

HIDROLOGIA FLORESTAL APLICADA



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor Carlos Gilberto Carlotti Junior
Vice-reitora Maria Arminda do Nascimento Arruda

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

Pró-reitor Aluisio Augusto Cotrim Segurado



EDITORA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Diretor-presidente Sergio Miceli Pessoa de Barros

COMISSÃO EDITORIAL

Presidente Rubens Ricupero
Vice-presidente Maria Angela Faggin Pereira Leite
Carlos Alberto Ferreira Martins
Clodoaldo Grotta Ragazzo
Laura Janina Hosiasson
Miguel Soares Palmeira
Rubens Luis Ribeiro Machado Júnior
Suplentes Marta Maria Geraldtes Teixeira
Primavera Borelli Garcia
Sandra Reimão

Editora-assistente Carla Fernanda Fontana
Chefe Div. Editorial Cristiane Silvestrin

HIDROLOGIA FLORESTAL APLICADA

PLANEJANDO AS INTERAÇÕES ENTRE A FLORESTA E A ÁGUA

Silvio F. B. Ferraz
Walter de Paula Lima



PRÓ-REITORIA
DE GRADUAÇÃO

Copyright © 2022 by Silvio F. B. Ferraz e Walter de Paula Lima

Apoio da Pró-reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo

Programa de Incentivo à Produção de Livros Didáticos para o Ensino de Graduação

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Ferraz, Silvio F. B.

Hidrologia Florestal Aplicada: Planejando as Interações
entre a Floresta e a Água / Silvio F. B. Ferraz, Walter de
Paula Lima. – 1. ed. – São Paulo: Editora da Universidade
de São Paulo, 2022. – (Acadêmica; 115).

ISBN 978-65-5785-017-6

1. Água – Conservação. 2. Bacias hidrográficas. 3. Desenvolvimento de recursos hídricos – Brasil. 4. Florestas – Manejo – Mata Atlântica. 5. Hidrologia. 6. Hidrologia florestal. 7. Planejamento ambiental. 8. Sustentabilidade econômica. I. Lima, Walter de Paula. II. Título. III. Série.

21-55892

CDD-574.52642

Índice para catálogo sistemático:

1. Hidrologia florestal: Planejamento: Ecologia 574.52642

Maria Alice Ferreira – Bibliotecária – CRB-8/7964

Direitos reservados à

Edusp – Editora da Universidade de São Paulo
Rua da Praça do Relógio, 109-A, Cidade Universitária
05508-050 – São Paulo – SP – Brasil
Divisão Comercial: tel. (11) 3091-4008 / 3091-4150
www.edusp.com.br – e-mail: edusp@usp.br

Printed in Brazil 2022

Foi feito o depósito legal

SUMÁRIO

Introdução.....	13
1. Breve Histórico das Relações entre a Floresta e a Água.....	15
1.1 Os Primórdios	15
1.2 O Nascimento da Hidrologia Florestal.....	18
1.3 O Conhecimento Acumulado.....	21
1.4 Os Desafios Atuais	24
Leituras Recomendadas	27
2. Ciclo Hidrológico e Balanço Hídrico	29
2.1 O Balanço Hídrico Global	30
2.2 O Ciclo Hidrológico	30
2.3 A Água na Atmosfera	32
2.4 Precipitação: A Entrada da Água na Superfície Terrestre	34
2.5 Intensidade de Chuva.....	38
2.6 Distribuição Espacial da Precipitação	39
2.7 O Clima e a Distribuição da Vegetação	41
2.8 Balanço Hídrico da Bacia Hidrográfica.....	44
2.9 O Conceito de Água Azul e Água Verde	44
Leituras Recomendadas	45
Anexo 2.A.....	46
Anexo 2.B.....	48

3.	A Bacia Hidrográfica	51
3.1	Limites	51
3.2	Ordem das Bacias	54
3.3	Conceito de Microbacia	55
3.4	Zoneamento Físico das Bacias	55
3.5	Parâmetros Físicos de Bacias Hidrográficas	56
	Leituras Recomendadas	66
	Anexo 3.A.....	67
4.	Hidrologia de Microbacias Hidrográficas.....	69
4.1	O Conceito de Microbacia Hidrográfica	69
4.2	A Vazão em Microbacias Hidrográficas	70
4.3	Deflúvio em Microbacias Hidrográficas.....	72
4.4	Componentes do Deflúvio	75
4.5	Hidrograma	78
4.6	Tipos de Escoamento Direto em Bacias com Floresta	82
4.7	Áreas Variáveis de Afluência (AVA) e Áreas Hidrologicamente sensíveis (AHS)	84
4.8	Conceituação Ecológica da Microbacia e Implicações Práticas de Manejo	86
4.9	Planejamento na Escala da Microbacia	87
	Leituras Recomendadas	88
	Anexo 4.A.....	89
	Anexo 4.B.....	91
5.	Eco-hidrologia de Florestas Ripárias.....	93
5.1	A Importância Eco-hidrológica da Zona Ripária na Escala da Microbacia.....	93
5.2	O Ecossistema Ripário.....	94
5.3	Processos Hidrológicos no Ecossistema Ripário	96
5.4	Funções do Ecossistema Ripário	98
5.5	Os Ecossistemas Lóticos	101
5.6	Restaurando as Funções Hidrológicas das Áreas Ripárias.....	103
5.7	Manejo da Área Ripária	104
5.8	Proteção Legal da Área Ripária.....	106
5.9	Delimitação Espaço-temporal da Zona Ripária.....	108
	Leituras Recomendadas	109
	Anexo 5.A.....	110
	Anexo 5.B.....	111
	Anexo 5.C.....	113

6.	Regime de Água no Solo em Áreas Florestais	115
6.1	Introdução.....	115
6.2	Água no Solo.....	117
6.3	Avaliação da Água no Solo	119
6.4	Influência da Floresta na Água do Solo	123
6.5	Água Subterrânea	125
6.6	Influências da Floresta na Água Subterrânea	127
6.7	Movimentação da Água no Solo.....	128
	Leituras Recomendadas	135
	Anexo 6.A.....	135
7.	Uso de Água pelas Florestas	137
7.1	Conceitos.....	137
7.2	Fatores que Governam a Evapotranspiração.....	139
7.3	Componentes da Evapotranspiração.....	147
7.4	Manejo do Consumo de Água pelas Florestas	158
7.5	Manejo de Consumo de Água pela Vegetação Ripária	162
	Leituras Recomendadas	163
	Anexo 7.A.....	163
	Anexo 7.B.....	165
	Anexo 7.C.....	166
8.	Serviços Eco-hidrológicos das Florestas	169
8.1	Introdução.....	169
8.2	Regulação Climática	174
8.3	Interceptação da Água da Chuva pela Floresta	177
8.4	Infiltração de Água no Solo.....	181
8.5	Proteção do Solo.....	184
8.6	Proteção Ripária	188
8.7	Florestas e “Produção de Água”	189
8.8	Florestas e Proteção de Mananciais	191
8.9	Pagamento por Serviços Ecossistêmicos (PSE) da Floresta	193
	Leituras Recomendadas	196
	Anexo 8.A.....	196
	Anexo 8.B.....	198
9.	Florestas e Qualidade da Água.....	201
9.1	Conceitos.....	201
9.2	Parâmetros Físicos e Químicos e Suas Relações com o Manejo Florestal	203
9.3	Ciclagem de Nutrientes em Microbacias Hidrográficas.....	207

9.4 Controle da Qualidade da Água nas Práticas de Manejo Florestal	210
Leituras Recomendadas	214
Anexo 9.A.....	215
10. Efeitos Hidrológicos do Manejo de Plantações Florestais	219
10.1 Importância das Plantações Florestais	219
10.2 Controvérsia Hidrológica das Plantações Florestais	221
10.3 Consumo de Água por Plantações Florestais	222
10.4 Práticas de Manejo para Minimizar Possíveis Efeitos Hidrológicos	227
Leituras Recomendadas	238
Anexo 10.A.....	239
Anexo 10.B.....	241
Anexo 10.C.....	243
11. Sustentabilidade Hidrológica do Manejo Florestal	245
11.1 Princípios Hidrológicos do Manejo Florestal Sustentável.....	245
11.2 Escalas de Análise	250
11.3 Critérios de Avaliação na Escala Macro.....	254
11.4 Critérios de Avaliação na Escala Meso.....	256
11.5 Critérios de Avaliação na Escala Micro.....	257
Leituras Recomendadas	258
Anexo 11.A.....	258
Anexo 11.B.....	260
Anexo 11.C.....	262
12. Monitoramento do Manejo Florestal em Microbacias Experimentais.....	265
12.1 Fundamentos.....	265
12.2 Indicadores.....	268
12.3 Indicadores da Qualidade da Água.....	270
12.4 Indicadores Hidrológicos.....	273
12.5 Procedimentos Metodológicos.....	275
12.6 Interpretação dos Resultados: a Melhoria Contínua do Manejo Florestal.....	280
Leituras Recomendadas	281
Anexo 12.A.....	281
Anexo 12.B.....	283
Anexo 12.C.....	284

Apêndice – Terminologia, Unidades e Transformações	
em Hidrologia Florestal	287
A.1 As Unidades.....	287
A.2 O Sistema Internacional de Unidades (SI)	288
A.3 Outras Unidades Utilizadas em Hidrologia Florestal.....	289
A.4 Unidades Usadas em Análise de Qualidade da Água	292
A.5 As Grandezas Físicas mais Comuns em Hidrologia Florestal	293
A.6 Outras Expressões e Constantes Úteis	294
A.7 Medições em Mapas Topográficos	294
Referências Bibliográficas	299
Créditos das Figuras	313
Sobre os Autores.....	315

INTRODUÇÃO

A transformação e a simplificação da paisagem causam impacto na água ao seu redor. Essas alterações acarretam modificações no ciclo hidrológico, tanto em termos quantitativos como qualitativos. Como exemplo, podem-se citar as mudanças no padrão da evapotranspiração global, que diminui em áreas desmatadas e aumenta em áreas irrigadas, afetando também, como consequência, o fluxo natural dos rios e ribeirões. O aumento da erosão, a degradação da matéria orgânica e a compactação do solo ao longo dos ciclos de produção concorrem para a deterioração das microbacias hidrográficas e para perdas dos serviços ambientais, o que resulta na redução da produtividade de água, localmente e na escala da paisagem, principalmente devido à diminuição da infiltração, ao aumento do escoamento superficial, à queda da capacidade de armazenamento de água e à perda de serviços ambientais responsáveis pela regulação e conservação da água. Os efeitos sobre a qualidade da água são também significativos, decorrentes do aporte de nutrientes e sedimentos oriundos das práticas de manejo, que degradam sua qualidade e são responsáveis pelo processo de eutrofização de águas superficiais.

Este, sem dúvida, é um dos grandes desafios atuais que a humanidade terá de enfrentar: alcançar o equilíbrio entre a produção de alimentos e de madeira, a conservação da água e a garantia da qualidade ambiental. Essas três metas devem ser abordadas de forma integrada, já que tratar cada uma separadamente gera conflitos e prejuízos para todos. A água, com suas demandas e funções, é o componente fundamental que possibilita relacionar o uso da terra (visando à

produção) com os impactos ambientais decorrentes dele, e esse conceito deve ser a base para o planejamento de ações de manejo que busquem a sustentabilidade.

Outro fator que também é muito importante na avaliação dos efeitos do manejo sobre a água diz respeito ao planejamento da ocupação dos espaços produtivos da paisagem visando à produção florestal. Já é um problema difícil tentar incutir a necessidade da proteção das áreas ripárias onde ocorre a vegetação ciliar, que, no Brasil, por força do Código Florestal, ficaram restritas a uma largura arbitrária fixa e simétrica ao longo dos córregos e ribeirões, assim como ao redor de nascentes. No entanto, na natureza, a ocorrência dessas áreas, que são chamadas de hidrológicamente sensíveis, não guarda nenhuma simetria, pois depende da heterogeneidade natural da paisagem em termos de geologia, geomorfologia, solos e clima. Além disso, áreas saturadas podem ocorrer também nas partes mais elevadas do terreno, e não apenas nas margens e cabeceiras dos cursos d'água. Em ambos os casos, trata-se de áreas de descarga ou de afloramento dos fluxos subsuperficiais de água e, por isso, devem ser protegidas, e não drenadas ou utilizadas. Nenhuma microbacia hidrográfica é exatamente igual a outra e, portanto, não há como estabelecer prescrições generalizadas para o mapeamento dessas áreas.

Levando-se em conta a já reconhecida crise hídrica, não há dúvida de que estamos diante de um problema complexo, cuja solução não depende apenas da ciência ou da tecnologia, mas exige também a participação de todos. Assim, o objetivo deste livro é apresentar e discutir conceitos modernos sobre o conhecimento atual das relações entre o uso da terra e a conservação da água como contribuição para a busca do manejo florestal sustentável. A sustentabilidade ocorre em diferentes dimensões e escalas, e esse esquema conceitual é fundamental para o estabelecimento de estratégias sustentáveis de práticas de manejo. Por exemplo, é essencial que a dimensão econômica da sustentabilidade, que é, afinal, o fator que responde pela produção florestal, possa incluir também a dimensão ecológica, que engloba a qualidade ambiental e a conservação da água. A escala fundamental para esta última é a da microbacia hidrográfica, que é a unidade natural da paisagem e a formadora dos grandes sistemas fluviais. Assim, a microbacia constitui a base sólida para alcançar o objetivo de conservação da água no manejo florestal, pois permite estabelecer práticas sustentáveis de manejo adaptadas às especificidades locais. Pela mesma razão, ela também possibilita a materialização do conceito de manejo integrado ou ecossistêmico, sem o qual não se consegue a conservação da água.

1

BREVE HISTÓRICO DAS RELAÇÕES ENTRE A FLORESTA E A ÁGUA

1.1 OS PRIMÓRDIOS

O conceito do ciclo hidrológico, que descreve a dinâmica da água na natureza, está hoje tão generalizadamente aceito que fica até difícil apreciar a história de seu desenvolvimento.

Desde tempos imemoriais e até épocas relativamente recentes, a origem da água das nascentes e dos rios foi um problema bastante controvertido. Antes do final do século XVII, por exemplo, havia a crença de que a água das nascentes não poderia ser originada das chuvas por duas razões: (a) acreditava-se que as chuvas não eram suficientes; e (b) entendia-se que a terra era demasiadamente impermeável para possibilitar a infiltração e a percolação da água das chuvas.

Com base nessas duas suposições, os filósofos devotaram muito tempo estabelecendo hipóteses para explicar a origem da água das nascentes e dos rios. Os mais antigos aparentemente estavam satisfeitos com os postulados de que a água das nascentes se originava de imensos e inesgotáveis reservatórios subterrâneos, embora alguns acrescentassem que tais reservatórios careceriam de pelo menos um mecanismo de recarga. Esta segunda linha de pensamento já oferecia um vislumbre do conceito de ciclo hidrológico, ou seja, que havia o retorno da água dos oceanos para os reservatórios subterrâneos e vice-versa. Todavia, considerava-se que o mecanismo desse retorno era realizado por meio de canais subterrâneos, ao invés da atmosfera pelo processo de evaporação.

Thales (c.624-c.545 a.C.) escreveu que as nascentes e os rios são alimentados pelo oceano, explicando que a água dos oceanos é aduzida através das rochas pela força dos ventos e conduzida até as montanhas pela pressão das rochas.

Platão (428-347 a.C.) idealizou um imenso mar subterrâneo, a que deu o nome de Tártaro, de onde se originava a água dos oceanos, lagos, rios e nascentes, sendo que essas águas voltavam ao Tártaro por meio de canais subterrâneos.

Aristóteles (384-322 a.C.) era mais preocupado com observações que com abstrações. Em sua *Meteorologica*, reconheceu os processos de evaporação e de condensação: pela ação do sol, a água se transformava em ar, voltando novamente a ser água com o resfriamento do ar, caindo na forma de chuva. Ele notou ainda que as chuvas contribuíam em parte para a descarga dos rios e que parte das chuvas se infiltrava no solo, reaparecendo nas nascentes.

A teoria hoje prevalecente, ou seja, que a maior parte da água subterrânea deriva da infiltração de água da chuva, teve seus primórdios ainda na época de Cristo, por meio do trabalho de Vitruvius (81-15 a.C.), um arquiteto romano que escreveu um tratado de arquitetura em dez volumes. Pela importância que os romanos atribuíam ao problema do abastecimento de água potável, ele dedicou um de seus livros aos métodos de localização ou descoberta de água subterrânea. Ressaltou que os melhores locais para tal seriam as montanhas, pois recebem grande quantidade de chuva e de neve, e porque lá não ocorrem grandes perdas por evaporação, pois a presença da cobertura florestal torna impossível aos raios solares atingirem a superfície, e a cobertura de neve lá permanece por mais tempo por causa da floresta densa (Lee, 1980). Vitruvius listou também as plantas indicadoras da ocorrência de água subterrânea, além de mencionar outros métodos práticos para localizá-la, os quais tendiam para a radiestesia, embora ele não reconhecesse essa “mágica”. Numa época em que a Geologia era completamente inexistente, seus esforços foram, sem dúvida, importantes.

As relações entre as florestas e a água foram compreendidas de maneira folclórica desde tempos imemoriais. As explicações incluíam aspectos como a influência das florestas sobre o escoamento dos rios e riachos, a proteção de mananciais, o eventual efeito sobre as chuvas e, enfim, seu papel na regulação climática. Essas discussões, bastante antigas, sempre foram controversas, recorrentes e não totalmente resolvidas, como ainda são atualmente.

No passado, por exemplo, havia a crença de que as florestas aumentavam a vazão dos rios, o que desencadeou controvérsias maiores, dando margem à formação de grupos defensores dessa crença e de outros, opositores a ela. Cada qual procurava argumentos para justificar sua posição, mas nenhum deles contava com evidências e provas suficientes. Bernardin de Saint Pierre, em seu livro *Estudos da Natureza*, publicado entre 1784 e 1788, propôs o reflorestamento das terras altas da França para resgatar rios e riachos que secaram em consequência do desmatamento. Em contraposição, Eugène Belgrand, um famoso engenheiro

civil francês, afirmava que “a floresta diminui, ao invés de aumentar, a vazão dos rios” (Andréassian, 2004).

Esse debate tem mais de dois séculos, mas não deixa de ser interessante observar que ele ainda perdura nos dias atuais, em que pese o acúmulo de resultados experimentais de estudos que se iniciaram por volta do início do século xx e que deram início ao estabelecimento da ciência denominada Hidrologia Florestal, como ramo da Hidrologia, que se preocupa com as relações entre a floresta e a água. Mais do que apenas produzir o embasamento científico para esclarecer os mitos envolvendo tais relações, a Hidrologia Florestal desenvolveu ferramentas poderosas para o manejo racional dos recursos naturais. Todavia, o que se observa é que o tema ainda é polêmico no mundo todo, principalmente no que diz respeito ao estabelecimento de políticas públicas de conservação da água e de incentivo ao uso sustentável dos recursos naturais. Nesse sentido, a proteção dos remanescentes florestais e a restauração florestal continuam sendo a base de políticas públicas voltadas à melhoria ambiental e à conservação da água, como se isso bastasse. Atualmente, o tema volta à tona sob nova roupagem, com o nome de “infraestrutura verde”, com as discussões de como florestas podem auxiliar na produção e regularização de água para abastecimento público.

A percepção pública generalizada de que as florestas naturais são sempre benéficas para os recursos hídricos, no sentido de que elas fazem chover, aumentam a vazão dos rios, reduzem as enchentes e mantêm a qualidade da água, é questionável e deve dar lugar às evidências acumuladas da experimentação científica. Estas mostram que o problema envolve relações muito mais complexas, cujos resultados esperados vão depender da interação entre vários fatores, e não apenas da presença ou da ausência da floresta.

O que esta breve perspectiva histórica mostra é que a relação entre a floresta e o ciclo hidrológico é um tema antigo, recorrente, polêmico, carregado de juízos de valor e que ainda não se encontra totalmente resolvido, a despeito do grande volume de evidências experimentais acumuladas atualmente. Um exemplo de tema que sofre com tais controvérsias é o debate sobre mudanças climáticas, um dos principais problemas ambientais globais da atualidade. Seu enfrentamento está sendo baseado em diversas medidas, entre as quais o sequestro de carbono visando frear o aumento da concentração de CO_2 atmosférico. Uma das ações que supostamente contribuem para o sequestro de carbono é o reflorestamento. Todavia, se não for devidamente planejada, essa medida pode impactar a disponibilidade de água superficial. Evidentemente, não se trata de um dilema insuperável, porém, este é mais um indicador da complexidade do problema.

1.2 O NASCIMENTO DA HIDROLOGIA FLORESTAL

A expressão “influências da floresta” foi utilizada de início para incluir o estudo de todos os efeitos da floresta sobre fatores como o clima, o ciclo da água, a erosão, as enchentes, a produtividade do solo etc. Posteriormente, em um desdobramento natural, esse conjunto de conhecimentos deu lugar ao desenvolvimento da Hidrologia Florestal, da Ecologia Florestal e da Meteorologia Florestal.

A Hidrologia Florestal trata das relações floresta-água. É, desta forma, o ramo da Hidrologia que trata dos efeitos da floresta sobre o ciclo da água, incluindo os efeitos sobre a erosão e sobre a qualidade da água nas microbacias hidrográficas. Recentemente, com o surgimento da Eco-hidrologia como ciência que relaciona Hidrologia e ecossistemas, é possível considerar a Hidrologia Florestal como um ramo da Eco-hidrologia, ou seja, que estuda a hidrologia do ecossistema florestal. Neste sentido, o tema Eco-hidrologia Florestal abrangeria a relação entre floresta e água sob o ponto de vista ecológico. Assim, o conjunto de conhecimentos da Hidrologia Florestal é muito útil para nortear as atividades de manejo florestal visando a conservação da água, dos solos e dos ecossistemas aquáticos associados.

O estabelecimento de “florestas de proteção” por órgãos governamentais vem desde tempos medievais. Os argumentos daquela época, todavia, eram baseados em especulações, opiniões pessoais e folclore, e se alastravam à medida que as florestas iam sendo derrubadas para dar lugar à agricultura. Por volta do início do século XX, emergiu um movimento conservacionista que se opunha à destruição das florestas com o objetivo de evitar a formação de desertos.

Os primeiros trabalhos publicados sobre o assunto surgiram nos séculos XVIII e XIX, versando mais sobre uma aparente harmonia da natureza e se baseando em especulações. Alguns exemplos são os trabalhos de J. C. Brown, *Forest and Moisture* (1877) e de G. P. Marsh, *The Earth as Modified by Human Action* (1907).

Ao final do século XIX, a ideia de que a floresta funcionava como reguladora do escoamento dos rios tinha muitos defensores e muitos oponentes, nenhum dos lados com informações suficientes para suportar suas posições. Foi quando, no começo do século XX, se iniciaram os primeiros estudos científicos sobre o assunto. Na Europa, os experimentos estavam mais voltados para a medição de variáveis (ou processos isolados) do ciclo da água dentro e fora de povoamentos florestais (método físico). Nos Estados Unidos, o ano de 1910 marca o início de uma modalidade diferente de estudo do problema, referido como “método hidrométrico”, que, em resumo, procura medir os fluxos de massa da fase terrestre do ciclo da água em microbacias experimentais.

O experimento pioneiro desse método foi realizado na região denominada de “Wagon-Wheel Gap”, no estado do Colorado, onde duas microbacias

SOBRE OS AUTORES

SILVIO FERRAZ é professor associado do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (Esalq-USP). Formou-se em engenharia florestal e tem doutorado direto em conservação de ecossistemas florestais pela Esalq. É pesquisador nível II do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Atua na área de manejo de bacias hidrográficas e hidrologia florestal com ênfase em planejamento da conservação das florestas, da água e dos ecossistemas aquáticos. É o atual coordenador científico do Programa de Monitoramento Ambiental em Microbacias (Promab) junto ao Instituto de Pesquisas Florestais (Ipef). Foi coordenador do curso de engenharia florestal da Esalq e, como docente, é responsável pela disciplina Manejo de Bacias Hidrográficas do curso de engenharia florestal da Esalq. Publicou 95 artigos científicos, um livro e doze capítulos de livros.

WALTER DE PAULA LIMA é professor titular aposentado do Departamento de Ciências Florestais da Esalq-USP. Sua formação inclui graduação em engenharia agrônoma pela USP (1968), mestrado em *agronomy* pela The Ohio State University (1971) e doutorado em solos e nutrição de plantas pela USP (1975). Desenvolveu também programas de pós-doutorado na Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), na divisão de pesquisas florestais, Austrália (1982) e no Institute of Ecology and Resource Management, Universidade de Edimburgo, Escócia (1992). Foi professor de Manejo de Bacias Hidrográficas e de Hidrologia Florestal junto ao Departamento de Ciências Florestais da Esalq e deu início aos estudos de hidrologia de microbacias experimentais, que com o tempo evoluiu para a formação do Programa de Monitoramento Ambiental em Microbacias (Promab) do Instituto de Pesquisas Florestais (Ipef). Atuou como editor-chefe da revista *Scientia Forestalis*. Foi pesquisador científico do CNPq, nível 1B. Publicou mais de oitenta artigos científicos, quatro livros e dezoito capítulos de livros.

LANÇAMENTO 2022

JÁ DISPONÍVEL

LIVRARIA VIRTUAL

www.edusp.com.br/loja

LIVRARIAS

www.edusp.com.br/livrarias

INFORMAÇÕES

Divulgação Edusp

divulga@usp.br

