas e as saídas de água de uma bacia hidrográfica. Ligada com o ciclo hidrológico, inicia-se pela precipitação (PPT), porém, apenas parte dela numa bacia atinge a superfície do solo, pois uma fração considerável da mesma será retida na copa das árvores ou na serrapilheira¹. Já o processo de evapotranspiração (ET) engloba a transpiração e a evaporação (pelas plantas, serrapilheira e solo). A precipitação efetiva pode ficar temporariamente armazenada no perfil do solo, retornar por evapotranspiração para a atmosfera ou, então, escoar, compondo a vazão dos rios da bacia (Q) (Bacellar, 2005).

Contudo, relações entre o manejo de florestas plantadas e a água, podem ser quantificados através do monitoramento hidrológico, que tem como finalidade extrair os dados de uma bacia e realizar análises que resultam no entendimento do que está sendo feito nessa área. Esse monitoramento ainda estabelece uma relação da água em termos de quantidade (consumo de água por florestas plantadas) e qualidade (impactos hidrológicos do uso do solo).

Cada uma das microbacias hidrográficas é constituída de suas próprias características, como o relevo, o clima, o tipo de solo e o mais importante, a cobertura do solo. Ela, como unidade natural da paisagem, vem demonstrando cada vez mais sua condição singular e muito conveniente de definição espacial de um ecossistema, dentro da qual é possível o estudo detalhado das interações entre o uso da terra e a qualidade da água (Nelson, 1973; Likens, 1985; Adams, 1993; Brechtel & Fuhrer, 1994 *apud* Brito; Lima, 1996). Como uma manifestação bem definida de um sistema natural aberto, a microbacia hidrográfica funciona através de contínua troca de energia e de

¹ Camada de matéria orgânica morta que fica sobre a superfície do solo.

matéria com o meio, de sorte que a qualidade final da água do riacho é o resultado integrado de todos os fatores intrínsecos de cada microbacia, inclusive de sua cobertura vegetal (Walling, 1980 *apud* Brito; Lima, 1996).

Nas bacias com cobertura florestal, a vegetação promove a proteção contra a erosão dos solos, a sedimentação, a lixiviação² e a elevação da temperatura da água (Sopper, 1975 *apud* Arcova, 1999). Estas áreas são reconhecidas como mananciais de mais elevada qualidade para o abastecimento doméstico, para a proteção das comunidades aquáticas e outros benefícios. Por outro lado, as práticas que se seguem após a retirada da floresta tendem a produzir uma degradação intensa e prolongada da qualidade da água (Brown, 1988 *apud* Arcova, 1999).

Sabemos, através de muitas pesquisas acadêmicas, assim como a de Krusche et al. (2005), que a qualidade da água em microbacias com pastagens, apresentam menor qualidade quando comparadas com uma microbacia de florestas. Isso se deve a quantidade de benefícios e serviços ecossistêmicos – aqueles que a natureza fornece ao homem - que a floresta proporciona para os corpos d'água. A proteção do solo é um fator de grande importância para que não haja ocorrência de escoamento superficial, uma vez que com sua ausência em períodos chuvosos a vazão na microbacia aumentará, favorecendo o carreamento de sedimentos. Nessa perspectiva, a bacia se torna cada vez mais vulnerável, comprometendo sua dinâmica hídrica (Oliveira, 2022).

;2.1. MODELAGEM

Para melhor didática de entendimento dos processos hídricos, foi feita a construção de um simulador de chuva, para a observação do comportamento da água em diferentes coberturas vegetais durante o período de precipitação, simulando uma microbacia hidrográfica com ocupação de florestas plantadas (à esquerda), e outra com predomínio de pastagem (à direita), onde será possível realizar uma comparação entre elas de forma prática e instrutiva, como mostra o projeto na figura 3.

² Processo de retirada de nutrientes do solo.

Figura 3. Simulador de chuva produzido no Paint 3D



Contudo, o simulador de chuva pode ser utilizado como objeto de estudo em diversas áreas da ciência ambiental, principalmente no entendimento do conceito “escoamento superficial”, quando se trata da falta de cobertura florestal.

“[...]O excesso de água decorrente do escoamento superficial em picos de chuva pode se tornar um problema maior do que a escassez (Hamilton 2008 *apud* Honda, 2017), mesmo em regiões com baixa pluviosidade. Os serviços esperados dos ecossistemas protegidos ou restaurados são, portanto, dependentes da água que infiltra e abastece os corpos d’água e as reservas subterrâneas (Postel 1998, Jackson et al. 2001 *apud* Honda, 2017).”

A principal hipótese é de que a água que virá do primeiro compartimento, virá mais limpa e filtrada. Já a segunda, carregada de sedimentos. Isso ocorre pela influência que a cobertura vegetal tem na diminuição de arraste de sedimentos, como visto anteriormente (Sopper, 1975 *apud* Arcova, 1999).

Inicialmente, para a montagem efetiva do simulador, foi feita a escolha dos materiais e da muda que foi plantada na microbacia de florestas. Logo após, para dar início a parte prática do projeto, começamos pela montagem da estrutura em que as bacias serão inseridas, baseando-se no modelo digital produzido no Paint 3D (figura

3), a qual foi feita a partir de materiais reutilizáveis do laboratório de Meio Ambiente em conjunto da oficina de Mecânica da Etec Coronel Fernando Febeliano da Costa.

O objeto base do simulador foi construído a partir de uma mesa escolar com 56 cm de largura, 40cm de comprimento em seu tampo e 40 cm em sua altura. Sob a superfície da base, foi fundida no ponto médio da largura das laterais (28 cm), uma viga de ferro em cada lado.

As medidas do tampo foram replicadas para a construção da parte retangular superior da estrutura de ferro, que possui 1,60m de altura.

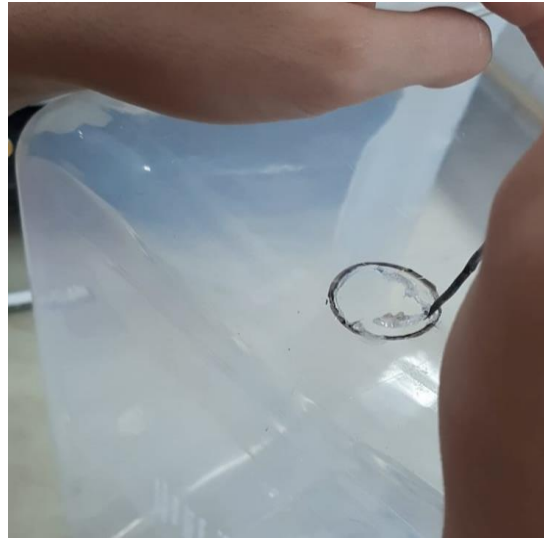
Figura 4. Estrutura de ferro do simulador de chuva concluída.



Após a estrutura inicial do projeto estar pronta, foram instalados na parte superior do simulador 10 aspersores de água, já embutidos em uma mangueira flexível - que será o meio para simular as chuvas nas bacias. O local de distribuição dos aspersores foi pensado para que houvesse a mesma quantidade em cada uma delas.

Logo em diante, foram estabelecidos os compartimentos onde foram organizadas as microbacias. Para isso, foram adotadas duas caixas de polímero com capacidade de 20 litros, com medidas de 41 x 28 x 27 cm. Elas foram perfuradas 1 cm acima de sua base, para o encaixe do cano de PVC, de diâmetro correspondente a $\frac{1}{2}$ mm, com finalidade de escoar a água a ser infiltrada.

Figura 5. Perfuração delimitada pelo diâmetro do cano.



Então, o processo foi realizado em ambas as caixas com o intuito de abrigar o cano pvc. Em seguida foi realizada também a vedação dos micro furos deixados pelo procedimento, com cola de silicone líquida a fim de obter uma análise precisa da quantidade de água infiltrada, e não haver vazamentos.

Figura 6. Imagem de vedação resistente a água



Sucessivamente, foram construídas as camadas de solo que constituem um perfil, para que a percolação seja em etapas, e simule um cenário real.

Nesse viés, é de suma importância, destacar as propriedades da formação do perfil do solo, ou seja, o que compõe o espaço onde a água será percolada, para compreender os diferentes aspectos que podem influenciar em uma boa ou má infiltração no projeto montado.

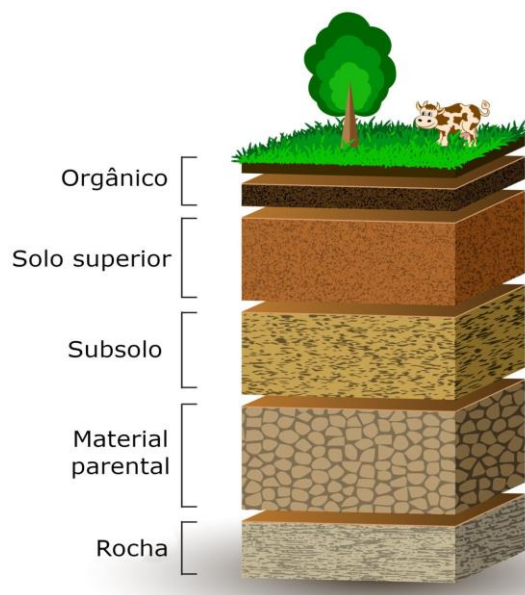
Entretanto, o elemento solo, se constitui em um panorama bem diversificado pelo seu sistema dinâmico, que está sujeito a evoluções, tais estas que o faz se desenvolver no ambiente em que está inserido (Embrapa [s.d]). Sendo assim, se torna complexa sua definição, o que impede de haver uma classificação universal para ele

(Azevedo [s.d]), porém, é possível com avaliações dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos - propriedades como a estrutura molecular cristalina, formação das rochas que o originam e agentes mecânicos - compreender assim, aspectos que designam o solo com cada especificidade (Azevedo [s.d]).

Além disso, vale retomar que os atributos externos dados à superfície sólida da crosta compõem suas condições características, variando com os processos de intemperismo, o clima, relevo, vegetação e conseqüentemente a oferta hídrica (Embrapa [s.d]). Uma vez que esta implica com a temática deste trabalho, e as distintas formas de um perfil do solo se formarem interferem na capacidade de oferta hídrica, se faz necessária a compreensão do perfil, pois está sujeito à qualidade da percolação, seja pela sua fertilidade, que deixa o solo mais propício à evolução de plantas, ou a capacidade de captação da água que levará aos aquíferos (Portillo, 2023). Para a compreensão de como se divide o perfil do solo, é necessário contextualizar com sua formação, tal qual é dada pela interação de fatores do ambiente ao longo do tempo.

Sendo assim, a formação do perfil do solo deriva da deposição de camadas de sedimentos ao longo do tempo, esse perfil contém camadas aproximadamente paralelas à superfície do terreno, as quais são denominadas de horizontes. Neles é perceptível a diferença de cada camada e como se dividem, podendo variar quanto à cor, espessura, tipo de estrutura, textura, entre outros fatores, como é possível observar com afinco na Figura 7 (Embrapa [s.d]).

Figura 7. Perfil do solo (Vela, c2024)



Todavia, este exemplo é um perfil de solo catalogado como universal, e na natureza sofre distinções, não somente pela formação rochosa de cada região, mas também ao tempo em que o material primário está sujeito ao intemperismo, o qual o leva a evoluir o seu estado constantemente e criar cada vez mais camadas (LIMA [s.d]). Ainda assim, a tendência de maneira geral é que a evolução delas possa ser generalizada à deste modelo, levando em conta que a deposição de sedimentos é lenta e gradativa.

Em primeira análise, a parte do solo denominada como orgânica (O), ou de horizonte O, geralmente apresenta coloração mais escura devido à presença de matéria orgânica bastante decomposta, vinda de folhas, galhos, restos de plantas e animais (Portillo, 2023).

Logo abaixo da camada orgânica está o solo superior ou horizonte A, também considerado ainda como solo superficial, mas geralmente de coloração amarelada ou avermelhada, cuja cor é mais influenciada pelas partículas minerais do solo, uma vez que elas se apresentam em maior quantidade em relação ao material orgânico (Coelho, *et al.* 2013). É onde ocorre a maior atividade biológica e é crucial para o crescimento das plantas.

Logo após, localiza-se a primeira camada subsuperficial, o subsolo, ou horizonte B, que é constituído por partes bem desagregadas da rocha mãe, ele é mais denso que o horizonte A devido à presença de materiais acumulados. Contudo, este é um horizonte que pode se considerar de acumulação, onde os materiais lixiviados vindo do horizonte acima, ou seja, arraste dos sais minerais presentes no solo (Azevedo, c2023), como argilas, óxidos de ferro, alumínio, e matéria orgânica, se estacionam.

Já o horizonte C é composto por material parental não consolidado ou levemente alterado, a partir do qual o solo se desenvolveu. É menos afetado pelos processos pedogenéticos e, portanto, não apresenta as características dos horizontes superiores, com características morfológicas herdadas do material parental (Pinheiro [s.d]).

Por fim, a camada denominada como Rocha, seria a rocha mãe ou rocha matriz, que é o elemento primitivo, onde não é decorrente de processo de formação de solo (Pinheiro [s.d]). Todas as camadas foram representadas no simulador de chuva através do estudo do perfil do solo encontrado acima.

Inicialmente, na elaboração da Rocha mãe deste trabalho, foram utilizados aproximadamente 2 kg de massa impermeabilizante, e 1,5 litro de água para o preparo, quantidade tal que foi suficiente para cobrir a base da caixa até alcançar o cano, ou seja, 1 cm de massa em cada caixa

Figura 8. Massa impermeabilizante (seca) na base das caixas.



No horizonte acima da rocha matriz, tem-se o material parental, porém em fração sólida desagregada. Foram despejadas pedras sortidas de variados tamanhos, cobrindo a superfície rochosa sem obstruir a entrada do cano.

Figura 9. Camada de material parental acima da rocha matriz.



Com o intuito de representar a terceira camada do perfil na microbacia de florestas, onde é denominada como subsolo, foram manuseadas 3 kg de terra

vermelha homogeneizadas com aproximadamente 700 g de areia, para a representatividade do solo da área de estudo.

Figura 10. Proporção de areia inserida na terra vermelha.



Seguidamente, no próximo horizonte simulado como superficial, foi repetido o procedimento anterior, porém agora com a terra vegetal, na quantidade de 8 kg, misturada com 700g de areia.

Na microbacia de vegetação, foi preciso eleger a muda a ser plantada, sendo a escolhida para a prática, a árvore da espécie *Eucalyptus*, com clone de raiz pequena, respectivo ao código “IPB1” que é resultado do cruzamento de duas espécies, adquiridas em parceria com o Instituto de Pesquisas e estudos Florestais (IPEF) de Piracicaba, onde eles as produzem com finalidade de comercialização.

A primeira espécie utilizada no cruzamento gerador do clone é a *Eucalyptus grandis*, conhecida como uma base da indústria de celulose, pelo seu crescimento rápido além da facilidade em cruzar com outras espécies, inclusive a *Eucalyptus urophylla* (Tume [s.d]). Esta Segunda espécie é uma das mais cultivadas pela sua facilidade em adaptar-se a uma ampla variação climática (Tordin, 2021). Sendo estas, geradoras do clone IPB1 a ser utilizado, o qual tem como área de melhor adaptação ao extremo norte do país.

Figura 11. Muda de Eucalipto em referência de tamanho com a caixa.



Figura 12. Caixa representativa da microbacia com cobertura florestal.



Por fim, para o preenchimento total da bacia, foi aplicada a serapilheira, a qual foi coletada nas dependências da escola, com finalidade de simular um ecossistema natural, onde existe a deposição de folhas das copas das árvores no solo.

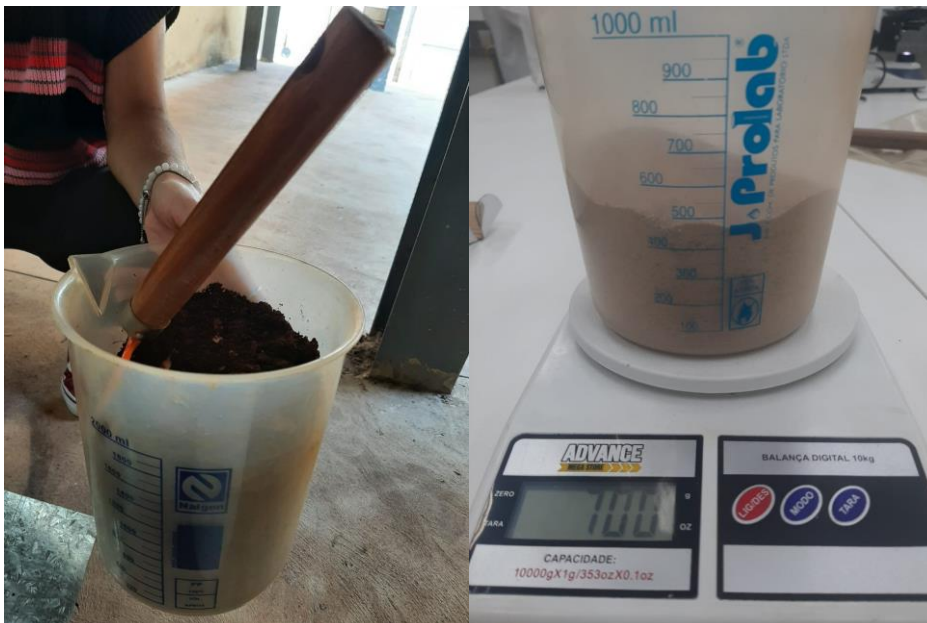
Logo após, foi elaborada a terceira camada do perfil do solo direcionada a microbacia de pastagem, repetindo o procedimento, igualmente ao da florestal, 3 kg de terra vermelha para 700 g de areia-.

Figura 13. Montagem do subsolo microbacia de pastagem



Em seguida, foi preparado o horizonte superficial orgânico, em uma proporção de 10 kg de terra vegetal homogeneizados com 700g de areia a fim de preencher todo o volume restante da caixa, para uma melhor obtenção de dados.

Figura 14. Mistura dos diferentes componentes



Posteriormente, a mistura foi depositada sob certa compressão, formando a última camada da microbacia, a fim de simular o pisoteio do gado, compactando a camada. Também, nesta etapa foram instaladas as calhas, as quais são responsáveis por direcionar a água não infiltrada, denominada como “escoamento superficial”. Para uma boa captação, as calhas de material alumínio, de 20 cm de comprimento e 15 de

largura foram vincadas na parte inferior das caixas para direcionar a água aos béqueres coletores.

Figura 15. Camada superficial do pasto e captadores da água superficial instalados



Nos últimos ajustes, para simulação do relevo, foi feita uma estrutura inclinada de material derivado de madeira (MDF) com 23 cm de comprimento e 10cm de altura máxima, obtendo uma inclinação de aproximadamente 43,47%. Por fim, o suporte foi instalado embaixo das microbacias, as quais foram seguradas por uma corda fixa como na Figura 16.

Figura 16. Inserção da inclinação à estrutura



Além disso, a regulagem dos aspersores foi feita, de modo que a quantidade de precipitação por minuto, fosse de baixa intensidade. Assim, a chuva simulada estaria em proporção com a área dada pelas microbacias projetadas. O valor obtido

foi de 200ml por minuto, quantidade tal que envolve toda quantidade de água disponibilizada no sistema.

Para a captação dos diferentes tipos de escoamento, foram colocados 4 béqueres, 2 com capacidade de 1000ml e 2 de 2000ml, para infiltração e escoamento respectivamente.

Figura 17. Simulador pronto para iniciação dos testes.



2.2. OBTENÇÃO DOS DADOS

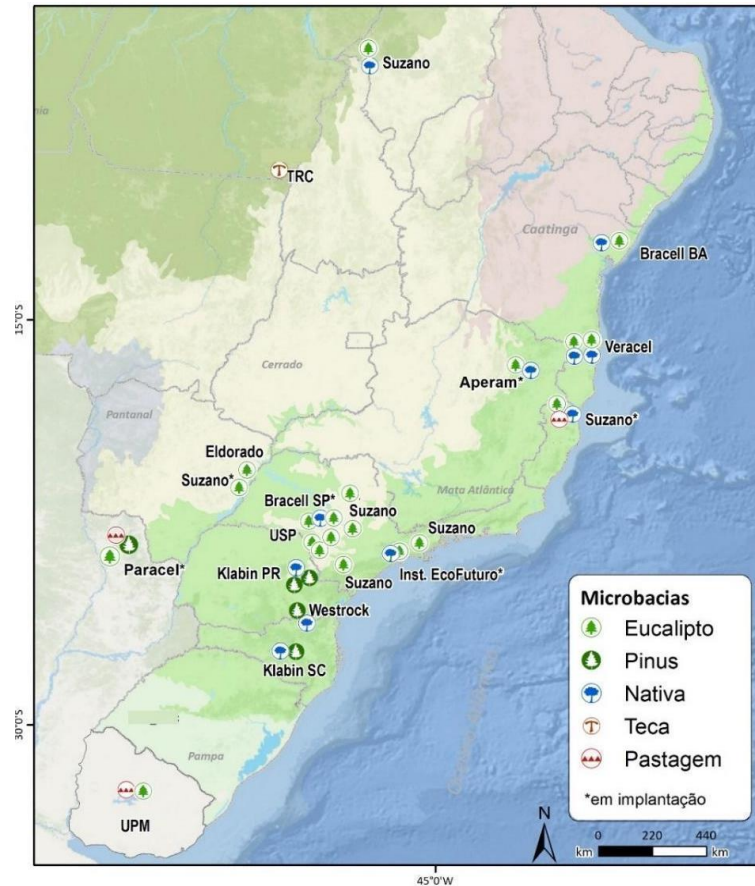
Sobre dados e pesquisas, o grupo conta com o auxílio da disponibilização de dados vindos do PROMAB (Programa de Monitoramento e Modelagem em Microbacias Hidrográficas), que é um programa cooperativo do IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais), que surgiu em parceria com o Laboratório de Hidrologia Florestal da ESALQ/USP. Atualmente, possui como líder científico o docente Sílvio Ferraz, que leciona a disciplina de manejo de bacias hidrográficas no departamento de Ciências Florestais.

O PROMAB surgiu com o objetivo de realizar o monitoramento hidrológico como uma ferramenta de melhoria do manejo de empresas florestais, tendo em vista que atualmente para o alcance do manejo florestal sustentável é mais importante o que fica do que o que é produzido. Ou seja, como ficam o solo, a água, a biodiversidade e as pessoas em função da produção florestal. O monitoramento, nesse sentido, é parte integrante do manejo, como ferramenta para a sua melhoria

contínua, e, através de microbacias experimentais, é possível entender qual é o impacto do manejo florestal nos recursos hídricos.

Ao todo, o programa conta hoje com 27 microbacias experimentais, e 9 empresas filiadas.

Figura 18. Localização das microbacias experimentais pertencentes ao PROMAB.

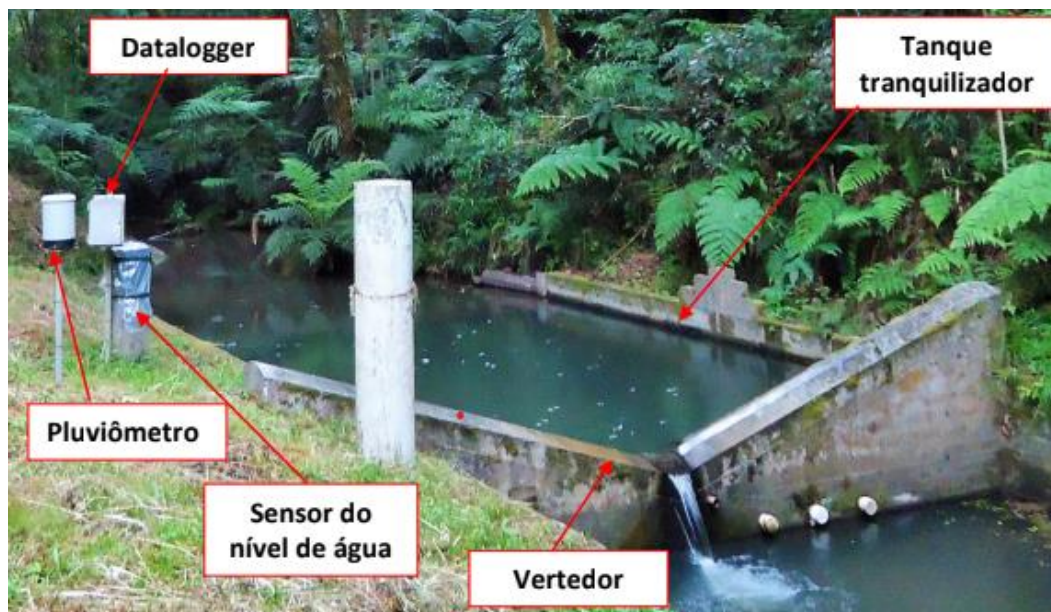


O uso de microbacias hidrográficas como unidade básica de planejamento do manejo e como método experimental de avaliação da qualidade ambiental das práticas de manejo florestal já é consagrado em vários países do mundo, tendo os trabalhos pioneiros desta metodologia se iniciado por volta de 1850 na França (Andréassian, 2004 *apud* PROMAB, 2020). A partir de então, centenas de outras microbacias experimentais foram estabelecidas no mundo todo, permitindo a obtenção de resultados experimentais e o esclarecimento de princípios hidrológicos fundamentais, culminando com o surgimento da ciência Hidrologia Florestal, como ramo da Hidrologia que trata das relações entre a floresta e a água na natureza. Esta ciência mostra hoje claramente que as atividades de uso da terra podem ser tanto benéficas como deletérias aos recursos hídricos, constatação essa que sem dúvida continua como preocupação permanente na busca do uso sustentável dos recursos naturais (Defries e Eshleman, 2004 *apud* PROMAB, 2020).

No que diz respeito aos cuidados metodológicos, além dos critérios hidráulicos e hidrológicos da construção das estruturas de medição da vazão (Figura 19), há que se levar em conta que o delineamento experimental ideal envolve o uso de duas microbacias vizinhas, referidas como “microbacias pareadas”. Deste conjunto, uma delas é a microbacia experimental propriamente dita, ou aquela que possui a floresta de estudo, enquanto a outra funciona como testemunha ou referência. Ou seja, a microbacia testemunha, possuirá floresta enquanto a microbacia vizinha – que está sobre as mesmas condições morfoclimáticas que a testemunha– será a bacia que terá a floresta plantada e com ocorrência de manejo do solo.

Quando a microbacia testemunha encontra-se coberta com floresta natural não perturbada, então a comparação de seu comportamento com os resultados obtidos na microbacia de manejo permite inferir, estatisticamente, sobre a intensidade e a direção (degradação ou estabilidade) dos efeitos das práticas de manejo florestal (PROMAB, 2020)

Figura 19. Ilustração de uma estação limimétrica de uma microbacia experimental.



Todas as microbacias experimentais são dotadas de uma estação limimétrica, ou fluviométrica, construída em concreto armado em um trecho selecionado do riacho. A estrutura consiste na construção de uma seção artificial de controle e medição da vazão – quantidade de água que passa por um lugar em um determinado tempo. A água do riacho chega ao tanque principal de sedimentação e tranquilização de fluxo, passa pelo vertedor que está chumbado na parede frontal de concreto e segue pelo poço tranquilizador (PROMAB, 2020)

Os equipamentos de medição da altura da lâmina d'água ficam instalados na estação ao lado do tanque principal de tranquilização de fluxo. Como as dimensões do tanque e calha são conhecidos, é possível aplicar uma equação para o cálculo da vazão em função da altura da lâmina d'água (PROMAB, 2020).

Na estação linimétrica são coletados, basicamente, dados relativos à precipitação (Chuva) pluviométrica e a altura da lâmina d'água do rio. Os dados de precipitação podem ser obtidos por meio de um pluviômetro, equipamento capaz de registrar a intensidade da precipitação (Figura 20). O registro contínuo da variação da altura da lâmina d'água do riacho pode ser obtido por meio de um sistema bóia-contrapeso ou, mais comumente utilizado, por um transdutor de pressão, acoplado conjuntamente a um dispositivo de armazenamento de dados (datalogger), que pode ser mantido por meio de placas solares ou pilhas/baterias, dependendo da localização da microbacia (PROMAB, 2020).

Figura 20. Pluviômetro (à esquerda) e os dois tipos de sensores de altura da água: bóia e contrapeso e transdutor de pressão, com datalogger (à direita).



A régua linimétrica consiste em um dispositivo que deve ser instalado junto à parede do tanque principal de tranquilização de fluxo (Figura 21).

Figura 21. Régua linimétrica instalada na parede do tanque principal de sedimentação e tranquilização de fluxo.



Os dados de altura da lâmina d'água são registrados com frequência de quinze minutos entre uma medição e outra. Os dados de precipitação são registrados na mesma frequência e de maneira simultânea. Assim, é possível acompanhar a dinâmica do riacho frente a intensidade de determinada precipitação, produzindo resultados confiáveis e condizentes com a realidade. Todos esses dados são armazenados no datalogger e são descarregados e enviados à equipe do PROMAB mensalmente (PROMAB, 2020).

2.3 ÁREA DE ESTUDO

As microbacias selecionadas para a análise, estão localizadas na fazenda Florestal “El Viraró”, que está aproximadamente 40 km ao sul da cidade de Tacuarembó, situada na zona centro-norte do país Uruguai (Castaño; Aunchaya, 2011).

Figura 22. Mapa do Uruguai e a cidade de Tacuarembó (GOOGLE EARTH, 2024)



O Uruguai está localizado entre 30 e 35 graus de latitude sul, em uma zona subtropical, ou seja, temperada e úmida, tendo como sua temperatura média anual

máxima 31°C, que costumam ser em janeiro, e mínima de 7°C em julho. (Castaño; Aunchayna, 2011).

Sobre os fenômenos climáticos do país no geral, há uma pressão atmosférica presente no oceano Pacífico e Atlântico que geram massas de ar em sentido NE e de maneira geral são classificados como tropicais. A origem delas normalmente vem do território paraguaio ou brasileiro, que sofrem influência do anticiclone-região de alta pressão em relação ao entorno vindo do Atlântico, atingindo o País com grande teor de umidade e temperatura, movimentando as massas de ar. Isto ocorre em especial nas regiões predominantemente baixas, onde são geradas chuvas mais fortes e volumosas, mas no geral, a forma de interação desses fenômenos, produz o principal precedente para formação de chuvas em grande parte do território (Castaño; Aunchayna, 2011).

No contexto agroclimático da região, isto é, como o clima tem influência na agronomia, é importante ressaltar a presença de geadas agrometeorológicas no País, em que no inverno costumam ser mais frequentes, alcançando temperaturas próximas ou inferiores a 2 °C a uma altura média de 1,5 metros, essas geadas se caracterizam pelo fato de afetar a vegetação presente, juntamente às atividades de agricultura e pecuária (García, 2022). Elas frequentemente se apresentam em regiões onde o ar frio se acumula, por exemplo regiões de menor altitude (García, 2022).

A vegetação do país é caracterizada pelos seus campos de gramíneas e arbustivas, com árvores e outras plantas de maior porte localizadas preferencialmente ao longo de rios, sendo assim, um bioma Pampa (Guitarra, c2024). Nele, há predominância de planícies ou terrenos levemente ondulados. Logo, este é ideal para agricultura e pecuária, forte econômico da localidade, tendo como Produto Interno Bruto (PIB) de aproximadamente 20.000 milhões de dólares, dos quais 11% são derivados da agropecuária e 20% da indústria que grandemente atua na fabricação de produtos para agricultura (INIA, [s.d]).

Nessa perspectiva, esse local possui alguns problemas ambientais, como a arenização e compactação do solo, justamente pelo avanço dessas atividades antrópicas, no qual há substituição de sua vegetação natural, e utilização de defensivos agrícolas que tornam o solo infértil, deixando-o com estrutura arenosa, contribuindo com sua erosão. A pecuária, por sua vez, corrobora com a compactação do solo, já que na criação extensiva de gado, o seu pisoteio gera uma pressão, principal causadora para o baixo nível de infiltração do solo (Guitarra[s.d]).

Em menor escala, a cidade de Tacuarembó apresenta, praticamente durante o ano inteiro, característica temporal considerada constante, com precipitação e céu parcialmente encoberto (Weather Spark, 2024).

Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 7 °C a 30 °C e raramente é inferior a 0 °C ou superior a 34 °C. Enquanto a disposição das chuvas, o mês mais chuvoso é abril, com média de 143 milímetros de precipitação de chuva, e com menor média, julho, com 74 milímetros (Weather Spark, 2024).

Em suma, as características ambientais anteriormente citadas, são essenciais para compreensão detalhada de uma microbacia inserida nessas condições a serem comparadas nesse projeto, quais serão submetidas à análise, adotadas como “microbacias pareadas”.

Para o seguinte estudo, foram selecionadas uma microbacia (MC1) com coordenadas de 32° 09'59" S e 55° 53' 26" W e entre as coordenadas 32° 10' 16" S e 55° 53' 17" W da respectiva microbacia (MC2). Sendo MC1 para a microbacia composta por vegetação florestal de Eucalipto, possuindo a extensão de 60 hectares e MC2 para a microbacia de pastagem com área de 49 hectares. Ambas sujeitas a geologia do Aquífero Guarani, que possui rochas porosas e impermeáveis, contribuindo para a absorção e armazenamento de captação de água da chuva (Lima; Freitas, 2010); (Bezerra [s.d]).

Figura 23. Localização das microbacias em gradiente topográfico.

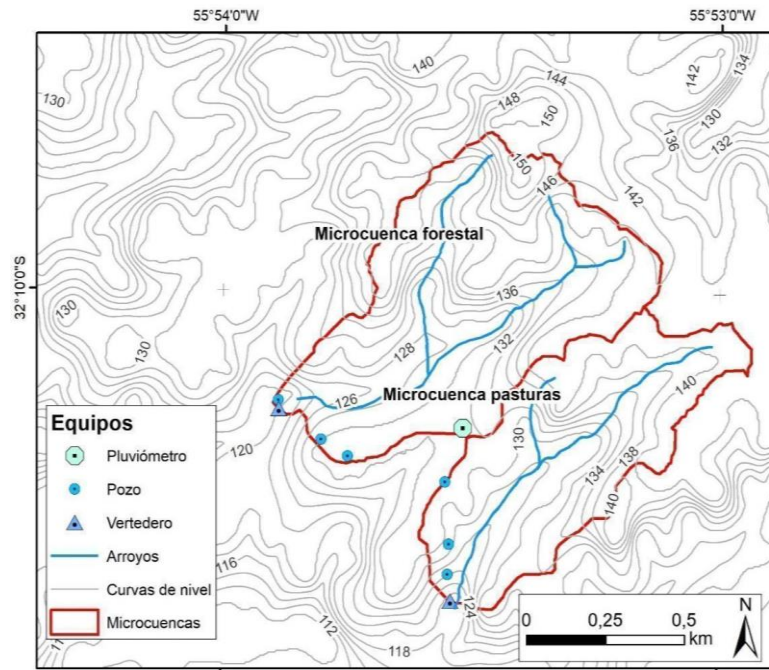
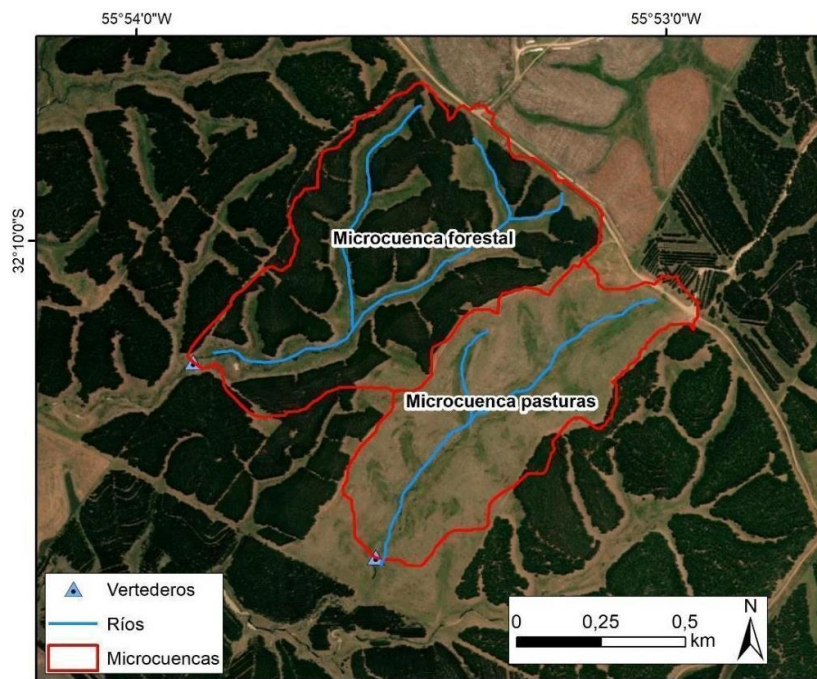


Figura 24. Delimitação das bacias em terreno (UPM, 2023)



De acordo com as características de vazão, as microbacias monitoradas apresentam um regime de vazão intermitente, ou seja, rios temporários que são alimentados em estação chuvosa, pelo escoamento da água para o determinado ponto, exutório - ponto mais baixo de uma bacia, onde é realizado o monitoramento

(Cerqueira; Francisco [s.d]). Esta é uma característica predominante em bacias de cabeceira³ com áreas no território uruguaio devido às suas condições topográficas.

Figura 25. Visão frontal de um vertedor tipo HL (UPM 2023)



A figura 25 mostra o vertedor da bacia, composta por aterro do tipo HL, um registrador de dados, que mede o nível na forma de um transdutor de pressão, localizado dentro de um cano de PVC branco, visto ao lado do aterro.

Figura 26. Visão do interior do vertedor (UPM 2023)



Na Figura 26, é possível observar uma régua linimétrica, que mede as variações do nível da superfície da água, que está fixada na parede interna feita de concreto do aterro. Os dados são armazenados em média temporal de 15 minutos (UPM, 2023).

Dentro da óptica do manejo florestal das microbacias El Viraró, foi definida como vegetação predominante, árvores de espécie de Eucalyptus, com mais de 10

³Cabeceira: local onde se inicia um curso de água (nascente).

anos de idade, enquanto a bacia menor (MC2) está sujeita a pastagem nativa e sem vegetação considerável.

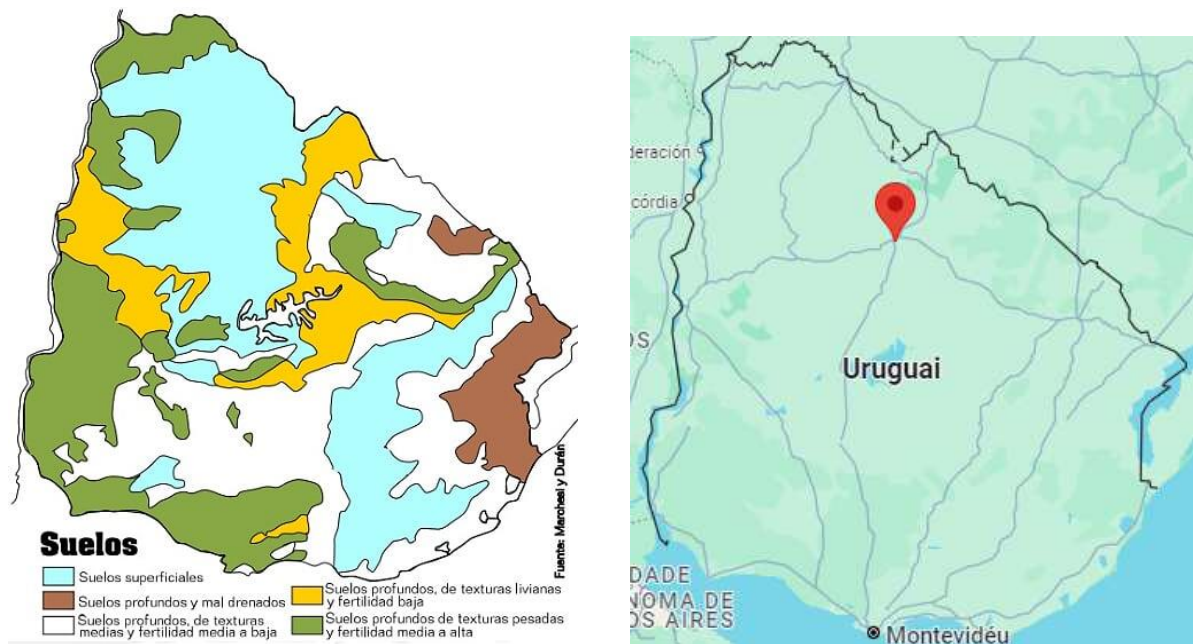
Nesse viés, vale indicar as condições de solo onde as microbacias estão inseridas. O solo que abarca ao estudo deste trabalho, é rotulado ao bioma Pampa Uruguaio, podendo ser caracterizado de maneira geral como arenoso e raso em relação a rocha matriz do perfil. O conceito de arenosidade vem de que o solo não possui sedimentos em um nível alto de agrupação, e assim fica vulnerável às ações da precipitação, causando em maior escala o arraste de sedimentos (Talita, 2021).

O Uruguai, embora seja um país com condições climáticas homogêneas e sem inconstâncias significativas na geografia, apresenta diversas variações no material parental de origem que constituem a camada R do perfil, seja pela idade ou formação das rochas que a compõem (Durán, *et al.*1999). Esta situação, como já visto, é responsável por diversificar a classe dos solos, o que enriquece o território com diferentes propriedades. Neste país, os solos mais comuns são os Argissolos, Vertissolos, Cambissolos, Arenossolos, Plintossolos, Latossolos, Luvissolos etc.

Segundo a Comissão Nacional para o Estudo Agronômico da Terra (CONEAT, 2024), o solo que abrange extensa área em Tacuarembó, denominado pelo código 7.32, são os Luvissolos ócricos/melânicos abrupticos típicos (pastagens arenosas cinzentas amarelado), que tem como características sua cor marrom, amarelado escuro muito profundo, textura arenosa argilosa, bem drenado e com fertilidade muito baixa; E os acrissóis ócricos/abrupticos (pastagens arenosas) de cor marrom, textura arenosa, amarelada escura, argilosa, bem drenada e de baixíssima fertilidade.

Por fim, na figura 27 é possível, visualmente, perceber a numerosidade de algumas características presentes nos solos descritos.

Figura 27. Mapas de solos do Uruguai (c2024.); Localização das microbacias (MAPS, 2024).

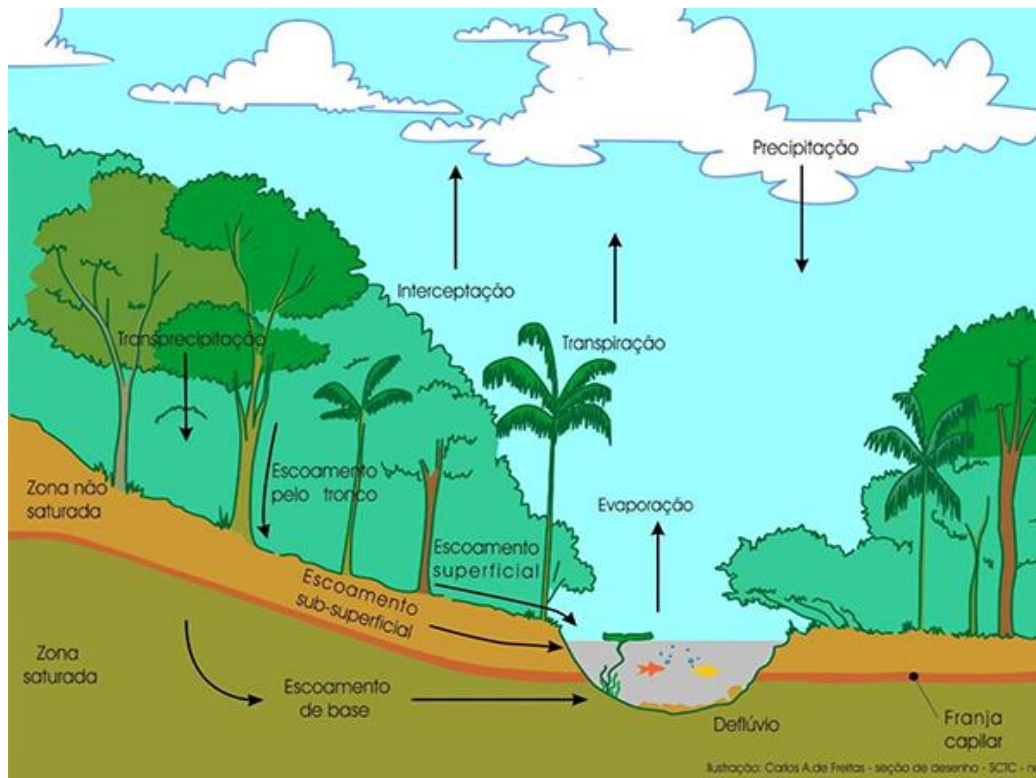


Contudo, os solos de acordo com o mapa das microbacias selecionadas, da cidade de Tacuarembó, são nominados como profundos de textura leve, e fertilidade mediana, ou seja, categoricamente se adequam aos solos arenosos descritos. Condi es estas que corroboram com a obten o do estudo desejado, pela sua alta capacidade de infiltra o.

2.4 ANÁLISE DOS DADOS

Para este projeto, as bacias pareadas escolhidas são de origem uruguaia, da empresa florestal "UPM Paso de los Toros", que tem seus dados de monitoramento guardados no banco de dados do Programa de Monitoramento e Modelagem de Microbacias Hidrográficas – PROMAB.

Figura 28. Tipos de escoamento hídrico (Mannarino, 2024)



Para o entendimento dos gráficos, primeiramente, é importante entender a diferença entre os tipos de escoamento hídrico. O escoamento superficial é aquele que ocorre acima da camada do solo, tendo como característica sua facilidade de carregar sedimentos ao riacho em pouco tempo. Ele ocorre quando a água não se infiltra no solo, sendo por causa da saturação dos poros ou de sua compactação. Já o subsuperficial, acontece quando a água que percola no solo, encontra uma descontinuidade com menor permeabilidade – capacidade de infiltração – e começa a escorrer lateralmente, já dentro do solo, em subsuperfície (Mannarino, 2022). Contudo, a água que infiltra e percola pelo perfil do solo, e chega às águas subterrâneas, são as águas vindas do escoamento base, que alimentam a vazão de um riacho. Esta é caracterizada pela água de alta qualidade, devido seu lento percurso que possibilita a filtragem da água.

As concentrações nos três compartimentos (escoamento superficial, escoamento subsuperficial e escoamento base) mudam no sentido do tempo de ocorrência do evento com um aumento da vazão (Câmara, 2015). E é através disso, que se baseia a análise dos gráficos. Eles serão processados a partir de dados de vazão e de precipitação, e assim como mostra a figura 29, os dois tipos de dados são coletados pelo sensor de 15 em 15 minutos, o que possibilita que, na formação dos

gráficos, seja possível ver o tempo em que essa água levou para chegar ao riacho, inferindo assim, se ela infiltrou ou escoou superficialmente.

Figura 29. Dado bruto de vazão (Data e Hora(Coluna A); Vazão(Coluna B); Precipitação(Coluna C)).

	A	B	C
234	03/12/2022 10:30	2,2	0
235	03/12/2022 10:45	2,1	0
236	03/12/2022 11:00	2,1	0
237	03/12/2022 11:15	2,1	0
238	03/12/2022 11:30	2,1	0
239	03/12/2022 11:45	2,4	0
240	03/12/2022 12:00	2,5	0
241	03/12/2022 12:15	2,5	0
242	03/12/2022 12:30	2,4	0
243	03/12/2022 12:45	2,4	0
244	03/12/2022 13:00	2,3	0
245	03/12/2022 13:15	2,3	0
246	03/12/2022 13:30	2,2	0
247	03/12/2022 13:45	2,2	0
248	03/12/2022 14:00	2,3	0
249	03/12/2022 14:15	2,3	0
250	03/12/2022 14:30	2,3	0
251	03/12/2022 14:45	2,3	0
252	03/12/2022 15:00	2,4	0
253	03/12/2022 15:15	2,4	0
254	03/12/2022 15:30	2,4	0
255	03/12/2022 15:45	2,5	0
256	03/12/2022 16:00	2,7	0
257	03/12/2022 16:15	2,8	0
258	03/12/2022 16:30	2,8	0

Sabe-se que a água quando percorre pelo perfil do solo lentamente e aflora no riacho como água superficial, chega com maior qualidade, devido a sua lenta percolação e sua “filtração” no solo. Já em casos de escoamento superficial:

“em pastagens ou cultivos com solos compactados e sem práticas de conservação, assim como em solos expostos, a infiltração é reduzida e o impacto direto das gotas da chuva desagrega as partículas do solo e produz sedimentos que são carregados diretamente para os rios pela água da chuva que não infiltrou (Tarolli & Sofia 2016). As consequências são a diminuição da vazão ou até a interrupção do fluxo na estiagem e cheias com maior volume e mais frequentes na estação chuvosa (Grip et al. 2005)”

2.5 METODOLOGIA

A análise do regime hidrológico das microbacias durante os eventos do estudo foi realizada para verificar o efeito das diferentes composições de uso e ocupação do solo. Para isso foi calculado o indicador de índice de escoamento base (BFI).

O índice de escoamento base (“baseflow index” - BFI) representa a taxa do escoamento base que compõe o deflúvio (Lane et al., 2005 *apud* Cassiano, 2017), ou seja, a quantidade de água infiltrada que contribuiu para a quantidade de água de uma bacia hidrográfica. O escoamento base é um importante componente do deflúvio que provém do armazenamento de águas subterrâneas (Smakhtin, 2001 *apud* Cassiano, 2017). A separação do escoamento base a partir dos dados diários de deflúvio foi realizada com base no método digital de filtragem desenvolvido por Lyne e Hollick (1979) e descrito por Grayson et al. (1996) por meio das equações 1, 2 e 3 (Cassiano, 2017).

Figura 30. Equação 1 (BFI).

$$q_f(i) = \alpha \cdot q_f(i - 1) + (q(i) - q(i - 1)) \cdot \frac{(1 + \alpha)}{2}$$

Em que: $q_f(i)$ é o escoamento direto filtrado para o instante de amostragem i (mm); $q(i)$ é o deflúvio original para o instante de amostragem i (mm); α é o parâmetro de filtragem, cujo valor recomendado para dados diários é de 0,925.

Figura 31. Equação 2 (BFI).

$$q_b = q - q_f$$

Em que: q_b é o escoamento base (mm).

Figura 32. Equação 3 (BFI).

$$BFI = \frac{\sum q_b \cdot 100}{Q}$$

Em que: BFI é o índice de escoamento base anual (%); Q é o deflúvio anual (mm) (Cassiano, 2017).

Para aplicar o Método BFI, foram selecionados dois anos de monitoramento hidrológico, sendo eles, 2021 e 2022 respectivamente. Vale frisar que a escolha destes anos foi estratégico pois a floresta de *Eucalyptus* possuía entre cinco e seis anos de idade, o que já a tornava estável e não em processo de crescimento.

Após a seleção dos anos, foi preciso aplicar as equações nos dados de deflúvio diário, sendo preciso o uso de uma planilha que contém todas as fórmulas para geração do resultado.

Figura 33. Planilha (BFI)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Data	Hora	Streamflow	Deflúvio (mm)	$(1+\alpha)/2$	qf	Passo 1	Passo 2	Passo 2	Passo 3	Escoamento	
2	05/03/21	00:00:00		1,0614485E-02	0,9625	0,03000	-0,02	0,0000	-0,02	0,0000	-0,019386	
3	05/03/21	00:15:00		9,7663548E-03	0,925	0,02693	-0,02	0,0000	-0,02	0,0021	-0,019302	
4	05/03/21	00:30:00		9,0837943E-03		0,02426	-0,02	-0,0167	0,00	0,0200	-0,018441	
5	05/03/21	00:45:00		8,6858453E-03		0,02205	-0,01	-0,0162	0,00	0,0197	-0,016896	
6	05/03/21	01:00:00		8,2994450E-03		0,02003	-0,01	-0,0158	0,00	0,0194	-0,015372	
7	05/03/21	01:15:00		7,7957620E-03		0,01804	-0,01	-0,0155	0,01	0,0191	-0,013870	
8	05/03/21	01:30:00		7,4266248E-03		0,01633	-0,01	-0,0154	0,01	0,0189	-0,012389	
9	05/03/21	01:45:00		7,0689592E-03		0,00000	0,01	0,0000	0,01	0,0180	-0,010953	
10	05/03/21	02:00:00		6,7170189E-03		-0,00034	0,01	0,0007	0,01	0,0160	-0,009626	
11	05/03/21	02:15:00		6,3765081E-03		0,00000	0,01	0,0000	0,01	0,0148	-0,008425	
12	05/03/21	02:30:00		6,1514038E-03		-0,00022	0,01	0,0000	0,01	0,0137	-0,007315	
13	05/03/21	02:45:00		6,0417022E-03		-0,00031	0,01	0,0010	0,01	0,0117	-0,006326	
14	05/03/21	03:00:00		5,7182878E-03		-0,00059	0,01	0,0010	0,01	0,0108	-0,005450	
15	05/03/21	03:15:00		5,4005601E-03		-0,00086	0,01	0,0010	0,01	0,0099	-0,004647	
16	05/03/21	03:30:00		5,1944229E-03		0,00000	0,01	0,0000	0,01	0,0091	-0,003908	
17	05/03/21	03:45:00		4,9920686E-03		-0,00019	0,01	0,0000	0,01	0,0084	-0,003225	
18	05/03/21	04:00:00		4,7934940E-03		-0,00037	0,01	0,0007	0,00	0,0071	-0,002622	
19	05/03/21	04:15:00		4,5986964E-03		0,00000	0,00	0,0002	0,00	0,0065	-0,002094	
20	05/03/21	04:30:00		4,4076734E-03		0,00000	0,00	0,0000	0,00	0,0060	-0,001606	
21	05/03/21	04:45:00		4,2204227E-03		-0,00018	0,00	0,0000	0,00	0,0056	-0,001156	
22	05/03/21	05:00:00		4,1277400E-03		-0,00026	0,00	0,0007	0,00	0,0044	-0,000767	
23	05/03/21	05:15:00		4,0369424E-03		0,00000	0,00	0,0004	0,00	0,0040	-0,000438	
24	05/03/21	05:30:00		3,8572313E-03		-0,00017	0,00	0,0005	0,00	0,0037	-0,000137	
25	05/03/21	05:45:00		3,6812876E-03		-0,00033	0,00	0,0005	0,00	0,0034	0,000140	
26	05/03/21	06:00:00		3,5091107E-03		0,00000	0,00	0,0000	0,00	0,0031	0,000393	

A data está localizada na coluna A, a hora, na coluna B, enquanto o deflúvio está situado na coluna E. Já a coluna H (qf), mostra como a vazão do rio estaria se não tivesse sofrido alteração da chuva.

- Passo 1** (Coluna H): Calculando a quantidade de água que aumentou no riacho. Usando a fórmula $(n-1)$, ou seja, o dado anterior menos o atual, que resultará no aumento da vazão no evento.
- Passo 2** (Coluna I): Quantidade de escoamento direto (Superficial e Subsuperficial). Logo em seguida na coluna J, é feita uma conta de subtração entre o Total de deflúvio e a quantidade de água escoada diretamente, fazendo assim, com que sobre apenas o escoamento base (Água infiltrada).
- Coluna L**: É o escoamento base em mm. Quando este valor é 0 ou <0 , significa que não estava tendo aumento no fluxo base, portanto ele estava estável. Logo, se ele for maior que zero, houve aumento.

A partir desta coluna, os resultados já estão prontos, mas é preciso que eles passem por conversões de unidade para serem aplicados.

Figura 34. Últimos passos da metodologia

R	S	T	U
BFI (%)	BFI (%) corrigido		Média do evento (%)
0,00	0,0		72,8
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
0,00	0,0		
3,79	3,8		
11,20	11,2		

A coluna R transforma o escoamento base em porcentagem, e a coluna S contém uma condição para considerar somente os valores menores que 100%.

Posteriormente a isso, a coluna U é a parte final da metodologia visto que faz a média do escoamento base para obter apenas a porcentagem de chuva que infiltrou no ano como um todo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados extraídos do Sistema do programa (SisPromab), e depois aplicados em planilhas para geração dos gráficos, foram de que no primeiro ano de

análise, o fluxo base da microbacia de eucalipto foi significativamente maior em relação a microbacia vizinha, de pastoreio.

Tabela 1. Resultados BFI

Ano	Floresta	Pastagem
2021	24,6	20,1
2022	19,0	23,8

Figura 35. Fluxo base 2021 - Microbacia Floresta.

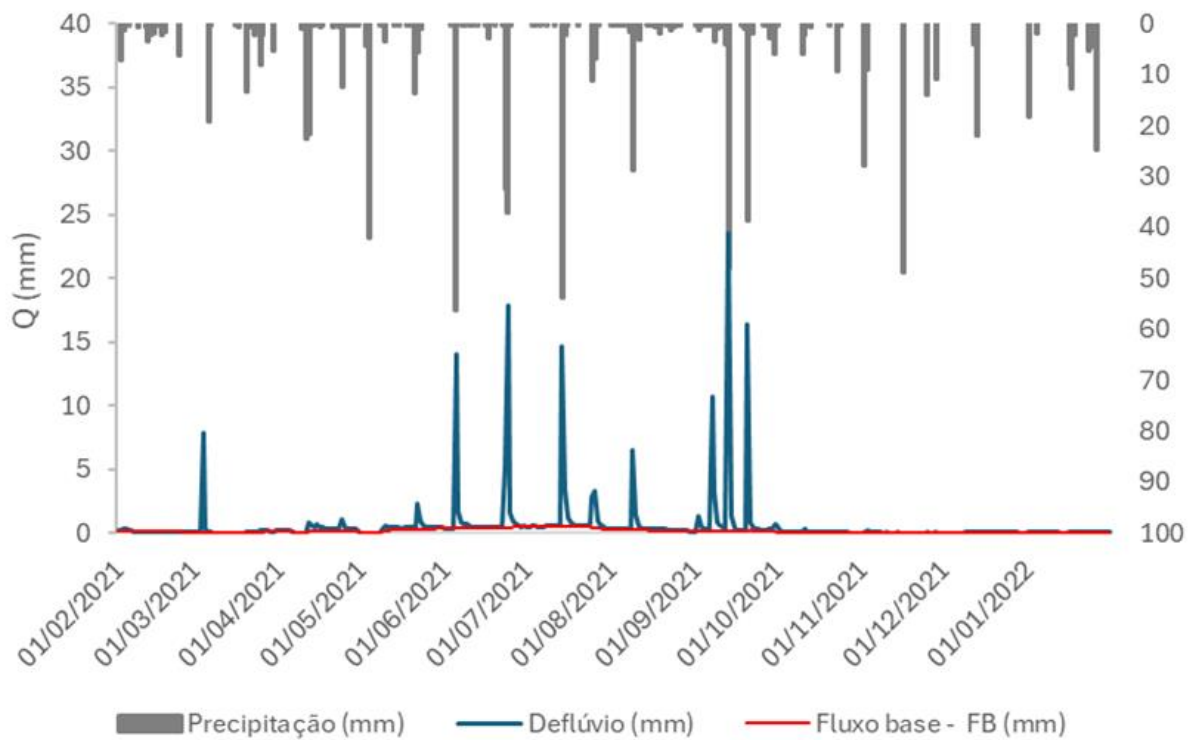
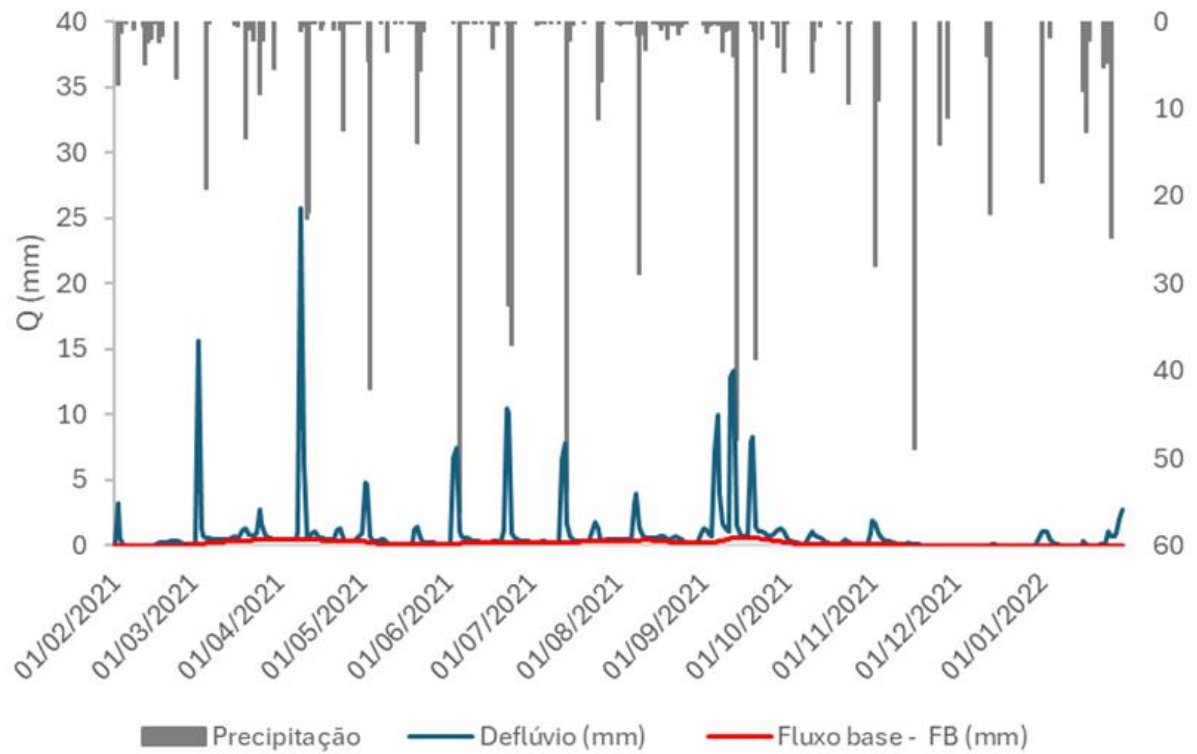


Figura 36. Fluxo base 2021 - Microbacia Pasto.



Porém, no segundo ano de dados, houve uma contradição destes resultados, pois o BFI da microbacia de pasto, superou a de floresta em 4,8%. Isso se deve à variação e à distribuição das chuvas ao longo do ano.

Figura 37. Fluxo base 2022 - Microbacia Floresta.

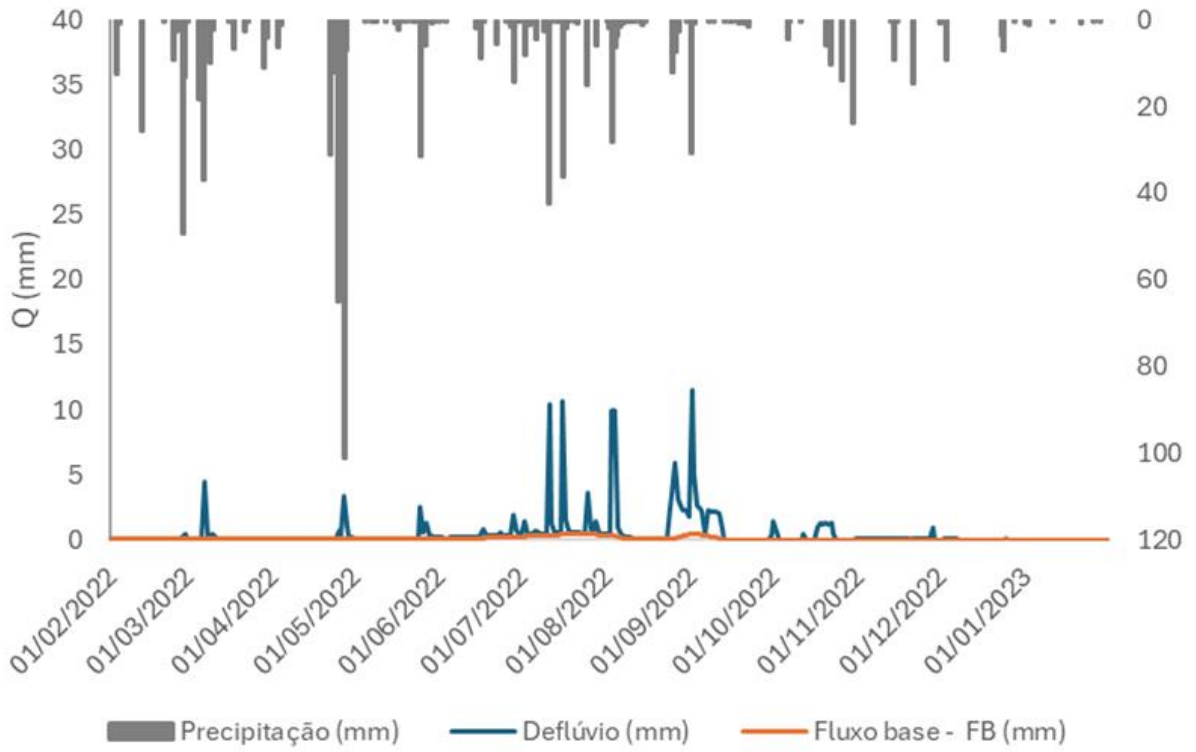
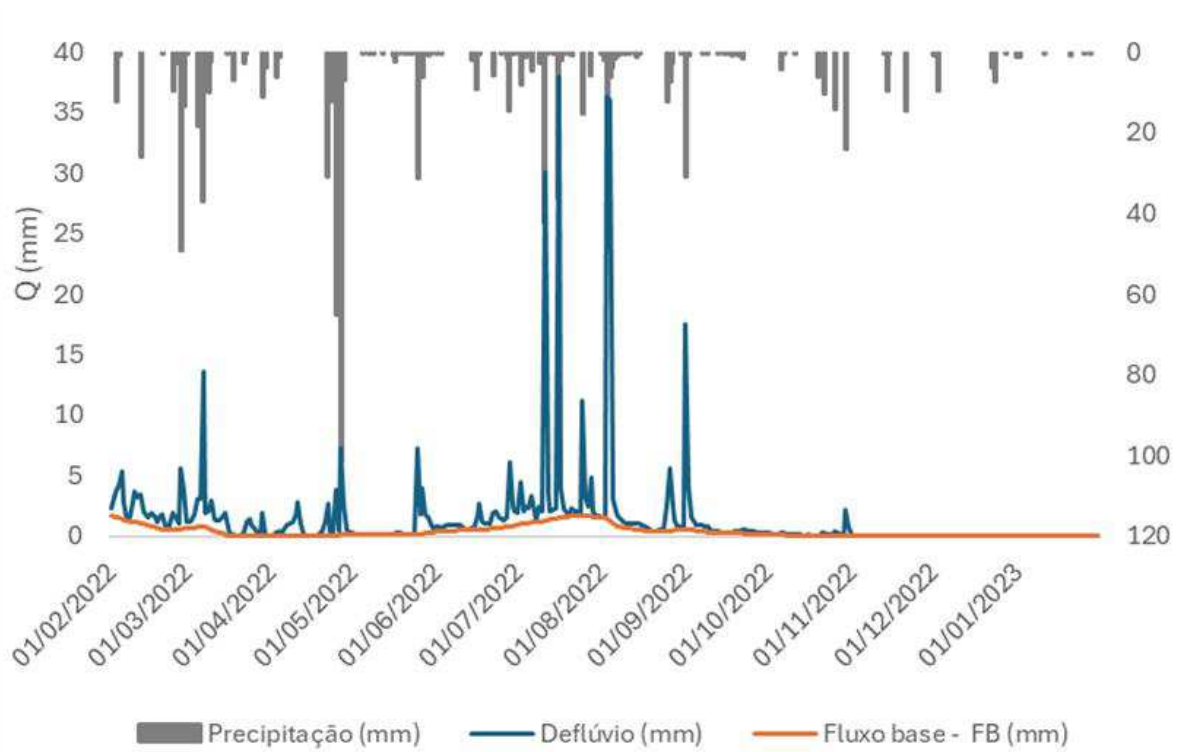


Figura 38. Fluxo base 2022 - Microbacia Pasto.



Sabendo que a precipitação é considerada uma das variáveis hidrológicas mais importantes, pois a estimativa da precipitação em uma bacia explanada uma noção da disponibilidade hídrica da região (Paz, 2004 *apud* ANDRADE; et al. 2021), foi possível inferir uma justificativa para os resultados, a partir do estudo de Andrade et al. 2021, que explica como a variação da precipitação pode influenciar nos demais processos hidrológicos.

No ano de 2021, a precipitação anual foi de 812,6 mm, no entanto, essa chuva foi mais bem distribuída pelos 12 meses anuais, como mostra a figura 39. Já no ano de 2022, apesar de a chuva anual ter sido de 861,03 mm, ela foi mal distribuída na escala temporal, concentrando-se em meses específicos, como abril e julho. Vale salientar que, apenas no mês de abril, choveram 229,8 mm, correspondentes a 26,7% do valor anual.

Intensidades maiores de precipitação podem gerar mais escoamento superficial e a saída rápida da água do sistema, implicando em uma oferta de água limitada para o uso pela vegetação, ocasionando uma menor quantidade de fluxo base devido a demanda deste recurso para a sobrevivência da floresta. Esse resultado é importante sobretudo para anos atípicos, que vêm ocorrendo com maior frequência devido aos efeitos das mudanças climáticas.

Em resumo pode-se atestar, analisando a Figura 40, a grande variabilidade mensal da precipitação durante o ano de 2022.

Figura 39. Precipitação mensal (2021)

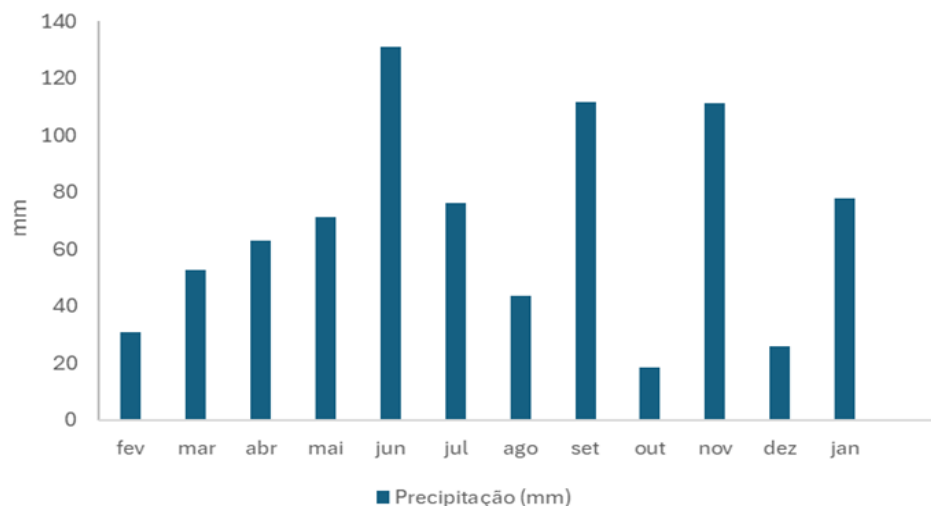
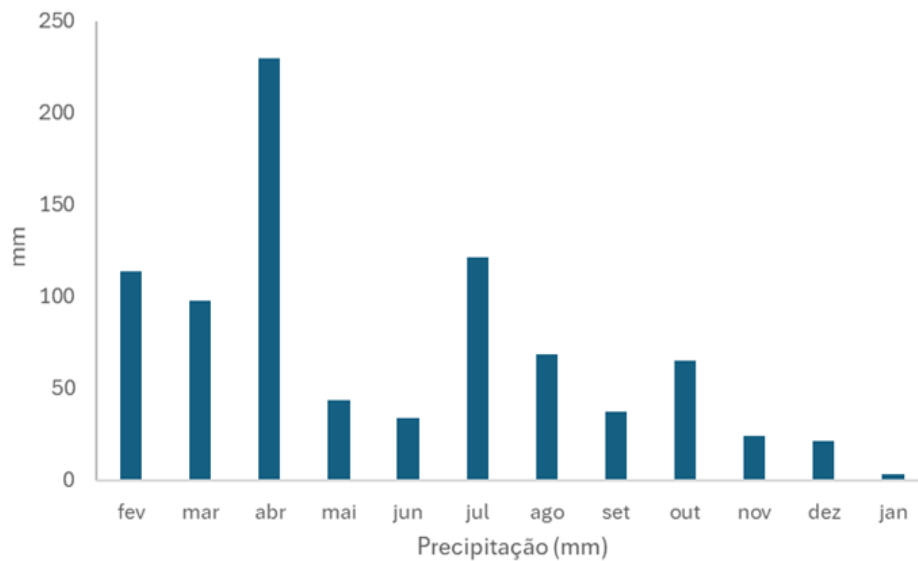


Figura 40. Precipitação Mensal 2022.



Através dos resultados, o objetivo principal de evidenciar a importância da floresta para a infiltração no solo foi correspondida apenas em um dos anos, assim como, frisar que a falta da cobertura no solo impulsiona o escoamento superficial da água, o qual pode trazer diversos impactos ambientais ao curso d'água, tanto em parâmetros qualitativos quanto nos quantitativos.

Partindo para o teste do simulador de chuva, ele foi realizado com o tempo de precipitação de 30 minutos, contabilizando 200ml por minuto. Com isso, foram obtidos resultados consideráveis, com os diferentes valores quantitativos da taxa de escoamento e infiltração de cada bacia, mostrados na tabela dois.

Tabela 2. Resultado da simulação de chuva

Uso do solo	Escoamento	
	superficial	Infiltração
Pasto	1200ml	110ml
Floresta	50ml	780 ml

Figura 41. Obtenção dos resultados práticos.



Na figura 41, é possível observar os dois fenômenos ocorrendo em ambas as caixas, à esquerda, a infiltração e à direita o escoamento direto. Em decorrência da ausência de interceptação pelas copas das árvores, a microbacia de pastagem registrou o maior volume de escoamento superficial.

Figura 42. Evidência de erosão.



A demonstração de chuva também evidenciou o fenômeno de erosão do solo e arraste de sedimentos.

4.CONCLUSÃO

Diante dos dados de dois anos de monitoramento, os resultados indicaram que, em anos típicos, a floresta desempenha um papel fundamental no condicionamento e qualidade do solo, tornando as condições mais propícias para o processo de infiltração e todos os benefícios decorrentes do mesmo. Por outro lado, em anos atípicos com má distribuição temporal da precipitação, é necessário se atentar à estratégias de manejo que retenham a água no solo para que o fluxo base não seja prejudicado.

Em relação à simulação de chuva, os objetivos de evidenciar a importância da vegetação para a infiltração da água no solo, e observar o processo hidrológico de escoamento superficial fisicamente, foram comprovados pelo grupo.

Dentre isso, vale ressaltar que maneiras de evitar o escoamento direto precisam ser planejadas para que haja aproveitamento da água superficial. Essas medidas podem ser tomadas através do manejo de pastagens e do planejamento de florestas plantadas, para que ela consiga desenvolver seu papel dentro do ecossistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRH - **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. A importância da medição hidrológica para os comitês de bacias hidrográficas. Disponível em: <https://www.site.abrhidro.org.br/post/a-importancia-da-medição-hidrológica-para-os-comitês-de-bacias-hidrográficas>. Acesso em: 8 set. 2024.

ADASA, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura **PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E AMBIENTAL - PEC&A VERSÃO PARA FACILITADORES** Público ENSINO MÉDIO MÓDULO 4a. [s.d]. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/sala_de_leitura/MaterialPedagogico/Versao_Facilitador/Em_Fac/EM_4a_FAC.pdf. Acesso em 10 set. 2024.

ANDRADE, Amanda Ribeiro de; LIMA, Paulo Ricardo Cavalcante de; OLIVEIRA, João Victor Pequeno de; LUCENA, Daisy Beserra. ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E VOLUME NAS SUB-BACIAS CONTRIBUINTES PARA O AÇUDE EPITÁCIO PESSOA. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 25, 2019. DOI: 10.5380/abclima.v25i0.62973. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/62973>. Acesso em: 11 nov. 2024.

ARCOVA, F.C., & Cicco, V.D. (1999). Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **IPEF**. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr56/cap09.pdf>. Acesso em 7 de dez. 2024.

AZEVEDO Antonio, Mineralogia dos solos. **USP/ESALQ/LSO**. [s.d]. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7914780/mod_resource/content/0/Texto%20Mineralogia%20de%20solos.pdf Acesso em 6 set. 2024.

AZEVEDO Júlia, Lixiviação: o que é, tipos e consequências. c2023. **Ecycle**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/lixiviacao/> Acesso em 6 set 2023.

BACELLAR, Luiz. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo. br**, v. 1, p. 1-39, 2005. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/deaer/download/VIVIEN/Texto06/exartigorevisao.pdf> . Acesso em 14 de jun. 2024.

BARÃO, Calinca. **Variação da infiltração devido a alterações de uso do solo:** Estudo de caso de implantação de floresta em bioma pampa. 2014. 71p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8749/AVILA%2c%20CALINCA%20BARAO%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 25 de set. 2024.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. v. 4, n. 1. Taubaté, São Paulo: p 75-108, jan-abr/2007. p 75-108. Disponível em <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/116>. Acesso em 13 de jun. 2024.

BEZERRA, Juliana. Aquífero Guarani. **Toda Matéria**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/aquifero-guarani/> . Acesso em: 15 jun. 2024.

BEZERRA, Juliana. Conferência de Estocolmo. **Toda Matéria**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/conferencia-de-estocolmo/> . Acesso em: 13 jun. 2024.

BICUDO, C. E. de M. et al. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. Instituto de Botânica. São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-6820.pdf>. Acesso em 13 de jun. de 2024.

BOORMANN, Luciana. **Fundação José Pedro de Oliveira Mata Santa Genebra**. Disponível em: <https://www.fjposantagenebra.sp.gov.br/serrapilheira-pode-determinar-o-tipo-de-floresta#:~:text=Aquela%20camada%20de%20folhas%20secas> Acesso em: 14 jun. 2024.

BOSCHIERO Beatriz. Solo arenoso: características e como realizar o melhor manejo. **Agro Advance**. dez. de 2023. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-solo-arenoso-caracteristicas-e-manejo/> Acesso em 10 de set. 2024.

BRITANNICA. **Entisol**. Enciclopédia Britânica. 16 de Dez. de 2011, Disponível em; <https://www.britannica.com/science/Entisol> Acesso em 10 de setembro de 2024.

BRITO, Maria José; LIMA, Walter. Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas: **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.10, n.29, p.11 – 21, Nov.1996. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr29/cap03.pdf>. Acesso em 17 de mar. 2024.

CÂMARA, Carla Daniela. **Critérios e indicadores para monitoramento hidrológico de florestas plantadas**. 2004. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.18.2004.tde-12052006-111320>. Acesso em: 7 dez.2024.

CASSIANO, C.C., n.d.. Efeitos hidrológicos da composição da paisagem em microbacias com florestas plantadas de Eucalyptus. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/t.11.2017.tde-16082017-085416>. Acesso em 10 de set. 2024.

CASTAÑO José; AUNCHAYNA Rossina. Caracterización Agroclimática Del Uruguay 1980-2009. **Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria**, série técnica nº 193, 2011. Disponível em: <http://www.inia.uy/Documentos/Privados/GRAS/Caracterizacion-agroclimatica/carac-agro-2010.pdf>. Acesso em 14 de jun.2024.

CERQUEIRA Wagner; FRANCISCO. "Classificação dos Rios"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/classificacao-dos-rios.htm>. Acesso em 03 de dez. 2024.

CHERLINKA Vasyl. Aeração do Solo, Suas Técnicas E Dicas De Implementação. 06 ago. 2021. **EOS data analytics**. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/aeracao-do-solo/> Acesso em 11 set. 2024.

CLIMA, condições meteorológicas e temperatura média por mês de Tacuarembó (Uruguai) - **Weather Spark**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29351/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tacuaremb%C3%B3-Uruguai-durante-o-ano>. Acesso em: 12 nov. 2024.

COELHO, Maurício Rizzato; MOREIRA, Fatima Maria de Souza; CARES, Juvenil Enrique; ZANETTI, Ronald. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. 2013. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/SOLOS%20CRESCIMENTOS%20DE%20PLANTAS.pdf> Acesso em: 11 set. 2024.

Coneat, carta de suelos y cartografía de campo natural. Disponível em: <https://dgrn.mgap.gub.uy/js/visores/dgrn/#> Acesso em: 2 out. 2024.

COUTINHO VARGAS, M. A “crise hídrica” na grande São Paulo (2014-2015): vulnerabilidade climática e déficit de governança. **Antropología Americana**, [S. l.], v. 4, n. 8, p. 87–116, 2020. DOI: 10.35424/anam82019%f. Disponível em: <https://revistasipgh.org/index.php/anam/article/view/680> . Acesso em: 8 set. 2024.

Croquis CONEAT Página 1. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://dgrn.mgap.gub.uy/arcgis/rest/directories/arcgisjobs/coneat/gpcroquisparcelas_gpserver/j71b902af331342da85f84860ce249fff/scratch/doc_fefb8b40-80c7-11ef-b304-000c296f7324.pdf Acesso em: 16 out. 2024.

CUNHA Tony; PETRERE Vanderlise; BEZERRA Iedo; TAURA Tatiana. Argissolos. 8 dez.2021. **Embrapa.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/argissolos> Acesso em 10 de setembro de 2024.

DAVIS, W. M. O Ciclo Geográfico. **Boletim Campineiro de Geografia**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 139–166, 2013. DOI: 10.54446/bcg.v3i1.101. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-campineiro/article/view/2473> Acesso em: 11 jun. 2024.

DEFRIES R. & ESHLEMAN , K.N., 2004. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. **Hydrological Processes**. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.5584>. Acesso em 16 de jun. 2024.

DURÁN, A ; CALIFRA, A; MOLFINO, J.H. Solos do Uruguai de acordo com a Taxonomia de Solos.[s.d]. **Faculdade de Agronomia**. Disponível em: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/Suelos%20de%20Uruguay%20seg%C3%BAAn%20Soil%20Taxonomy_0.pdf
Acesso em 11 set. 2024.

EM HIDROGRAFIA, **Instituto histórico e geográfico do Mato grosso do Sul (IHGMS)**. [s.d]. Disponível em: <https://ihgms.org.br/vc-sabia/em-hidrografia-o-que-e-cabeceira172#:~:text=Em%20hidrografia%2C%20o%20que%20%C3%A9%20cabec%3F%20Cabeceira%20%C3%A9,surge%20da%20conflu%C3%AAncia%20dos%20rios%20Grande%20e%20Parana%C3%ADba>. Acesso em 14 de jun. 2024.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. [s.d]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/solos/sibcs>
Acesso em 11 set. 2024.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos, Luvisolos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/luvisolos>. Acesso em 16 out. 2024.

FERRAZ, Sílvio Frosini de Barros e LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia florestal aplicada: planejando as interações entre a floresta e a água**. . São Paulo: Edusp. . Acesso em: 08 set. 2024.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. EFEITOS DE SISTEMAS DE MANEJO DE PASTAGENS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO. **Semina: Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 913–932, 2010. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/7597>. Acesso em: 22 mar. 2024.

FONTANA Ademir; FREITAS Luiz Pedro; DONAGEMMA Guilherme; SALTON César; FIDALSKI Jonez. Solos Arenosos: a nova fronteira agrícola brasileira. **EmbrapaSolos**.

jan. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/49801116/artigo---solos-arenosos-a-nova-fronteira-agricola-brasileira> Acesso em 11 set. 2024

GARCÍA Pamela. O que é a geada agronômica ou agrometeorológica? **Meteored tempo.pt** 11 jan. 2022 Disponível em: <https://www.tempo.pt/noticias/ciencia/o-que-e-a-geada-agronomica-ou-agrometeorologica-agricultura-agronomia-meteorologia.html> Acesso em: 13 jun. 2024.

GOOGLE MAPS, Tacuarembó-Uruguai. Disponível em: <https://maps.app.goo.gl/kczVEAWAs3f5iccd7>. Acesso em: 11 de set.

GRAYSON, R.B.; ARGENT, R.M.; NATHAN, R.J.; MCMAHON, T.A.; MEIN, R. Hydrological Recipes: Estimation Techniques in Australian Hydrology. Clayton: **Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology**, Australia. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2376017>. Acesso em: 07 dez. 2024.

GUITARRA Paloma. Solo; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/o-solo.htm> . Acesso em 01 de set. 2024.

GUITARRARA, Paloma. "Uruguai"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/uruquai.htm>. Acesso em 13 de jun de 2024.

HERNANDEZ Eva. Tipos de solo. 25 jan. de 201. Blogspot. Disponível em: Acesso em: <https://evavillaseorhernandez.blogspot.com/2012/01/tipos-de-suelo.html>. Acesso em: 7 dez. 2024.

HONDA, E. A.; DURIGAN, G. A restauração de ecossistemas e a produção de água. **Hoehnea**, v. 44, n. 3, p. 315–327, set. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-82/2016>. Acesso em 7 dez. 2024.

INIA Tacuarembó. **Instituto Nacional de Investigación Agropecuária**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.inia.uy/en/experimental-stations/regional-directions/inia-tacuaremb%C3%B3> Acesso em: 15 jun. de 2024.

PROMAB, Programa de monitoramento e Modelagem em Microbacias. **IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. Disponível em: <https://www.ipef.br/promab/>. Acesso em: 7 de dez. 2024.

JORNAL USP: Como o desmatamento no Rio Grande do Sul pode ter agravado inundações. Disponível em: <https://jornal.usp.br/?p=761412>. Acesso em: 8 set. 2024.
KRUSCHE, Alex Vladimir et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 197-205, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200009>. Acesso em 14 de junho de 2024.

LIMA Valmiqui; LIMA Marcelo Ricardo. **UFPR Setor ciências agrárias**. [s.d]. Disponível em: http://www.mrlima.agrarias.ufpr.br/SEB/arquivos/formacao_solo.pdf
Acesso em 6 set. 2024.

LIMA Walter; Marco. Seleção De Microbacias Experimentais para monitoramento hidrológico das plantações florestais da Forestal Oriental S.A., Uruguay. Relatório técnico. **Rede de Monitoramento Ambiental em Microbacias ReMAM**. Piracicaba, janeiro de 2010.

LIMA, W.P. Impacto Ambiental do Eucalipto. São Paulo: EDUSP, 1993.

LIMA, WALTER DE PAULA. A silvicultura e a água: ciência, dogmas, desafios. – Rio de Janeiro: instituto bioatlântica, 2010. 64 p. **Cadernos do Diálogo**; v.01 Disponível em: <https://dialogoflorestal.org.br/wp-content/uploads/2018/05/cadernos-do-dialogo1-agua-e-silvicultura.pdf>. Acesso em: 26 de mar. 2024.

LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. . Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

LIMA, Walter. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Relatório técnico: Seleção de microbacias experimentais para o monitoramento hidrológico das plantações florestais da Forestal Oriental S.A., Uruguay. Piracicaba, janeiro de 2010.

LYNE, V.D.; HOLLICK, M. Stochastic time-varying rainfall-runoff modelling. In: **Proceedings of the Hydrology and Water Resources Symposium**. Institution of Engineers:Perth. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/272491803_Stochastic_Time-Variable_Rainfall-Runoff_Modeling. Acesso em: 7 dez. 2024.

MANNARINO, P. L. **O que é o Escoamento Superficial?** Disponível em: <https://geoverdade.com/2022/03/23/escoamento-superficial/> . Acesso em 7 dez. 2024.

MAPA de solos do Uruguai. **Mapas de uruguai**. [s.d]. Disponível em: <https://mapasdeuruguay.com/mapa-de-suelos-del-uruguay/> Acesso em: 11 set. 2024.

MELO Francisco. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**

OLIVEIRA, A. K. M.; PIRAJÁ, R. V. Análise multitemporal da cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Córrego Ceroula, Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, v. 23, n. 4, p. 997–1011, out. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/vhWnNR8CBGTcBVqvCKXC74H/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 15 jun. 2024.

Parque Estação Biológica, contando ciência na web. [s.d]. Disponível em: https://www.embrapa.br/contando-ciencia/solos/-/asset_publisher/1ZCT5VQ5Hj1S/content/o-que-e-e-como-se-forma-o-solo-/1355746?inheritRedirect=false Acesso em 11 set. 2024.

PINHEIRO Helena. Propriedades Morfológicas, Perfil e Horizontes. **PEDOLOGIA DEP. SOLOS IA - UFRRJ**. [s.d]. Disponível em: <https://www.bing.com/ck/a?!&p=8ef8da702f2463b1JmItDHM9MTcyNTU4MDgwMCZpZ3VpZD0xNDRkOGQ1Ny02MTVILTY1NWUtMTY4Ny05OTlyNjAwOTY0MmImaW5zaWQ9NTlyNw&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=144d8d57-615e-655e-1687->

[99226009642b&psq=Este+horizonte+%C3%A9+composto+por+material+parental+n%C3%A3o+consolidado+ou+levemente+alterado%2c+a+partir+do+qual+o+solo+se+desenvolveu.+%C3%89+menos+afetado+pelos+processos+pedogen%C3%A9ticos+e%2c+portanto%2c+n%C3%A3o+apresenta+as+caracter%C3%ADsticas+dos+horizontes+superiores.&u=a1aHR0cHM6Ly9hcnF1aXZvcy51ZnJyai5ici9hcnF1aXZvcy8yMDIzMtU5MDg0NDM0MTM2NjM3OTQ5ZTFiMDAwMGY0ZWlvSUEzMjBfUGVkb2xvZ2IhX1Byb3BQZXJmaWxlb3Jpem9udGVzXzlwMjMucGRm&ntb=1](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167636922000964?psq=Este+horizonte+%C3%A9+composto+por+material+parental+n%C3%A3o+consolidado+ou+levemente+alterado%2c+a+partir+do+qual+o+solo+se+desenvolveu.+%C3%89+menos+afetado+pelos+processos+pedogen%C3%A9ticos+e%2c+portanto%2c+n%C3%A3o+apresenta+as+caracter%C3%ADsticas+dos+horizontes+superiores.&u=a1aHR0cHM6Ly9hcnF1aXZvcy51ZnJyai5ici9hcnF1aXZvcy8yMDIzMtU5MDg0NDM0MTM2NjM3OTQ5ZTFiMDAwMGY0ZWlvSUEzMjBfUGVkb2xvZ2IhX1Byb3BQZXJmaWxlb3Jpem9udGVzXzlwMjMucGRm&ntb=1) Acesso em 11 set. 2024.

PORTILLO Germán. Horizonte do solo e seus fatores. **Ecologia verde** 16 jun. 2023. Disponível em: <https://www.ecologiaverde.com/horizontes-del-suelo-estructura-y-factores-4453.html> Acesso em 11 set. 2024.

SILVA, Luiz Felipe. O que é uma microbacia hidrográfica? - Juntos Pela Água. Disponível em: <https://juntospelaagua.com.br/2019/09/16/o-que-e-uma-microbacia-hidrografica/#:~:text=A%20microbacia%20%C3%A9%20uma%20%C3%A1rea> . Acesso em: 8 set. 2024.

TALITA. Pampa: características, clima, solo, vegetação e fauna. **Redação Aulática**. 15 ou. 2021. Disponível em: <https://www.aulatica.com.br/bioma-pampa-caracteristicas-clima-solo-vegetacao-fauna/>. Acesso em: 13 de nov. 2024.

THAME, Antonio Carlos de Mendes. **Água finita: ao contrário do que muita gente imagina, a água não é um recurso renovável**. [Entrevista a Antonio Reche]. Agroanalysis, v. 21, n. ja, p. 3-5, 2001Tradução. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001260160>. Acesso em: 13 jun. 2024.

The Hydrological Cycle. Disponível em: <https://geobytesqcse.blogspot.com/2006/10/hydrological-cycle.html> . Acesso em: 12 jun. 2024.

TORDIN Cristina. Espécie de eucalipto urophylla tem maior plasticidade e produtividade. Embrapa. dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/66939049/especie-de-eucalipto-urophylla-tem-maior-plasticidade-e-productividade> . Acesso em 11 set. 2024.

TUME. Teste de Uso Múltiplo do Eucalyptus. [s.d]. Projeto Tume. Disponível em: <https://www.projetotume.com/tumes>. Acesso em 11 set. 2024.

UPM - INFORME TÉCNICO ANUAL. Programa Cooperativo sobre Monitoramento e Modelagem de Bacias Hidrográficas **Laboratório de Hidrologia Florestal ESALQ – USP**.

VELA Marcelo. Solo: camadas e composição. [s.d]. **Infoescola**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/geografia/solo/>. Acesso em: 2 de dez. 2024.

VENANCIO, Daniela et al. A crise hídrica e sua contextualização mundial. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015E/a%20crise%20hidrica.pdf>. Acesso em: 13 de jun. de 2024.