



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

ANTONIO ELVES BARRETO DA SILVA

**INFLUÊNCIA DOS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM NA
ESPECIAÇÃO DO FÓSFORO EM RIOS INTERMITENTES**

FORTALEZA

2022

ANTONIO ELVES BARRETO DA SILVA

INFLUÊNCIA DOS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM NA ESPECIAÇÃO
DO FÓSFORO EM RIOS INTERMITENTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira.

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Carla Ferreira Rezende.

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S578i Silva, Antonio Elves Barreto da.
Influência dos ciclos de umedecimento e secagem na especiação do fósforo em rios intermitentes /
Antonio Elves Barreto da Silva. – 2022.
102 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação
em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira .
Coorientação: Profa. Dra. Carla Ferreira Rezende.
1. Rios intermitentes. 2. Ciclagem de nutrientes. 3. Fracionamento de fósforo. I. Título.
- CDD 577
-

ANTONIO ELVES BARRETO DA SILVA

INFLUÊNCIA DOS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM NA ESPECIAÇÃO
DO FÓSFORO EM RIOS INTERMITENTES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em: 29/07/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira (Orientador)
Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz (ESALQ/USP)

Prof. Dr. Gabriel Nuto Nóbrega
Universidade Federal Fluminense (UFF)

Dr. Hermano Melo Queiroz
Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz (ESALQ/USP)

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus e aos bons espíritos que me guardam.

A minha família em apoiar minhas decisões.

A Funcap pela Bolsa concedida. A Universidade Federal do Ceará. Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais e seu quadro de professores e professoras.

Aos colegas de turma pela parceria durante a realização das disciplinas

Ao meu orientador, professor Tiago Osório e minha co-orientadora professora Carla Rezende pela confiança no trabalho.

Aos companheiros do Laboratório de Ecologia aquática e Biogeoquímica.

Agradeço ao Daniel que me ajudou com contribuições teóricas, coletas de amostras em campo e pela amizade.

Obrigado aos companheiros de campo Mikael, Tamara, Maria Rita e Milena pelos perrengues e aprendizados.

Ao Grupo de Estudos em Pedologia e Geoquímica (GEPGEOQ)

Ao Gabriel pelas dúvidas acerca das análises químicas. Ao Danilo pela ajuda na cienciometria. Amanda e Hermano pela ajuda laboratorial, estatística, elaboração dos gráficos, confiança e amizade.

Aos amigos que fiz em Piracicaba, especialmente Hermano, Ju, Samuel, Aline, Amanda, Douglas, Isabela, Danilo, Gustavo, Diego e Dailane que me acolheram e proporcionaram momentos alegres em meio a pandemia.

RESUMO

Rios intermitentes são ecossistemas que passam a maior parte do ano secos. Estes ambientes têm sido estudados, principalmente, sobre a ótica de ecologia de populações e comunidades e degradação ambiental. No que se refere a dinâmica de elementos, os estudos ainda são incipientes e os dados obtidos pouco concisos. O objetivo desse estudo foi investigar qual a relação entre os hidroperíodos com a disponibilidade, formas e quantidades de fósforo em rios intermitentes. Coletas de sedimentos e água foram realizadas em três períodos hidrológicos baseados em modelos teóricos propostos para estudos em ecossistemas intermitentes: Dry, Post dry e, Pre dry. Fracionou-se o fósforo e dados de textura, mineralogia, extração de ferro, pH, Eh, condutividade elétrica, fósforo em água, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total foram obtidos para dar suporte a discussão. Utilizou-se a ferramenta de análise sciometrica para compreender a evolução do tema de pesquisa ao longo dos anos e seu estado atual. Testes de comparação de médias e análise de função discriminante foram realizadas para mensurar diferenças e predominância de frações de fósforo temporal e espacialmente. Conclui-se que as pesquisas relacionadas a rios intermitentes aumentaram ao longo dos anos de forma contínua, mas, pesquisas sobre ciclagem e dinâmica de nutrientes ainda são poucas. As principais frações que controlam a dinâmica de fósforo foram P adsorvido aos óxido-hidróxidos de Fe, P adsorvido aos filossilicatos e hidróxidos de Al e P ligado a matéria orgânica refratária. As hipóteses propostas foram respondidas parcialmente. Apenas os ciclos de umedecimento e secagem não são capazes de alterar a dinâmica do elemento, pois essa depende fortemente da matriz do solo.

Palavras-chave: rios intermitentes; ciclagem de nutrientes; fracionamento de fósforo.

ABSTRACT

Intermittent rivers are ecosystems that spend most of the year dry. These environments have been studied mainly from the perspective of population and community ecology and environmental degradation. About the dynamics of elements, the studies are still incipient and the data obtained are not very concise. This study aimed to investigate the relationship between hydroperiods and availability, forms and amounts of phosphorus in intermittent rivers. Sediment and water collections were carried out in three hydrological periods based on theoretical models proposed for studies in intermittent ecosystems: Dry, Post dry, and Pre dry. Phosphorus was fractionated and data on texture, mineralogy, iron extraction, pH, eh, electrical conductivity, phosphorus in water, dissolved oxygen, and total organic carbon were obtained to support the discussion. The scientometric analysis tool was used to understand the evolution of the research topic over the years and its current status. Means comparison tests and discriminant function analysis were performed to measure differences and predominance of phosphorus fractions temporally and spatially. It is concluded that research related to intermittent rivers has increased continuously over the years, but research on nutrient cycling and dynamics is still few. The main fractions that control the phosphorus dynamics were P Oxyhydroxides (iron), P associated with phyllosilicates and hydroxides (Al) (F3a) and, P associated with refractory organic matter (F5). The proposed hypotheses were partially answered. Only the wetting and drying cycles are not able to change the element's dynamics, as this is strongly dependent on the soil matrix.

Keywords: intermittent rivers; nutrient cycling; phosphorus fractionation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Cruxati	16
Figura 2 – Solos que compõem a bacia da área onde foram realizadas as coletas	17
Figura 3 - Mapa de uso e ocupação do solo	18
Figura 4 - Evolução das publicações, relacionados a rios intermitentes, ao longo dos anos (1940–2019)	27
Figura 5 - Porcentagem de representatividade das áreas do conhecimento com os termos de busca “Intermittent rivers” OR “Intermittent watersheds” OR “Ephemeral streams”	29
Figura 6 - Formatos das publicações (1940 – 2019)	30
Figura 7 - Principais jornais que tiveram no mínimo 20 publicações sobre o tema (1940-2019)	31
Figura 8 - Principais termos (frequência de mínima de 10 vezes) citados pelos autores quando o tema “rios intermitentes” foi abordado	34
Figura 9 - Principais países onde o tema foi abordado entre os anos de 2006 e 2012	35
Figura 10 - Principais autores que pesquisaram o tema nos últimos anos (2012 – 2018)	36
Figura 11 – Distribuição pluviométrica e evapotranspiração ao longo do ano na região onde a pesquisa foi desenvolvida	47
Figura 12 – Fases hidrológicas de um rio intermitente	48
Figura 13 – Delimitação dos pontos de coleta	49
Figura 14 – Triângulo textural apresentando a composição granulométrica (hidroperíodos)	52
Figura 15 – DRX da fração argila dos três pontos de coletas ao longo do rio	53

Figura 16 – Fracionamento de fósforo mostrando as frações que mais predominam entre os hidroperíodos e profundidades	54
Figura 17 – Teores de fósforo para cada fração nos três hidroperíodos	56
Figura 18 - Teores de óxidos de ferro extraído por DCB e com oxalato	57
Figura 19 – Teores de fósforo total	58
Figura 20 - Teores de fósforo em água em analisados em dois hidroperíodos	59
Figura 21 – Gráficos de pH, eh (água e sedimentos) e Condutividade elétrica relacionando os três hidroperíodos	60
Figura 22 – Teores de oxigênio dissolvido	61
Figura 23 – Valores de carbono orgânico total	62
Figura 24 – Correlação (Spearman) entre todas as variáveis	63
Figura 25 – Função de análise discriminante separando os três hidroperíodos	64
Figura 26 – Triângulo textural apresentando a composição granulométrica (pontos)	81
Figura 27 – DRX da fração argila nos três pontos ao longo do rio	82
Figura 28 – Fracionamento de fósforo mostrando as frações que mais predominam entre os pontos ao longo do rio e profundidades	84
Figura 29 – Teores de fósforo para cada fração nos três pontos ao longo do rio	85
Figura 30 – Valores de dados obtidos de pH e Eh (água e sedimentos) e condutividade elétrica mostrando as diferenças entres os pontos ao longo do rio	87
Figura 31 – Valores de fósforo em água	88
Figura 32 – Valores de Oxigênio dissolvido e Carbono orgânico total	89
Figura 33 – Análise de função discriminante separando os três grupos de dados (pontos)	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Palavras que foram consideradas equivalentes nos resultados da pesquisa	26
Tabela 2 - Áreas e quantidade de publicações com o tema “rios intermitentes” (1940-2019)	28
Tabela 3 - Principais periódicos e publicações ao adicionar a busca os termos “ciclagem de nutrientes” e “fósforo”	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AO	Oxalato
Al	Alumínio
CE	Condutividade elétrica
CO ₂	Gás carbônico
COT	Carbono orgânico total
DCB	Ditionito citrato bicarbonato
DRX	Difratometria de raios X
Eh	Potencial de oxirredução
Fe	Ferro
OD	Oxigênio dissolvido
pH	Potencial hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	PERGUNTA	15
3	HIPÓTESES	15
4	PREVISÕES	15
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
6	RIOS INTERMITENTES: UMA ABORDAGEM CIENCIOMETRICA	22
6.1	Introdução	24
6.2	Material e métodos	25
6.3	Resultados	27
6.3.1	<i>Evolução das publicações e abordagens</i>	27
6.3.2	<i>Formato das publicações</i>	30
6.3.3	<i>Termos de pesquisa mais frequentes, países e pesquisadores</i>	33
6.4	Discussão	37
6.5	Conclusões	38
7	DINÂMICA DO FÓSFORO EM RIOS INTERMITENTES: INFLUÊNCIA DOS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM	41
7.1	Introdução	45
7.2	Material e métodos	47
7.2.1	<i>Amostragem</i>	47
7.2.2	<i>Análises granulométricas</i>	50
7.2.3	<i>Análises mineralógicas</i>	50
7.2.4	<i>Fracionamento de fósforo</i>	50
7.2.5	<i>Extração de óxidos de ferro</i>	51
7.2.6	<i>Análises estatísticas</i>	51
7.3	Resultados	52
7.3.1	<i>Granulometria e mineralogia</i>	52
7.3.2	<i>Fracionamento de fósforo</i>	54
7.3.3	<i>Teores de óxidos-hidróxidos de ferro</i>	57
7.3.4	<i>Fósforo total</i>	57

7.3.5	<i>Fósforo em água</i>	58
	<i>pH, Eh, Condutividade Elétrica, Oxigênio dissolvido e Carbono orgânico total</i>	59
7.3.6	<i>Carbono orgânico total</i>	62
7.3.7	<i>Correlações e Análise de função discriminante</i>	63
7.4	Discussão	65
7.5	Conclusões	69
8	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FÓSFORO EM ECOSISTEMAS INTERMITENTES: UM ESTUDO DE CASO NO RIO CRUXATI, CEARÁ ...	75
8.1	Introdução	78
8.2	Material e métodos	79
8.2.1	<i>Amostragem</i>	79
8.2.2	<i>Análises granulométricas e mineralógicas</i>	79
8.2.3	<i>Fracionamento de fósforo</i>	80
8.2.4	<i>Análises estatísticas</i>	81
8.3	Resultados	81
8.3.1	<i>Granulometria e mineralogia</i>	81
8.3.2	<i>Fracionamento de fósforo</i>	83
8.3.3	<i>Variáveis ambientais: pH, Eh, condutividade elétrica, fósforo em água, oxigênio dissolvido e Carbono orgânico total</i>	86
8.3.4	<i>Análise de função discriminante</i>	89
8.4	Discussão	91
8.5	Conclusões	93
9	CONCLUSÕES GERAIS	97
	REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO GERAL

Rios intermitentes são ecossistemas que secam o seu fluxo parte do ano (DATRY *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2014; PEREZ *et al.*, 2020). Estes ambientes representam mais de 30 % dos rios no mundo, sendo presente principalmente em regiões áridas e semiáridas (LARNED *et al.*, 2010; DATRY *et al.*, 2014). Do ponto de vista ecológico, estes ambientes são importantes como abrigo de organismos, ciclagem de nutrientes e serviços ecossistêmicos (SKOULIKIS *et al.*, 2009; LARNED *et al.*, 2010; DATRY *et al.*, 2014; LEIGH *et al.*, 2015; ACUÑA *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2017).

Em estudos no campo da ecologia de rios, trabalhos com rios intermitentes são recentes (DATRY *et al.*, 2014; GOMES *et al.*, 2020). A falta de métodos capazes de mensurar as variáveis nesses ambientes, tem sido um dos entraves para o avanço das pesquisas antes do início do século XXI (DATRY *et al.*, 2014; DATRY *et al.*, 2016). A maioria dos trabalhos em rios intermitentes dão atenção para ecologia de populações e comunidades (QUEIROZ *et al.*, 2019; FARIAS *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2020; RODRIGUES FILHO *et al.*, 2020). Pouca atenção tem sido dada aos ciclos biogeoquímicos nos trabalhos envolvendo esses ecossistemas (ACUÑA *et al.*, 2017).

Por experimentar ciclos de umedecimento e secagem constantes, rios intermitentes também são importantes para compreender os ciclos biogeoquímicos (TZORAKI *et al.*, 2007; LILLEBO *et al.*, 2007; LARNED *et al.*, 2010; STEWARD *et al.*, 2012; DATRY *et al.*, 2014). A maioria das pesquisas acerca de ciclagem de nutrientes são voltadas para dois elementos que são limitantes para a produção primária em ecossistemas aquáticos: nitrogênio e fósforo. No caso do fósforo, os estudos se concentram mais no seu poder de eutrofização e dados causados por ações antrópicas (DA – PENG *et al.*, 2010; NÓBREGA *et al.*, 2014; CAVALCANTE *et al.*, 2018; HORPPILA, 2009; BARCELLOS *et al.*, 2019).

Os ciclos de umedecimentos e secagem em sedimentos podem ser a chave para o entendimento da dinâmica do fósforo e, conseqüentemente, inferir sobre dinâmica de ferro, acumulação de matéria orgânica, estruturação de habitats e mudanças climáticas. Este trabalho objetivou compreender a dinâmica do fósforo em rios intermitentes do ponto de vista temporal (sazonalidade) e espacial (dinâmica montante/jusante). A pergunta principal é a respeito de como os ciclos de umedecimento e secagem alteram a dinâmica do elemento ao longo dos ciclos hidrológicos e ao longo do rio.

2 PERGUNTA

Qual a relação entre os hidroperíodos com a disponibilidade, formas e quantidades de fósforo em rios intermitentes?

3 HIPÓTESES

1. As formas, quantidades e disponibilidade se alteram devido à forte influência da dinâmica de umidade e secagem proporcionado pela sazonalidade;
2. Essas formas diferem também ao longo do rio, tendo em vista o fluxo, solos, fontes e drenos do nutriente.

4 PREVISÕES

1. Devido ao intenso processo de intemperismo em climas tropicais, a maior parte do fósforo estará adsorvida a óxido - hidróxidos de ferro;
2. As frações relacionadas a matéria orgânica terão valores mais altos nos ciclos mais úmidos;
3. No período mais seco há uma menor disponibilidade do elemento.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O rio Cruxati é um afluente do rio mundaú. A bacia do rio mundaú compõe a bacia hidrográfica do litoral do Estado do Ceará (COGERH, 2012). Este curso de água ocupa uma área de aproximadamente 77 km de extensão, tendo sua nascente na serra da Ibiapaba e desaguando no rio mundaú (COGERH, 2012). Este rio tem como principal característica principal a intermitência.

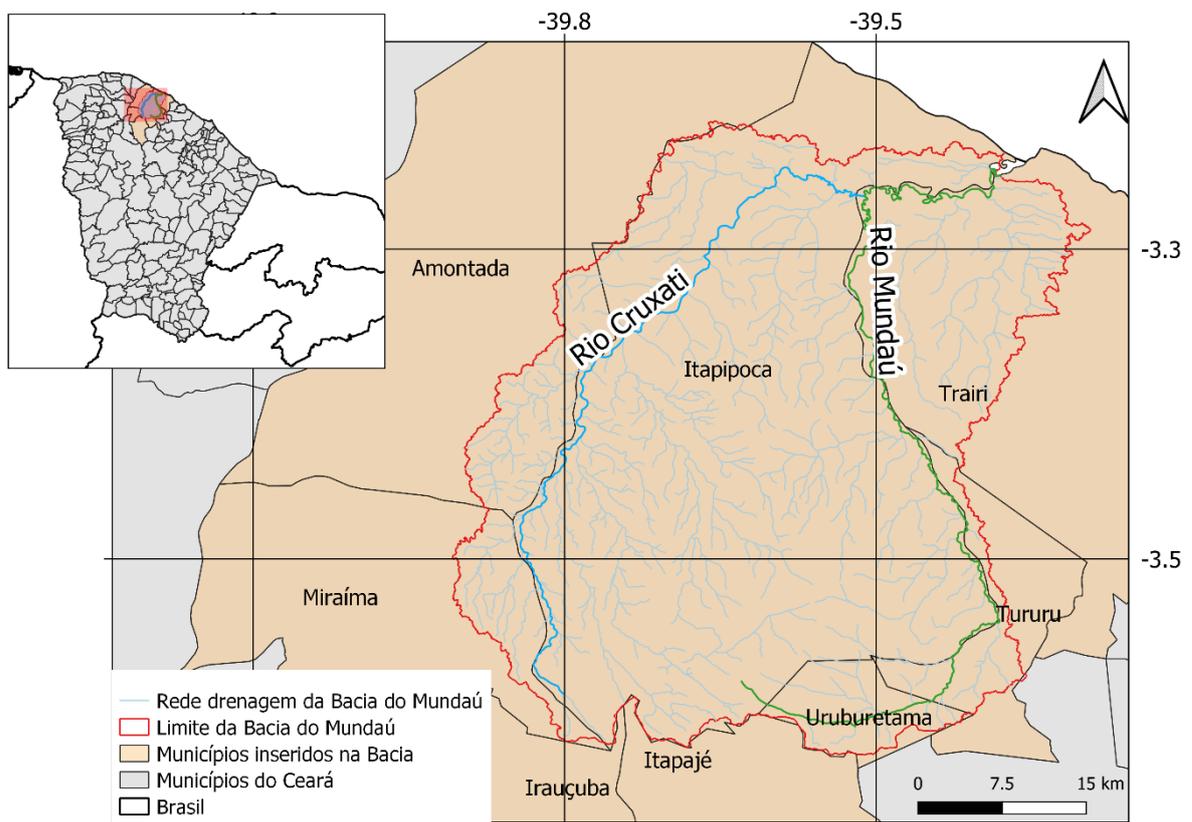
O clima é do tipo semiárido, com pluviosidade média de 800 a 1100 mm (FUNCEME, 2018) sendo precipitações mal distribuídas temporal e espacial (PORTO *et al.*, 2004). A vegetação é bem diversificada com presença do complexo vegetacional da zona litorânea, floresta subcaducifólia tropical pluvial (mata seca), floresta subperenifólia tropical pluvio-nebular (mata úmida), caatinga arbustiva densa e caatinga arbustiva aberta (FUCEME, 2018). A geologia predominante é terrenos predominantemente de rochas metamórficas e áreas de

rochas sedimentares, com classes de solos de Argissolos, Planossolos e Neossolos (FUNCEME, 2018).

O uso e ocupação do solo predomina, principalmente, floresta natural e atividades agropecuárias. A área em porcentagem equivale a 59,4 % de floresta natural; 0,18% de formação natural não florestal; 0,64% com área não vegetada; 0,79% com corpos de água; e, 39% ocupado com atividades agropecuárias. A figura 3 representa a distribuição desse uso e ocupação.

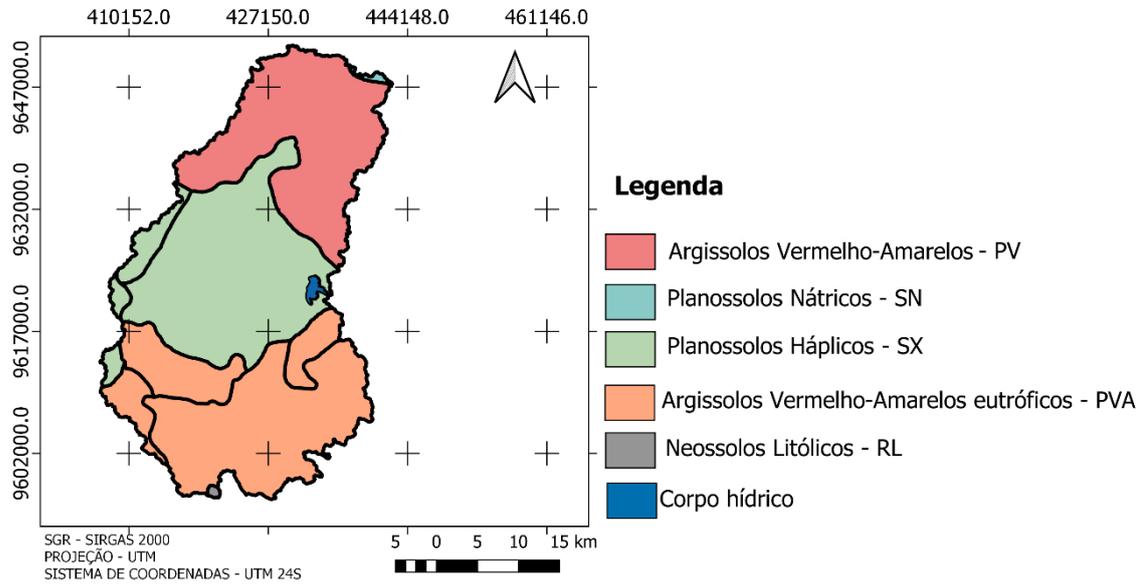
As figuras 1 e 2 mostram a delimitação da área de estudo e o mapa de solos, respectivamente.

Figura 1 – Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Cruxati



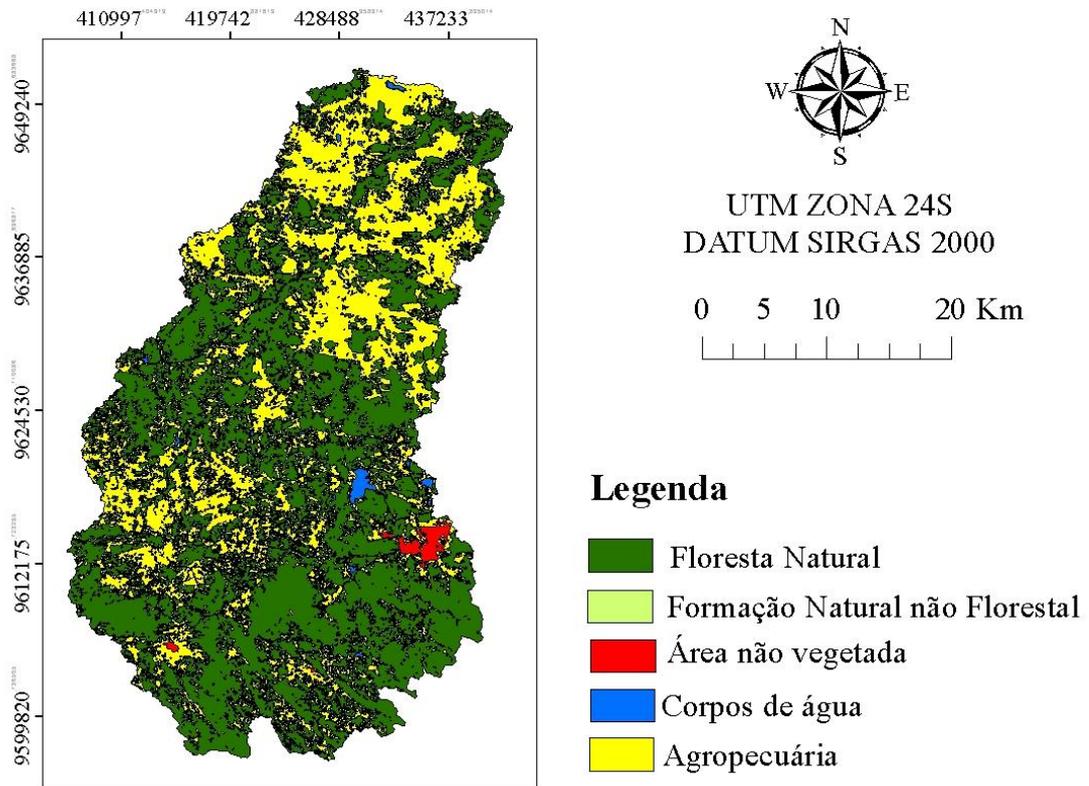
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 2 – Solos que compõem a bacia da área onde foram realizadas as coletas



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 3 – Mapa de uso e ocupação do solo



Fonte: elaborado pelo autor.

REFERÊNCIAS

ACUÑA, V.; DATRY, T.; MARSHALL, J.; DAHM, D. C. N.; GINEBREDA, A.; MCGREGOR, G.; SABATER, S.; TOCKNER, K.; PALMER, M. A. Why Should We Care About Temporary Waterways? **Science**, v. 343, p. 1080-1081, 2014.

ACUÑA, V.; HUNTER, M.; RUHÍ, A. Managing temporary streams and rivers as unique rather than second-class ecosystems. **Biological Conservation**, v. 211, p. 12-19, 2017.

BARCELLOS, Diego; QUEIROZ, Hermano Melo; NÓBREGA, Gabriel Nuto; OLIVEIRA FILHO, Romildo Lopes de; SANTAELLA, Sandra Tedde, OTERO, Xosé Luis, FERREIRA, Tiago Osório. Phosphorus enriched effluents increase eutrophication risks for mangrove systems in northeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 142, p. 58-63, 2019.

CAVALCANTE, H.; ARAÚJO, F.; NOYMA, N. P.; BECKER, V. Phosphorus fractionation in sediments of tropical semiarid reservoirs. **Science of the Total Environment**. v. 619, p. 1022-1029, 2018.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Bacias hidrográficas do Litoral Características Gerais**. Ceará – CE, 2012. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/>. Acesso em: 01 abr. 2021.

DA – PENG, Li; YOUG, Huang. Sedimentary phosphorus fractions and bioavailability as influenced by repeated sediment resuspension. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 958-962, 2010.

DATRY, T.; LARNED, S. T.; TOCKNER, K. Intermittent Rivers: A Challenge for Freshwater Ecology. **BioScience**, v. 64, n. 3, p. 229-235, 2014.

DATRY, T.; CORTI, R.; FOULQUIER, A.; SCHILLER, D. von; TOCKNER, K. One for All, All for One: A Global River Research Network. **Eos**, p. 02-08, 2016.

FARIAS, R.L; CARVALHO, L.K; MEDEIROS, E.S.F. Distribution of Chironomidae in a Semiarid Intermittent River of Brazil. **Neotrop. Entomol.**, v. 41, p. 450-460, 2012.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Projetos e mapas**. Ceará – CE, 2018. Disponível em: <http://www.funceme.br/>. Acesso em: 01 abr. 2021.

GOMES, Pattiyage I. A.; WAI, Onyx W. H.; DEHINI, Ganegoda K. Vegetation dynamics of ephemeral and perennial streams in mountainous headwater catchments. **J. Mt. Sci.**, v.17, n. 7, p.1684-1695, 2020.

HORPPILA, Jukka. Sediment nutrients, ecological status and restoration of lakes. **Water Research.**, n. 160, p.206-208, 2019.

LARNED, S. T.; DATRY, T.; ARSCOTT, D. B.; TOCKNER, K. Emerging concepts in temporary-river ecology. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 4, p. 717-738, 2010.

LEIGH, Catherine.; BOULTON, Andrew J.; COURTWRIGHT, Jennifer L.; FRITZ, Ken.; MAY, Christine L.; WALKER, Richard H.; DATRY, Thibault. Ecological research and management of intermittent rivers: an historical review and future directions. **Freshwater Biology**, p. 01-19, 2015.

LILLEBO, Ana Isabel; MORAIS, Manuela; GUILHERME, Pedro; FONSECA, Rita; SERAFIM, António; NEVES, Ramiro. Nutrient dynamics in Mediterranean temporary streams: A case study in Pardiela catchment (Degebe River, Portugal). **Limnologica**, v. 37, p. 337-348, 2007.

NÓBREGA, G. N.; OTERO, X. L.; MACÍAS, F.; FERREIRA, T. O. Phosphorus geochemistry in a Brazilian semiarid mangrove soil affected by shrimp farm effluents. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 9, p. 5749-5762, 2014.

OLIVEIRA, Jean Carlos Dantas; OLIVEIRA, Jonnata Fernades; MARQUES, Alexandre de Oliveira; PERETTI, Danielle; COSTA, Rodrigo Silva; NOVAES, José Luís Costa. Trophic ecology of detritivorous fish along a reservoir cascade in a tropical semi-arid region. **Ecology of Freshwater Fish**, p. 234-243, 2020.

PEREZ, Alondra B. A.; SANTOS, Camyla dos; SÁ, João H. M.; ARIENTI, Pedro F.; CHAFFE, Pedro L. B. Connectivity of Ephemeral and Intermittent Streams in a Subtropical Atlantic Forest Headwater Catchment. **Water**, v. 12, p. 01-15, 2020.

PORTO, Marcio Menezes; ANDRADE, Eunice Maia de; COSTA, Raimundo Nonato Távora; LEMOS FILHO, Luís de Aquino; MEIRELES, Marcos. Identificação de bacias hidrográficas com característica físicas similares no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 35, n. 1, p. 17-25, 2004.

QUEIROZ, Amanda Caroline Faustino; TERRA, Bianca de Freitas. Ecological drivers of fish metacommunities: Environmental and spatial factors surpass predation in structuring metacommunities of intermittent rivers. **Ecology of Freshwater Fish**, p. 145-155, 2019. DOI: 10.1111/eff.12502.

RODRIGUES FILHO, Carlos A.S; GURGEL-LOURNÇO, Ronaldo C.; RAMOS, Eliêta A.; NOVAES, José L.C.; GARCEZ, Danielle S.; COSTA, Rodrigo S.; SÁNCHEZ-BOTERO, Jorge I. Metacommunity organization in an intermittent river in Brazil: the importance of riverine networks for regional biodiversity. **Aquat. Ecol.**, v. 54, p. 145-161, 2020.

SKOULIKIS, Nikolaos; AMAXIDIS, Yorgos. Origin and dynamics of dissolved and particulate nutrients in a minimally disturbed Mediterranean river with intermittent flow. **Journal of Hydrology**, v. 373, p. 218-229, 2009.

STEWART, A. L.; Von Schiller, D.; TOCKNER, K.; MARSHALL, J. C.; BUNN, S. E. When the river runs dry: Human and ecological values of dry riverbeds. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 10, n. 4, p. 202-209, 2012.

TZORAKI, Ourania; NIKOLAIDIS, Nikolaos P.; AMAXIDIS, Yorgos; SKOULIKIDS, Nikolaos TH. In-Stream Biogeochemical Processes of a Temporary River. **Environ. Sci. Technol.**, v. 41, n. 4, p. 1225-1231, 2007.

6 RIOS INTERMITENTES: UMA ABORDAGEM CIENCIOMETRICA

RESUMO

Rios intermitentes são ecossistemas que passam a maior parte do ano seco em que suas características são determinadas por taxas de pluviosidade e evapotranspiração. São ambientes complexos, pois apresentam fases lóaticas, lênticas e até mesmo terrestres. Desempenham importante papel como abrigo de organismos, acúmulo de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e serviços ecossistêmicos. Mesmo assim, estudos que abordam esses espaços são recentes no campo da ecologia de água doce, se intensificando apenas após a década de 90. Esse trabalho objetivou descrever e interpretar as abordagens de pesquisas direcionadas para esses ecossistemas. Focou-se em partir de um panorama geral até adentrar ao tema ciclagem de nutrientes. Lançando mão da análise cienciométrica, destacamos a evolução das publicações ao longo dos anos, tipos de publicações, autores, países que estão trabalhando com a temática e as áreas de estudo. Além disso, interpretamos como as pesquisas recentes têm discutido o tema do ponto de vista ecológico. Conclui-se que a maioria dos trabalhos que abordam o tema são oriundos de pesquisas acerca de gestão de recursos hídricos, atividades agropecuárias e poluição. Essas abordagens são feitas de forma disciplinar não abrangendo a totalidade das funções e relação desses ambientes com ecossistemas terrestres. São necessários métodos que qualifiquem e quantifiquem esses ambientes na paisagem e suas influências nos organismos e ciclos biogeoquímicos.

Palavras-chave: ecossistemas aquáticos; cienciometria; ecologia de água doce; ciclagem de nutrientes.

ABSTRACT

Intermittent rivers are ecosystems that spend much of the year dry, having their characteristics determined by rainfall and evapotranspiration rates. They are complex environments because they have lotic, lentic, and even terrestrial phases. They play an important role as a shelter for organisms, accumulation of organic matter, nutrient cycling, and ecosystem services. Even so, studies that address these spaces are recent in the field of freshwater ecology, intensifying only after the 90s. This work aimed to describe and interpret research approaches to these ecosystems. It focused on starting from a general overview until entering the nutrient cycling theme. Using scientometric analysis, we highlight the evolution of publications over the years, types of publications, authors, countries that are working on the theme, and areas of study. Also, we interpret how recent research has discussed the theme from an ecological point of view. We concluded that the majority of the works that address the theme come from research on water resources management, agricultural activities, and pollution. These approaches are made in a disciplinary way and do not cover the totality of the functions and relationships of these environments with terrestrial ecosystems. Methods are needed to qualify and quantify these environments in the landscape and their influence on organisms and biogeochemical cycles.

Keywords: aquatic ecosystems; scientometric; freshwater ecology; nutrient cycling.

6.1 Introdução

Rios intermitentes são cursos de água que mantêm – se secos boa parte do ano (DATRY *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2014; PEREZ *et al.*, 2020). Estes rios são localizados em sua maioria, em regiões de clima predominante semiárido, mas não estão restritos a esses ambientes (LARNED *et al.*, 2010). Encontram – se distribuídos por várias paisagens ocupando mais de 30 % da extensão total de rios no globo (DATRY *et al.*, 2014). Estudos indicam que são facilmente afetados pelas mudanças no clima, uso da água e uso e ocupação da terra (LARNED *et al.*, 2010; ACUÑA *et al.*, 2014; DATRY, 2016).

Os estudos desses ecossistemas são recentes no campo da ecologia de água doce (DATRY *et al.*, 2014). Além disso é considerado como um campo multidisciplinar que envolve hidrologia, ciclos biogeoquímicos, dinâmica da matéria orgânica e gestão de recursos hídricos (ACUÑA *et al.*, 2017; PEREZ *et al.*, 2020). Sua complexidade está centrada no fato de serem ambientes lênticos, lóticos, que podem, dependendo do regime de chuvas, apresentar fase terrestre (DATRY *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2014; PEREZ *et al.*, 2020).

As pesquisas que focam nesses ambientes devem levar em consideração toda a paisagem, geologia, geomorfologia e comunidades de organismos que o circundam (LARNED *et al.*, 2010; PEREZ *et al.*, 2020). De acordo com o conceito proposto para rios contínuos, as propriedades físicas influenciam na liberação ou retenção de nutrientes, alteram o acúmulo de matéria orgânica, espécies de plantas e animais ao longo do rio (VANNOTE *et al.*, 1980). Entretanto, esse conceito não é totalmente válido e aplicável para rios intermitentes devido a interrupção do fluxo e eventos de cheias e seca ao longo dos anos (DATRY *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2014; PEREZ *et al.*, 2020).

Os fluxos de matéria e massa, dependem de ecossistemas adjacentes (CORTI e DATRY, 2013). Ao longo do tempo, os eventos em rios intermitentes podem contribuir para a evolução de características adaptativas de organismo (STEWART *et al.*, 2012; DATRY *et al.*, 2014). Além de se constituir em um refúgio para animais e plantas, estes cursos de águas têm suportado comunidades ribeirinhas através do provimento de diversos serviços ecossistêmicos (STEWART *et al.*, 2012; ACUÑA *et al.*, 2014). Entretanto, devido a mudanças ambientais que têm tornado estes eventos extremos, e pela pouca compressão ecológica desses locais, essas adaptações e serviços podem ser prejudicadas (LARNED *et al.*, 2010; DATRY *et al.*, 2014; LEIGH *et al.*, 2015; ACUÑA *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2017).

Compreender a função de ecossistemas e como estes ambientes interagem na dinâmica de nutrientes e vida dos organismos associados é uma das premissas da ecologia enquanto ciência (ODUM, 1969; TOWNSEND e BEGON, 2010; HARPER RICKLEFS e RELYEA, 2016). Assim, para compreender esses ecossistemas, é necessário sair da perspectiva linear que domina a ecologia de rios nos últimos 20 anos (BENDA *et al*, 2004). Os fenômenos de interação entre ambientes exigem métodos capazes de compreender a complexidade e de abordagens amplas da ciência. Os métodos usados para rios perenes não abordam a multidisciplinaridade que esses ambientes apresentam (DATRY *et al.*, 2014; DATRY *et al.*, 2016), sendo necessários integrar outras abordagens.

O objetivo do presente capítulo é descrever e interpretar as abordagens de pesquisas direcionadas para os ecossistemas de rios intermitentes e como estes estudos têm abordado os ciclos biogeoquímicos com atenção a pesquisas relacionadas ao fósforo. Lançando mão de uma análise bibliométrica, objetiva – se destacar a evolução das publicações. Para isso, mostrou – se a evolução das publicações ao longo dos anos, autores que publicam acerca do tema, países que estão trabalhando com a temática e periciais áreas de estudo que têm abordado o tema.

6.2 Material e métodos

Para esse trabalho foi utilizada a base Scopus como fonte de trabalhos a serem analisados. Foram utilizadas palavras chaves envolvendo desde conceitos gerais até buscas mais específicas do tema de trabalho. A busca dos dados ocorreu em três etapas usando os seguintes termos chave: I – “Intermittent rivers OR Intermittent watersheds OR Ephemeral streams”; II - “Intermittent rivers OR Intermittent watersheds OR Ephemeral streams AND “Nutrients dynamic OR Nutrients cycling”; e III - “Intermittent rivers OR Intermittent watersheds OR Ephemeral streams” AND “Nutrients dynamic OR Nutrints cycling” AND “Phosphorous”.

Partindo das considerações de Leigh e colaboradores (2015), Datry e colaboradores (2014), e Datry e colaboradores (2017), sobre as terminologias usadas em pesquisas com rios intermitentes, optou-se por considerar os seguintes termos como equivalentes (Tabela 1):

Tabela 1 - Palavras que foram consideradas equivalentes nos resultados da pesquisa

<i>Palavra</i>	<i>Equivalente</i>	<i>Equivalente</i>	<i>Equivalente</i>
<i>Arid</i>	Arid and semi-arid zones	Arid environments	Arid regions
<i>Anthropogenic</i>	Activities Anthropocene	Anthropogenic impact	
<i>Intermittent river</i>	Ephemeral rivers	Temporary river	
<i>Intermittent streams</i>	Ephemeral streams	Temporary streams	
<i>Drought</i>	Drying	Dry phase	
<i>Nutrients cycling</i>	Nutrients dynamics		
<i>Sediment deposition</i>	Sedimentation		
<i>Transport</i>	Transported		
<i>Ephemeral</i>	Intermittent		
<i>Aquatic ecosystems</i>	Aquatic ecology		

Fonte: elaborada pelo autor.

Para as análises e comparação dos dados delimitou – se como ponto de partida metoologia usado por (Zhi e Ji, 2012), (CUI Meng-qian *et al.*, 2019) e (Martíni *et al.*, 2020), como se segue. Termos como: Ano de publicação; países de publicação, áreas que o artigo foi publicado, palavras chave; palavras usadas no título, tipo de veículo de divulgação e periódico. O espaço temporal escolhido foi 1940 – 2019, escolha essa baseada na data da primeira publicação do tema, mostrando a evolução e as abordagens. Os dados foram analisados usando o Scopus® website, VOSViewer (Van Eck and Waltman, 2010), e R (R Core Team, 2019).

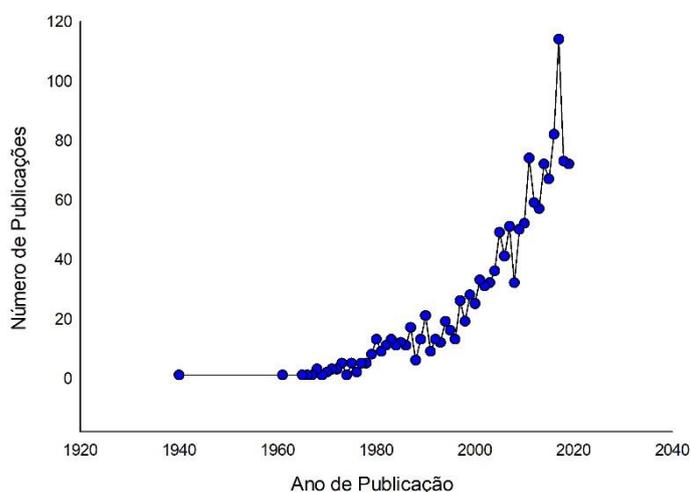
6.3 Resultados

6.3.1 Evolução das publicações e abordagens

Para a primeira busca foram encontrados 1.444 documentos, dando início com a primeira publicação datada de 1940. Na segunda busca, obteve – se um total de 17 documentos, em que as publicações envolvendo os termos de busca começaram no ano de 1997. Por fim, a última busca com os termos mais específicos, forneceu 9 documentos, em que as pesquisas envolvendo todos os termos datam dos últimos 18 anos.

As publicações envolvendo o tema iniciaram - se no ano de 1940, tendo um considerável aumento no número de publicações no início do século XXI. Entretanto, esse aumento foi seguido de queda sem um padrão linear ao longo dos anos subsequentes (Figura 4). Apesar do número considerável de publicações, as abordagens se mostraram diversas, como as áreas do conhecimento que têm tratado do tema

Figura 4 - Evolução das publicações, relacionados a rios intermitentes, ao longo dos anos (1940 – 2019)



Fonte: elaborado pelo autor.

As três principais áreas que têm abordado o tema em pesquisas (Tabela 2), são as ciências ambientais (764 publicações), ciências da terra (645 publicações) e agricultura e ciências biológicas (427 publicações). Ao se acrescentar os termos “Ciclagem de nutrientes” e “fósforo” às buscas, há um aumento nos resultados relacionados à área agricultura (Figuras 5.1 e 5.2), respectivamente.

Tabela 2. Áreas e quantidade de publicações com o tema rios intermitentes entre os anos de 1940-2019

<i>Área de Publicação</i>	<i>Número de publicações</i>
<i>Environmental Science</i>	764
<i>Earth and Planetary Sciences</i>	645
<i>Agricultural and Biological Sciences</i>	427
<i>Engineering</i>	117
<i>Social Sciences</i>	89
<i>Computer Science</i>	29
<i>Biochemistry, Genetics and Molecular Biology</i>	24
<i>Arts and Humanities</i>	21
<i>Mathematics</i>	17
<i>Energy</i>	13
<i>Decision Sciences</i>	9
<i>Immunology and Microbiology</i>	8
<i>Multidisciplinary</i>	8
<i>Chemical Engineering</i>	6
<i>Chemistry</i>	5
<i>Physics and Astronomy</i>	5
<i>Business, Management and Accounting</i>	4
<i>Medicine</i>	4
<i>Materials Science</i>	2
<i>Neuroscience</i>	2
<i>Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics</i>	2
<i>Veterinary</i>	1

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 5 - Porcentagem de representatividade das áreas do conhecimento com os termos de busca “Intermittent rivers” OR “Intermittent watersheds” OR “Ephemeral streams”

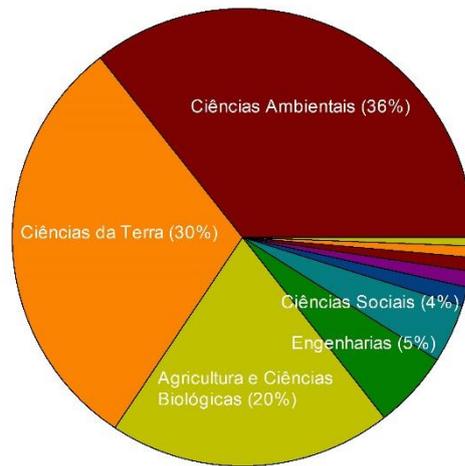


Figura 5.1 - Crescimento da área agricultura ao se acrescentar o termo “ciclagem de nutrientes”

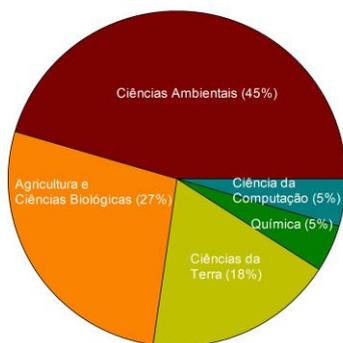
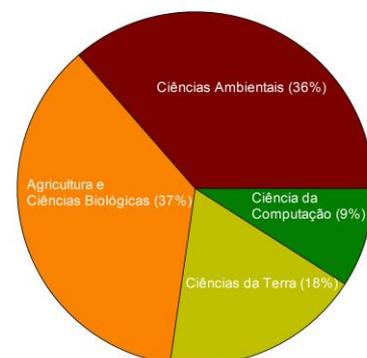


Figura 5.2 - Crescimento da área agricultura ao se acrescentar o termo “fósforo”

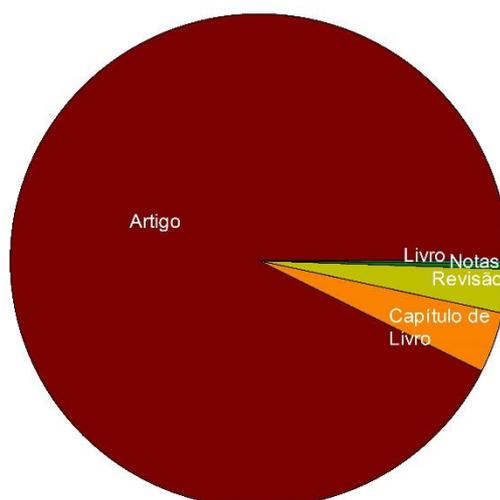


Fonte: elaborado pelo autor.

6.3.2 Formato das publicações

No geral, usando todos os termos de busca, a maioria das publicações são publicadas como artigo (Figura 6). Esse padrão se repetiu para todas buscas, diferenciando apenas em quantidades. As pesquisas envolvendo o tema ainda não são abordadas de forma interdisciplinar, concentrando – se em revistas mais específicas como Journal of Hidrology, Hydrological Processes e Geomorphology (Figura 7).

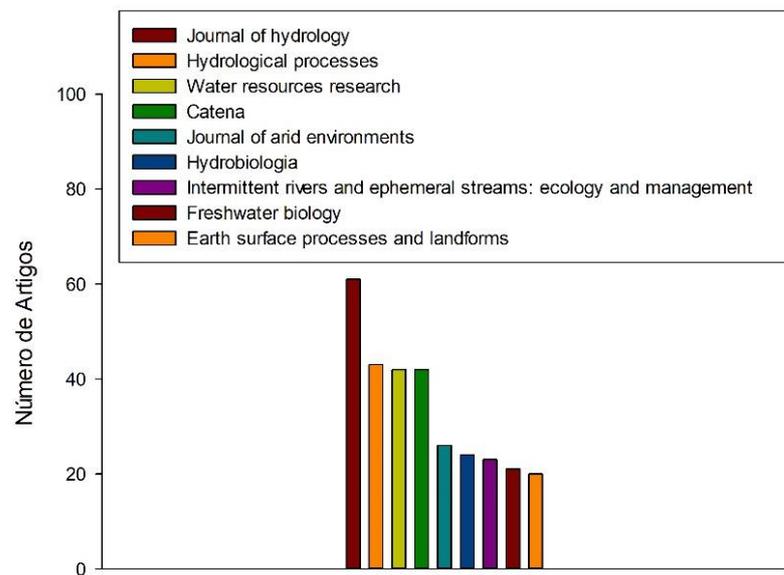
Figura 6 – Formatos das publicações (1940 – 2019)



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao se adicionar mais termos à busca, como “Nutrients dynamic OR Nutrients cycling” AND “Phosphorous”, o número de publicações se igualam, entretanto, a quantidade de artigos tiveram pouca expressividade (Tabela 3). A figura 7 apresenta os principais periódicos que abordam o tema no espaço temporal proposto. Na tabela 3, são apresentados os periódicos que publicaram trabalhos acerca do tema com abordagem na ciclagem de nutrientes.

Figura 7 - Principais jornais que tiveram no mínimo 20 publicações sobre o tema (1940-2019)



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Principais periódicos e publicações ao adicionar à busca os termos “ciclagem de nutrientes” e “fósforo”

<i>Periódico</i>	<i>Número de Publicações</i>
<i>Animal production Science</i>	1
<i>Aquatic living resources</i>	1
<i>Catena</i>	1
<i>Environmental modelling and software</i>	1
<i>Estuarine, coastal and shelf Science</i>	1
<i>Fresenius environmental bulletin</i>	1
<i>Hydrobiologia</i>	1
<i>Hydrological processes</i>	1
<i>Hydrological sciences jornal</i>	1
<i>Hydrology and management of forested wetlands - proceeding of the international conference</i>	1
<i>Intermittent rivers and ephemeral streams: ecology and management</i>	1
<i>Journal of environmental quality</i>	1
<i>Journal of hydrology</i>	1
<i>Limnologica</i>	1
<i>Marine chemistry</i>	1
<i>Oecologia</i>	1
<i>Wetlands</i>	1

Fonte: elaborada pelo autor.

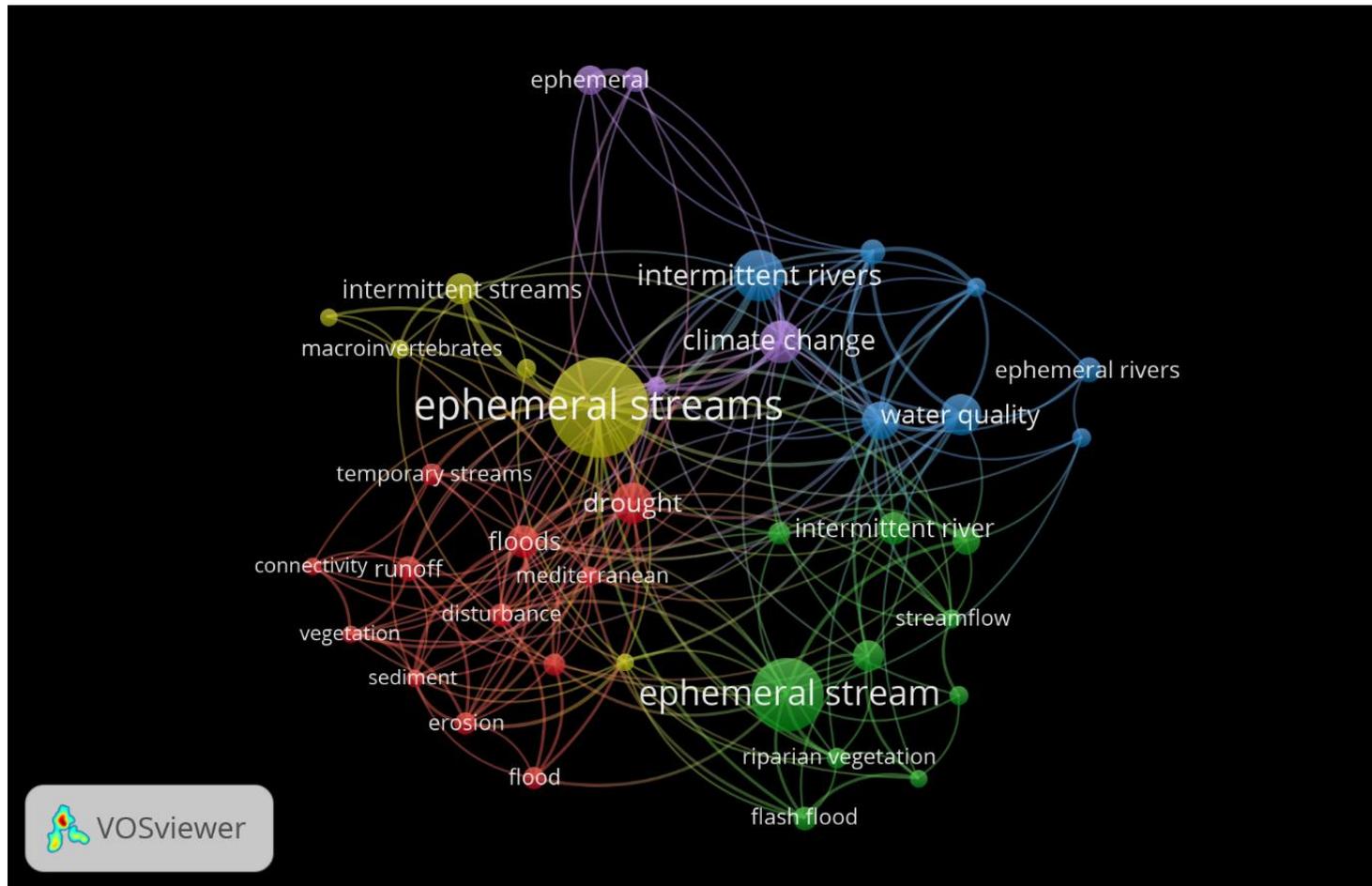
6.3.3 Termos de pesquisa mais frequentes, países e pesquisadores

Dentre os termos mais frequentes de pesquisa, observou-se que estão conectados ao estudo de rios intermitentes, os relacionados à “qualidade de água” e “mudanças climáticas” tiveram maior predominância. Em segundo grau de intensidade, vêm as pesquisas envolvendo “vegetação ripária”, “inundações” e “macroinvertebrados”. Por último, estão estudos que abordam temas sobre “vegetação”, “erosão”, “sedimentos”, “seca” e “perturbações” (Figura 8).

Em relação aos países notamos que os estudos se concentram em poucos lugares, e não estão ligados, diretamente, com as regiões semiáridas. Na escala temporal de 2006 a 2008, os Estados Unidos da América concentraram a maioria das pesquisas. Os restantes dos estudos foram desenvolvidos no Canadá, Israel e África do Sul. Já nos anos seguintes (2010 – 2012), outros países produziram um maior número de trabalhos. Austrália com maior intensidade, seguida por países como Espanha, Grécia, Brasil, México, entre outros ganharam expressão nesses últimos anos (Figura 9).

Ao tentar identificar os pesquisadores e grupos que mais produziram e estão produzindo conhecimento sobre esses ecossistemas, observa – se concentração da produção em alguns poucos grupos (Figura 10). Dentre os autores com mais estudos nos últimos anos (2015 – 2018), estão Datry, Bonada e Leigh. As redes de conexões entre estes pesquisadores também são relativamente restritas.

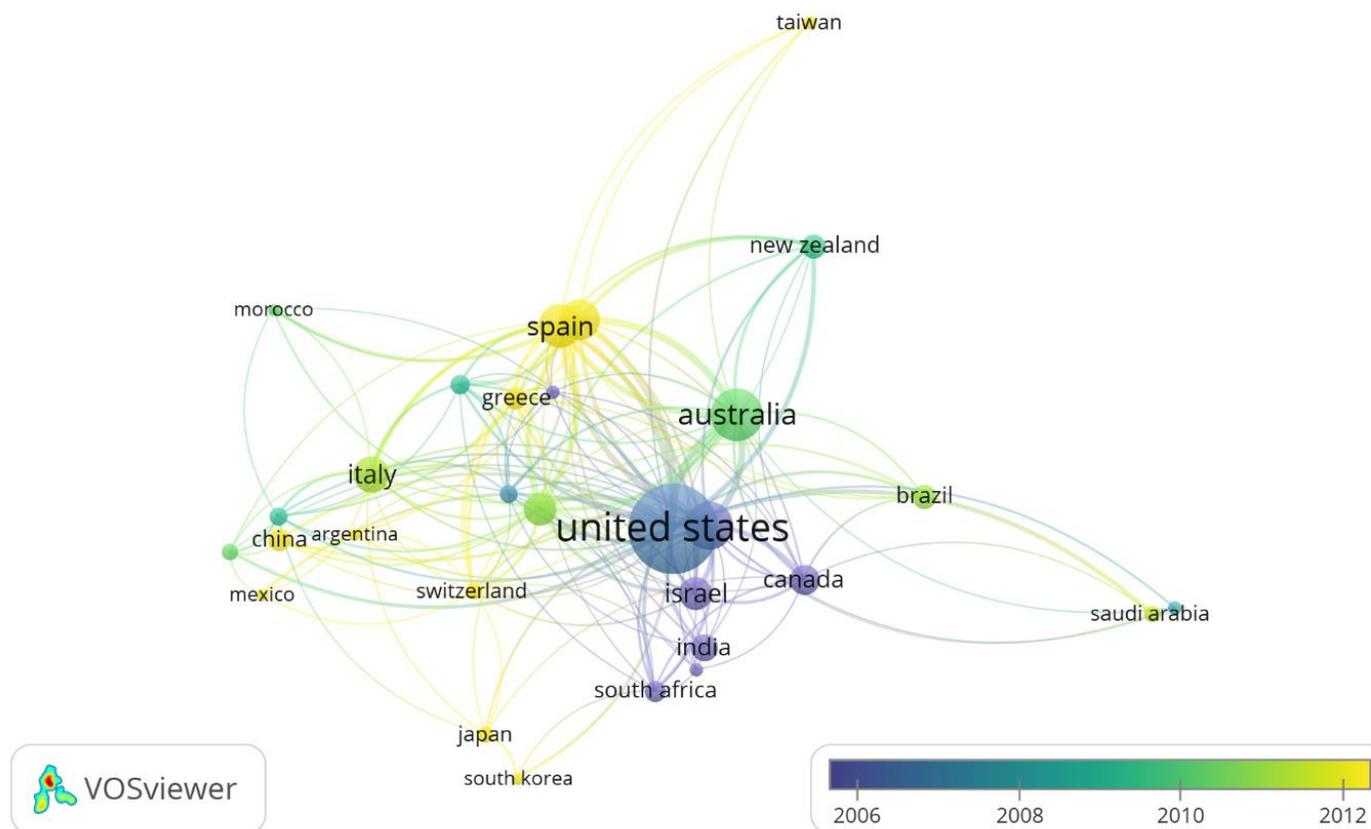
Figura 8 - Principais termos (frequência de mínima de 10 vezes) citados pelos autores quando o tema “rios intermitentes” foi abordado



A proporção que o tamanho do círculo aumenta representa a frequência em que os termos se repetem. As linhas de mesma cor indicam a conexão existente entre os termos.

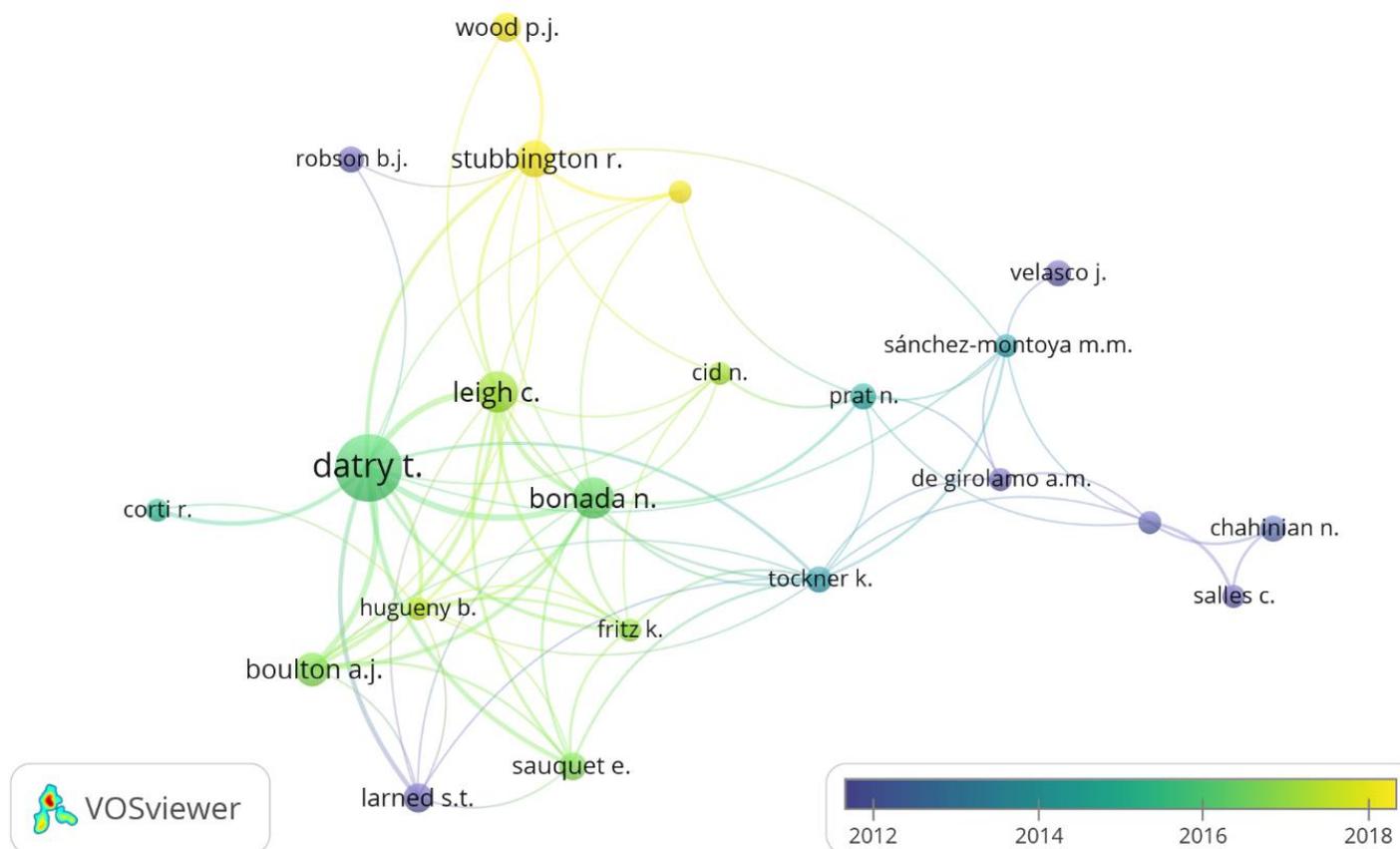
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 9 - Principais países onde o tema foi abordado entre os anos de 2006 e 2012



A proporção que o tamanho do círculo aumenta representa a frequência em que os termos se repetem. As linhas de mesma cor indicam a conexão existente entre os termos.
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 10 - Principais autores que pesquisaram o tema nos últimos anos (2012 – 2018)



A proporção que o tamanho do círculo aumenta representa a frequência em que os termos se repetem. As linhas de mesma cor indicam a conexão existente entre os termos.

Fonte: elaborado pelo autor.

6.4 Discussão

Os dados evidenciam que apesar de haver uma publicação nos anos 40, a tendência de aumento de publicações inicia-se apenas nos anos 60. Os estudos pioneiros foram publicados na década de 50, 60 e 70 mas não foram suficientes para alavancar os estudos nesse campo (DATRY *et al.*, 2014). Já na década de 80 Vannote e colaboradores definiram o conceito de rio contínuo (VANNOTE *et al.*, 1980).

Na teoria do rio contínuo, os fluxos de matéria e energia, assim como as comunidades bentônicas são explicadas por gradientes físicos, como a geomorfologia. O conceito de rio contínuo é baseado na geomorfologia fluvial (BENDA *et al.*, 2014). Essa abordagem sugere, entretanto, poucas contribuições teóricas para o conceito de rios intermitentes. Esses últimos, devido às condições hidrológicas, afetam todos os processos ecológicos (DATRY *et al.*, 2014). Isso explica a pouca evolução das pesquisas antes dos anos 2000.

Leigh e colaboradores (2015) estudando a evolução das pesquisas sobre rios intermitentes afirmaram que essas tiveram expressivo aumento na década de 90. Isso foi constatado, mas, percebemos um pico nos anos 2000. Esse aumento está relacionado com o início das pesquisas acerca dos ciclos biogeoquímicos, hidrologia e serviços ecossistêmicos que datam dessa década (LEIGH, *et al.*, 2015). Há poucas publicações de livros textos sobre o assunto. Isso provavelmente é um reflexo do pouco tempo que esses ambientes são estudados no campo da ecologia de água doce (DATRY *et al.*, 2014).

Nos últimos 20 anos a ecologia de rios intermitentes tem emergido como um campo multidisciplinar (DATRY *et al.*, 2014). Entretanto, mesmo com a emergência de pesquisas multidisciplinares, as abordagens utilizadas nos artigos dos últimos 20 anos ainda estão restritas e unidisciplinares. Essa afirmação fica evidente quando se observa que a maioria dos trabalhos estão concentrados em poucas revistas. Esse fato é explicado, de acordo com Benda e colaboradores (2014), a uma abordagem linear desse tema. Na maioria dos casos, esses ecossistemas são considerados como ecossistemas secundários (ACUÑA *et al.*, 2017). Outra questão é a falta de métodos capazes de integrar as áreas para a abordagem desses ecossistemas (DATRY *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2017; PEREZ *et al.*, 2020).

A maior porcentagem de pesquisa relacionada a área das ciências ambientais e agricultura, quando se acrescenta o termo fósforo, se deve provavelmente à pressão antrópica, em especial à poluição de ecossistemas aquáticos com despejo de dejetos, uso e ocupação do solo e atividades agropecuárias (ACUÑA *et al.*, 2014; DATRY *et al.*, 2014; LEIGH, *et al.*, 2015). O aumento relacionado à agricultura, quando se adiciona o termo fósforo, pode ser relacionado com as pesquisas envolvendo adubação fosfatada utilizada em áreas de cultivo limítrofes aos rios intermitentes utilizada em áreas de cultivo limítrofes aos rios intermitentes

Os termos que mais se destacam nas buscas, mostram que as análises ainda estão muito ligadas à gestão de recursos hídricos. Os países que se destacam são ambientes com zonas climáticas mais áridas, principalmente nos últimos anos. Isso indica que as pesquisas estão adentrando em ambientes que mais sofrem com eventos de secas e que exige uma compreensão melhor sobre a dinâmica do ecossistema de rios intermitentes. A predominância de poucos pesquisadores no tema, traz à tona a necessidade de um caráter mais interdisciplinar nas abordagens, como também, mostra as lacunas que podem ser ainda exploradas por ecólogos e demais cientistas.

6.5 Conclusões

A maioria dos trabalhos que abordam o tema são oriundos de pesquisas acerca de gestão de recursos hídricos, atividades agropecuárias e poluição. Há poucas pesquisas que tratem de quantificação e caracterização desses ecossistemas na paisagem, como abrigo para organismos e suas possíveis influências para a dinâmica de nutrientes. A maioria das abordagens são feitas de forma unidisciplinar, e dessa forma, não são capazes de compreender a totalidade de funções desses ambientes.

REFERÊNCIAS

- ACUÑA, V.; DATRY, T.; MARSHALL, J.; DAHM, D. C. N.; GINEBRED, A.; MCGREGOR, G.; SABATER, S.; TOCKNER, K.; PALMER, M. A. Why Should We Care About Temporary Waterways? **Science**, v. 343, p. 1080-1081, 2014.
- ACUÑA, V.; HUNTER, M.; RUHÍ, A. Managing temporary streams and rivers as unique rather than second-class ecosystems. **Biological Conservation**, v. 211, p. 12-19, 2017.
- BENDA, Lee; POFF, N. Leroy; MILLER, Daniel; DUNNE, Thomas; REEVES, Gordon; PESS, George; POLLOCK, Michael. The Network Dynamics Hypothesis: How Channel Networks Structure Riverine Habitats. **Bioscience**, v. 54, n. 5, p. 413-427, 2004.
- CORTI, Roland; DATRY, Thibault. Drying of a temperate, intermittent river has little effect on adjacent riparian arthropod communities. **Freshwater Biology**, p. 01-13, 2013.
- CUI Meng-qian, WU Chuan, JIANG Xing-xing, LIU Zi-yu, XUE Sheng-guo. Bibliometric analysis of research on soil arsenic during 2005-2016 [J]. **Journal of Central South University**, 26(2): 479–488, 2019.
- DATRY, T.; LARNED, S. T.; TOCKNER, K. Intermittent Rivers: A Challenge for Freshwater Ecology. **BioScience**, v. 64, n. 3, p. 229-235, 2014.
- DATRY, T.; CORTI, R.; FOULQUIER, A.; SCHILLER, D. von; TOCKNER, K. One for All, All for One: A Global River Research Network. **Eos**, p. 02-08, 2016.
- DATRY, Thibault; BONADA, Núria; BOULTON, Andrew (Org.). **Intermittent rivers and ephemeral streams: ecology and management**. Elsevier, 2017.
- LARNED, S. T.; DATRY, T.; ARSCOTT, D. B.; TOCKNER, K. Emerging concepts in temporary-river ecology. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 4, p. 717-738, 2010.
- LEIGH, Catherine.; BOULTON, Andrew J.; COURTWRIGHT, Jennifer L.; FRITZ, Ken.; MAY, Christine L.; WALKER, Richard H.; DATRY, Thibault. Ecological research and management of intermittent rivers: an historical review and future directions. **Freshwater Biology**, p. 01-19, 2015.
- MARTÍNI, Aline. F.; VALANI, Gustavo P.; STUCCHI; BOVI, Renata C.; SILVA, Laura F. S.; COOPER, Miguel. Is soil quality a concern in sugarcane cultivation? A bibliometric review. **Soil & Tillage Research**, n. 204, p. 01-08, 2020.
- ODUM, Eugene P. The strategy of ecosystem development. **Science**, v. 164, n. 3877, p. 262-270, 1969.

PEREZ, Alondra B. A.; SANTOS, Camyla dos; SÁ, João H. M.; ARIENTI, Pedro F.; CHAFFE, Pedro L. B. Connectivity of Ephemeral and Intermittent Streams in a Subtropical Atlantic Forest Headwater Catchment. **Water**, v. 12, p. 01-15, 2020.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. 2019.

RICKLEFS, Robert; RELYEA, Rick. **A economia da natureza**. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

STEWART, A. L.; Von Schiller, D.; TOCKNER, K.; MARSHALL, J. C.; BUNN, S. E. When the river runs dry: Human and ecological values of dry riverbeds. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 10, n. 4, p. 202-209, 2012.

TOWNSEND, Colin R; BEGON, Michael; HARPER, John L. **Fundamentos em ecologia**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

VAN ECK, N.J; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, p. 523-538, 2010.

VANNOTE, R.; MINSHALL, G.; CUMMINS, K.; SEDELL, J.; CRUSHING, C. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980.

WILLIS, A. J. The ecosystem: an evolving concept viewed historically. **Functional ecology**, n. 11, p. 268-271, 1997.

Zhi, W., Ji, G. Constructed wetlands, 1991-2011: A review of research development, current trends, and future directions. **Sci. Total Environ.**, 441: 19-27, 2012.

7 DINÂMICA DO FÓSFORO EM RIOS INTERMITENTES: INFLUÊNCIA DOS CICLOS DE UMEDECIMENTO E SECAGEM

RESUMO

Estudos têm sugerido que ciclos de umedecimento e secagem podem alterar as quantidades e especiação do Fósforo. Entretanto, a maioria das pesquisas são realizadas em laboratórios devido à dificuldade de delimitar esses períodos. Além disso, têm sugerido resultados diversos. Rios intermitentes têm sido mencionados como ambientes importantes na ciclagem de nutrientes, além de habitats estruturadores na dinâmica de populações e comunidades. O objetivo desse estudo foi investigar como os ciclos de umedecimento e secagem influenciam na dinâmica do elemento em rios intermitentes. O estudo foi desenvolvido no rio Cruxati, localizado na bacia hidrográfica do litoral do Ceará. As coletas foram realizadas em três hidroperíodos: Dry, Post dry e Pre dry. Essa denominação foi com base na literatura sobre o tema e condições climáticas locais. Pontos foram mapeados no rio e destes foram escolhidos três principais que representam a parte mais a montante, o centro e a jusante do rio. O fósforo foi fracionado em: P trocável (F1); P adsorvido aos óxidos – hidróxidos de ferro (F2); P associado aos filossilicatos e hidróxidos de alumínio (F3a); P associado a ácidos húmicos (F3b); P Carbonatos/apatita (F4); e, P associado à matéria orgânica refratária (F5). O intuito era obter qual fração tem maior domínio, além de comparar os valores entre os hidroperíodos. Análise granulométrica, mineralogia, extração de ferro, pH, eh, condutividade elétrica, fósforo em água, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total foram mensuradas para apoiar na discussão. A estatística foi teste de comparação de médias para dados não paramétricos Kruskal-Wallis com significância definida para p-valor < 0.05 e análise de função discriminante para separar os hidroperíodos e obter qual das frações de fósforo ajudaria a compreender melhor a separação. As frações que controlam a dinâmica de P em rios intermitentes são P adsorvido aos óxidos – hidróxidos de ferro, P associado aos filossilicatos e hidróxidos de alumínio e P associado à matéria orgânica refratária. A hipótese que formas, quantidades e disponibilidade se alterariam devido à forte influência da dinâmica de umidade foi parcialmente confirmada, na verdade, a dinâmica de P em rios intermitentes é fortemente influenciada pela matriz mineral do solo. Conclui-se que a dinâmica do elemento não está apenas atrelada aos eventos de umedecimento e secagem, mas também a mineralogia do ambiente, fontes do elemento, quantidades de ferro e

conteúdo de matéria orgânica. As quantidades associadas a matéria orgânica refratária, assim como as de carbono orgânico, indicam esses ambientes como fortes estabilizadores de frações orgânicas, e dessa forma, importante em relação às mudanças climáticas.

Palavras-chave: ecossistemas aquáticos; sedimentos; mineralogia; óxidos-hidróxidos de ferro.

ABSTRACT

Studies have suggested that wetting and drying cycles can alter phosphorus amounts and speciation. However, most research is carried out in laboratories due to the difficulty of delimiting these periods. Furthermore, they have suggested different results. Intermittent rivers have been mentioned as important environments in nutrient cycling, in addition to structuring habitats in the dynamics of populations and communities. This study aimed to investigate how the wetting and drying cycles influence the element dynamics in intermittent rivers. The study was carried out in the Cruxati river, located in the watershed off the coast of Ceará. The collects were carried out in three hydroperiods: Dry, Post dry, and Pre dry. This designation was based on the literature on the topic and local climatic conditions. Points were mapped on the river and from these three main points were chosen that represented the most upstream, center, and downstream part of the river. Phosphorus was fractionated into exchangeable P (F1); P Oxyhydroxides (iron), (F2); P associated with phyllosilicates and hydroxides (Al) (F3a); P associated with humic acids (F3b); P Carbonates/apatite (F4); and, P associated with refractory organic matter (F5). The aim was to obtain which fraction has the greatest domain, in addition to comparing the values between hydroperiods. Particle size analysis, mineralogy, iron extraction, pH, eh, electrical conductivity, phosphorus in water, dissolved oxygen, and total organic carbon were measured to support the discussion. The statistic was a mean comparison test for non-parametric Kruskal-Wallis data with significance set at $p\text{-value} < 0.05$ and discriminant function analysis to separate the hydroperiods and obtain which of the phosphorus fractions would help to better understand the separation. The fractions that control the dynamics of P in intermittent rivers are P Oxyhydroxides (iron), P associated with phyllosilicates and hydroxides (Al), and P associated with refractory organic matter. The hypothesis that forms, quantities, and availability would change due to the strong influence of the moisture dynamics was partially confirmed the P dynamics in intermittent rivers are strongly influenced by the soil mineral matrix. It is concluded that the element dynamics is not only linked to the wetting and drying events but also the environmental mineralogy, element sources, amounts of iron, and organic matter content. The quantities associated with refractory organic matter, as well as organic carbon, indicate these environments as strong stabilizers of organic fractions, and thus, important about climate changes.

Keywords: aquatic ecosystems; sediments; mineralogy; oxyhydroxides (iron).

7.1 Introdução

O fósforo é um nutriente limitante para produção primária em ecossistemas aquáticos (MARTINS, *et al.*, 2007; ATTYGALLA *et al.*, 2016; O'CONNELL *et al.*, 2018; HORPPILA, 2009). Sua dinâmica é complexa, pois sua disponibilidade depende de fontes externas e da relação com outros elementos, principalmente o ferro (DARKE *et al.*, 2000; ATTYGALLA *et al.*, 2016; O'CONNELL *et al.*, 2018; CAVALCANTE *et al.*, 2018; KONG *et al.*, 2021). Mesmo sendo fundamental para manutenção da vida em ecossistemas terrestres e aquáticos, quando presente em elevadas concentrações, em especial nos corpos hídricos, pode causar eutrofização nesses ambientes (DA – PENG *et al.*, 2010; NÓBREGA *et al.*, 2014; CAVALCANTE *et al.*, 2018; HORPPILA, 2009; BARCELLOS *et al.*, 2019). Entretanto, pouco se tem dito a respeito da sua função e dinâmica em ecossistemas preservados.

Comparado a outros elementos, como o nitrogênio por exemplo, ciclo de fósforo apresenta outras características. Seu ciclo é considerado terrestre, pois não passa pela atmosfera, dependendo então, de fatores como pH, atividade microbiana e relação com outros íons, principalmente como o ferro. Como afirmou Esteves (2011), em seus estudos imunológicos, em sistemas aquáticos esse elemento pode ser retido nos sedimentos devido a concentração de oxigênio e elementos como ferro e sulfato. Em ecossistemas aquáticos as frações orgânicas, precisamente, são importantes pois serviriam como compartimentos para fornecer o nutriente para plantas e outros organismos (O'CONNELL *et al.*, 2018). Compartimentos esses ainda mais imponentes em rios intermitentes em períodos mais críticos (fase mais seca)

Nesse sentido, os ciclos de umedecimentos e secagem, sob os quais estão submetidos os sedimentos fluviais podem ser a chave para o entendimento da dinâmica de nutrientes em rios intermitentes, uma vez que podem afetar disponibilidade de fósforo, tendo em vista que, os sedimentos podem funcionar com um compartimento de estoque para o elemento (DA – PENG *et al.*, 2010; ATTYGALLA *et al.*, 2016; CAVALCANTE *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2018). Esses ciclos, de umedecimento e secagem em sedimentos, têm sido estudados em simulações em laboratórios, assim como a literatura sobre o assunto, devido sua complexidade (BALDWIN *et al.*, 2000b; SCHONBRUNNER *et al.*, 2012; ATTYGALLA *et al.*, 2016). A falta de capacidade de

predição e as definições dos ciclos de “seco” e “úmido” tem sido um dos motivos de poucos estudos em campo (HUMPHRIES *et al.*, 2003).

Estudos acerca da liberação de fósforo em relação aos ciclos “úmidos” e “secos” ainda são discrepantes. Schonbrunner *et al.* (2012), fazendo testes com secagem e re-inundação de sedimentos, controlados em laboratório, indicaram que o grau de secagem é um fator determinante no controle de liberação do fósforo nos sedimentos, por exemplo. Segundo esses autores, quando reconectado o fluxo de água há liberação de fósforo que variam de leves a altas (SCHONBRUNNER *et al.*, 2012). Por outro lado, de acordo com Attygalla *et al.* (2006), períodos de secas severas têm impacto sobre a teores de do fósforo trocável (prontamente disponível) em sedimentos. Em resultados obtidos a partir de estudos experimentais em laboratório esses autores, observaram aumento nos teores de fósforo trocável após o processo de secagem e posterior umedecimento. Entretanto, as outras formas de fósforo não disponíveis associadas a minerais não tiveram variações significativas (ATTYGALLA *et al.*, 2016). Nesse sentido, a disponibilidade de fósforo não está atrelada apenas aos ciclos, mas também com o controle exercido pela associação de fósforo com fases minerais como, fósforo retido em óxidos de ferro e fases orgânicas tais como fósforo orgânico (BALDWIN *et al.*, 2000a; 2000b).

Estudos recentes reportam que os eventos de secagem diminuíram a quantidade de fósforo orgânico, ou seja, atuam no processo de mineralização de fósforo orgânico (O’CONNELL *et al.*, 2018). Além da secagem, fatores biológicos podem, de alguma forma, influenciar essas mudanças em relação a quantidades (KONG *et al.*, 2021). Os resultados ainda são poucos compreendido, pois essa liberação também depende de variáveis como pH, Eh e quantidades de matéria orgânica (KIM *et al.*, 2016).

Os rios intermitentes são ecossistemas que desempenham importante papel nos ciclos biogeoquímicos (TZORAKI *et al.*, 2007; LILLEBO *et al.*, 2007; LARNED *et al.*, 2010; STEWARD *et al.*, 2012; DATRY *et al.*, 2014). Entretanto, têm recebido pouca atenção (ACUÑA *et al.*, 2017). Uma das explicações para poucas pesquisas nesses ecossistemas pode ser devido a estudos desses ambientes serem recentes no campo da ecologia doce, por isso esse papel tem sido pouco explorado (GOMES *et al.*, 2020).

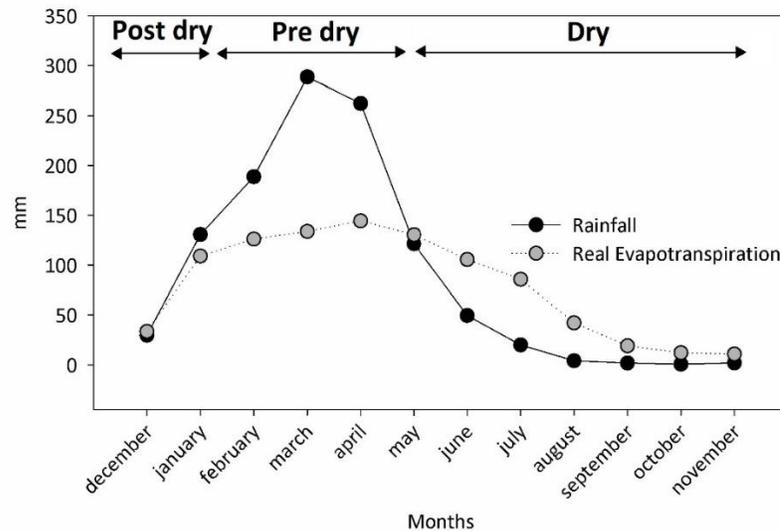
O objetivo desse capítulo foi investigar como os ciclos de umedecimento e secagem influenciam na dinâmica do elemento P fósforo em rios intermitentes. A hipótese de capítulo era que as formas, quantidades e disponibilidade do elemento se alterariam devido à forte influência da dinâmica de umidade e secagem proporcionado pela sazonalidade.

7.2 Material e métodos

7.2.1 Amostragem

As coletas foram realizadas em três hidroperíodos denominados: Dry (Coletas de outubro e novembro de 2018); Pre dry (Coletadas em julho de 2019) e; Post dry (Coletadas em janeiro de 2020). As fases foram adaptadas do modelo teórico proposto para estudos de rios intermitentes (DATRY *et al*, 2014; DATRY *et al*, 2016; DATRY *et al*, 2017; LARNED *et al.*, 2010), adaptação essa, feita de acordo com as características climáticas da região. Essas separações de fases e amostragem acompanham a distribuição da pluviosidade e evapotranspiração (Figura 11).

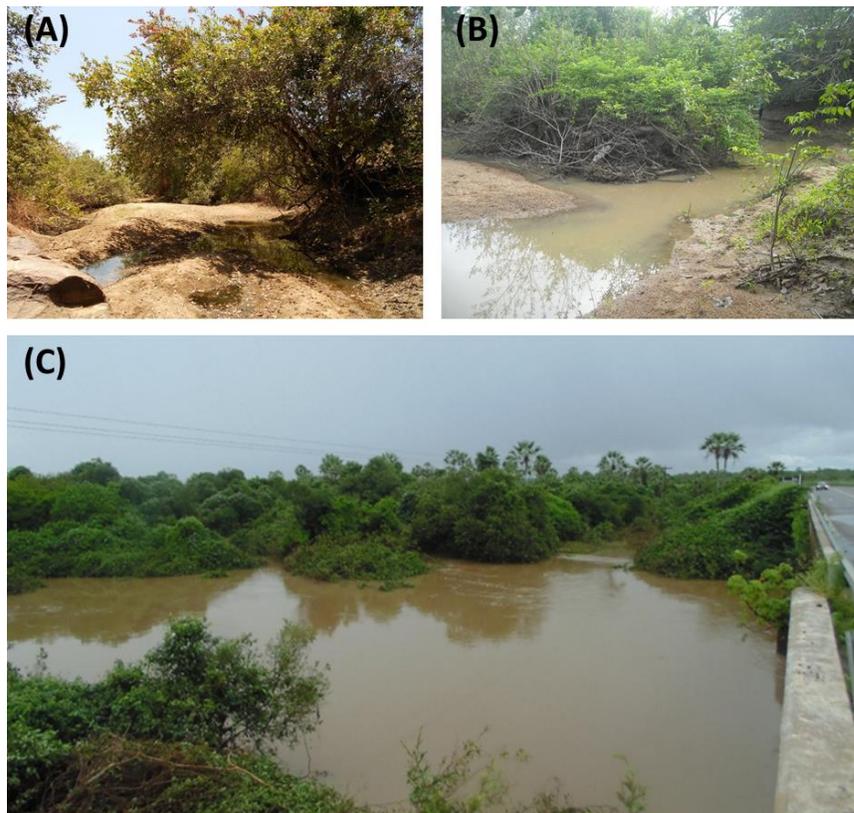
Figura 11 – Distribuição pluviométrica e evapotranspiração ao longo do ano na região onde a pesquisa foi desenvolvida



Fonte: elaborado pelo autor.

Na fase dry o fluxo de água cessa, e o rio seca totalmente em vários trechos. Esse período tem predominância na maior parte do ano. Com a chegada das chuvas, no início do ano, forma-se poças de água que se conectam rapidamente devido a intensidade de chuvas nesse período. Essa fase é denominada como post dry. Na fase pre dry o rio tem maior volume de água e fluxo aumentado de água constante, sendo considerada a fase cheia do rio. As imagens dos períodos são representadas na figura 12.

Figura 12 – Fases hidrológicas de um rio intermitente

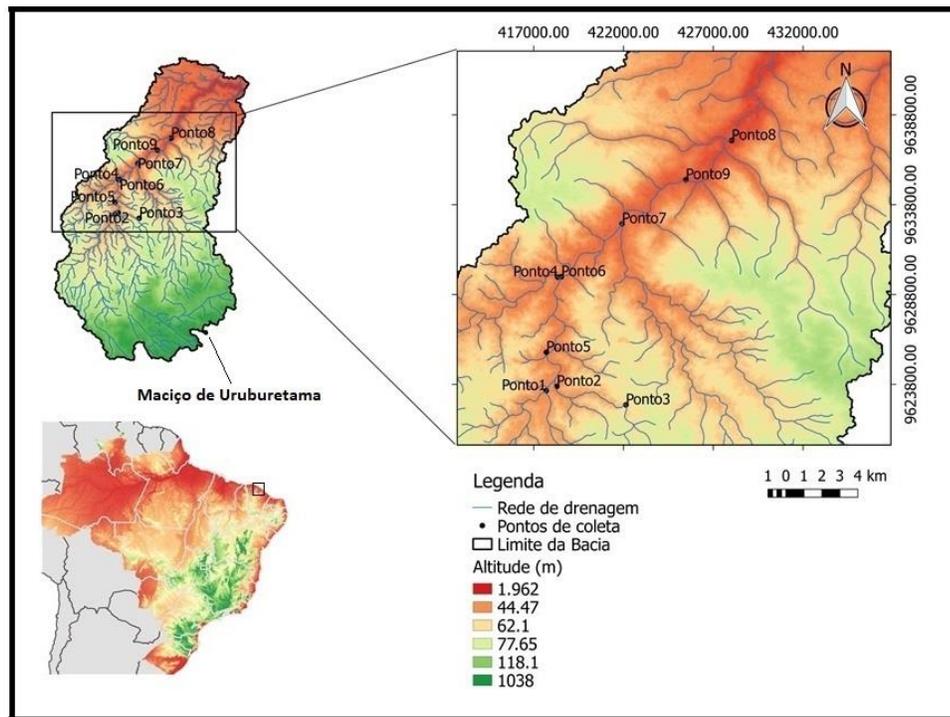


A fase dry é a fase mais duradoura (A) e sua principal característica é a interrupção do fluxo, chegando a secar em muitos pontos do rio. A post dry (B) é um período intermediário, ocorrendo no início do ano. As chuvas iniciais formam poças que conectam rapidamente devido a incidência de chuvas nesse período. É a fase mais curta. Na pre dry há fluxo de água (C), ou seja, esse período é referente a fase cheia do rio.

Fonte: fotos da pesquisa.

Para as coletas de sedimentos, foram escolhidos três pontos ao longo do rio, de acordo com o gradiente do relevo, são eles: ponto alto, ponto médio, e, o ponto mais baixo do rio (Figura 13). Cada ponto tinha uma delimitação de 200 m de extensão onde foram coletadas amostras em 0,0 m, 100 m e 200 m, nas profundidades de 0-3 cm, 3-6 cm e 6-9 cm. Os sedimentos em cada ponto foram coletados na margem esquerda, margem direita e centro da calha do rio, utilizando tubos de policarbonato (0.05 m de diâmetro interno e 0.5 m de comprimento) acoplados a um amostrador de sedimentos (Cole Parmer Instrument). Os valores de pH e Eh foram mensurados para cada profundidade utilizando um eletrodo de vidro calibrado com padrões de pH de 4,0 e 7 e eletrodo de platina, respectivamente. Amostras de água foram coletadas, armazenadas em baixa temperatura e, posteriormente, realizou-se a determinação dos teores de fósforo. Medidas de pH em água, seguindo o mesmo delineamento, foram medidas com o uso de uma sonda multipamétrica (YSI 7000).

Figura 13 – Delimitação dos pontos de coleta



A figura posta a correspondência dos pontos de coleta. Ponto alto (ponto 1); Ponto médio (ponto 7); Ponto baixo (ponto 8).

Fonte: elaborado pelo autor.

7.2.2. Análises granulométricas

A distribuição granulométrica foi determinada a partir do método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986) após pré-tratamento com peróxido de hidrogênio para remoção da matéria orgânica.

7.2.3 Análises mineralógicas

Análise de caracterização mineralógica, foi realizada utilizando amostras de uma das fases (pre dry). As amostras foram previamente tratadas com solução de hipoclorito de sódio para oxidação da matéria orgânica e depois trituradas e peneiradas (< 150 mesh) (SIREGAR *et al.*, 2005). Em seguida, a fração argila foi concentrada após tratamento físico e químico para remoção das frações areia e silte, e floculação da fração argila.

A caracterização mineralógica foi obtida por difratometria de raios-x em amostras não orientada (em pó), utilizando um Miniflex II Desktop X-Ray Diffractometer com radiação Cu-K α ao passo de 0,02° 2 θ s⁻¹ no intervalo de 3-60° 2 θ (CHEN, 1977).

7.2.4 Fracionamento de fósforo

Para a obtenção dos dados de fósforo foi adotado o fracionamento de acordo com Paludan *et al.* (1995); Paludan *et al.* (1999) e Nobrega *et al.* (2014): P trocável (F1); P adsorvido aos óxidos – hidróxidos de ferro (F2); P associado aos filossilicatos e hidróxidos de alumínio (F3a); P associado a ácidos húmicos (F3b); P carbonatos/apatita (F4); e, P associado à matéria orgânica refratária (F5) (PALUDAN *et al.*, 1995; PALUDAN *et al.*, 1999; NOBREGA *et al.*, 2014). As concentrações de fósforo foram obtidas com o uso do espectrofotômetro com comprimento de onda de 885 nm e curva de cloreto de magnésio para P trocável e curva de água para as outras frações.

F1: extraída com MgCl₂ 1M; F2: extraída com solução Bicarbonato de sódio e ditionito de sódio (NaHCO₃ + Na₂S₂O₄) 0.11M; F3a: extraída com solução: NaOH 0.1M; F3b: extrato de P₃, adicionado HCl (HCl puro) até pH ~1. Após precipitar, retirou - se sobrenadante (F3a). Depois, os filtros foram secos a 45 °C e calcinados por 2 horas a 520 °C na mufla. O procedimento final

consiste em ferver os filtros em HCl (1 M) até dissolver as cinzas (extrato F3b); F4: Extraída com solução: HCl (37%) 0.5 M; e F5: As amostras foram secas a 45°C (o que sobrou da F4), transferidas para cadinhos e calcinadas a 520 °C na mufla durante 2 h. Depois, o material foi fervido com HCl 1M até dissolução total (extrato F5).

Os dados de fósforo total foram obtidos por diferença

7.2.5 Extração de óxidos de ferro

A composição química dos óxidos de ferro (menos cristalinos e mais cristalinos) foi obtida a partir de duas análises de extração:

Ditionito – citrato – bicarbonato (DCB): Este método é responsável pela extração de ferro livre ou pedogênico de alta cristalinidade (MEHRA & JACKSON, 1960);

Oxalato ácido de amônio (AO): Este usado para extração do ferro de materiais amorfos e de baixa cristalinidade (McKEAGUE, 1978).

Os extratos foram lidos com o uso do espectrômetro de absorção atômica.

7.2.6 Análises estatísticas

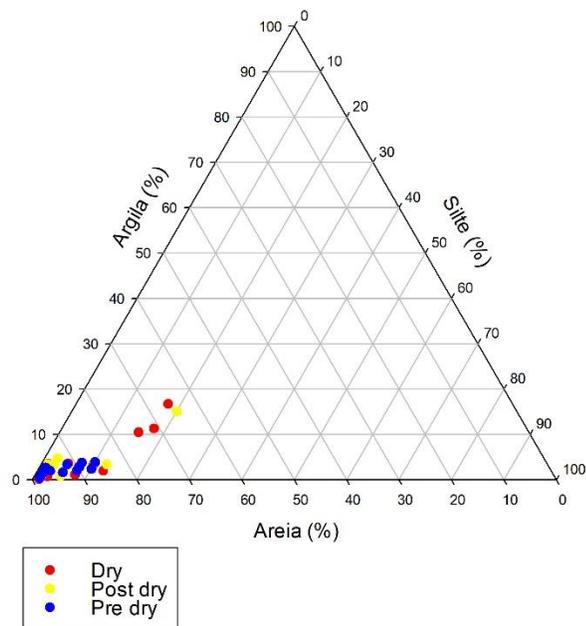
Foram plotados gráficos de médias e variâncias. Para o teste de comparação de médias, foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para avaliar as diferenças entre épocas, com um nível de significância definida para p-valor < 0,05. Opção essa devido a maioria dos dados não atenderem a normalidade estatística (SOUTO E SOUTO, 2020). Para obter uma visão de separação espacial entre todas as variáveis, o método usado foi a análise de função discriminante. Essa análise permite interpretar as variáveis conjuntamente (MANLY, 2008; GOTELLI E ELLISON, 2011). As análises estatísticas e gráficas foram realizadas nos softwares Past 4.03 e R (R Core Team, 2019).

7.3 Resultados

7.3.1 Granulometria e mineralogia

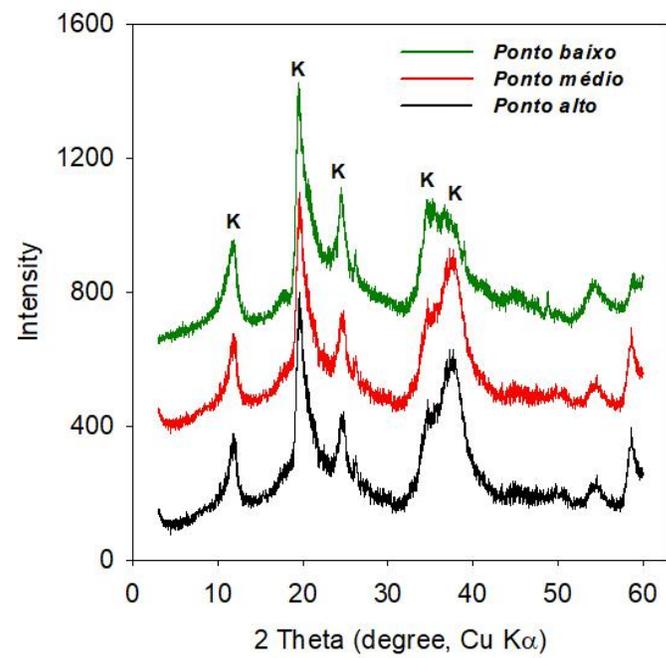
A composição granulométrica nas épocas analisadas é predominantemente arenosa (> 90% de areia), apresentando textura franco arenosa (Figura 14). Na mineralogia (Figura 15) os resultados mostraram que o único argilomineral presente nas amostras é caulinita com os picos semelhantes em todos os pontos de amostragem.

Figura 14 – Triângulo textural apresentando a composição granulométrica (hidroperíodos)



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 15 – DRX da fração argila dos três pontos de coletas ao longo do rio

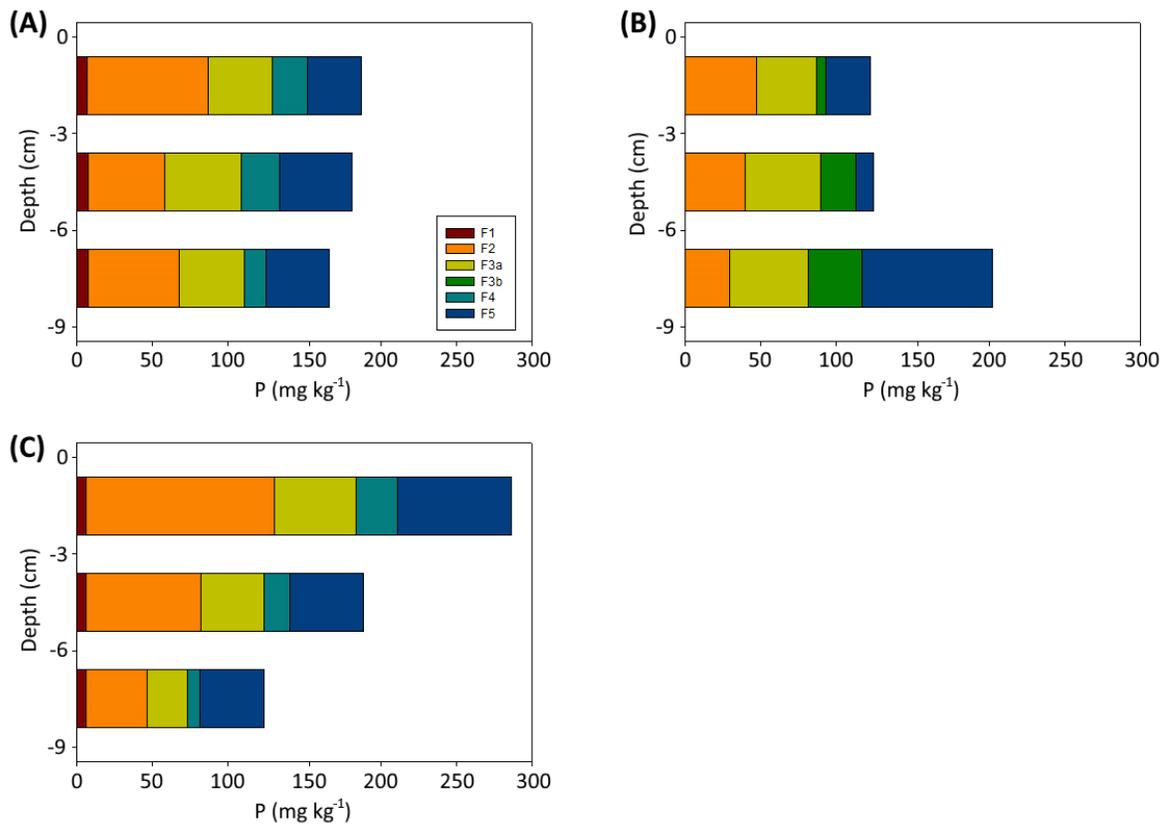


Fonte: elaborado pelo autor.

7.3.2 Fracionamento de fósforo

As frações que tiveram maior domínio foram: P adsorvido aos óxido-hidróxidos de Fe, P associado aos filossilicatos e hidróxidos de Al, e, P associado a matéria orgânica refratária (Figura 16). Não se obteve valores de P trocável na fase post dry (Figura 16B). P associado a ácidos húmicos foi observada apenas na fase post dry (Figura 16B). Além disso, foi observado que há um gradiente de aumentos nos teores dessa fração à medida que as profundidades aumentaram (Figura 16B). Por outro lado, o fósforo associado a apatita (F4) foi encontrado na fase dry e pre dry, principalmente na superfície (0-3 cm; Figura 16 A e C).

Figura 16 – Fracionamento de fósforo mostrando as frações que mais predominam entre os hidroperíodos e profundidades

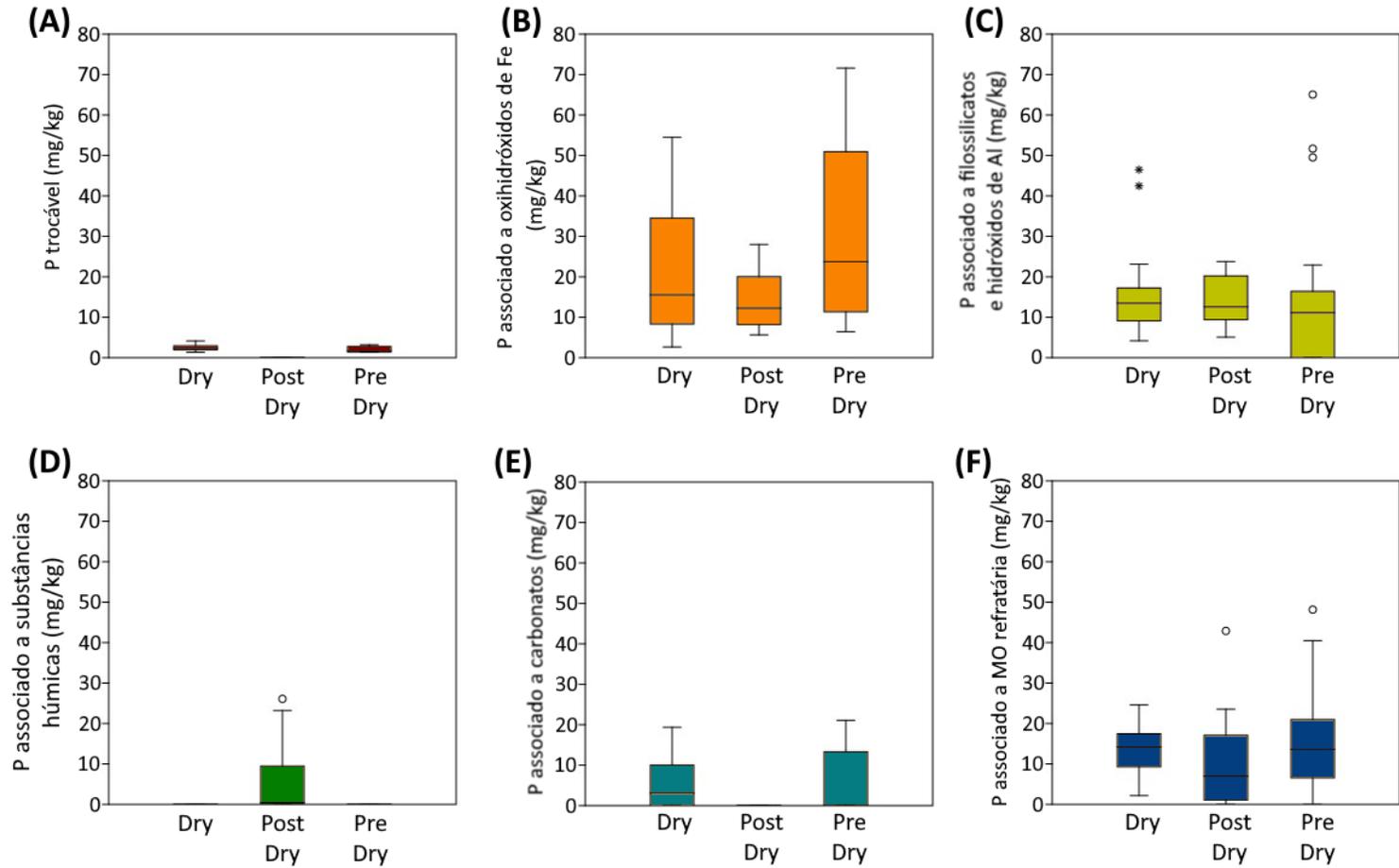


A figura mostra como estão distribuídas as frações ao longo dos três períodos hidrológicos, levando em consideração também, as profundidades de coleta. (A) Dry, (B) Post dry, e (C) Pre dry. Nela podemos observar como as frações aumentam e diminuem de intensidade, entre as fases coletadas.

Fonte: elaborado pelo autor.

Para P trocável (Figura 17A), obteve-se valores de $2.42 \pm 0.65 \text{ mg kg}^{-1}$ (Dry); $0.0 \pm 0.0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Post dry); $2.0 \pm 0.67 \text{ mg kg}^{-1}$ (Pre dry). P adsorvido aos óxidos-hidróxidos de Fe (Figura 17B), os valores foram de $21.67 \pm 16.43 \text{ mg kg}^{-1}$ (Dry); $14.83 \pm 7.38 \text{ mg kg}^{-1}$ (Post dry); $28.61 \pm 21.08 \text{ mg kg}^{-1}$ (Pre dry). Na fração associada aos filossilicatos e hidróxidos de Al (Figura 17C), os valores observados foram de $15.56 \pm 10.66 \text{ mg kg}^{-1}$ (Dry); $14.58 \pm 5.86 \text{ mg kg}^{-1}$ (Post dry); $14.87 \pm 18.05 \text{ mg kg}^{-1}$ (Pre dry). Para P associado a ácidos húmicos (Figura 17D), os resultados obtidos foram de $0.0 \pm 0.0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Dry); $0.33 \pm 0.2 \text{ mg kg}^{-1}$ (Post dry); $0.0 \pm 0.0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Pre dry). Em P ligado a carbonatos/apatita (Figura 17E), os resultados foram de $5.32 \pm 6.21 \text{ mg kg}^{-1}$ (Dry); $0.0 \pm 0.0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Post dry); $5.94 \pm 7.57 \text{ mg kg}^{-1}$ (Pre dry). Na fração ligada a matéria orgânica refratária (Figura 17F), os valores foram de $13.78 \pm 5.92 \text{ mg kg}^{-1}$ (Dry); $10.36 \pm 11.47 \text{ mg kg}^{-1}$ (Post dry); $15.45 \pm 12.45 \text{ mg kg}^{-1}$ (Pre dry).

Figura 17 – Teores de fósforo para cada fração nos três hidroperíodos

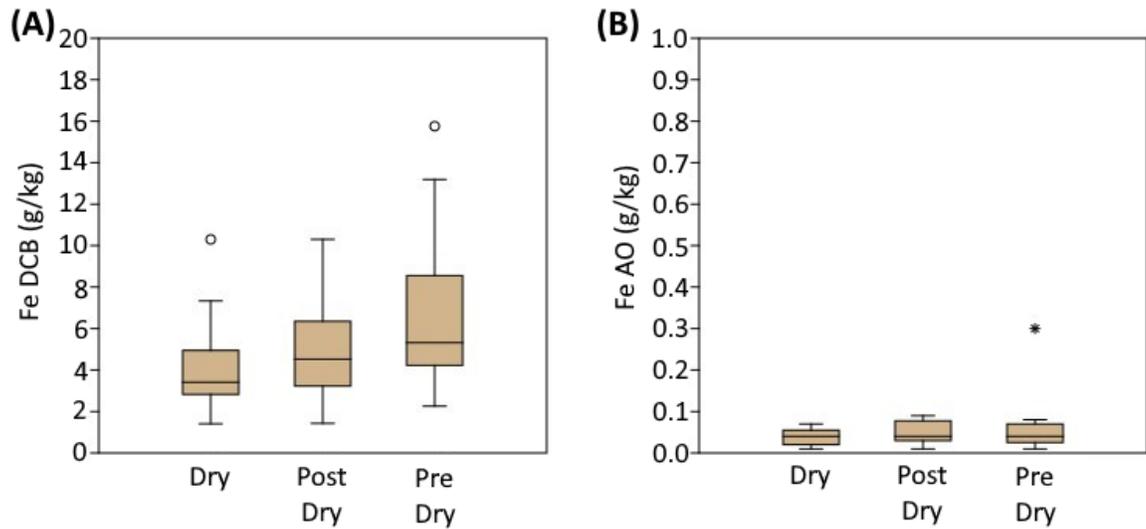


Fonte: elaborado pelo autor.

7.3.3 Teores de óxidos-hidróxidos de ferro

A extração de óxidos de ferro indica um predomínio de fases mais cristalinas (Fe DCB) em comparação às fases menos cristalinas (Fe OA) (Figura 18). Os valores extraídos por DCB (Figura 18A) foram de $3.92 \pm 2 \text{ g kg}^{-1}$ (Dry); $4.77 \pm 2.24 \text{ g kg}^{-1}$ (Post dry); 6.8 ± 3.6 (Pre dry). Na extração por AO (Figura 18B) obteve-se valores de $0.04 \pm 0.01 \text{ g kg}^{-1}$ (Dry); $0.05 \pm 0.02 \text{ g kg}^{-1}$ (Poste dry); $0.06 \pm 0.06 \text{ g kg}^{-1}$ (Pre dry).

Figura 18 - Teores de óxidos de ferro extraído por DCB e oxalato

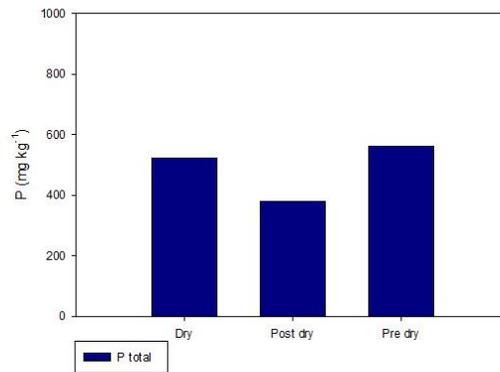


Fonte: elaborado pelo autor.

7.3.4 Fósforo total

A fase pre dry apresentou os maiores valores de concentração de fósforo total (561.2 mg kg^{-1}). Entretanto, esses valores não diferiram muito da fase dry (524.5 mg kg^{-1}). O hidroperíodo que apresentou menor valor foi a post dry (380.7 mg kg^{-1}). Esses valores (Figura 19) não apresentaram diferenças estatisticamente ($p\text{-valor} > 0.05$).

Figura 19 – Teores de fósforo total

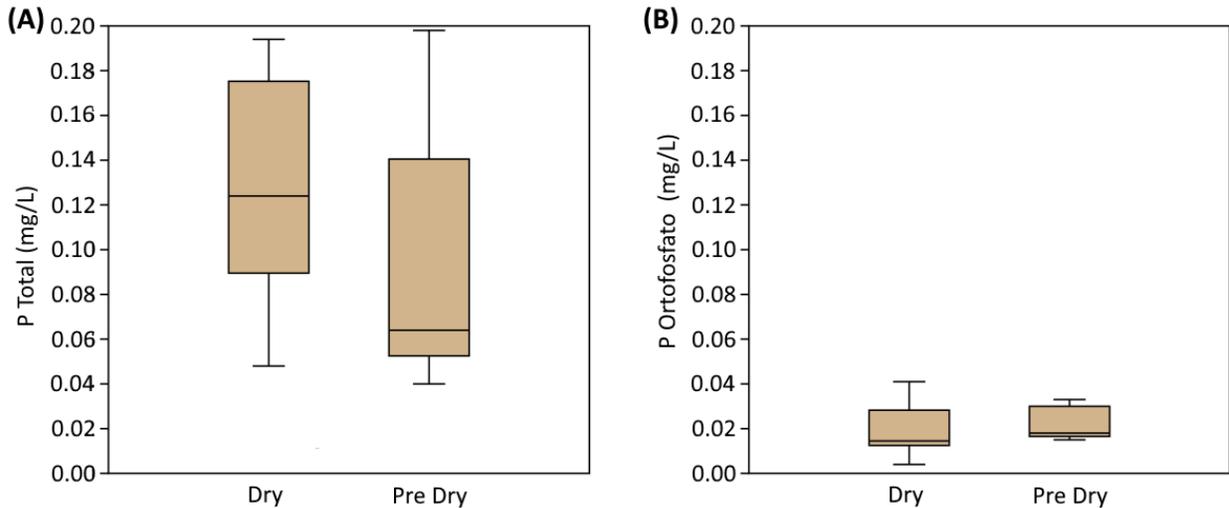


Fonte: elaborado pelo autor.

7.3.5 Fósforo em água

Os teores de fósforo total em água (Figura 20A), foram maiores na fase dry (0.12 ± 0.04 mg L⁻¹). Já os teores médios na fase pre dry foram de 0.09 ± 0.05 mg L⁻¹. Os valores de Ortofosfato (Figura 20B) foram similares nos dois períodos analisados. Valores médios de 0.01 ± 0.01 mg L⁻¹ foram observados na fase dry. Por outro lado, na fase pre dry os teores foram em média de 0.02 ± 0.01 mg L⁻¹. As médias de P total e P Ortofosfato não apresentaram diferenças significativas (p-valor > 0.05).

Figura 20 - Teores de fósforo em água em analisados em dois hidroperíodos



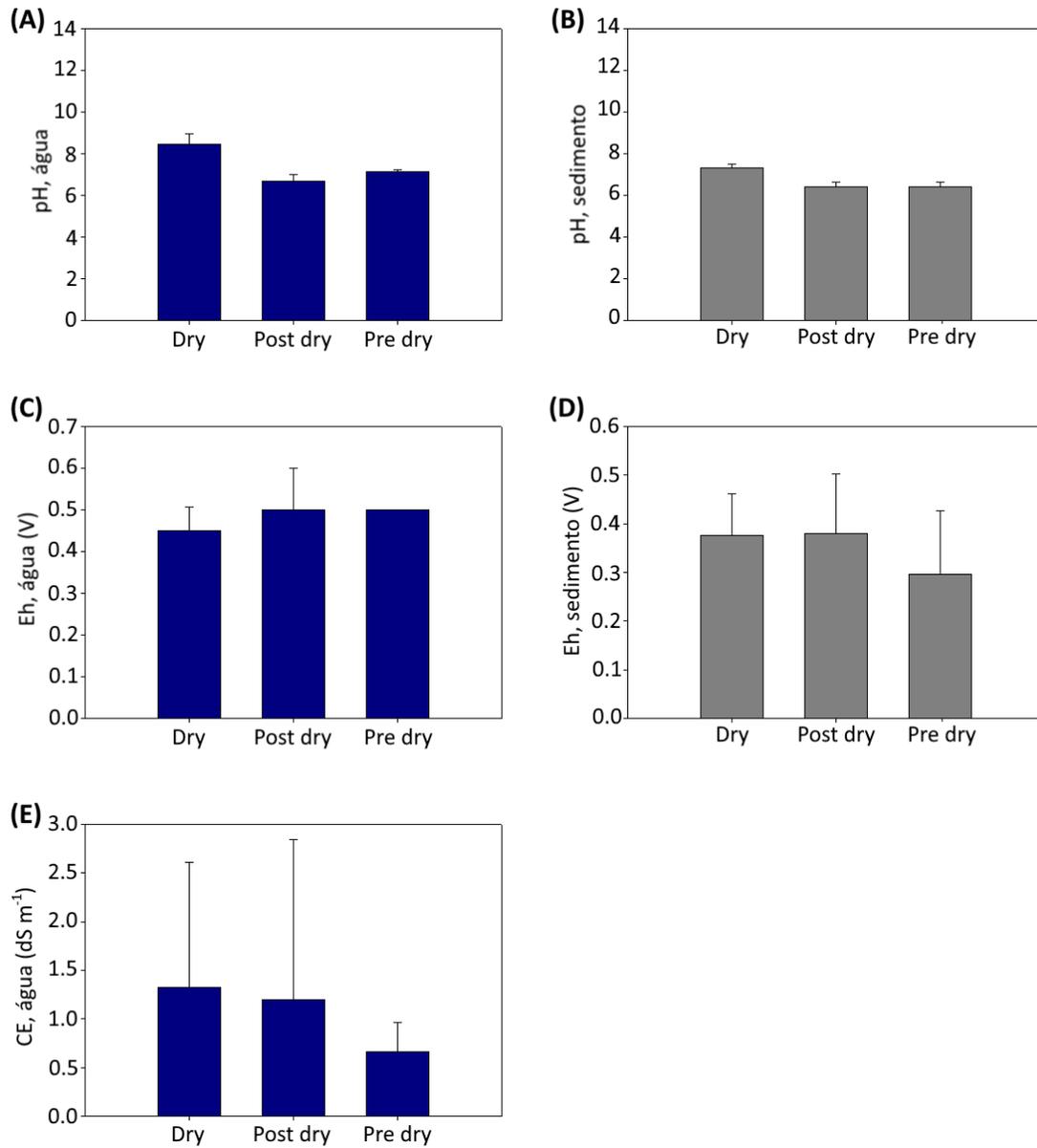
Fonte: elaborado pelo autor.

7.3.6 *ph, Eh, Condutividade Elétrica, Oxigênio dissolvido e Carbono orgânico total*

Os valores de pH em água e sedimentos seguiram a mesma tendência. A diferença foi que as medidas em sedimentos foram levemente mais ácidas que em água. Em água (Figura 21A), os valores de pH foram 8.4 ± 0.5 (Dry); 6.6 ± 0.3 (Post dry); 7.1 ± 0.1 (Pre dry). Nos sedimentos (Figura 21B), os valores foram de 7.33 ± 0.1 (Dry); 6.3 ± 0.2 (Post dry); 6.3 ± 0.2 (Pre dry). Já nas medidas de Eh, valores obtidos em água (Figura 21C), foram de 0.4 ± 0.05 V (Dry); 0.4 ± 0.1 V (Post dry); 0.5 ± 0.0 V (Pre dry). Para sedimentos (Figura 21D), os valores obtidos foram de 0.4 ± 0.08 V (Dry); 0.4 ± 0.12 V (Post dry); 0.3 ± 0.13 V (Pre dry). Como nas medidas de pH, valores de Eh foram maiores em água.

Mesmo com valores menores no período hidrológico pre dry (Figura 21E), a condutividade elétrica não apresentou diferença significativa (p -valor > 0.05) obteve-se valores médios de 1.3 ± 1.2 dS m^{-1} (Dry); 1.2 ± 1.6 dS m^{-1} (Post dry); 0.7 ± 0.3 dS m^{-1} (Pre dry).

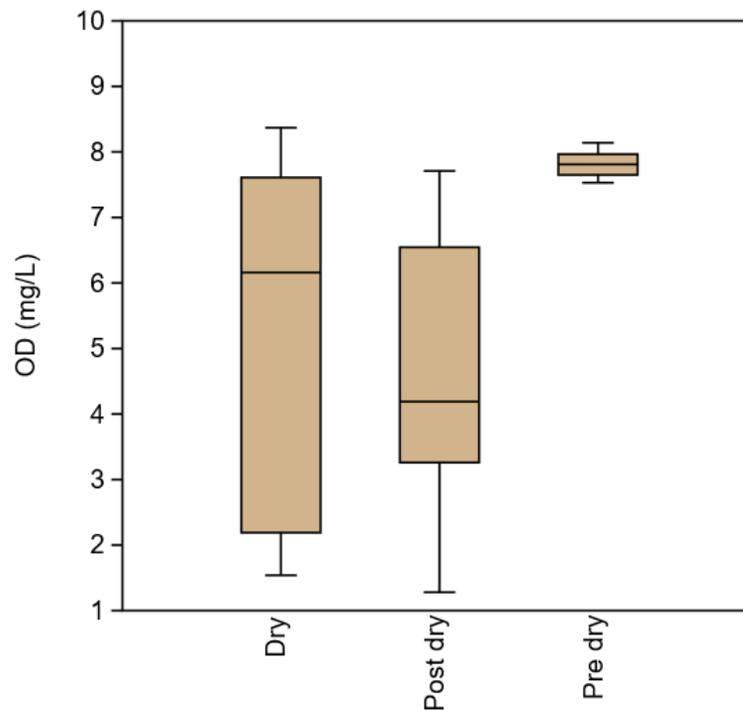
Figura 21 – Gráficos de pH, eh (água e sedimentos) e Condutividade elétrica relacionando os três hidroperíodos



Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação ao oxigênio dissolvido (Figura 22), os valores foram estatisticamente significantes (p -valor = 0.002). A fase pre dry apresentou os maiores teores. Para esses dados foram obtidos valores de $7.8 \pm 0.2 \text{ mg L}^{-1}$. Valores de $5.5 \pm 2.5 \text{ mg L}^{-1}$ foram obtidos nos dados da dry. No conjunto de dados do período post dry os valores foram de $4.4 \pm 2 \text{ mg L}^{-1}$.

Figura 22 – Teores de oxigênio dissolvido

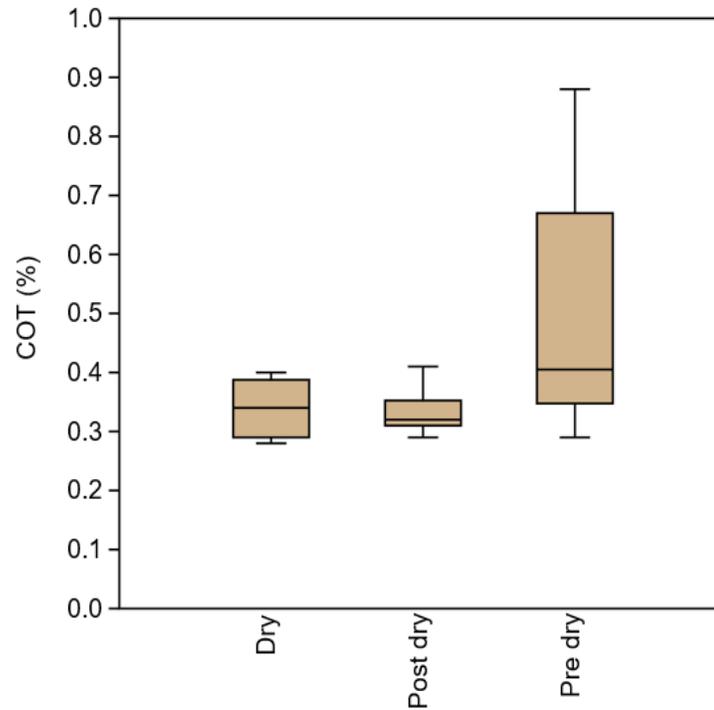


Fonte: elaborado pelo autor.

7.3.7 Carbono orgânico total

Os conteúdos de carbono orgânico total diferiram entre as fases (p-valor = 0.008), onde valores maiores foram obtidos no hidroperíodo pre dry (Figura 23). Fase dry: médias de 0.3 ± 0.04 %; Post dry: médias 0.3 ± 0.03 % e Pre dry: médias de 0.5 ± 0.19 %.

Figura 23 – Valores de carbono orgânico total

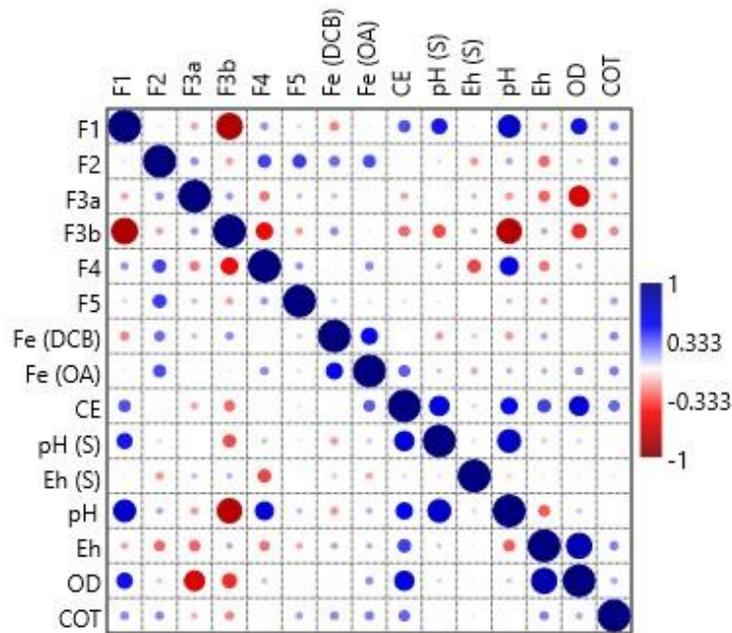


Fonte: elaborado pelo autor.

7.3.8 Correlações e Análise de função discriminante

As variáveis mostraram boas correlações entre si (positivas e negativas) (Figura 24), dando suporte para a análise de função discriminante feita posteriormente. A função discriminante (Figura 25) separou bem os grupos, totalizando 100% de separação. Na função 1, obtivemos um valor de 94.85% em que F1, F3b, F4, pH (água e sedimentos) e Fe (DCB) foram as variáveis que mais contribuíram para a separação dos grupos.

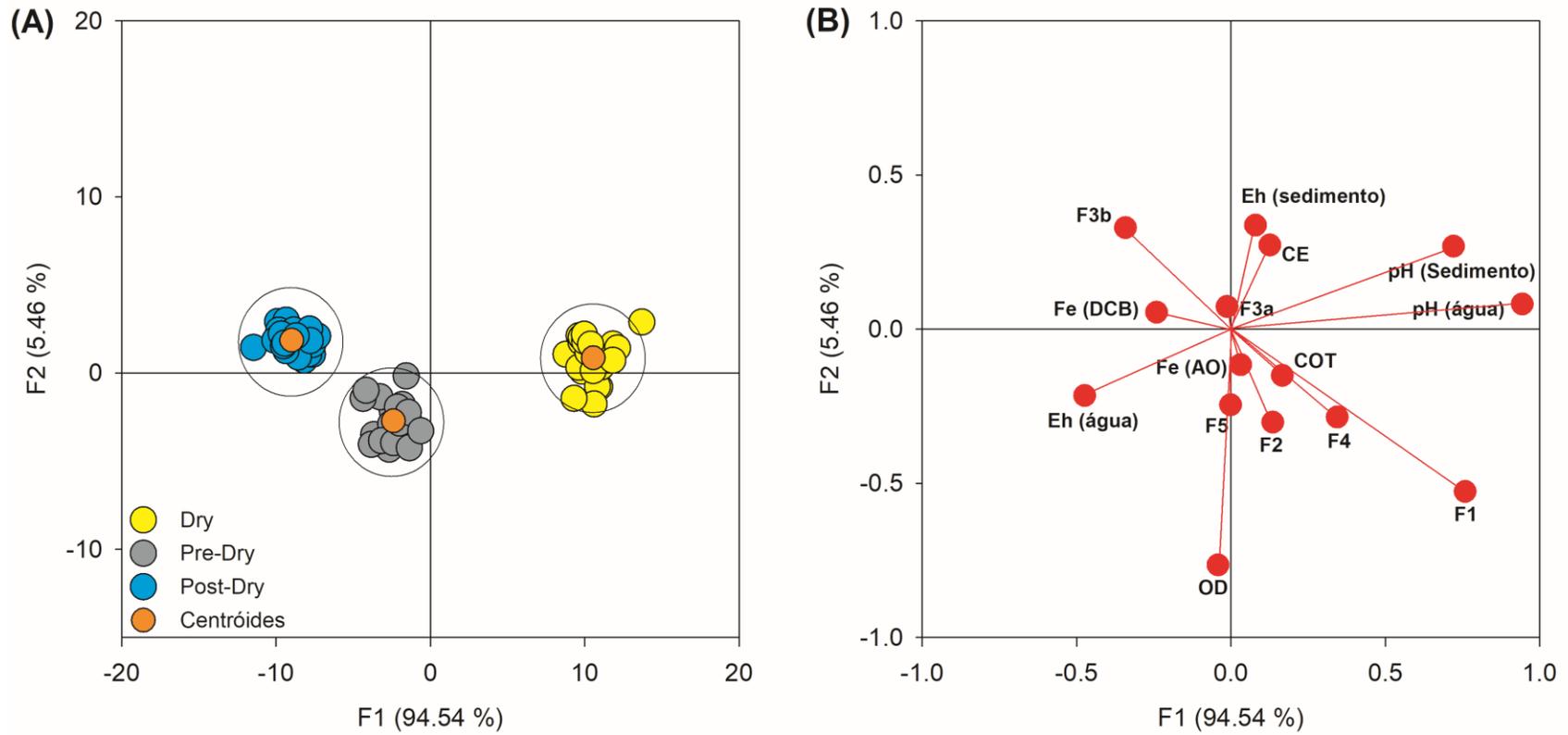
Figura 24 – Correlação (Spearman) entre todas as variáveis



O gráfico mostra a correlação entre as variáveis. Por meio das cores pode-se observar se a correlação é positiva ou negativa. Fósforo trocável (F1); Fósforo adsorvido aos óxidos – hidróxidos de ferro (F2); Fósforo associado aos filossilicatos e hidróxidos de alumínio (F3a); Fósforo associado a ácidos húmicos (F3b); Fósforo ligado a carbonatos/apatita (F4); Fósforo associado à matéria orgânica refratária (F5); Ferro extraído por ditionito-bicarbonato-citrato (Fe DCB); Ferro extraído por oxalato de amônio (Fe AO); Condutividade elétrica (CE); pH em sedimentos (pH S); Eh em sedimentos (Eh S); pH em água (pH); Eh em água (Eh); Oxigênio dissolvido (OD); e, Carbono orgânico total (COT).

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 25 – Função de análise discriminante separando os três hidroperíodos



Fonte: elaborado pelo autor.

7.4 Discussão

A complexidade do elemento e do ambiente exige atenção e mensuração de diversas variáveis. Apenas os ciclos de umedecimento e secagem não são capazes de alterar a dinâmica do P. entre os hidroperíodos. Dessa forma, a hipótese de que as formas, quantidades e disponibilidade se alteram devido à forte influência da dinâmica de umidade e secagem proporcionada pela sazonalidade foi confirmada parcialmente. Nem todas as formas do elemento são afetadas da mesma forma.

As variáveis que controlam a dinâmica de P em rios intermitentes são óxido-hidróxidos de Fe, filossilicatos e hidróxidos de Al e matéria orgânica. Apesar do sedimento apresentar textura arenosa, as quantidades de caulinita e de óxidos de Fe são responsáveis pela dinâmica de P entre as fases, principalmente os óxidos de Fe. Assim, essa dinâmica é fortemente dependente da matriz mineral do solo. Os dados acerca das quantidades de Fe confirmam uma das previsões de que devido ao intenso processo de intemperismo em climas tropicais, a maior parte do fósforo estará adsorvida a óxido - hidróxidos de ferro.

A predominância arenosa nas análises granulométricas refletiu o ambiente de coleta, este que faz parte do grupo formação barreiras. Esse grupo se caracteriza por apresentar sedimentos argiloso-arenoso e arenosos (MELO *et al.*, 2002b; MELO *et al.*, 2002c; CORREIA *et al.*, 2008; EMBRAPA, 2011). A mineralogia caulínica também é característica desse grupo de sedimentos. Nesses ambientes há altas quantidades de caulinita e pouca formação de hematita e goethita devido aos baixos teores de óxidos de ferro (MELO *et al.*, 2002b; CORREIA *et al.*, 2008). Dessa forma podem ser considerados sedimentos bastantes estáveis (MELO *et al.*, 2002b; EMBRAPA, 2011).

A fase adsorvida aos óxido-hidróxidos de Fe foi a fração com maior domínio nas amostras. Em solos e sedimentos a dinâmica de P é controlada, principalmente, pela presença desses óxido-hidróxidos (BALDWIN *et al.*, 2000a; (BALDWIN *et al.*, 2000b; CORREIA *et al.*, 2008; DA – PENG *et al.*, 2010; ATTYGALLA *et al.*, 2016; O´CONNELL *et al.*, 2018; CAVALCANTE *et al.*, 2018; KONG *et al.*, 2021). Os valores menores dessa fração foram mensurados na post dry, indicando que as intensidades de chuvas podem aumentar o poder redutor nessa fase porque frações ligadas ao ferro são sensíveis a mudanças de eh (NOBREGA *et al.*, 2014; KIM *et al.*, 2016; KONG *et al.*, 2021) e liberar P para o sistema. Entretanto, não podemos afirmar que essas quantidades são

totalmente dependentes das condições de oxirredução, já que os valores de eh em água e em sedimentos não variaram muito entre as fases de coleta.

Quantidades variando de 4 – 43.4 g/kg (Extraído por DCB) e 0.08 – 1.18 g/kg (Extraído por OA) foram mensuradas em estudos nesse grupo de sedimentos (MELO *et al.*, 2002b; MELLO *et al.*, 2002c; Correia *et al.*, 2008). Para esses autores, esses valores são baixos e variam bastante. Entretanto, óxido-hidróxidos de Fe têm uma área superficial específica (ASE) grande, por isso são importantes da adsorção de P (MELO *et al.*, 2001; DA – PENG *et al.*, 2010). Devido a tais características, a influência na dinâmica do P é alta.

Secagem e oxidação podem mudar a mineralogia de sedimentos levando-os a uma maior estabilidade (BALDWIN *et al.*, 2000; (MELO *et al.*, 2002b; MELLO *et al.*, 2002c). Repetidos ciclos de umedecimento e secagem podem levar ao envelhecimento dos minerais no sedimento, tornando os minerais mais cristalinos ao passar dos eventos. (BALDWIN *et al.*, 2000b; ATTYGALLA *et al.*, 2016). Isso explica a quantidade de óxidos mais cristalinos nas amostras

O conteúdo e dinâmica da caulinita ajuda a compreender, também, boa parte dos dados em relação à dinâmica do fósforo. Estudando sedimentos do grupo barreiras, Mello *et al.*, (2002b), atribui a presença desse mineral a baixas concentrações de ferro, assim, limitando a gênese de hematita e goethita. Adicionalmente, os autores enumeram fatores que favorecem a formação desse filossilicato: baixos teores de ferro no material de origem; transformação direta de minerais primários em caulinita devido às condições de clima tropical); e, condições umidade dos tabuleiros favorecem a concentração de caulinita e remoção de outros minerais, óxidos de ferro, principalmente (MELLO *et al.*, 2002c; CORREIA *et al.*, 2008).

Mesmo como baixa área superficial específica (ASE), a caulinita é um argilomineral que apresenta baixo grau de cristalinidade sob clima tropical úmido (MELO *et al.*, 2002b; MELLO *et al.*, 2002c; CORREIA *et al.*, 2008). Esse baixo grau de cristalinidade aumenta o poder de adsorção. O conteúdo de P associado aos filossilicatos e hidróxidos de Al foi o segundo mais extraído, embora as médias dessa fração não diferiram muito, como mostrou a análise estatística. As semelhanças entre as médias nos períodos é por que os processos de oxirredução, desencadeados pelos ciclos de umedecimento e secagem, e taxas respiratória não alteram a dinâmica do alumínio (DARKE *et*

al., 2000). Matéria orgânica tende a acumular em ambientes úmidos interagindo com alumínio e aumentando a associação com P (DARKE *et al.*, 2000; NGUYENA *et al.*, 2005).

A fração ligada a matéria orgânica refratária foi a terceira maior fração em números. Esses teores indicam um que a matéria orgânica exerce um papel-chave na dinâmica de fósforo em rios intermitentes. A humina é o compartimento que representa a fração mais recalcitrante da matéria orgânica (KELLEHER *et al.*, 2006). É provável que menores valores no hidroperíodos dry estejam associados a maiores quantidades de oxidação da matéria orgânica (BALDWIN *et al.*, 2000b; KONG *et al.*, 2021). Valores mais altos foram mensurados no período mais úmido (pre dry). O'connell *et al.* (2018), indicou que as quantidades de P orgânico tendem ser maiores que P inorgânicos nos ciclos mais úmidos.

A fração associada a ácidos húmicos mostrou vetores distantes da média porque foram obtidos valores apenas em um hidroperíodo (Post dry). Ácidos húmicos são mais solúveis em meio básico (KELLEHER *et al.*, 2006; PRIMO *et al.*, 2011). Dessa forma, nesses ambientes, em que o pH tende a ser básico (TUNDISI E TUNDISE, 2008; ESTEVES, 2011), esses ácidos seriam solubilizados (PRIMO *et al.*, 2001). Por isso os valores associados a essa fração são menores.

Baseado nos dados obtidos nas frações P associadas a ácidos húmicos, apesar de valores baixos, P associado a matéria orgânica refratária e teores de carbono total maiores em períodos mais úmidos sustentam as afirmações de O'connell *et al.* (2018). Dessa forma, confirmam a previsão que as frações relacionadas a matéria orgânica terão valores mais altos nos ciclos mais úmidos.

Os baixos teores de fósforo trocável nos hidroperíodos indicam a influência de outros fatores na sua dinâmica, como explicado principalmente, pelos óxido-hidróxidos de Fe. As principais fontes desse nutriente para os rios são vias externas e processos biogeoquímicos (LILLEBO *et al.*, 2007). Há estudos que propuseram que umas das causas da liberação de P (P trocável) reinundação seria a morte de bactérias no período da fase seca (BALDWIN *et al.*, 2000b; WILSON *et al.*, 2008). Assim, as fases mais úmidas teriam maiores valores de P trocável, ou seja, o contrário dos dados obtidos nas análises. Entretanto, a falta dessa fração no hidroperíodo post dry pode estar atrelada a alta demanda do nutriente nessa fase, já que há nela um aumento da produtividade em rios intermitentes (BALDWIN *et al.*, 2000b). Ao reconectar, devido a redução

do Fe, a maioria do elemento ainda estará indisponível (ATTYGALLA *et al.*, 2016) e as quantidades liberadas seriam rapidamente absorvidas pelos organismos. Essa fase é a mais curta, assim, as precipitações intensas e as reações redutoras agiriam no sistema, fazendo com que quantidades do elemento sejam liberadas na fase pre dry (KONG *et al.*, 2021).

P ligado a carbonatos e apatita pouco contribuíram para a dinâmica do elemento. A análise estatística mostrou que essa fração variou em relação à média, isso por que não se obteve dados no período hidrológico post dry (post dry). Isso reforça ainda mais o quanto a disponibilidade de fósforo depende de outras fases minerais como caulinita e óxidos de ferro. Alguns estudos em microbiológicos argumentam que no período post dry há uma alta atividade biológica e maiores taxas respiratórias, aumentando assim, a mineralização (KONG *et al.*, 2021). Uma maior umidade em comparação a fases mais secas, pode favorecer a atividade biológica, aumentando as taxas respiratórias que levam a uma maior liberação de CO₂ e formação de ácido carbônico, o que pode favorecer a dissolução de carbonatos e liberação do fósforo associado para o hidroperíodos posterior (KONG *et al.*, 2021).

Valores mais altos dessa variável na estação mais seca podem ser atribuídos a maior presença de bicarbonatos e cálcio. Pode-se correlacionar esses valores a pH mais alcalinos nesse período, pois valores de pH tendem aumentar em condições alcalinas (KIM *et al.*, 2016). Ainda, é possível relacionar com os valores maiores de condutividade elétrica, como mostrado em estudos limnológicos (TUNDISI E TUNDISE, 2008; ESTEVES, 2011).

As variáveis pH, eh, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e fósforo em água foram mensuradas para apoiar a discussão das frações de P. Os valores de pH (em água e sedimentos) não diferiram muito entre os períodos. Obteve-se valores levemente mais altos na fase mais seca (dry), mas todos dentro dos parâmetros de estudos em limnologia (TUNDISI E TUNDISE, 2008; ESTEVES, 2011) A fase seca também apresentou valores mais elevados de condutividade elétrica, mas também dentro dos parâmetros (TUNDISI E TUNDISE, 2008; ESTEVES, 2011; HOLANDA *et al.*, 2016). A concentração de sais causada pela evapotranspiração explica esses dados serem maiores nesse hidroperíodos (HOLANDA *et al.*, 2016)

As quantidades de oxigênio dissolvidos e fósforo em água estão dentro dos parâmetros de ambientes sem eutrofização definidos pela resolução número 357 do Conama (CONAMA, 2005).

Quantidades de oxigênio dissolvidos foram maiores na fase pre dry, medidas essas que devem estar relacionadas a menores temperaturas na água em relação às outras nessa época do ano, pois o oxigênio dissolvido tem relação direta com a temperatura da água (KONG *et al.*, 2021). Os valores de eh também não variaram muito os hidroperíodos.

7.5 Conclusões

- A hipótese que formas, quantidades e disponibilidade se alterariam devido à forte influência da dinâmica de umidade e secagem proporcionada pela sazonalidade foi parcialmente confirmada. A dinâmica de P em rios intermitentes é fortemente influenciada pela matriz mineral do solo;
- As previsões que a maior parte do fósforo estaria adsorvida a óxido - hidróxidos de ferro e que as frações relacionadas a matéria orgânica teriam valores mais altos nos ciclos mais úmidos foram constatadas;
- A previsão de que no período mais seco há uma menor disponibilidade do elemento não se confirmou. As quantidades de fósforo disponível não estão atreladas diretamente aos ciclos de umedecimento e secagem, mas também de fatores como: fontes do elemento, mineralogia, quantidade de ferro e matéria orgânica;
- A especiação e formas do elemento diferiram bastante, sendo que a dinâmica de P em rios intermitentes é controlada pelas frações P adsorvida aos óxidos – hidróxidos de Fe, seguida pela fração associada aos filossilicatos e hidróxidos de Al e P ligado a matéria orgânica refratária;
- Os conteúdos de P da fração ligada a matéria orgânica refratária indica que esses ambientes são ecossistemas importantes na estabilização de matéria orgânica e, conseqüentemente, carbono;
- As quantidades semelhantes de fósforo total entre os hidroperíodos indicam que o foco das pesquisas deve ser direcionado a especiação do elemento.

REFERÊNCIAS

- ATTYGALLA, Nimala W; BALDWIN, Darren S.; SILVESTER, Ewen; KAPPEN, Peter; WHITWORTH, Kerry L. The severity of sediment desiccation affects the adsorption characteristics and speciation of phosphorus. **Environ. Sci: Processes Impacts**, 18, p. 64-71, 2016.
- BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 697-710, 2000.
- BALDWIN, D. S.; MITCHELL, A. M.; REES, G. N. The effects of *in situ* drying on sediment–phosphate interactions in sediments from an old wetland. **Hydrobiologia**, v. 431, p. 03-12, 2000a.
- BALDWIN, D. S.; MITCHELL, A. M. The effects of drying and re-flooding on the sediment and soil nutrient dynamics of lowland river–floodplain systems: a synthesis. **Regul. Rivers: Res. Mgmt.**, 16, p. 457-467, 2000b.
- BARCELLOS, Diego; QUEIROZ, Hermano Melo; NÓBREGA, Gabriel Nuto; OLIVEIRA FILHO, Romildo Lopes de; SANTAELLA, Sandra Tedde, OTERO, Xosé Luis, FERREIRA, Tiago Osório. Phosphorus enriched effluents increase eutrophication risks for mangrove systems in northeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 142, p. 58-63, 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso em 27 maio 2021.
- CAVALCANTE, H.; ARAÚJO, F.; NOYMA, N. P.; BECKER, V. Phosphorus fractionation in sediments of tropical semiarid reservoirs. **Science of the Total Environment**, v. 619, p. 1022-1029, 2018.
- CORREA, Marcelo Metri; KER, João Carlos; BARRÓN, Vidal; FONTES, Maurício Paulo; TORRENT, José; CURI, Nilton. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1017-1031, 2008.
- CHEN, P.Y. **Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks**. Department of Natural Resources, Indiana Geological Survey, Bloomington, Indiana, 1977.
- DA – PENG, Li; YOUG, Huang. Sedimentary phosphorus fractions and bioavailability as influenced by repeated sediment resuspension. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 958-962, 2010.
- DARKE, Arlene K.; WALBRIDGE, Mark R. Al and Fe biogeochemistry in a floodplain forest: Implications for P retention. **Biogeochemistry**, v. 51, p. 01-32, 2000.

- DATRY, T.; LARNED, S. T.; TOCKNER, K. Intermittent Rivers: A Challenge for Freshwater Ecology. **BioScience**, v. 64, n. 3, p. 229-235, 2014.
- DATRY, T.; CORTI, R.; FOULQUIER, A.; SCHILLER, D. von; TOCKNER, K. One for All, All for One: A Global River Research Network. **Eos**, p. 02-08, 2016.
- DATRY, Thibault; BONADA, Núria; BOULTON, Andrew (Org.). **Intermittents rivers and ephemeral streams: ecology and management**, Elsevier, 2017.
- ESTEVEES, Francisco de Assis. (Coord.) **Fundamento de limnologia**. 3ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- GOMES, Pattiyage I. A.; WAI, Onyx W. H.; DEHINI, Ganegoda K. Vegetation dynamics of ephemeral and perennial streams in mountainous headwater catchments. **J. Mt. Sci.**, v.17, n. 7, p.1684-1695, 2020.
- GOTELLI, Nicholas J.; ELLISON, Aaron M. **Princípios de estatística em ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011, p. 527.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. **In: Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods**. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1986, p. 383-411.
- HALL, Steven J.; HUANG, Wenjua. Iron reduction: a mechanism for dynamic cycling of occluded cations in tropical forest soils? **Biogeochemistry**, p. 01-12, 2017.
- HAMMER, Ø; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. 2001. **PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis**. *Palaeontologia Electronica* 4 (1), 2001.
- HORPPILA, Jukka. Sediment nutrients, ecological status and restoration of lakes. **Water Research**, n. 160, p.206-208, 2019.
- HOLANDA, José S. de; AMORIM, Julio R. A. de; FERREIRA NETO, Miguel; HOLANDA, Alan C. de; SÁ, Francisco V. da S. Qualidade de água para irrigação. In: GHEYI, Hans Raj; DIAS, Nildo da Silva; LACERDA, Claudivan Feitosa de; GOMES FILHO, Enéas (EE.). **Manejo da Salinidade na Agrucultura: Estudos básicos e aplicados**. 2 ed., Fortaleza, CE: INCTsal, 2016, p. 35-50.
- HUMPHRIES, Paul; BALDWIN, Darren S. Drought and aquatic ecosystems: an introduction. **Freshwater Biology**, v. 48, p. 1141-1146, 2003.
- JIN, Xiangcan; WANG, Shengrui; PANG, Yan; WU, Feng Chang. Phosphorus fractions and the effect of pH on the phosphorus release of the sediments from different trophic areas in Taihu Lake, China. **Environmental Pollution**, v. 139, p. 288-295, 2006.

- JONGE, V. N.; VILLERIUS, L. A. Possible role of carbonate dissolution in estuarine phosphate dynamics. **Limnol. Oceanogr.**, v. 34, n. 2, p. 332-340, 1989. K E L L E H E R, Brian P.; S I M P S O N, Andre J. Humic Substances in Soils: Are They Really Chemically Distinct? **Environ. Sci. Technol.**, v. 40, n. 15, p.4605-4611, 2006.
- KIM, Boram; GAUTIER, Mathier; SIMIDOFF, Arnaud; SANGLAR, Corinne; CHATAIN, Vicente; MICHEL, Philippe; GOURDON, Remy. pH and Eh effects on phosphorus fate in constructed wetland's sludge surface deposit. **Journal of Environmental Management.**, v. 183, p. 175-181, 2016.
- KONG, Ming; HAN, Tianlun; CHEN, Musong; ZHAO, Donghua; CHAO, Jianying; ZHANG, Yimin. High mobilization of phosphorus in black-odor river sediments with the increase of temperature. **Science of Total Environment.**, 775, p. 01-08, 2021.
- LARNED, S. T.; DATRY, T.; ARSCOTT, D. B.; TOCKNER, K. Emerging concepts in temporary-river ecology. **Freshwater Biology.**, v. 55, n. 4, p. 717-738, 2010.
- LILLEBO, Ana Isabel; MORAIS, Manuela; GUILHERME, Pedro; FONSECA, Rita; SERAFIM, António; NEVES, Ramiro. Nutrient dynamics in Mediterranean temporary streams: A case study in Pardiela catchment (Degebe River, Portugal). **Limnologica.**, v. 37, p. 337-348, 2007.
- MARTINS, Rozane Valente; PAULA FILHO, Francisco José; ROCHA, Carlos Artur Sobreira. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. **Quim. Nova**, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, 2007.
- MANLY, Bryan F. J. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. Porto Alegre: Bookman. 3 ed., 2008, p. 231.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Miner**, v. 7, p. 317-327, 1960.
- MELO, V.F; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C.E.G.R. Características dos óxidos de ferro e alumínio de diferentes classes de solos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 19-32, 2001.
- MELO, V.F; NOVAIS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, M.P.F.; SINGH, B. Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 29-41, 2002c.
- MELO, V.F; NOVAIS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, M.P.F.; SINGH, B. Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 53-64, 2002b.

MELO, Vander de Freitas; ALLEONI, Luís Reynaldo F. (editores). **Química e mineralogia do solo: Parte I – conceitos básicos**. v. 1, Viçosa, MG: SBCS, 2009.

MELO, Vander de Freitas; ALLEONI, Luís Reynaldo F. (editores). **Química e mineralogia do solo: Parte II – aplicações**. v. 2, Viçosa, MG: SBCS, 2009.

McKEAGUE, J.A. **Manual on soil sampling and methods of analysis**. Ottawa, Canadian Society of Soil Science, 1978. p. 212.

NI, Jianyu; LIN, Peng; ZHEN, Yang; YAO, Xuyng; GUO, Laodong. Distribution, source and chemical speciation of phosphorus in surface sediments of the central Pacific Ocean. **Deep-Sea Research I**, v. 105, p. 74-82, 2015.

NGUYENA, Binh Thanh; MARSCHNERB, Petra. Effect of drying and rewetting on phosphorus transformations in red brown soils with different soil organic matter content (short communication). **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 1573-1576, 2005.

NÓBREGA, G. N.; OTERO, X. L.; MACÍAS, F.; FERREIRA, T. O. Phosphorus geochemistry in a Brazilian semiarid mangrove soil affected by shrimp farm effluents. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 9, p. 5749-5762, 2014.

O'CONNELL, Christine S.; RUAN, Leilei; SILVER, Whendee L. Drought drives rapid shifts in tropical rainforest soil biogeochemistry and greenhouse gas emissions. **Nature Communications**, 9:1348, p. 01-09, 2018.

PALUDAN, C.; JENSEN, H. S. Sequential extraction of phosphorus in freshwater wetland and lake sediment: significance of humic acids. **Wetlands**, 15, n. 4, p. 365-373, 1995.

PALUDAN, C.; MORRIS, J. T. Distribution and speciation of phosphorus along a salinity gradient in intertidal marsh sediments. **Biogeochemistry**, v. 45, n. 2, p. 197-221, 1999.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p. 01-13, 2011.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. 2019.

SCHILLER, D. von; BERNAL, S.; DAHM, C. N.; MARTÍ, E. Nutrient and Organic Matter Dynamics in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. In: DATRY, Thibault; BONADA, Núria; BOULTON, Andrew. (Org.) **Intermittents rivers and ephemeral streams: ecology and management**. Elsevier, 2007. p. 135-160.

SCHÖNBRUNNER, Iris M.; PREINER, Stefan; HEIN, Thomas. Impact of drying and re-flooding of sediment on phosphorus dynamics of river-floodplain systems. **Science of the Total Environment**, n. 432, p. 329-337, 2012.

SIREGAR, A.; KLEBER, M.; MIKUTTA, R.; JAHN, R. Sodium hypochlorite oxidation reduces soil organic matter concentrations without affecting inorganic soil constituents. **Eur J Soil Sci**, v. 56, p. 481-490, 2005.

SOUTO, Leandro de Sousa; SOUTO, Eduardo de Sousa. **Análise de dados ecológicos: Um guia simplificado de análises estatísticas para estudantes e profissionais da área ambiental**. Brasília: Ed. Do autor, 2020, p. 136.

TANG, Jiayi; ZHANG, Jiachao; REN, Liheng; ZHOU, Yaoyu; GAO, Jun; LUO, Lin; YANG, Yuan; PENG, Qinghui; HUANG, Hongli; CHEN, Anwei. Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: A review on heavy metal pollution. **Journal of Environmental Management**, n. 242, p.121-130, 2019.

TEIXEIRA, Paulo César; DONAGGEMA, Guilherme Kansussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes (editores). **Manual de métodos de análises de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 3ed., 2017.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TZORAKI, Ourania; NIKOLAIDIS, Nikolaos P.; AMAXIDIS, Yorgos; SKOULIKIDS, Nikolaos TH. In-Stream Biogeochemical Processes of a Temporary River. **Environ. Sci. Technol.**, v. 41, n. 4, p. 1225-1231, 2007.

WILSON, Jessica S.; BALDIWIN, Darren S. Exploring the 'Birch effect' in reservoir sediments: influence of inundation history on aerobic nutrient release. **Chemistry and Ecology**, v. 4, n. 6, p. 379-386, 2008.

ZHANG, Wenqiang; JIN, Xin; MENG, Xin; TANG, Wenzhong; SHAN, Baoqing. Phosphorus transformations at the sedimentewater interface incshallow freshwater ecosystems caused by decomposition of plant debris. **Chemosphere**, v. 201, p. 328-334, 2018.

8 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO FÓSFORO EM ECOSISTEMAS INTERMITENTES: UM ESTUDO DE CASO NO RIO CRUXATI, CEARÁ

RESUMO

Rios intermitentes têm sido estudados sobre a ótica da ecologia de populações e comunidades. A dinâmica de elementos ao longo de um gradiente pode ser fator chave no equilíbrio e estruturação de organismos nesses ecossistemas. No que se refere a dinâmica de nutrientes, os estudos nesses ecossistemas são incipientes. O objetivo desse estudo foi examinar o comportamento do fósforo ao longo de um rio intermitente no semiárido cearense. O estudo foi desenvolvido no rio Cruxati, localizado na bacia hidrográfica do litoral do Ceará. As coletas foram realizadas no hidroperíodo Pre dry. Essa denominação foi com base na literatura sobre o tema e condições climáticas locais. Pontos foram mapeados no rio e destes foram escolhidos três principais que representam a parte mais a montante, o centro e a jusante do rio. O fósforo foi fracionado em: P trocável (F1); P adsorvido aos óxidos – hidróxidos de ferro (F2); P associado aos filossilicatos e hidróxidos de alumínio (F3a); P associado a ácidos húmicos (F3b); P Carbonatos/apatita (F4); e, P associado à matéria orgânica refratária (F5). Com esse fracionamento foi possível identificar o comportamento do P ao longo do rio e comparar em qual ponto as frações diferiram. Análise granulométrica, mineralogia, pH, eh, condutividade elétrica, fósforo em água, oxigênio dissolvido e carbono orgânico total foram mensuradas para apoiar na discussão. A estatística foi teste de comparação de médias para dados não paramétricos Kruskal-Wallis com significância definida para p-valor < 0.05 e análise de função discriminante para separar os conjuntos de dados (pontos). O comportamento das frações variou ao longo do rio em que P associado aos filossilicatos e hidróxidos de alumínio e P associado à matéria orgânica refratária controlam a dinâmica de P entre os pontos. A hipótese de que as formas iriam diferir ao longo do rio foi parcialmente confirmada. Conclui-se que nem todas as frações irão se diferenciar e que essa dinâmica é fortemente influenciada pela matriz do solo, em que é controlada principalmente por óxido-hidróxidos de Fe. As concentrações associadas a matéria orgânica refratária e condutividade elétrica no ponto mais baixo, indicam que existe um gradiente de concentração na parte mais baixa do rio. Os dados (valores zero) na fração P carbonatos/apatita nos pontos mais baixos indicam que a umidade é um fator importante para a dinâmica de P.

Palavras-chave: ecossistemas aquáticos; dinâmica de fósforo; óxidos-hidróxidos de ferro; acúmulo de nutrientes.

ABSTRACT

Intermittent rivers have been studied from the perspective of population and community ecology. The dynamics of elements along a gradient can be a key factor in the balance and structuring of organisms in these ecosystems. About nutrient dynamics, studies in these ecosystems are incipient. This study aimed to examine the behavior of phosphorus along an intermittent river in the semiarid region of Ceará. The study was carried out on the Cruxati River, located in the watershed off the coast of Ceará. The collects were carried out in the Pre dry hydroperiods. This designation was based on the literature on the topic and local climatic conditions. Points were mapped on the river and from these three main points were chosen that represented the most upstream, center, and downstream part of the river. Phosphorus was fractionated into exchangeable P (F1); P Oxyhydroxides (iron) (F2); P associated with phyllosilicates and hydroxides (Al) (F3a); P associated with humic acids (F3b); P Carbonates/apatite (F4); and, P associated with refractory organic matter (F5). With this fractionation, it was possible to identify the behavior of P along the river and compare at which point the fractions differed. Particle size analysis, mineralogy, pH, eh, electrical conductivity, phosphorus in water, dissolved oxygen, and total organic carbon were measured to support the discussion. The statistic was mean comparison test for non-parametric Kruskal-Wallis data with significance set at p-value < 0.05 and discriminant function analysis to separate the data sets (points). The behavior of the fractions varied along the river where P associated with phyllosilicates and hydroxides (Al) and P associated with refractory organic matter control the dynamics of P between points. The hypothesis that the shapes would differ along the river was partially confirmed. It is concluded that not all fractions will differ and that this dynamic is strongly influenced by the soil matrix, which is mainly controlled by Fe oxide-hydroxides. Concentrations associated with refractory organic matter and electrical conductivity at the lowest point, indicate that there is a concentration gradient in the lower part of the river. Data (zero values) on the P carbonates/apatite fraction at the lowest points indicate that moisture is an important factor for P dynamics.

Keywords: aquatic ecosystems; phosphorus dynamics. oxyhydroxides (iron); nutrients accumulation.

8.1 Introdução

Estudos em rios intermitentes, de forma geral, são recentes no campo da ecologia de água doce (DATRY *et al.*, 2014; GOMES *et al.*, 2020). Esse campo é multidisciplinar, envolvendo desde pesquisas sobre paisagem até estudos acerca de habitats organismos (DATRY *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2014; PEREZ *et al.*, 2020). Mesmo com estudos pioneiros nas décadas de 50, 60 e 70, estudos que exploram a biogeoquímica nesses ecossistemas alavancaram apenas depois dos anos 2000 (LEIGH *et al.*, 2015).

Para esses ecossistemas, a ciclagem de nutrientes ainda continua sendo estudada pela ótica do conceito de rio contínuo elaborado na década de 80 (BENDA *et al.*, 2004). Em outros casos, não há atribuição desses ambientes como importantes do ponto de vista ecológico, sendo considerados como ecossistemas secundários (ACUÑA *et al.*, 2017). Outras vezes, os estudos se concentram apenas em impactos antrópicos, e não em quantificar e qualificar estes ecossistemas.

A dinâmica de nutrientes em ecossistemas naturais pode ser alterada por fatores como fontes do elemento, exigência do nutriente pelos organismos presentes, e, o tipo de ecossistema. Em rios intermitentes, o mecanismo da dinâmica de nutrientes, assim como quantidades de matéria orgânica ainda não são bem elucidados (BALDWIN *et al.*, 2000b; HUMPHRIES *et al.*, 2003). Um dos fatores que contribuem para essa lacuna de conhecimento é a falta de métodos capazes de captar essas informações (DATRY *et al.*, 2014; DATRY *et al.*, 2016). Além disso, a rapidez que estes ecossistemas têm a mudanças dificulta estabelecer critérios mais adequados para pesquisas (DATRY *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2017; PEREZ *et al.*, 2020).

Os nutrientes distribuídos ao longo de um gradiente espacial em ecossistemas intermitentes podem interferir diretamente na estruturação de populações e comunidades (DATRY *et al.*, 2014). Vanonte (1980), afirmou a mesma coisa para rios perenes. Isso fica ainda mais em evidência quando se trata de um nutriente limitante da produção primária como é o fósforo. Dependendo do uso do recurso de água a dinâmica e quantidades de nutrientes podem interferir em serviços ecossistemas (LARNED *et al.*, 2010; DATRY *et al.*, 2014; LEIGH *et al.*, 2015; ACUÑA *et al.*, 2014; ACUÑA *et al.*, 2017).

Esse capítulo teve como objetivo investigar a distribuição espacial do fósforo e sua especiação ao longo de um rio intermitente no semiárido cearense. A hipótese desse capítulo foi que as formas de fósforo ao longo do rio, tendo em vista o fluxo, solos, fontes e drenos do nutriente.

8.2 Material e métodos

8.2.1 Amostragem

Para essas análises foram escolhidos os três pontos do rio, entendendo que esses pontos representam todo o curso de água. Os pontos foram: ponto mais alto do rio, ponto próximo a metade do curso de água e, ponto baixo do rio. As amostras foram coletadas em julho de 2019, período denominado Pre dry, de acordo com modelo teórico para estudos em rios intermitentes (DATRY *et al*, 2014; DATRY *et al*, 2016; DATRY *et al*, 2017; LARNED *et al.*, 2010).

Cada ponto tinha uma delimitação de 200 m de extensão onde foram coletadas amostras em 0,0 m, 100 m e 200 m, nas profundidades de 0-3 cm, 3-6 cm e 6-9 cm. Os sedimentos em cada ponto foram coletados na margem esquerda, margem direita e centro da calha do rio, utilizando tubos de policarbonato (0.05 m de diâmetro interno e 0.5 m de comprimento) acoplados a um amostrador de sedimentos (Cole Parmer Instrument). Os valores de pH e Eh foram mensurados para cada profundidade utilizando um eletrodo de vidro calibrado com padrões de pH de 4,0 e 7 e eletrodo de platina, respectivamente. As coletas para as variáveis mensuradas na água (Fósforo, pH, Eh e condutividade) seguiram o mesmo delineamento e foram medidas com o uso da sonda multipamétrica (YSI 7000). Todas as amostras foram comparadas entre cada ponto de coleta de forma a obter diferenças espaciais.

8.2.2 Análises granulométricas e mineralógicas

A distribuição granulométrica foi determinada a partir do método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986) após pré-tratamento com peróxido de hidrogênio para remoção da matéria orgânica.

Análise de caracterização mineralógica, foi realizada utilizando amostras de uma das fases (pre dry). As amostras foram previamente tratadas com solução de hipoclorito de sódio para oxidação da matéria orgânica e depois trituradas e peneiradas (< 150 mesh) (SIREGAR *et al.*, 2005). Em seguida, a fração argila foi concentrada após tratamento físico e químico para remoção das frações areia e silte, e floculação da fração argila.

A caracterização mineralógica foi obtida por difratometria de raios-x em amostras não orientada (em pó), utilizando um Miniflex II Desktop X-Ray Diffractometer com radiação Cu-K α ao passo de $0,02^\circ 2\theta \text{ s}^{-1}$ no intervalo de $3-60^\circ 2\theta$ (CHEN, 1977).

8.2.3 Fracionamento de fósforo

Para a obtenção dos dados de fósforo foi adotado o fracionamento de acordo com Paludan *et al.* (1995); Paludan *et al.* (1999) e Nobrega *et al.* (2014): P trocável (F1); P adsorvido aos óxidos – hidróxidos de ferro (F2); P associado aos filossilicatos e hidróxidos de alumínio (F3a); P associado a ácidos húmicos (F3b); P carbonatos/apatita (F4); e, P associado à matéria orgânica refratária (F5) (PALUDAN *et al.*, 1995; PALUDAN *et al.*, 1999; NOBREGA *et al.*, 2014). As concentrações de fósforo foram obtidas com o uso do espectrofotômetro com comprimento de onda de 885 nm e curva de cloreto de magnésio para P trocável e curva de água para as outras frações.

F1: extraída com MgCl_2 1M; F2: extraída com solução Bicarbonato de sódio e ditionito de sódio ($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) 0.11M; F3a: extraída com solução: NaOH 0.1M; F3b: extrato de P3, adicionado HCl (HCl puro) até pH ~1. Após precipitar, retirou - se sobrenadante (F3a). Depois, os filtros foram secos a 45°C e calcinados por 2 horas a 520°C na mufla. O procedimento final consiste em ferver os filtros em HCl (1 M) até dissolver as cinzas (extrato F3b); F4: Extraída com solução: HCl (37%) 0.5 M; e F5: As amostras foram secas a 45°C (o que sobrou da F4), transferidas para cadinhos e calcinadas a 520°C na mufla durante 2 h. Depois, o material foi fervido com HCl 1M até a dissolução total (extrato F5).

8.2.4 Análises estatísticas

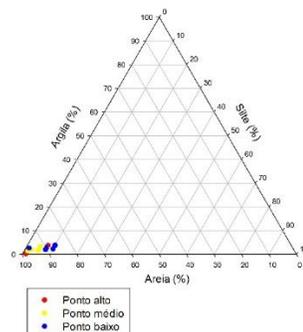
Foram plotados gráficos de médias e variâncias. Para o teste de comparação de médias, foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para avaliar as diferenças entre épocas, com um nível de significância definida para p-valor $<0,05$. Opção essa devido a maioria dos dados não atenderem a normalidade estatística (SOUTO E SOUTO, 2020). Para obter uma visão de separação espacial entre todas as variáveis, o método usado foi uma análise de função discriminante. Essa análise permite interpretar as variáveis conjuntamente (MANLY, 2008; GOTELLI E ELLISON, 2011). As análises estatísticas e gráficas foram realizadas nos softwares Past 4.03 e R (R Core Team, 2019).

8.3 Resultados

8.3.1 Granulometria e mineralogia

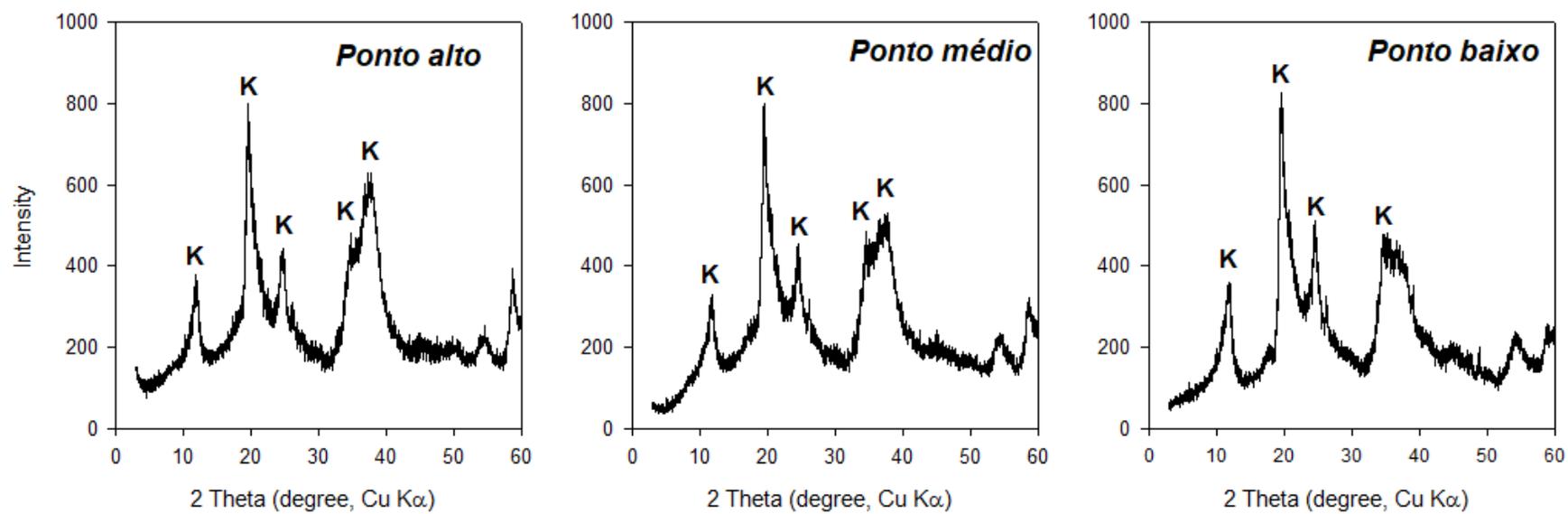
As amostras (Figura 26) não mostraram diferenças entre os pontos, sendo em sua maioria arenosas. A caulinita foi o único mineral da fração argila. Os picos de intensidade foram semelhantes em ambos os pontos de coleta (Figura 27).

Figura 26 – Triângulo textural apresentando a composição granulométrica (pontos)



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 27 – DRX da fração argila nos três pontos de coleta ao longo do rio



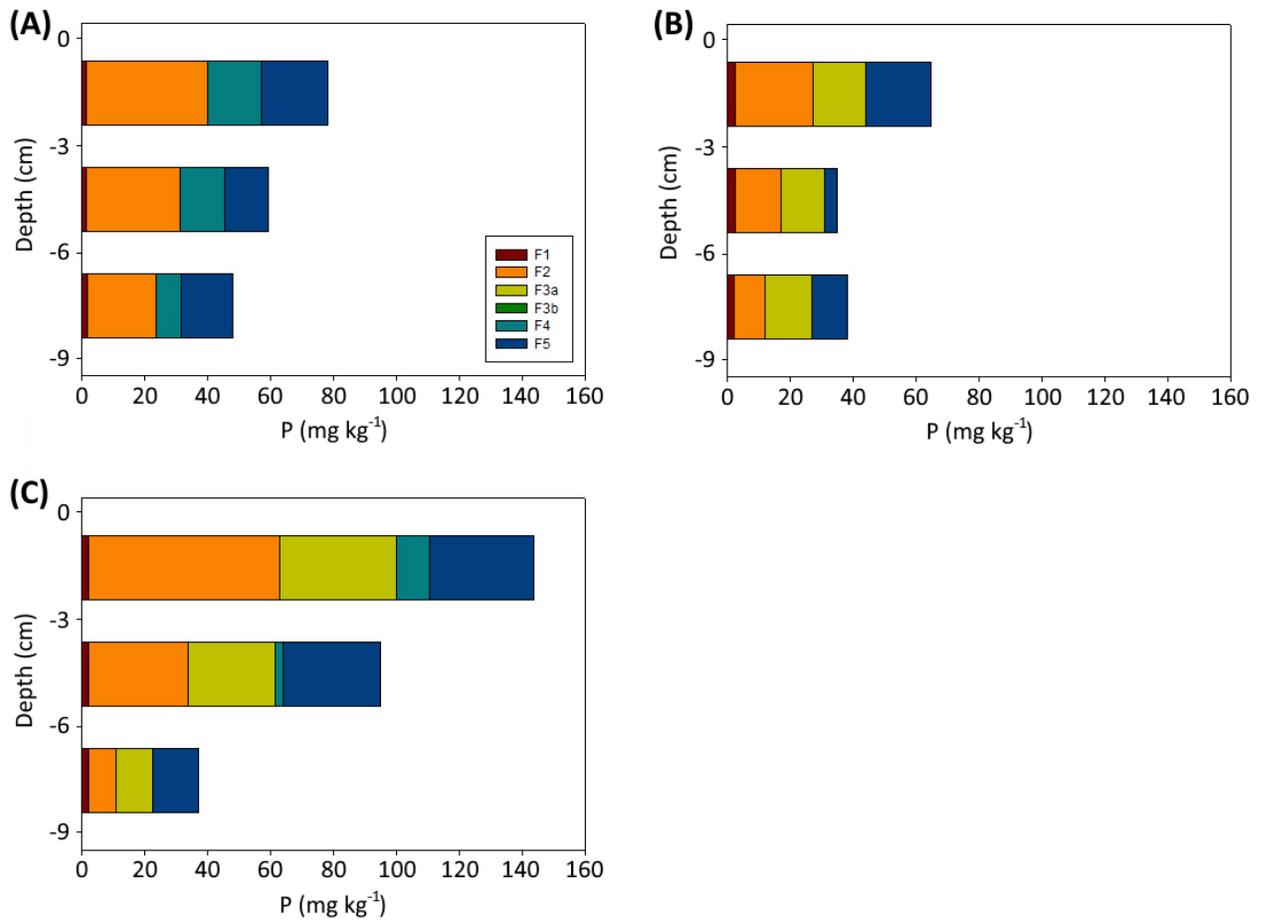
Fonte: elaborado pelo autor

8.3.2 *Fracionamento de fósforo*

O comportamento das frações variou ao longo do rio (Figura 28). Valores de P associado aos filossilicatos e hidróxidos de Al fora zero no ponto mais alto do rio (Figura 28A). A fração P carbonatos/apatita apareceu apenas no ponto mais alto do rio, sendo zero nos outros dois pontos (Figura 28A). No geral, a principal fração dominante em todos os pontos foram P Adsorvido aos óxido-hidróxidos de Fe e P ligado a matéria orgânica refratária.

Nas frações F1e F2 (figuras 29A e 29B), não houve diferenças estatísticas entre as médias (p-valor > 0.05). Na F3b os dados foram zero em todos os pontos. Diferenças estatísticas foram encontradas nas frações F3a (p-valor = < 0.001), F4 (p-valor = < 0.001) e F5 (p-valor = 0.048). Para a F3a (Figura 29C) valores médios foram de $0.0 \pm 0.0 \text{ mg kg}^{-1}$ (ponto alto); $15.18 \pm 4 \text{ mg kg}^{-1}$ (ponto médio); $29.41 \pm 24.84 \text{ mg kg}^{-1}$ (ponto baixo). Valores médios de $14.40 \pm 5.36 \text{ mg kg}^{-1}$ (ponto alto); $0.0 \pm 0.0 \text{ mg kg}^{-1}$ (ponto médio); $0.0 \pm 0.0 \text{ mg kg}^{-1}$ (ponto baixo) foram encontrados para a fração F4 (Figura 29D). Na fração F5 (Figura 29E), obteve-se valores médios de $15.03 \pm 8.37 \text{ mg kg}^{-1}$ (ponto alto); $8.12 \pm 7.6 \text{ mg kg}^{-1}$ (ponto médio) e $26.40 \pm 16.8 \text{ mg kg}^{-1}$ (ponto baixo).

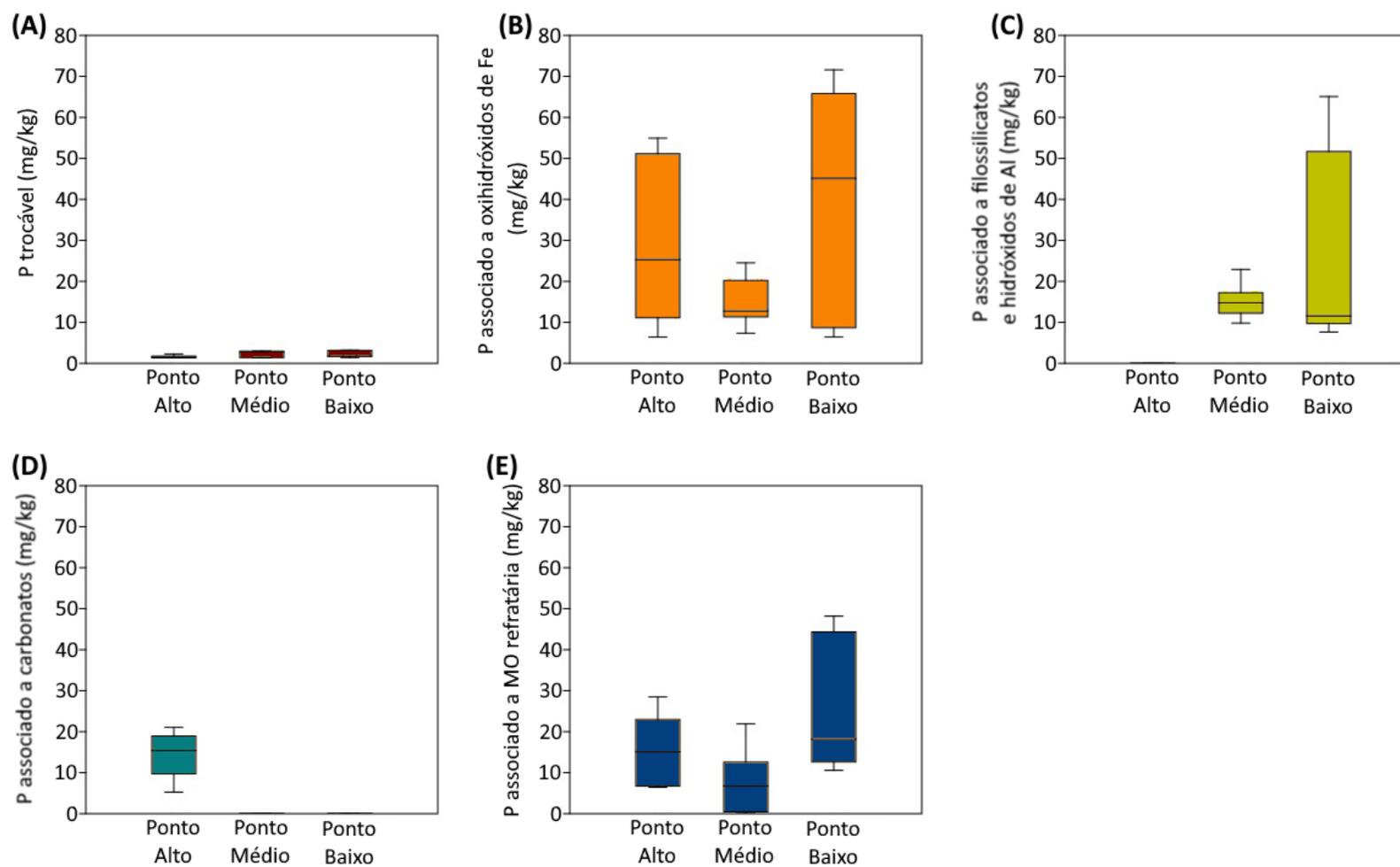
Figura 28 – Fracionamento de fósforo mostrando as frações que mais predominam entre os pontos ao longo do rio e profundidades



Ponto alto (A); Ponto média (B); Ponto baixo (C).

Fonte: autor.

Figura 29 – Teores de fósforo para cada fração nos três pontos ao longo do rio



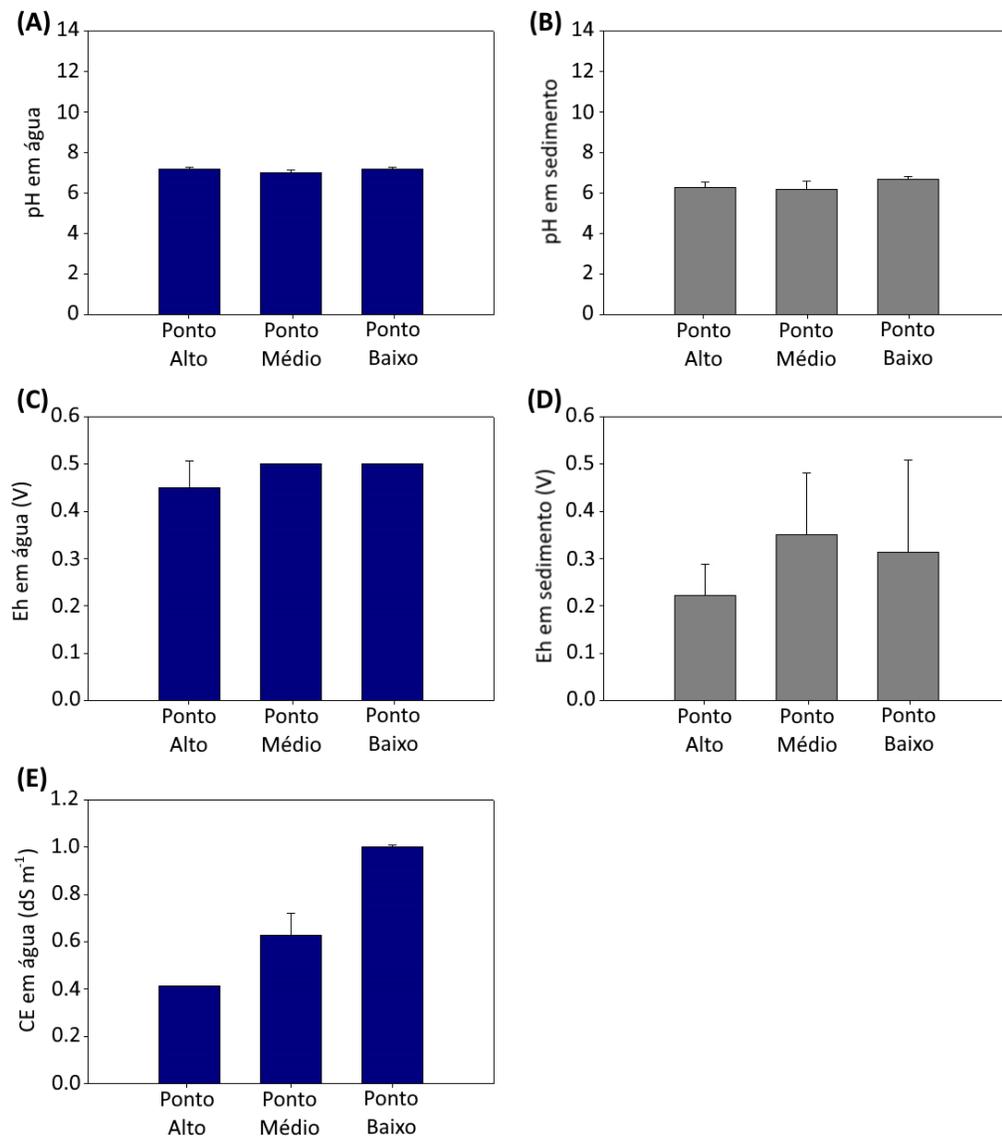
Fonte: elaborado pelo autor.

8.3.3 Variáveis ambientais: pH, Eh, condutividade elétrica, fósforo em água, oxigênio dissolvido e Carbono orgânico total

Os valores de pH e Eh na água (Figura 30A e 30B) e nos sedimentos (Figura 30C e 30D) não tiveram muita variação ao longo dos pontos. Para a comparação dessas variáveis, não houve diferenças estatisticamente significante entre as médias (p-valor > 0.05).

Valores de condutividade elétrica aumentaram em direção a parte mais baixa do rio (Figura 30E). Diferiram estatisticamente (p-valor = < 0.001), onde os valores foram 0.4 ± 0.0 dS m⁻¹ (ponto alto); 0.6 ± 0.09 dS m⁻¹ (ponto médio); 1.0 ± 0.01 dS m⁻¹ (ponto baixo).

Figura 30 – Valores de dados obtidos de pH e Eh (água e sedimentos) e condutividade elétrica mostrando as diferenças entres os pontos ao longo do rio

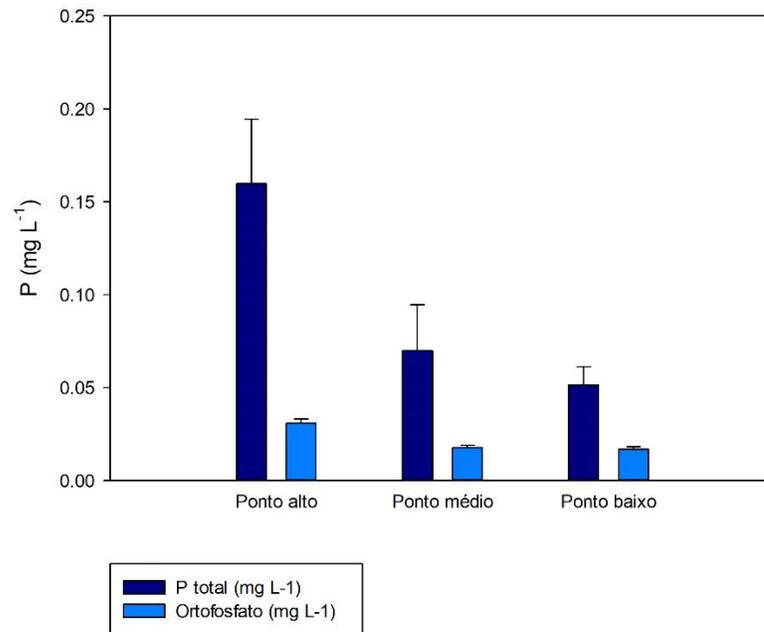


Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados de fósforo em água (P total e Ortofosfato) (Figura 31) diferiam estatisticamente. Para fósforo total (p -valor = 0.004), foram obtidas médias de $0.16 \pm 0.03 \text{ mg L}^{-1}$ (Ponto alto); $0.07 \pm 0.02 \text{ mg L}^{-1}$ (ponto médio); $0.05 \pm 0.0 \text{ mg/L}$ (ponto baixo). Para essa variável, notou-se que as quantidades diminuem em direção a jusante do rio.

Para o ortofosfato (Figura 31) observou-se um gradiente semelhante ao P total. Os valores de médias foram maiores para o ponto mais próximo a montante, decrescendo em direção a jusante do rio. As médias foram diferentes estatisticamente (p -valor = < 0.001). Os valores obtidos foram de $0.03 \pm 0.0 \text{ mg L}^{-1}$ (ponto alto); $0.01 \pm 0.0 \text{ mg L}^{-1}$ (ponto médio); $0.01 \pm 0.0 \text{ mg L}^{-1}$ (ponto baixo).

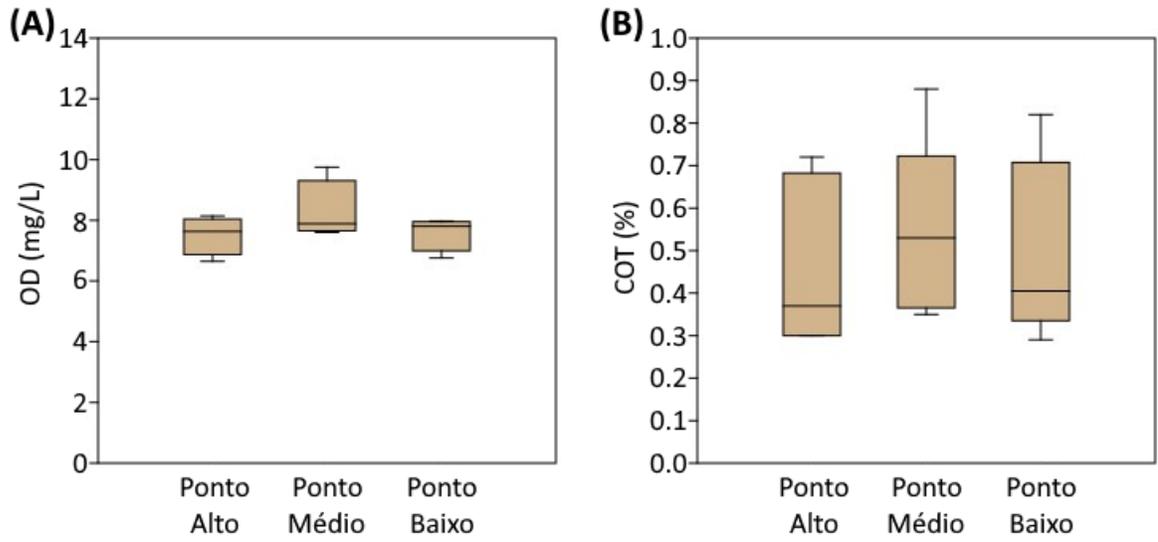
Figura 31 – Valores de fósforo em água



Fonte: elaborado pelo autor.

Não foram encontradas diferenças estatísticas entre as médias de oxigênio dissolvido (Figura 32A), como também, para carbono orgânico total (Figura 32B) (p -valor > 0.05).

Figura 32 – Valores de Oxigênio dissolvido e Carbono orgânico total

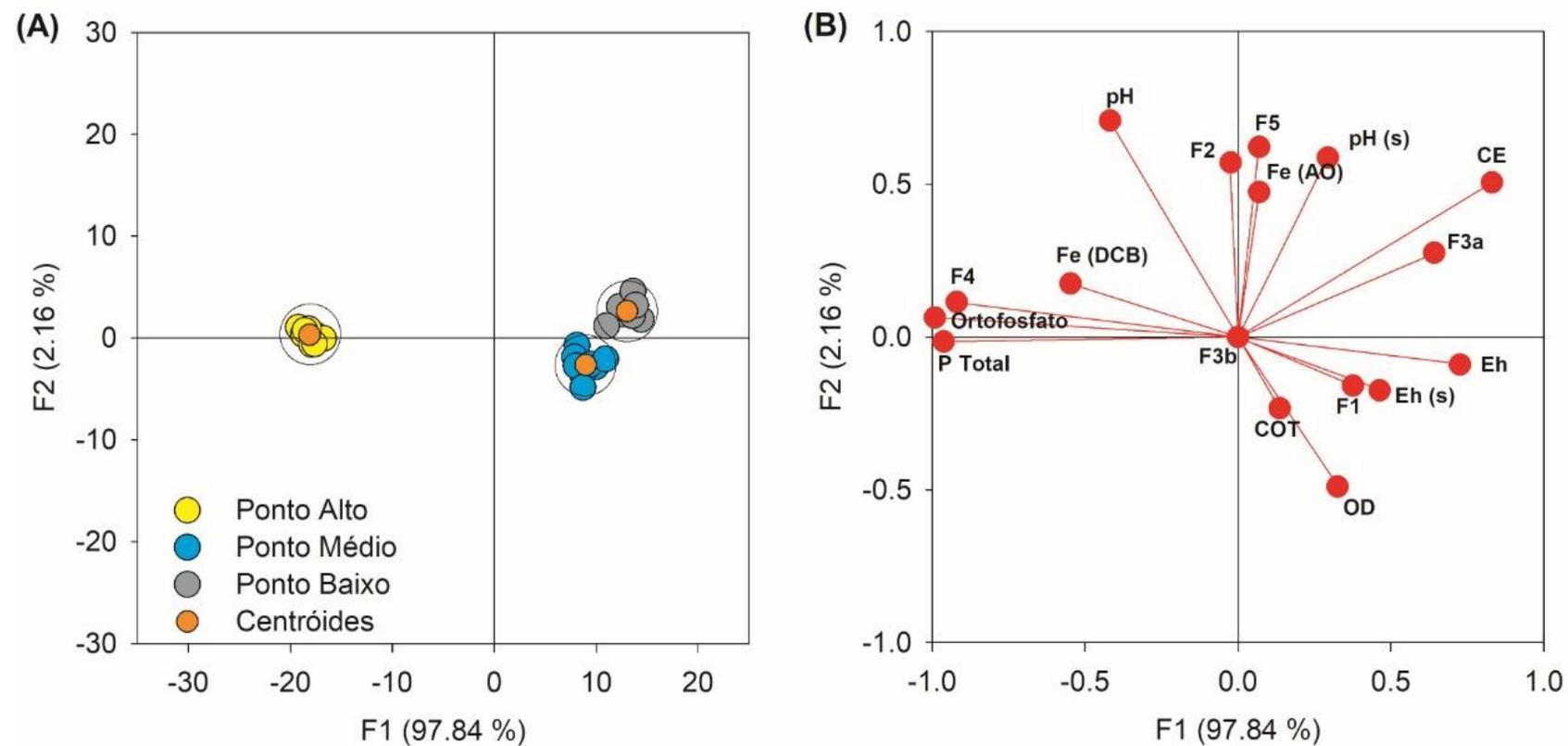


Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.4 Análise de função discriminante

A análise permitiu compreender as variáveis de forma conjunta, separando bem os grupos, totalizando 100% de separação (Figura 33). Na função 1, obteve-se um valor de 97.84% em que F1, F3a, F4, condutividade elétrica, Eh (em sedimento e água), Fe (DCB) e P em água (P total e Ortofosfato) foram as variáveis que mais contribuíram para a separação dos grupos.

Figura 33 – Análise de função discriminante separando os três grupos de dados (pontos)



Fonte: elaborado pelo autor.

8.4 Discussão

A hipótese de que as formas de fósforo mudariam ao longo do rio foi confirmada parcialmente. A separação dos grupos mostrado pela análise de função discriminante mostrou bem que existem diferenças espacialmente, e, que devem ser consideradas. Entretanto não foram observadas variações em todas as variáveis, como sugeria a hipótese.

Óxido-hidróxidos de Fe, filossilicatos e hidróxidos de Al e matéria orgânica foram as variáveis que controlam espacialmente a dinâmica de P no rio cruxati. Os sedimentos são arenosos estáveis (MELO *et al.*, 2002b; EMBRAPA, 2011). Mas devido aos óxidos de Fe e a mineralogia caulinítica, observou-se que há forte influência da matriz mineral do solo. Mesmo esse grupo de sedimentos (formação barreiras) apresentando quantidades baixas de Fe (ferro (MELO *et al.*, 2002b; CORREIA *et al.*, 2008), essa fração tem grande influência da dinâmica do P devido a grande área superficial dos óxidos de Fe (MELO *et al.*, 2001; DA – PENG *et al.*, 2010). Essa capacidade de adsorção explica os baixos teores de P trocável. Como os conteúdos de Óxidos de Fe e mineralogia é a mesma ao longo do rio, os valores de P trocável também não mudariam.

A caulinita apresenta grande capacidade de adsorver P devido às características de formação e climas onde o estudo foi desenvolvido úmido (MELO *et al.*, 2002b; MELLO *et al.*, 2002c; CORREIA *et al.*, 2008). Essa característica explica as quantidades de P ligadas a esse argilomineral. Valores de fósforo associado ao filossilicatos e hidróxidos de alumínio no ponto mais alto do rio (valores zero) podem ser devido à uma lavagem de sedimentos na parte mais alta do rio. Sedimentos funcionam como um compartimento de estoque de nutrientes (DA – PENG *et al.*, 2010; SCHONBRUNNER *et al.*, 2012; ATTYGALLA *et al.*, 2016; CAVALCANTE *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2018), assim, uma lavagem maior na parte de cima do rio e a não capacidade expansiva da caulinita (sofreria maior intemperismo físico), levariam uma liberação maior de P. As maiores quantidades de P em água no ponto mais alto, pode também estar atrelada a essa lavagem, devido um maior fluxo de água na montante do rio. Os valores mais altos de P associado aos filossilicatos e hidróxidos de Al na parte mais baixa do rio, podem estar atrelados ao acúmulo de matéria orgânica. Matéria orgânica tende a acumular no ponto mais baixo devido a maiores teores de umidade nas partes mais baixas e interagir com o Al (DARKE *et al.*, 2000; NGUYENA *et al.*, 2005). Essa interação pode estar aumentando a associação com o P.

Conteúdos de P ligados a matéria refratária indica que o fluxo ao longo do rio (aumentos ou diminuição da intermitência) não foi capaz de alterar o poder de estabilização das frações orgânicas. Além disso, essa fração é mais recalcitrante (KELLEHER *et al.*, 2006). Esse comportamento, em que os teores ligados a fração orgânica aumentou no sentido a jusante é mesmo sugerido e explicado pelo conceito de rio contínuo. Vannote (1980) propôs que devido ao alto peso molecular e energia cinética do rio, conteúdos de matéria orgânica se acumulariam na parte mais baixa do rio. Partindo do princípio que a parte mais baixa seria mais úmida, as concentrações maiores de P associada a frações orgânicas tenderiam a se concentrarem em detrimento das frações inorgânicas (O'CONNELL *et al.*, 2018). Valores menores na parte mais alto do rio podem estar associadas há uma menor umidade, e conseqüentemente, maior oxidação da matéria orgânica (KONG *et al.*, 2021).

Valores iguais de pH, tendendo a básico, foram dentro do esperado para ambientes aquáticos de água doce (TUNDISI E TUNDISE, 2008; ESTEVES, 2011). Esses valores de pH podem ajudar a explicar os dados obtidos na fração ligado a ácidos húmicos (valores zero). Essas condições básicas tendem a dissolver esses ácidos (KELLEHER *et al.*, 2006; PRIMO *et al.*, 2011). Dessa forma, não haveria P ligado a essa fração. Valores de Eh também não diferiram.

Apenas no ponto mais alto foram obtidos P ligado a carbonatos/apatita em relação aos outros dois (dados zero). Teores de umidade mais alta podem aumentar a liberação de carbono e dissolução nesses pontos baixos (KONG *et al.*, 2021). Esse fator pode explicar os dados zeros nos pontos mais baixos.

Os dados maiores de condutividade elétrica no ponto mais baixo, assim como da fração orgânica mais recalcitrante, indicam que há um gradiente de concentração na parte mais baixa do rio, seguindo um gradiente físico, como, como apontado para rios contínuos (VANNOTE *et al.*, 1980).

Mesmo não diferindo espacialmente, as quantidades de COT, junto com as quantidades de P ligado a fração humina (matéria orgânica refratária), indicam esse ambiente como forte estabilizador de frações orgânicas. Concentrações de oxigênio dissolvido não diferiram estatisticamente. Tendo em vista que essa variável é proporcionalmente dependente da temperatura (KONG *et al.*, 2021) não se alterariam, já que a tendência seria de pouca variação de temperatura nessa época do ano ao longo do rio.

8.5 Conclusões

- A hipótese se que as formas de fósforo ao longo do rio iriam diferir (segunda hipótese), foi confirmada parcialmente;
- No fracionamento do fósforo, apenas as frações P- associado aos filossilicatos e hidróxidos de alumínio, P- apatita/carbonatos e P- Ligado a matéria orgânica refratária obtiveram médias diferentes ao longo do rio;
- As diferenças acerca dos filossilicatos e hidróxidos de Alumínio com valores de fósforo maiores no ponto mais baixo do rio podem ser devido à uma lavagem de sedimentos na parte mais alta do rio;
- A falta de P – apatita/carbonatos no ponto mais baixo pode estar atrelada a maiores teores de umidade, que dessa forma, aumentaria a solubilidade desses carbonatos.
- De acordo com os valores maiores de P associado a fração orgânica no ponto mais baixo do rio, pode-se sugerir que a dinâmica da matéria orgânica é a mesma sugerida pelo conceito/modelo proposto para rios contínuos.

REFERÊNCIAS

- ACUÑA, V.; DATRY, T.; MARSHALL, J.; DAHM, D. C. N.; GINEBRED, A.; MCGREGOR, G.; SABATER, S.; TOCKNER, K.; PALMER, M. A. Why Should We Care About Temporary Waterways? **Science**, v. 343, p. 1080-1081, 2014.
- ACUÑA, V.; HUNTER, M.; RUHÍ, A. Managing temporary streams and rivers as unique rather than second-class ecosystems. **Biological Conservation**, v. 211, p. 12-19, 2017.
- ATTYGALLA, Nimala W; BALDWIN, Darren S.; SILVESTER, Ewen; KAPPEN, Peter; WHITWORTH, Kerry L. The severity of sediment desiccation affects the adsorption characteristics and speciation of phosphorus. **Environ. Sci: Processes Impacts**, 18, p. 64-71, 2016.
- BALDWIN, D. S.; MITCHELL, A. M. The effects of drying and re-flooding on the sediment and soil nutrient dynamics of lowland river–floodplain systems: a synthesis. **Regul. Rivers: Res. Mgmt.**, 16, p. 457-467, 2000b.
- BENDA, Lee; POFF, N. Leroy; MILLER, Daniel; DUNNE, Thomas; REEVES, Gordon; PESS, George; POLLOCK, Michael. The Network Dynamics Hypothesis: How Channel Networks Structure Riverine Habitats. **Bioscience**, v. 54, n. 5, p. 413-427, 2004.
- CAVALCANTE, H.; ARAÚJO, F.; NOYMA, N. P.; BECKER, V. Phosphorus fractionation in sediments of tropical semiarid reservoirs. **Science of the Total Environment**, v. 619, p. 1022-1029, 2018.
- CORREA, Marcelo Metri; KER, João Carlos; BARRÓN, Vidal; FONTES, Maurício Paulo; TORRENT, José; CURI, Nilton. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1017-1031, 2008.
- DATRY, T.; LARNED, S. T.; TOCKNER, K. Intermittent Rivers: A Challenge for Freshwater Ecology. **BioScience**, v. 64, n. 3, p. 229-235, 2014.
- DATRY, T.; CORTI, R.; FOULQUIER, A.; SCHILLER, D. von; TOCKNER, K. One for All, All for One: A Global River Research Network. **Eos**, p. 02 -08, 2016.
- DATRY, Thibault; BONADA, Núria; BOULTON, Andrew (Org.). **Intermittents rivers and ephemeral streams: ecology and management**. Elsevier, 2017.
- DA – PENG, Li; YOUG, Huang. Sedimentary phosphorus fractions and bioavailability as influenced by repeated sediment resuspension. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 958-962, 2010.
- GOMES, Pattiyage I. A.; WAI, Onyx W. H.; DEHINI, Ganegoda K. Vegetation dynamics of ephemeral and perennial streams in mountainous headwater catchments. **J. Mt. Sci**, v.17, n. 7, p.1684-1695, 2020.
- GOTELLI, Nicholas J.; ELLISON, Aaron M. **Princípios de estatística em ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011, p. 527.

HUMPHRIES, Paul; BALDWIN, Darren S. Drought and aquatic ecosystems: an introduction. **Freshwater Biology**, v. 48, p. 1141-1146, 2003.

KONG, Ming; HAN, Tianlun; CHEN, Musong; ZHAO, Donghua; CHAO, Jianying; ZHANG, Yimin. High mobilization of phosphorus in black-odor river sediments with the increase of temperature. **Science of Total Environment**, 775, p. 01-08, 2021.

LARNED, S. T.; DATRY, T.; ARSCOTT, D. B.; TOCKNER, K. Emerging concepts in temporary-river ecology. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 4, p. 717-738, 2010.

LEIGH, Catherine.; BOULTON, Andrew J.; COURTWRIGHT, Jennifer L.; FRITZ, Ken.; MAY, Christine L.; WALKER, Richard H.; DATRY, Thibault. Ecological research and management of intermittent rivers: an historical review and future directions. **Freshwater Biology**, p. 01-19, 2015.

MELO, V.F; NOVAIS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, M.P.F.; SINGH, B. Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 29-41, 2002c.

MELO, V.F; NOVAIS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, M.P.F.; SINGH, B. Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 53-64, 2002b.

MANLY, Bryan F. J. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. Porto Alegre: Bookman. 3 ed., 2008, p. 231.

NÓBREGA, G. N.; OTERO, X. L.; MACÍAS, F.; FERREIRA, T. O. Phosphorus geochemistry in a Brazilian semiarid mangrove soil affected by shrimp farm effluents. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 9, p. 5749-5762, 2014.

PALUDAN, C.; JENSEN, H. S. Sequential extraction of phosphorus in freshwater wetland and lake sediment: significance of humic acids. **Wetlands**, 15, n. 4, p. 365-373, 1995.

PALUDAN, C.; MORRIS, J. T. Distribution and speciation of phosphorus along a salinity gradient in intertidal marsh sediments. **Biogeochemistry**, v. 45, n. 2, p. 197-221, 1999.

PEREZ, Alondra B. A.; SANTOS, Camyla dos; SÁ, João H. M.; ARIENTI, Pedro F.; CHAFFE, Pedro L. B. Connectivity of Ephemeral and Intermittent Streams in a Subtropical Atlantic Forest Headwater Catchment. **Water**, v. 12, p. 01-15, 2020.

SOUTO, Leandro de Sousa; SOUTO, Eduardo de Sousa. **Análise de dados ecológicos: Um guia simplificado de análises estatísticas para estudantes e profissionais da área ambiental**. Brasília: Ed. Do autor, 2020, p. 136.

SCHÖNBRUNNER, Iris M.; PREINER, Stefan; HEIN, Thomas. Impact of drying and re-flooding of sediment on phosphorus dynamics of river-floodplain systems. **Science of the Total Environment**, n. 432, p. 329-337, 2012.

STEWART, A. L.; Von Schiller, D.; TOCKNER, K.; MARSHALL, J. C.; BUNN, S. E. When the river runs dry: Human and ecological values of dry riverbeds. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 10, n. 4, p. 202–209, 2012.

VANNOTE, R.; MINSHALL, G.; CUMMINS, K.; SEDELL, J.; CRUSHING, C. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980.

ZHANG, Wenqiang; JIN, Xin; MENG, Xin; TANG, Wenzhong; SHAN, Baoqing. Phosphorus transformations at the sediment-water interface in shallow freshwater ecosystems caused by decomposition of plant debris. **Chemosphere**, v. 201, p. 328-334, 2018.

9 CONCLUSÕES GERAIS

As pesquisas sobre ciclagem e dinâmica de nutrientes em rios intermitentes ainda são incipientes. Entre os fatores que justificam a pouca quantidade de trabalhos sobre este tema estão as dificuldades de métodos que abrangem a complexidade desses ecossistemas. Além do pouco espaço temporal que estes ecossistemas foram inseridos no campo da ecologia de água doce.

Apenas os ciclos de umedecimento e secagem não são capazes de alterar a dinâmica do P em rios intermitentes. Essa especiação é fortemente atrelada à matriz mineral do solo, principalmente os óxidos-hidróxidos de Fe. Ao longo do rio (dinâmica jusante-montante), gradientes físicos como a geomorfologia ajudam a compreender a dinâmica de nutrientes e matéria orgânica.

Quantidades de P ligado a frações orgânicas, como também os teores de carbono orgânico total indicam esses ambientes como ecossistemas estabilizadores de matéria orgânica. Dessa forma, rios intermitentes são importantes para compressão, também, das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ACUÑA, V.; DATRY, T.; MARSHALL, J.; DAHM, D. C. N.; GINEBREDA, A.; MCGREGOR, G.; SABATER, S.; TOCKNER, K.; PALMER, M. A. Why Should We Care About Temporary Waterways? **Science**, v. 343, p. 1080-1081, 2014.
- ACUÑA, V.; HUNTER, M.; RUHÍ, A. Managing temporary streams and rivers as unique rather than second-class ecosystems. **Biological Conservation**, v. 211, p. 12-19, 2017.
- ATTYGALLA, Nimala W; BALDWIN, Darren S.; SILVESTER, Ewen; KAPPEN, Peter; WHITWORTH, Kerry L. The severity of sediment desiccation affects the adsorption characteristics and speciation of phosphorus. **Environ. Sci: Processes Impacts**, 18, p. 64-71, 2016.
- BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v. 31, p. 697-710, 2000.
- BALDWIN, D. S.; MITCHELL, A. M.; REES, G. N. The effects of *in situ* drying on sediment–phosphate interactions in sediments from an old wetland. **Hydrobiologia**, v. 431, p. 03-12, 2000a.
- BALDWIN, D. S.; MITCHELL, A. M. The effects of drying and re-flooding on the sediment and soil nutrient dynamics of lowland river–floodplain systems: a synthesis. **Regul. Rivers: Res. Mgmt.**, 16, p. 457-467, 2000b.
- BARCELLOS, Diego; QUEIROZ, Hermano Melo; NÓBREGA, Gabriel Nuto; OLIVEIRA FILHO, Romildo Lopes de; SANTAELLA, Sandra Tedde, OTERO, Xosé Luis, FERREIRA, Tiago Osório. Phosphorus enriched effluents increase eutrophication risks for mangrove systems in northeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 142, p. 58-63, 2019.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso: 27 maio 2021.
- BENDA, Lee; POFF, N. Leroy; MILLER, Daniel; DUNNE, Thomas; REEVES, Gordon; PESS, George; POLLOCK, Michael. The Network Dynamics Hypothesis: How Channel Networks Structure Riverine Habitats. **Bioscience**, v. 54, n. 5, p. 413-427, 2004.
- CAVALCANTE, H.; ARAÚJO, F.; NOYMA, N. P.; BECKER, V. Phosphorus fractionation in sediments of tropical semiarid reservoirs. **Science of the Total Environment**, v. 619, p. 1022-1029, 2018.
- COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Bacias hidrográficas do Litoral Características Gerais**. Ceará – CE, 2012. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/>. Acesso em: 01 abr. 2021.

CORREA, Marcelo Metri; KER, João Carlos; BARRÓN, Vidal; FONTES, Maurício Paulo; TORRENT, José; CURI, Nilton. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1017-1031, 2008.

CORTI, Roland; DATRY, Thibault. Drying of a temperate, intermittent river has little effect on adjacent riparian arthropod communities. **Freshwater Biology**, p. 01-13, 2013.

CUI Meng-qian, WU Chuan, JIANG Xing-xing, LIU Zi-yu, XUE Sheng-guo. Bibliometric analysis of research on soil arsenic during 2005–2016 [J]. **Journal of Central South University**, 26(2): 479-488, 2019.

CHEN, P.Y. **Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks**. Department of Natural Resources, Indiana Geological Survey, Bloomington, Indiana, 1977.

DA – PENG, Li; YOUG, Huang. Sedimentary phosphorus fractions and bioavailability as influenced by repeated sediment resuspension. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 958-962, 2010.

DARKE, Arlene K.; WALBRIDGE, Mark R. Al and Fe biogeochemistry in a floodplain forest: Implications for P retention. **Biogeochemistry**, v. 51, p. 1-32, 2000.

DATRY, T.; LARNED, S. T.; TOCKNER, K. Intermittent Rivers: A Challenge for Freshwater Ecology. **BioScience**, v. 64, n. 3, p. 229-235, 2014.

DATRY, T.; CORTI, R.; FOULQUIER, A.; SCHILLER, D. von; TOCKNER, K. One for All, All for One: A Global River Research Network. **Eos**, p. 02-08, 2016.

DATRY, Thibault; BONADA, Núria; BOULTON, Andrew (Org.). **Intermittents rivers and ephemeral streams: ecology and management**, Elsevier, 2017.

ESTEVES, Francisco de Assis. (Coord.) **Fundamento de limnologia**. 3ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. ESTEVES, Francisco de Assis. (Coord.) **Fundamento de limnologia**. 3ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FARIAS, R.L; CARVALHO, L.K; MEDEIROS, E.S.F. Distribution of Chironomidae in a Semiarid Intermittent River of Brazil. **Neotrop. Entomol.**, v. 41, p. 450-460, 2012.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Projetos e mapas**. Ceará – CE, 2018. Disponível em: <http://www.funceme.br/>. Acesso em: 01 abr. 2021.

GOMES, Pattiyage I. A.; WAI, Onyx W. H.; DEHINI, Ganegoda K. Vegetation dynamics of ephemeral and perennial streams in mountainous headwater catchments. **J. Mt. Sci.**, v.17, n. 7, p.1684 - 1695, 2020.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. **In: Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods**. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1986, p. 383-411.

HALL, Steven J.; HUANG, Wenjua. Iron reduction: a mechanism for dynamic cycling of occluded cations in tropical forest soils? **Biogeochemistry**, p. 01-12, 2017.

HAMMER, Ø; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. 2001. **PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis**. *Palaeontologia Electronica* 4 (1), 2001.
HORPPILA, Jukka. Sediment nutrients, ecological status and restoration of lakes. **Water Research**, n. 160, p.206-208, 2019.

HOLANDA, José S. de; AMORIM, Julio R. A. de; FERREIRA NETO, Miguel; HOLANDA, Alan C. de; SÁ, Francisco V. da S. Qualidade de água para irrigação. In: GHEYI, Hans Raj; DIAS, Nildo da Silva; LACERDA, Claudivan Feitosa de; GOMES FILHO, Enéas (EE.). **Manejo da Salinidade na Agrucultura: Estudos básicos e aplicados**. 2 ed., Fortaleza, CE: INCTsal, 2016, p. 35-50.

HUMPHRIES, Paul; BALDWIN, Darren S. Drought and aquatic ecosystems: an introduction. **Freshwater Biology**, v. 48, p. 1141-1146, 2003.

JIN, Xiangcan; WANG, Shengrui; PANG, Yan; WU, Feng Chang. Phosphorus fractions and the effect of pH on the phosphorus release of the sediments from different trophic areas in Taihu Lake, China. **Environmental Pollution**, v. 139, p. 288-295, 2006.

JONGE, V. N.; VILLERIUS, L. A. Possible role of carbonate dissolution in estuarine phosphate dynamics. **Limnol. Oceanogr.**, v. 34, n. 2, p. 332-340, 1989.

K E L L E H E R, Brian P.; S I M P S O N, Andre J. Humic Substances in Soils: Are They Really Chemically Distinct? **Environ. Sci. Technol.**, v. 40, n. 15, p.4605-4611, 2006.

KIM, Boram; GAUTIER, Mathier; SIMIDOFF, Arnaud; SANGLAR, Corinne; CHATAIN, Vicente; MICHEL, Philippe; GOURDON, Remy. pH and Eh effects on phosphorus fate in constructed wetland's sludge surface deposit. **Journal of Environmental Management.**, v. 183, p. 175-181, 2016.

KONG, Ming; HAN, Tianlun; CHEN, Musong; ZHAO, Donghua; CHAO, Jianying; ZHANG, Yimin. High mobilization of phosphorus in black-odor river sediments with the increase of temperature. **Science of Total Environment**, 775, p. 01-08, 2021.

LARNED, S. T.; DATRY, T.; ARSCOTT, D. B.; TOCKNER, K. Emerging concepts in temporary-river ecology. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 4, p. 717-738, 2010.

LEIGH, Catherine.; BOULTON, Andrew J.; COURTWRIGHT, Jennifer L.; FRITZ, Ken.; MAY, Christine L.; WALKER, Richard H.; DATRY, Thibault. Ecological research and management of intermittent rivers: an historical review and future directions. **Freshwater Biology**, p. 01-19, 2015.

LILLEBO, Ana Isabel; MORAIS, Manuela; GUILHERME, Pedro; FONSECA, Rita; SERAFIM, António; NEVES, Ramiro. Nutrient dynamics in Mediterranean temporary streams: A case study in Pardiela catchment (Degebe River, Portugal). **Limnologica**, v. 37, p. 337-348, 2007.

MARTÍNI, Aline. F.; VALANI, Gustavo P.; STUCCHI; BOVI, Renata C.; SILVA, Laura F. S.; COOPER, Miguel. Is soil quality a concern in sugarcane cultivation? A bibliometric review. **Soil & Tillage Research**, n. 204, p. 01-08, 2020.

MARTINS, Rozane Valente; PAULA FILHO, Francisco José; ROCHA, Carlos Artur Sobreira. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. **Quim. Nova**, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, 2007.

MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clay by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Miner**, v. 7, p. 317-327, 1960.

MELO, V.F; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C.E.G.R. Características dos óxidos de ferro e alumínio de diferentes classes de solos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p. 19-32, 2001.

MELO, V.F; NOVAIS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, M.P.F.; SINGH, B. Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 29-41, 2002c.

MELO, V.F; NOVAIS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, M.P.F.; SINGH, B. Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 53-64, 2002b.

MELO, Vander de Freitas; ALLEONI, Luís Reynaldo F. (editores). **Química e mineralogia do solo: Parte I – conceitos básicos**. v. 1, Viçosa, MG: SBCS, 2009.

MELO, Vander de Freitas; ALLEONI, Luís Reynaldo F. (editores). **Química e mineralogia do solo: Parte II – aplicações**. v. 2, Viçosa, MG: SBCS, 2009.

McKEAGUE, J.A. **Manual on soil sampling and methods of analysis**, Ottawa, Canadian Society of Soil Science, 1978. p. 212.

NI, Jianyu; LIN, Peng; ZHEN, Yang; YAO, Xuyng; GUO, Laodong. Distribution, source and chemical speciation of phosphorus in surface sediments of the central Pacific Ocean. **Deep-Sea Research I**, v. 105, p. 74-82, 2015.

NGUYENA, Binh Thanh; MARSCHNERB, Petra. Effect of drying and rewetting on phosphorus transformations in red brown soils with different soil organic matter content (short communication). **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 1573-1576, 2005.

NÓBREGA, G. N.; OTERO, X. L.; MACÍAS, F.; FERREIRA, T. O. Phosphorus geochemistry in a Brazilian semiarid mangrove soil affected by shrimp farm effluents. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 9, p. 5749-5762, 2014.

O'CONNELL, Christine S.; RUAN, Leilei; SILVER, Whendee L. Drought drives rapid shifts in tropical rainforest soil biogeochemistry and greenhouse gas emissions. **Nature Communications**, 9:1348, p. 01-09, 2018.

ODUM, Eugene P. The strategy of ecosystem development. **Science**, v. 164, n. 3877, p. 262-270, 1969.

OLIVEIRA, Jean Carlos Dantas; OLIVEIRA, Jonnata Fernades; MARQUES, Alexandre de Oliveira; PERETTI, Danielle; COSTA, Rodrigo Silva; NOVAES, José Luís Costa. Trophic ecology of detritivorous fish along a reservoir cascade in a tropical semi-arid region. **Ecology of Freshwater Fish**, p. 234-243, 2020.

PALUDAN, C.; JENSEN, H. S. Sequential extraction of phosphorus in freshwater wetland and lake sediment: significance of humic acids. **Wetlands**, 15, n. 4, p. 365-373, 1995.

PALUDAN, C.; MORRIS, J. T. Distribution and speciation of phosphorus along a salinity gradient in intertidal marsh sediments. **Biogeochemistry**, v. 45, n. 2, p. 197-221, 1999.

PEREZ, Alondra B. A.; SANTOS, Camyla dos; SÁ, João H. M.; ARIENTI, Pedro F.; CHAFFE, Pedro L. B. Connectivity of Ephemeral and Intermittent Streams in a Subtropical Atlantic Forest Headwater Catchment. **Water**, v. 12, p. 01-15, 2020.

PORTO, Marcio Menezes; ANDRADE, Eunice Maia de; COSTA, Raimundo Nonato Távora; LEMOS FILHO, Luís de Aquino; MEIRELES, Marcos. Identificação de bacias hidrográficas com característica físicas similares no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 35, n. 1, p. 17-25, 2004.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p. 01-13, 2011.

QUEIROZ, Amanda Caroline Faustino; TERRA, Bianca de Freitas. Ecological drivers of fish metacommunities: Environmental and spatial factors surpass predation in structuring metacommunities of intermittent rivers. **Ecology of Freshwater Fish**, p. 145-155, 2019. DOI: 10.1111/eff.12502.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. 2019.

RICKLEFS, Robert; RELYEA, Rick. **A economia da natureza**. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

RODRIGUES FILHO, Carlos A.S; GURGEL-LOURNÇO, Ronaldo C.; RAMOS, Eliêta A.; NOVAES, José L.C.; GARCEZ, Danielle S.; COSTA, Rodrigo S.; SÁNCHEZ-BOTERO, Jorge I. Metacommunity organization in an intermittent river in Brazil: the importance of riverine networks for regional biodiversity. **Aquat. Ecol.**, v. 54, p. 145-161, 2020.

SIREGAR, A.; KLEBER, M.; MIKUTTA, R.; JAHN, R. Sodium hypochlorite oxidation reduces soil organic matter concentrations without affecting inorganic soil constituents. **Eur J Soil Sci**, v. 56, p. 481-490, 2005.

SCHILLER, D. von; BERNAL, S.; DAHM, C. N.; MARTÍ, E. Nutrient and Organic Matter Dynamics in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. In: DATRY, Thibault; BONADA, Núria; BOULTON, Andrew. (Org.) **Intermittents rivers and ephemeral streams: ecology and management**. Elsevier, 2007. p. 135-160.

SCHÖNBRUNNER, Iris M.; PREINER, Stefan; HEIN, Thomas. Impact of drying and re-flooding of sediment on phosphorus dynamics of river-floodplain systems. **Science of the Total Environment**, n. 432, p. 329-337, 2012.

SKOULIKIS, Nikolaos; AMAXIDIS, Yorgos. Origin and dynamics of dissolved and particulate nutrients in a minimally disturbed Mediterranean river with intermittent flow. **Journal of Hydrology**, v. 373, p. 218-229, 2009.

STEWART, A. L.; Von Schiller, D.; TOCKNER, K.; MARSHALL, J. C.; BUNN, S. E. When the river runs dry: Human and ecological values of dry riverbeds. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 10, n. 4, p. 202-209, 2012.

TANG, Jiayi; ZHANG, Jiachao; REN, Liheng; ZHOU, Yaoyu; GAO, Jun; LUO, Lin; YANG, Yuan; PENG, Qinghui; HUANG, Hongli; CHEN, Anwei. Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: A review on heavy metal pollution. **Journal of Environmental Management**, n. 242, p.121-130, 2019.

TEIXEIRA, Paulo César; DONAGGEMA, Guilherme Kansussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes (editores). **Manual de métodos de análises de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 3ed., 2017.

TOWNSEND, Colin R; BEGON, Michael; HARPER, John L. **Fundamentos em ecologia**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. **Limnologia**, São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TZORAKI, Ourania; NIKOLAIDIS, Nikolaos P.; AMAXIDIS, Yorgos; SKOULIKIDS, Nikolaos TH. In-Stream Biogeochemical Processes of a Temporary River. **Environ. Sci. Technol.**, v. 41, n. 4, p. 1225-1231, 2007.

VAN ECK, N.J; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, p. 523-538, 2010.

VANNOTE, R.; MINSHALL, G.; CUMMINS, K.; SEDELL, J.; CRUSHING, C. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 1980.

WILLIS, A. J. The ecosystem: an evolving concept viewed historically. **Functional ecology**, n. 11, p. 268-271, 1997.

WILSON, Jessica S.; BALDIWIN, Darren S. Exploring the 'Birch effect' in reservoir sediments: influence of inundation history on aerobic nutrient release. **Chemistry and Ecology**, v. 4, n. 6, p. 379-386, 2008.

ZHANG, Wenqiang; JIN, Xin; MENG, Xin; TANG, Wenzhong; SHAN, Baoqing. Phosphorus transformations at the sediment-water interface in shallow freshwater ecosystems caused by decomposition of plant debris. **Chemosphere**, v. 201, p. 328-334, 2018.

Zhi, W., Ji, G. Constructed wetlands, 1991-2011: A review of research development, current trends, and future directions. **Sci. Total Environ.**, 441: 19-27, 2012.