



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E
NUCLEARES

JUSCÉLIA DA SILVA FERREIRA

**ELEMENTOS QUÍMICOS EM SOLOS E PLANTAS DE FLORESTAS TROPICAIS
COM DIFERENTES TEMPOS DE REGENERAÇÃO EM PERNAMBUCO**

Recife
2023

JUSCÉLIA DA SILVA FERREIRA

**ELEMENTOS QUÍMICOS EM SOLOS E PLANTAS DE FLORESTAS TROPICAIS
COM DIFERENTES TEMPOS DE REGENERAÇÃO EM PERNAMBUCO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de concentração: Aplicações de Radioisótopos na Agricultura e Meio-Ambiente

Orientadora: Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Junior

Recife

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4/1502

F383e Ferreira, Juscélia da Silva.
Elementos químicos em solos e plantas de florestas tropicais com diferentes
tempos de regeneração em Pernambuco. / Juscélia da Silva Ferreira. – 2023.
77 f.: il., fig., tab.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas.

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Ivan Fernandes Júnior.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de
Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2023.

Inclui referências e apêndices.

1. Agricultura e tecnologias correlatas. 2. Floresta úmida. 3. Floresta decídua.
4. Metais pesados. 5. Macronutrientes. 6. Micronutrientes. I. Freitas, Ana
Dolores Santiago de (orientadora). II. Fernandes Júnior, Paulo Ivan (coorientador).
III. Título.

630 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2023-108

JUSCÉLIA DA SILVA FERREIRA

**ELEMENTOS QUÍMICOS EM SOLOS E PLANTAS DE FLORESTAS TROPICAIS
COM DIFERENTES TEMPOS DE REGENERAÇÃO EM PERNAMBUCO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de concentração: Aplicações de Radioisótopos na Agricultura e Meio-Ambiente.

Aprovado em: 17/02/2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Profa. Dra. Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos (Examinadora externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Profa. Dra. Paula Renata Muniz Araújo (Examinadora externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Emmanuel Damilano Dutra (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

A minha mãe, Rita Maria, exemplo para minha vida, dedico.

AGRADECIMENTOS

Que loucura! Sair de perto da família e ir morar em um lugar distante e desconhecido para estudar! Ah, que seja! E assim cheguei em Recife em 2013, ansiando conhecimento, oportunidades e uma formação. Agradeço a Deus por toda força, sabedoria, coragem e proteção!

A meu marido, Vilson Flávio, pelo amor e companheirismo, sempre participativo durante toda a pesquisa.

Aos meus pais João e Rita pelo incentivo.

A minha irmã, por todo apoio, conselhos e orações.

A meus sogros Maria Célia e Cícero Vicente pela torcida.

A minha orientadora Ana Dolores pela orientação, amizade e ensinamentos.

A minha querida professora Carolina Etienne, pelo seu jeito alegre e encantador de me encorajar sempre.

A Pablo Acácio pela alegria e leveza, sempre apoiando nos dias mais difíceis.

Aos amigos que encontrei em Recife quando cheguei para fazer o mestrado e que estão sempre ao meu lado quando preciso, Aleksandro e Mayame.

A minha amiga Adriana, que mesmo distante esteve sempre disposta a colaborar.

Aos amigos Augusto Santana, Bruno Mantovanelli e Cybelle Souza por toda disponibilidade em ajudar.

Aos amigos do CRCN, por deixarem meus dias intensos de laboratório mais leves.

Aos pesquisadores da Embrapa Meio-Norte, Marcos Emanuel Veloso e Luiz Fernando Leite, pelos ensinamentos de vida e profissional.

Aos amigos do Piauí e Maranhão.

A todos que fazem parte do Grupo de Fixação biológica de Nitrogênio (GFBN), pela amizade e colaboração direta ou indireta na realização deste trabalho.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento das atividades de pesquisa.

A Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de ingressar no doutorado.

Ao Programa de Tecnologias Energéticas e Nucleares pelo conhecimento e suporte para desenvolvimento da pesquisa.

Ao CRCN-NE e Dr. Elvis França por disponibilizarem laboratório e equipamentos para realização das análises e toda colaboração no desenvolvimento do trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esse trabalho pudesse ser realizado, muito obrigada!

RESUMO

Pernambuco tem grande diversidade de tipos de vegetação, decorrentes das variações de precipitação e de condições edáficas e pouco se sabe sobre as concentrações de elementos químicos no solo e em plantas nessas áreas de florestas tropicais. O objetivo do trabalho foi determinar as concentrações de elementos químicos em amostras de solo e de folhas em fragmentos de vegetação nativa com diferentes tempos de regeneração. Foram determinadas as concentrações de elementos em amostras de solo (0-20 cm) e de folhas de espécies vegetais de florestas com diferentes tempos de regeneração, seguindo um transecto Leste-Oeste ao longo do Estado, nos municípios de Araripina, Serra Talhada, Triunfo, Caruaru, Igarassu. A técnica de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia foi utilizada para a determinação de Ca, Mg, K, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Sr, Ti, Al, Si e V nos solos e Ca, Mg, K, Sr, P e S em folhas. Por Espectrometria de Emissão Óptica determinaram-se Fe, Mn, Zn, Mo, Cu, Ni, Co, Na, V, e Cd em folhas. Concentrações de Ca, Mg e K no solo foram mais elevadas nas florestas de Serra Talhada. Todos os elementos-traço avaliados no solo apresentaram concentrações mais elevadas na floresta em regeneração de Igarassu. O efeito residual da aplicação de adubos e fertilizantes na floresta em regeneração de Igarassu e a alta intemperização do solo foram os principais contribuintes das concentrações encontradas dos elementos químicos nos solos e plantas. As baixas concentrações de nutrientes como Ca, Mg, K, P e S nas folhas das florestas do Araripe comparados aos outros locais estudados confirmam a pobreza nutricional dos solos da região. A litologia e as atividades antrópicas que antecederam cada floresta tiveram papel relevante nas concentrações dos nutrientes avaliados nos solos e plantas. O conhecimento das diferentes concentrações de nutrientes encontradas nos solos e folhas das florestas vai facilitar a elaboração de planos e avaliação de impactos ambientais futuros com base nas reservas encontradas em cada local.

Palavras-chave: floresta úmida; floresta decídua; metais pesados; macronutrientes; micronutrientes.

ABSTRACT

Pernambuco has a great diversity of vegetation types, resulting from variations in precipitation and soil conditions and little is known about the concentrations of chemical elements in the soil and plants in these areas of tropical forests. The objective of this work was to determine the concentrations of chemical elements in soil and leaf samples in fragments of native vegetation with different regeneration times. The concentrations of elements in soil samples (0-20 cm) and leaves of plant species of forests with different regeneration times were determined, following an East-West transect along the State, in the municipalities of Araripina, Serra Talhada, Triunfo, Caruaru, Igarassu. The Energy Dispersion X-ray Fluorescence technique was used to determine Ca, Mg, K, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Sr, Ti, Al, Si and V in soils and Ca, Mg, K, Sr, P and S in leaves. By Optical Emission Spectrometry Fe, Mn, Zn, Mo, Cu, Ni, Co, Na, V, and Cd were determined in leaves. Soil concentrations of Ca, Mg and K were higher in the forests of Serra Talhada. All trace elements evaluated in the soil showed higher concentrations in the regenerating forest of Igarassu. The residual effect of the application of fertilizers and fertilizers in the regenerating forest of Igarassu and the high weathering of the soil were the main contributors of the concentrations found of the chemical elements in the soils and plants. The low concentrations of nutrients such as Ca, Mg, K, P and S in the leaves of the Araripe forests compared to the other sites studied confirm the nutritional poverty of the soils of the region. The lithology and the anthropic activities that preceded each forest played a relevant role in the concentrations of nutrients evaluated in the soils and plants. The knowledge of the different concentrations of nutrients found in the soils and leaves of the forests will facilitate the elaboration of plans and evaluation of future environmental impacts based on the reserves found in each site.

Keywords: rainforest; tropical dry forest; heavy metals; macronutrients; micronutrients;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Áreas de coletas de amostras de solos e plantas em Pernambuco	25
Figura 2 –	Análise discriminante e distribuição dos elementos Cu, Co, Fe, Mn, Ni, V, Zn, Cd e Sr em relação às diferentes localidades e tempo de regeneração das florestas	54
Figura 3 –	Correlação linear de Pearson entre os elementos Cu, Co, Fe, Mn, Ni, V, Zn, Cd e Sr em folhas de espécies arbóreas de diferentes localidades e tempo de regeneração das florestas	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Características dos fragmentos de florestas tropicais com diferentes tempos de regeneração estudados em Pernambuco	26
Tabela 2 –	Litologia das áreas de coleta realizado com base nos mapas geológicos dos estados de Pernambuco e Ceará	27
Tabela 3 –	Caracterização química dos solos em áreas sob florestas tropicais com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	30
Tabela 4 –	Cálcio, potássio e magnésio (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	33
Tabela 5 –	Ferro, manganês, zinco, cobre e níquel (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	35
Tabela 6 –	Vanádio (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	39
Tabela 7 –	Chumbo (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	40
Tabela 8 –	Estrôncio em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco	40
Tabela 9 –	Alumínio e silício (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco	41
Tabela 10 –	Titânio (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	42
Tabela 11 –	Cálcio, magnésio, potássio, fósforo e enxofre nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	43
Tabela 12 –	Ferro, manganês, zinco, cobre e níquel (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	45

Tabela 13 – Molibdênio (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	49
Tabela 14 – Sódio (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	50
Tabela 15 – Cobalto (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	50
Tabela 16 – Vanádio (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	51
Tabela 17 – Cádmio (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	52
Tabela 18 – Estrôncio (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cenapesq	Centro de Apoio à Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco
CRCN-NE	Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste
DEN	Departamento de Energia Nuclear
EDXRF	Fluorescência de Raios-x por Dispersão de Energia
GFBN	Grupo de fixação biológica do Nitrogênio
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICP-OES	Espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado
IPA	Instituto Agrônômico de Pernambuco
NIST	National Institute of Standard and Technology
SEAMB	Serviço de Monitoração Ambiental

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Carbono
H	Hidrogênio
O	Oxigênio
N	Nitrogênio
P	Fósforo
S	Enxofre
Si	Silício
Ca	Cálcio
K	Potássio
Na	Sódio
Cl	Cloro
Mg	Magnésio
V	Vanádio
Cr	Cromo
Mo	Molibdênio
Mn	Manganês
Fe	Ferro
Co	Cobalto
Ni	Níquel
Cu	Cobre
Zn	Zinco
B	Boro
Se	Selênio
F	Flúor
I	Iodo
Sb	Antimônio
Ba	Bário
Be	Berílio
Pb	Chumbo
Hg	Mercúrio
Th	Tório
U	Urânio
Sr	Estrôncio
Ti	Titânio
Al	Alumínio
S	Soma de bases
CTC	Capacidade de troca catiônica
V%	Saturação de bases
m%	Saturação por alumínio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Clima em Pernambuco	17
2.2	Geologia e solos de Pernambuco	17
2.3	Cobertura vegetal de Pernambuco	20
2.4	Elementos químicos nos solos e nas plantas	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Áreas de estudo	25
3.2	Amostragem e preparação das amostras de solos e folhas	28
3.3	Análises químicas	29
3.3.1	Caracterização química dos solos	29
3.3.2	Análise dos teores totais de elementos químicos em solos e folhas	30
3.3.2.1	<i>Determinação de elementos químicos por EDXRF</i>	30
3.3.2.2	<i>Digestão total e determinação de elementos químicos por ICP-OES</i>	31
3.4	Análise estatística	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Concentrações totais dos elementos químicos nos solos	33
4.2	Concentrações dos elementos químicos nas plantas	42
4.2.1	Componentes principais e correlação de Pearson	53
5	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A – FAMÍLIA E ESPÉCIES DAS ARBÓREAS AMOSTRADAS NOS FRAGMENTOS DE FLORESTAS TROPICAIS COM DIFERENTES TEMPOS DE REGENERAÇÃO EM PERNAMBUCO	65
	APÊNDICE B – CONCENTRAÇÃO MÉDIA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR ESPÉCIE EM CADA ÁREA DE AMOSTRAGEM	68

1 INTRODUÇÃO

Pernambuco caracteriza-se por uma grande variabilidade espacial e temporal climática, com gradiente de chuvas que abrange desde uma zona costeira chuvosa, originalmente coberta por florestas pluviais, até áreas cobertas por florestas decíduas espinhosas de caatinga no interior semiárido; heterogeneidade no relevo; solos com texturas desde arenosas a muito argilosas; e disponibilidade variável de nutrientes (ARAÚJO et al. 2005; SAMPAIO, 2010).

Com o crescente abandono de áreas com histórico de atividades agrícolas (FEARNSIDE & BARBOSA 1998; AIDE et al. 2000; AIDE & GRAU, 2004), florestas secundárias estão se tornando cada vez mais comuns nos trópicos, com predomínio de espécies de leguminosas nas florestas em estádios iniciais, atribuído à capacidade dessas espécies de formar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, conferindo vantagem competitiva em relação às espécies de outras famílias.

No semiárido, algumas áreas montanhosas têm maior precipitação e são cobertas por florestas decíduas montanas e por florestas decíduas não espinhosas, conhecidas como carrasco (SAMPALIO, 2010). Nesses dois tipos de florestas, é possível encontrar vegetações com tempos de regeneração distintos (ARAÚJO et al. 2005; SAMPAIO, 2010).

A diversidade fitogeográfica, litológica e pedológica de Pernambuco, o torna um objeto de estudo importante para conhecimento das concentrações e ciclagem de elementos químicos no solo e nas espécies de ocorrência em florestas tropicais.

Por serem interceptoras de elementos químicos em ecossistemas florestais, espécies arbóreas são bons componentes para avaliar a qualidade do ambiente. O acúmulo de elementos químicos pelas plantas pode ser influenciado por diversos fatores como a natureza e a disponibilidade do elemento químico, as condições ambientais (temperatura e umidade) e as características do organismo quanto à espécie e idade, por exemplo (SCHÜÜRMAN & MARKERT, 1998).

Plantas vasculares apresentam vantagens pela morfologia, fisiologia e ecologia bem conhecidas, sendo a maioria delas tolerante à toxicidade, mesmo em áreas com poluição atmosférica elevada (MARKERT, 1993). Além disso, também são de fácil identificação, cultivo, reprodução e de grande relevância ecológica. Determinações das concentrações dos elementos nas suas folhas podem indicar a

presença de alguma deficiência nutricional ou de algum contaminante (MAIOLI, 2008).

A quantificação dos elementos no solo e nas plantas é importante para estabelecer padrões de referência para estudos de impacto ambiental, além de ser desejável para a definição de estratégias para a conservação de fragmentos de vegetação nativa. Apesar de sua importância, informações sobre a acumulação de elementos químicos nos solos e nas arbóreas nativas de florestas da região são escassos, o que representa uma grande lacuna de conhecimento, considerando que essas florestas apresentam alta diversidade ambiental, além de considerável grau de endemismo.

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho foi determinar as concentrações de elementos químicos em amostras de solo e de folhas em fragmentos de vegetação nativa com diferentes tempos de regeneração, seguindo um transecto Leste-Oeste ao longo de Pernambuco.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Um resumo dos principais pontos discutidos no trabalho estão divididos nos tópicos abaixo: Clima em Pernambuco; Geologia e solos de Pernambuco; Cobertura vegetal de Pernambuco; Elementos químicos nos solos e nas plantas.

2.1 Clima em Pernambuco

Pernambuco é uma região que apresenta grande variabilidade climática, tanto espacial quanto temporal, com maior pluviosidade no Litoral e Zona da Mata, com médias anuais oscilando entre 1000 e 2200 mm, seguido do Agreste com média de 800mm, e Sertão, oscilando de 400 a 600 mm (GUEDES, 2012).

Localizada ao leste, a mesorregião da Zona da Mata, entre o Planalto da Borborema e a costa do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, recebe chuvas abundantes e tem este nome por ter sido coberta pela Mata Atlântica (FERREIRA et al., 2006). Esta região está próxima ao mar e possui alto índice pluviométrico no inverno e clima ameno durante todo ano (SILVA et al., 2003).

O Agreste é uma zona de transição entre o litoral e o interior do Estado, de clima mais seco, com menores índices pluviométricos que o litoral (SILVA, 2003) e temperatura média anual em torno de 26 °C, com grande amplitude térmica. No Agreste as precipitações pluviométricas são menos concentradas em comparação ao Sertão (GUEDES, 2012), apresentando o período de fevereiro a maio como o mais chuvoso do ano (LACERDA, 1996).

O Sertão possui o clima tropical semiárido, quente e seco, com precipitações pluviométricas escassas e mal distribuídas, entre 350 mm e 800 mm. (GUEDES, 2012).

2.2 Geologia e solos de Pernambuco

Em Pernambuco, observam-se inúmeras diferenças de clima, relevo, vegetação e geologia, que condicionam diferenças nos tipos de solos e, conseqüentemente, no uso e ocupação das terras. As classes de solos que se destacam no estado são: Latossolos, Argissolos, Planossolos, Luvisolos e Neossolos (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

A abrangência do ambiente semiárido na maior parte do estado, com predomínio de solos pouco desenvolvidos, como os Neossolos, deve-se principalmente à escassez de umidade, que restringe o desenvolvimento pedogenético dos solos. Já a ocorrência de Latossolos, solos mais evoluídos, normalmente ocorrem em ambientes mais úmidos, onde as condições ambientais favorecem o seu desenvolvimento. Contudo, também é possível encontrar Latossolos em condições semiáridas, em locais onde o material de origem já sofreu, em épocas pretéritas, intemperismo mais intenso. Tais condições, geralmente, são verificadas em bacias sedimentares ou em determinadas coberturas pedimentares sobre rochas cristalinas (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014).

A Baixada Litorânea, do ponto de vista geológico, é composta por sedimentos quaternários essencialmente arenoquartzosos, com intercalações de sedimentos mais finos depositados em ambientes de mangues e leitos de rios (DANTAS, 1980), com Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos como classes predominantes desenvolvidas nessa paisagem (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014).

No litoral norte do estado, entre a Baixada Litorânea e as áreas do embasamento cristalino, os tabuleiros costeiros constituem os platôs costeiros. Trata-se de sedimentos paleocênicos/neocênicos do Grupo Barreiras, não consolidados, geralmente com estratificações bem visíveis e com granulometria diversificada. (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014), onde os solos mais importantes desenvolvidos são Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos, que, tipicamente, apresentam o fenômeno da coesão natural (ARAÚJO FILHO et al., 2000; SANTOS et al., 2005).

A Depressão Pré-Litorânea reúne grandes domínios de terras avermelhadas em função dos materiais geológicos que se destacam na região. Situa-se, em sua maior parte, na região litoral norte, com menor área adentrando para o Agreste. Trata-se de região com domínios importantes de rochas metamórficas (gnaisses, xistos etc.) ricas em minerais máficos, destacando-se Argissolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Luvisolos. Em menor proporção, encontram-se Chernossolos e Nitossolos (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014).

O Mar de Morros caracteriza-se por apresentar uma superfície constituída por morros e colinas (RESENDE et al., 2007), entre o Planalto da Borborema e a Baixada Litorânea, na Zona da Mata Sul do Estado. Destacam-se rochas do Pré-

Cambriano, predominantemente as plutônicas ácidas, que incluem extensos maciços granítico-granodioríticos e rochas metamórficas do tipo gnaiss.

No contexto geológico-climático da zona úmida costeira, onde o intemperismo químico é muito intenso, ocorrem solos bem desenvolvidos, principalmente Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e, raramente, Argissolos Vermelhos. Em menor proporção, onde ocorrem rochas vulcânicas básicas, encontram-se Nitossolos Vermelhos (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014).

Planalto da Borborema tem grandes áreas com relevos suaves a pouco movimentados e algumas elevações residuais e superfícies elevadas que podem atingir até mais de 1100 m de altitude. Nas superfícies acima de 800 m, geralmente, observam-se os denominados brejos de altitude, que são ambientes que se destacam não só pela maior altitude como também pelo clima mais úmido, temperaturas mais amenas, com solos mais profundos e maior conteúdo de matéria orgânica comparado ao seu entorno. Situa-se, em quase sua totalidade, no ambiente semiárido, entre a zona úmida costeira e a Depressão Sertaneja, isto é, na zona do Agreste (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014). Predominam rochas plutônicas ácidas do Pré-Cambriano e uma mistura de rochas vulcânicas e metamórficas, em proporções variadas, relativas ao Complexo Migmatítico-Granitoide (DANTAS, 1980). Nos brejos de altitude, em função do clima diferenciado, são comumente encontrados solos com horizonte A espesso e escuro, rico em matéria orgânica, como, por exemplo, Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos e/ou Vermelho-Amarelos (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014).

Entre o Planalto da Borborema e a Chapada do Araripe fica a depressão sertaneja, inserida completamente na zona do Sertão, onde o clima semiárido é bem mais acentuado do que na zona do Agreste (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014). Caracteriza-se por apresentar litologia diversificada, com rochas do Complexo Migmatítico-Granitoide ao sul do lineamento Pernambuco, que divide o estado no sentido leste-oeste, na altura da cidade de Floresta, com algumas áreas com calcário cristalino. Ao norte desse lineamento, encontram-se importantes domínios do Complexo Gnáissico-Migmatítico, incluindo calcário cristalino e anfibolito. Em sua parte oeste, há vasta área com recobrimento pedimentar (Paleoceno a Pleistoceno) sobre rochas cristalinas, formando os Tabuleiros Interioranos (ARAÚJO FILHO et al., 2000; BRASIL, 1972, 1973).

A Chapada do Araripe é uma área sedimentar elevada, plana, contornada por escarpas areníticas, muito uniforme em termos de características físicas. Localizada no extremo oeste do estado, está inserida nos domínios do ambiente semiárido. Entretanto, no topo da chapada, as condições ambientais são relativamente mais úmidas do que na parte baixa, relacionada à Depressão Sertaneja (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014). Essa unidade caracteriza-se por apresentar sedimentos do Cretáceo Inferior, sendo que, no topo, ocorrem arenitos argilosos (finos a médios), com intercalação de arenitos grosseiros a conglomeráticos da Formação Exu. Já na base, destacam-se calcário laminado e margas com intercalação de folhelhos referidos à Formação Santana.

Com material fino muito intemperizado, os arenitos do topo da chapada constituem o material de origem dos Latossolos Amarelos e de alguns Latossolos Vermelho-Amarelos. Na encosta, com relevo bastante íngreme, destacam-se Neossolos Litólicos e alguns Argissolos Vermelho-Amarelos rasos a pouco profundos, além de afloramentos de rocha. No sopé das encostas, onde se destacam sedimentos finos, ocorrem Vertissolos (TORRES & PFALTZGRAFF, 2014).

2.3 Cobertura vegetal de Pernambuco

Na região Nordeste, dependendo da latitude e do relevo, é possível encontrar grande variação de formações vegetais (BARBOSA et al., 2006). Esta diversidade de ambientes inclui: floresta amazônica, mata atlântica, carrasco, campos rupestres, matas serranas, matas de galeria, vegetação dos tabuleiros costeiros e das restingas, manguezais, vegetação aquática dos múltiplos corpos de água e a caatinga (SAMPAIO et al., 2005). ANDRADE LIMA (2007), estudou a fitogeografia de Pernambuco e dividiu o Estado em quatro zonas fitogeográficas: Litoral, da Mata, da Caatinga e Savanas. A zona da Caatinga foi subdividida em duas subzonas: Agreste e Sertão.

Em Pernambuco, na Zona da Mata sul, encontram-se fragmentos de floresta, sobretudo em cumes e elevações, enquanto que os fragmentos florestais da Zona da Mata Norte, em sua maioria, estão restritos à encostas íngremes e a estreitos segmentos de vales, sobrevivendo ao longo de pequenos cursos d'água (SCHESSL et al., 2005).

A Caatinga não é uniforme e varia de acordo com o volume das precipitações pluviométricas, da qualidade dos solos, da rede hidrográfica e da ação antrópica (GIULIETTI et al., 2002; 2006). É o tipo de vegetação que cobre a maior parte da região semiárida do Brasil, onde os fatores climáticos são considerados mais marcantes que outros fatores ecológicos na definição e estabelecimento da cobertura vegetal. Fortemente influenciada pela presença e ausência da precipitação variando de cinzenta na seca a verdejante na chuva, a fisionomia é marcada pela presença de cactáceas e bromélias, plantas espinhosas e decíduais (LEAL et al., 2005). Predominam espécies xerófilas, a maior parte com espinhos, cutículas impermeáveis, caducifólia, sistemas de armazenamento de água em raízes e caules modificados e mecanismos fisiológicos adaptados, a exemplo do fechamento dos estômatos nas horas mais quentes do dia (GIULIETTI et al., 2006).

A vegetação no Agreste é mais densa que a do Sertão, com solo geralmente mais profundo e a pluviosidade mais regular e elevada. A vegetação atende aos requisitos que caracterizam a caatinga, com a presença de espécies decíduas, a maioria cercada de espinhos e abundância de cactáceas e bromeliáceas. Além do mais, diversas espécies que ocorrem no Sertão estão também presentes no Agreste (ANDRADE-LIMA, 2007).

Nas Caatingas pernambucanas foram identificadas 354 espécies herbáceas, distribuídas em 58 famílias, embora acredite-se que esse número seja ainda maior (ARAÚJO et al., 2002). Além dessas espécies, é observada no estrato herbáceo das Caatingas a presença de diversas espécies suculentas da família *Cactaceae*, de epífitas da família *Bromeliaceae*, bem como de espécies de briófitas e pteridófitas.

No interior da zona da Caatinga, destaca-se a presença das matas serranas, também chamadas brejos de altitude (ANDRADE-LIMA, 2007). A formação de vegetação do tipo floresta é favorecida pela maior umidade atmosférica e menor evapotranspiração (RODRIGUES et al., 2008). Embora inteiramente contornadas por vegetação de caatinga, estas áreas foram consideradas pela lei nº 11.428/2006 como integrantes do bioma Mata Atlântica. Nesses locais, é possível observar, principalmente em épocas de seca, áreas com pontos verdes exuberantes, apresentando vegetação distinta da caatinga que está em seu entorno, sendo esta vegetação também chamada de Matas Serrana (PÔRTO et al., 2004; TABARELLI & SANTOS, 2004). Nos brejos de altitude é frequente haver nascentes, que formam a cabeceira de muitos rios que cruzam a caatinga (SALGUEIRO et al., 2006). Os

brejos de altitude estão distribuídos no Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, tendo Pernambuco a maior quantidade deles (VASCONCELOS SOBRINHO, 1971).

Embora muitas vezes sejam usados como sinônimos, Carrasco e Caatinga são vegetações diferentes. A vegetação do Carrasco ocorre sobre os planaltos e chapadas mais elevados do interior nordestino (ARAÚJO et al., 1999), como por exemplo, a vegetação arbustiva densa xerófila do planalto da Ibiapaba e da chapada do Araripe (ARAÚJO et al., 1998; ARAÚJO et al., 1999). Entre as principais características que diferem o Carrasco da Caatinga é possível destacar a maior densidade das plantas e a menor espessura do caule dos indivíduos lenhosos no Carrasco que na Caatinga. Além disso, no Carrasco são comuns as trepadeiras lenhosas, que ocorrem em menor número na Caatinga (ARAÚJO et al., 1999).

2.4 Elementos químicos nos solos e nas plantas

Considerada o reservatório de todos os elementos químicos encontrados na biosfera, a crosta terrestre tem aproximadamente 99% da sua massa total composta por oito elementos: oxigênio (47%), silício (28%), alumínio (8%), ferro (4,5%), cálcio (3,5%), sódio (3%), magnésio (2,5%) e potássio (2,5%). A camada líquida dos oceanos, rios e lagos e as geleiras polares e montanhas são compostas principalmente por oxigênio (88%) e hidrogênio (11%) a camada atmosférica por nitrogênio (78%) e oxigênio (21%) (SCHÜÜRMAN; MARKERT, 1998).

A composição média das rochas segue a da crosta terrestre, mas é bastante variável entre rochas, em função de sua formação e posterior intemperismo. Em geral, os elementos químicos são disponibilizados para o solo a partir do intemperismo da rocha mãe e da decomposição e mineralização de detritos orgânicos (SCHULZE et al., 2002).

No solo, a presença e concentração de elementos químicos são dependentes da natureza geoquímica do material de origem e dos processos pedogenéticos (CHANDRASEKARAN et al., 2015), além disso, a vegetação atua diretamente no aporte de nutrientes para o solo, principalmente devido à entrada de matéria orgânica a partir da deposição de serapilheira (SANTOS et al., 2021). Atividades antrópicas, tais como agricultura, indústria e mineração também podem contribuir

para o aumento das concentrações de elementos químicos no solo (WEBER & KARCZEWSKA, 2004).

Os elementos químicos podem ser classificados de acordo com sua funcionalidade nos processos fisiológicos essenciais dos organismos vivos. De acordo com este critério, podem ser subdivididos em três grupos funcionais (MARKERT et al., 2000): estruturais (C, H, O, N, P, S, Si, Ca), eletrolíticos (K, Na, Ca, Cl, Mg) e enzimáticos (V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, B, Se, F, I, Mg).

Alguns elementos, mesmo em concentrações-traço (menores que 100 mg kg⁻¹) são considerados tóxicos, como Sb, As, Ba, Be, Pb, Hg, Th e U, que podem inibir reações essenciais ao metabolismo de plantas e animais (LARCHER, 2000).

Nos solos, a presença dos elementos-traço é normal em condições naturais e, na maioria das vezes, eles estão presentes em concentrações ou formas que não oferecem risco ao ambiente (MCBRIDE, 1995). Nas plantas, o acúmulo de elementos-traço depende de uma série de fatores como reação do solo, natureza do metal, teor de matéria orgânica e capacidade do solo de reter cátions (MCBRIDE, 1995).

Os metais pesados ocorrem naturalmente no solo como resultado do intemperismo do material de origem (rocha) e em quantidades muitas pequenas (KABATA-PENDIAS, 2011). Todavia, a aplicação de fertilizantes fosfatados também pode contribuir para a entrada de metais pesados no solo (KRATZ et al., 2016), principalmente em solos agrícolas (MICÓ et al., 2006; PERIS et al., 2007), podendo chegar a concentrações além dos limites permitidos para alguns elementos, como o Cd (JIAO et al., 2012; ROBERTS, 2014).

Para estudos de qualidade ambiental envolvendo elementos químicos em florestas, o componente arbóreo é o mais importante estoque dentre os compartimentos biológicos (GOLLEY et al., 1983; ARAÚJO, 2009), pois se constitui na principal fonte de energia e nutrientes (VIEIRA, 1998), sendo a raiz o principal órgão de contato das plantas com os elementos químicos presentes na solução do solo, os quais são absorvidos principalmente via apoplasto (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Segundo PRICHETT & FISHER (1987), árvores mais jovens tendem a absorver, acumular e mobilizar grande quantidade de elementos químicos, enquanto as árvores com maior tempo de estabelecimento dependem muito mais da ciclagem bioquímica para a manutenção.

Os elementos químicos essenciais que constituem o tecido vegetal são C, O, H, Ca, Mg, K, N, P, S, Si, Mn, Fe, Cu, Zn, B, Cl, Co, Mo e Se. A soma dos teores de C, O e H na matéria seca do tecido vegetal é superior a 90%. Com relação aos demais elementos, cerca de 10% são constituídos de macronutrientes, presentes em concentrações na ordem de g kg^{-1} – Ca, Mg, K, N, P, S e Si – e de micronutrientes presentes em concentrações na ordem de mg kg^{-1} – B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Se e Zn (SELINUS, 2004). Além desses elementos considerados essenciais, podem ser encontrados nas plantas também Al, Ba, Cd, Cr, Hg, Ni, Se e Pb, em concentrações normalmente inferiores a mg.kg^{-1} (SILVA, 2009).

Os órgãos que melhor refletem o estado nutricional dos vegetais são as folhas, participando diretamente da circulação dos elementos químicos (MALAVOLTA et al., 1997; BERNINI et al., 2006). As folhas são constantemente renovadas durante o ciclo de vida da planta, sendo de fácil coleta, transporte, armazenamento e análise e por isso são empregadas em estudos de impactos ambientais (FRANÇA, 2006; SILVA NETO, 2015).

Devido à importância dos elementos químicos e a disponibilidade deles, que pode ser resultante tanto de fatores naturais quanto antrópicos, torna-se importante o monitoramento da sua presença nos ecossistemas. A análise dos compartimentos folha e solo permite realizar inferências sobre a disponibilidade dos elementos químicos para os demais compartimentos do ecossistema (FRANÇA et al., 2005; ELIAS et al., 2006; IOVINE, 2012).

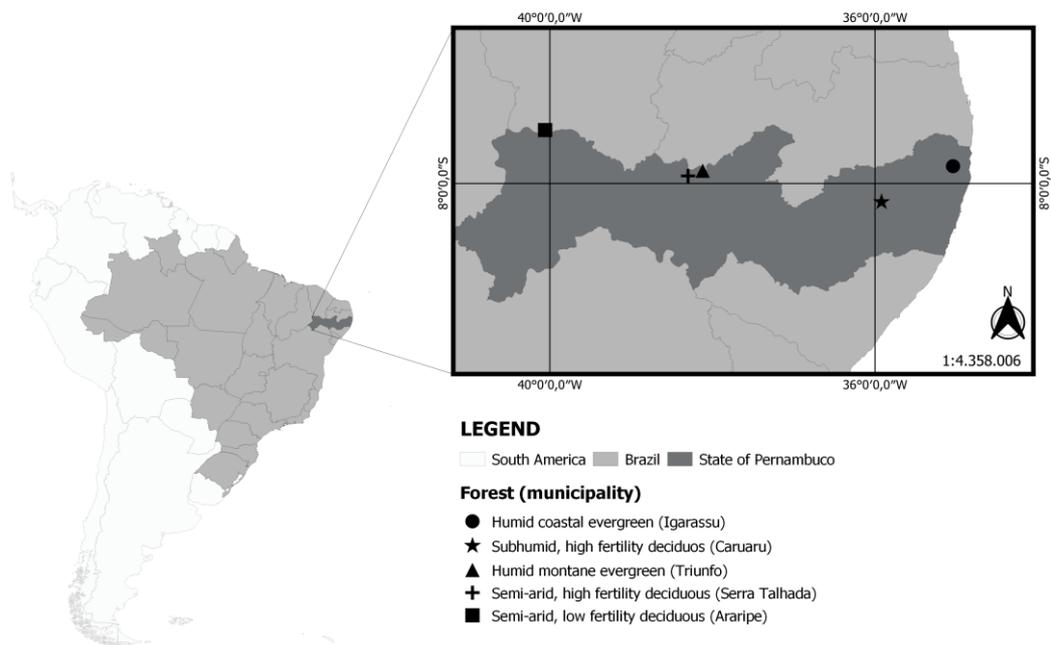
3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir de amostras de solos e folhas coletadas em áreas sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

3.1 Áreas de estudo

O estudo foi realizado em amostras de solos e folhas de plantas do banco de dados do Grupo de Fixação Biológica do Nitrogênio nos Trópicos (GFBN). As amostras ambientais foram coletadas em dez fragmentos de vegetação nativa, distribuídos em cinco municípios (Figura 1), compreendendo florestas com diferentes idades (Floresta madura – FM e Floresta em regeneração – FR) e com distintos históricos de uso. As amostras foram coletadas seguindo um transecto leste-oeste ao longo de Pernambuco.

Figura 1 – Áreas de coleta de amostras de solos e plantas em Pernambuco.



Fonte: A autora (2023).

Em cada município foram selecionados um fragmento florestal com FM e um fragmento com FR após interrupção de atividade agropecuária (Tabela 1.)

Tabela 1 – Características dos fragmentos de florestas tropicais com diferentes tempos de regeneração estudados em Pernambuco

Tipo de vegetação (Município)	Altitude (ma.s.l.)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Classe de solo ¹	Idade (anos)	Coordenadas	Usos prévios
1. Floresta costeira (Igarassu)	20-115	1687	24,9	Argissolo Vermelho-Amarelo	20	7° 47'53.6" S 35°02'25.6" W	Corte raso para plantio de cana de açúcar, seguida de uso como pastagem
				Argissolo Amarelo	>40	7°42'51.7" S 34°59'35.4" W	Relatos de que já era floresta há mais de 40 anos
2. Caatinga subúmida (Caruaru)	561	764	21,7	Planossolo Háplico	21	08°13'54" S 35°55'13" W	Corte raso para o plantio de <i>Opuntia ficus indica</i> Mill
					>50	08°13'47" S 35°55'09" W	Sem uso pelo menos nos últimos 50 anos
3. Floresta montana (Triunfo)	1028	1250	18-22,5	Argissolo Amarelo	20	7°50'32" S 38°07'15" W	Corte raso para estabelecimento de roças
					>80	7°51'51.7" S 38°07'49.4" W	Sem notícia de corte raso, mas com corte seletivo há aproximadamente 30 anos
4. Caatinga semiárida (Serra Talhada)	500	686	26	Argissolo Vermelho-Amarelo	15	7°54'24" S 38°18'02" W	Corte raso para utilização como pastagem
				Neossolo Litólico	>50	7°53'49.9" S 38°18'14.7" W	Corte seletivo há aproximadamente 30 anos para implantação de experimento agropecuário
5. Carrasco (Araripe)	867	700	24-26	Latossolo Vermelho-Amarelo	20	7°20'05.6" S 40°03'33.2" W	Corte raso para o plantio de mandioca
					40	7°19'25.5" S 40°05'00.1" W	Corte raso para o plantio de mandioca

Fonte: Costa, T. L. (2017)

Tabela 2 - Litologia das áreas de coleta realizado com base nos mapas geológicos dos estados de Pernambuco e Ceará (CPRM)

			Continua
1 Floresta costeira	Arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados	Formação Barreiras	Mapa geodiversidade do estado de Pernambuco (2010) (1:500.000)
2 Floresta costeira	Depósitos aluvionais	Depósitos aluvionares (Cenozoico)	Mapa geodiversidade do estado de Pernambuco (2010) (1:500.000)
3 Caatinga subúmida	Hornblenda biotita álcali-feldspato granitos, sienogranitos e monzogranitos	Suíte intrusiva Itaporanga - Plúton Caruaru – Arcoverde	Mapa geodiversidade do estado de Pernambuco (2010) (1:500.000) Diorito, Granito, Granodiorito, Monzonito
4 Caatinga subúmida	Hornblenda biotita álcali-feldspato granitos, sienogranitos e monzogranitos	Suíte intrusiva Itaporanga - Plúton Caruaru - Arcoverde	Mapa geodiversidade do estado de Pernambuco (2010) (1:500.000) Diorito, Granito, Granodiorito, Monzonito
5 Floresta montana	sienito e granito peralcalinos ultrapotássicos	Suíte intrusiva Triunfo - Plúton Triunfo	Mapa geodiversidade do estado de Pernambuco (2010) (1:500.000) (Álcali-feldspato Granito, Quartzo-álcali-feldspato Sienito)
6 Floresta montana	sienito e granito peralcalinos ultrapotássicos	Suíte intrusiva Triunfo - Plúton Triunfo	Mapa geodiversidade do estado de Pernambuco (2010) (1:500.000) (Álcali-feldspato Granito, Quartzo-álcali-feldspato Sienito)

Fonte: CPRM (2010).

Tabela 2 - Litologia das áreas de coleta realizado com base nos mapas geológicos dos estados de Pernambuco e Ceará (CPRM)

			Conclusão
7 Caatinga semiárida	Muscovita-biotita gnaisse, xisto com mármore, quartzito	São Caetano	Mapa geodiversidade do estado de Pernambuco (2010) (1:500.000)
8 Caatinga semiárida	Muscovita-biotita gnaisse, xisto com mármore, quartzito	São Caetano	Mapa geodiversidade do estado de Pernambuco (2010) (1:500.000)
9 Carrasco	Conglomerados e arenitos	Formação Exu	Mapa geológico do estado do Ceará (2020) (1:500.000)
10 Carrasco	Conglomerados e arenitos	Formação Exu	Mapa geológico do estado do Ceará (2020) (1:500.000)

Fonte: CPRM (2010).

3.2 Amostragem e preparação das amostras de solos e folhas

Para as coletas das amostras de solos e folhas, definiu-se dez parcelas de 20 x 20 m, estabelecidas ao longo de transectos, distando 10 m da parcela seguinte.

Amostras simples de solo da camada de 0-20 cm foram coletadas para compor a amostra composta de cada parcela nos municípios de Igarassu, Serra Talhada e Araripe, totalizando 30 amostras compostas. As amostras de solo foram secas ao ar, homogeneizadas e pulverizadas em moinho de bolas de ágata (tamanho de partículas menor que 80 μm).

Nas parcelas foram identificadas todas as espécies arbóreas e, após a seleção e identificação das espécies, foram coletadas amostras de tecido foliar. As amostras eram compostas de folhas verdes, completamente expandidas e saudáveis, retiradas de vários locais da copa de modo a fazer uma massa composta de cerca

de 100 a 200 g por planta, totalizando 534 amostras de folhas. Todas as coletas foram feitas do meio para o fim da estação chuvosa.

As amostras de tecido foliar foram secas em estufa de circulação forçada a 65 °C e moídas em moinho de facas, homogeneizadas e pulverizadas em moinho de bolas de ágata (tamanho de partículas menor que 80 µm).

As espécies arbóreas foram selecionadas pela representatividade em cada parcela, com plantas de várias famílias e principalmente leguminosas (Apêndice A). As leguminosas foram classificadas em nodulantes e não-nodulantes com base em informações já publicadas (FARIA et al., 1989; GEHRING et al., 2005; SPRENT, 2009; FREITAS et al., 2010, 2015). A grafia dos nomes científicos e a autoria das espécies seguiram a base de dados do W3 Trópicos (www.tropicos.org).

3.3 Análises químicas

Inicialmente realizou-se uma caracterização dos solos de cada local e em seguida solos e folhas foram preparados para análise em EDXRF (técnica não destrutiva) e amostras de folhas passaram por digestão para análise em ICP-OES.

3.3.1 Caracterização química dos solos

A caracterização química dos solos foi realizada no Laboratório de Solos do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Foram determinados, de acordo com as metodologias descritas por Embrapa (EMBRAPA, 2017): pH em água (1:2,5); cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}), extraídos com KCl 1 mol L^{-1} e dosados por titulometria; sódio (Na^+), potássio (K^+) e fósforo (P) extraídos com Mehlich1, sendo os dois primeiros determinados por fotometria de emissão de chama e o P por espectrofotometria.

Após o resultado destas análises químicas, foram calculadas, a soma de bases (S), a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%) (Tabela 3.).

Tabela 3 – Caracterização química dos solos em áreas sob Florestas tropicais com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco

Local	P	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC	V	m	
	mg/dm ³	H ₂ Ocmolc/dm ³	%...	
Araripe	7,00	4,10	1,00	0,85	0,03	0,16	1,30	8,02	2,00	11,40	18	39	
Igarassu	37,00	4,90	3,00	2,75	0,08	0,17	0,40	6,03	6,00	12,40	48	6	
Serra Talhada	246,00	6,40	16,00	4,00	0,14	0,66	0,00	1,15	20,80	22,00	95	0	

Fonte: A autora (2023).

3.3.2 Análise dos teores totais de elementos químicos em solos e folhas

Todas as amostras foram submetidas a procedimentos de preparação de acordo com a técnica analítica utilizada.

3.3.2.1 Determinação de elementos químicos por EDXRF

Para a análise, porções-teste de 0,5 g de cada amostra foram pesadas em cápsulas de polietileno, vedados na parte superior e inferior com filme de polipropileno específico para análise química. As análises foram realizadas em atmosfera com pressão menor que 30 Pa, com tempo de detecção de 100 segundos, e tempo morto de, no máximo, 35% para cada grupo analítico. As tensões utilizadas foram de 15 kV para elementos químicos de número atômico menor que 22 e 50 kV para os demais.

Antes da determinação, foi feita a calibração em energia e resolução utilizando o padrão A-750, fornecido pelo fabricante do equipamento. Esse padrão interno constitui-se de uma liga metálica composta por alumínio (Al), estanho (Sn), magnésio (Mg), ferro (Fe) e cobre (Cu), o que torna possível a calibração em diversas regiões do espectro de Raios-X. Foi utilizado o padrão SUS como controle interno, que é uma liga composta pelos elementos químicos Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo) e Níquel (Ni), também fornecido pelo fabricante para verificar a calibração anteriormente realizada. Foi utilizado o espectrômetro modelo EDX 720 da Shimadzu do laboratório do Serviço de Monitoração Ambiental (SEAMB) do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE).

Nas amostras de solo foram determinadas as concentrações totais de: cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), manganês (Mn), ferro (Fe), níquel (Ni), cobre

(Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb), estrôncio (Sr), titânio (Ti), alumínio (Al), silício (Si), vanádio (V).

Nas amostras de folhas foram determinados as concentrações totais de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), estrôncio (Sr), fósforo (P), enxofre (S).

Materiais de referência, produzidos pelo National Institute of Standard and Technology - NIST e pela International Atomic Energy Agency – IAEA foram utilizados para a confecção das curvas analíticas.

3.3.2.2 Digestão total e determinação de elementos químicos por ICP-OES

Para essa técnica, amostras de 0,5 g de planta, bem como o material de referência foram pesados em balança analítica, com precisão de quatro casas decimais. As amostras, materiais de referência e brancos analíticos foram submetidas à digestão utilizando-se ácido nítrico (HNO₃) e forno digestor (USEPA, 2017) no laboratório do Serviço de Monitoração Ambiental (SEAMB) do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE).

Em todos os processos de tratamento das amostras foram empregados ácidos com alto grau de pureza e água padrão Milli-Q (18,2 3MΩ cm⁻¹).

A partir do extrato dessa digestão as leituras foram realizadas por ICP-OES, modelo Agilent 5100 no Centro de Apoio à Pesquisa da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Cenapesq/UFRPE.

Para atestar a qualidade analítica, foram utilizados como parâmetros a precisão e a exatidão obtidas por meio de materiais de referência certificados. Para as análises químicas de folha foram utilizados os materiais de referência certificados: SRM 1547 - Peach Leaves e SRM 1515 – Apple Leaves, ambos produzidos pelo National Institute of Standard and Technology – NIST.

Ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), vanádio (V), sódio (Na), molibdênio (Mo), cobalto (Co), cobre (Cu), níquel (Ni), cádmio (Cd) foram determinados nas soluções das amostras, materiais de referência e brancos analíticos.

Para as curvas analíticas, foram utilizadas soluções-padrão Merck (1.000 mg. L⁻¹) para a diluição e obtenção de padrões internos com as concentrações adequadas para cada elemento químico quantificado.

3.4 Análise Estatística

Os dados dos elementos químicos determinados em solos e folhas foram submetidos à análise de variância e os efeitos significativos observados foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O software utilizado foi o XLStat 2019.

Com base nos resultados observados na análise de variância, os elementos Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni, V, Zn, Cd e Sr determinados em folhas nas diferentes localidades e tempo de regeneração das florestas foram selecionados e submetidos a análise estatística multivariada pelo software PAST (HAMMER et al., 2001) e por meio da análise de componentes principais foi determinado quais elementos são mais influenciados pela localização e tempo de regeneração das florestas. Somente as variáveis com carga maior do que 1.0 foram consideradas importantes contribuintes para definir cada componente principal.

O coeficiente de correlação de Pearson foi usado para verificar a relação entre os elementos estudados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos das análises geraram tabelas e figuras para discussão.

4.1 Concentrações totais de elementos químicos nos solos

As distribuições de Ca, K e Mg nos solos apresentaram tendências semelhantes entre as áreas avaliadas, no entanto, houve diferença significativa entre as concentrações de Ca na FM e FR em Serra Talhada e entre as concentrações de K na FM e FR, em Igarassu (Tabela 4.).

Tabela 4 – Cálcio, potássio e magnésio (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Ca			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	1371Ba	1035Ba	1203
Serra Talhada	9464Aa	5547Ab	7505
Igarassu	2026Ba	2994Ba	2510
K			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	1849Ba	1871Ca	1860
Serra Talhada	40574Aa	40769Aa	40671
Igarassu	1902Bb	11203Ba	6553
Mg			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	6406Aa	6424Aa	6415
Serra Talhada	7311Aa	6659Aa	6985
Igarassu	6156Aa	6874Aa	6515

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

As concentrações médias de Ca nos solos de Serra Talhada foram de 9464 mg kg^{-1} na FM e 5567 mg kg^{-1} na FR. Embora as duas áreas estejam sob mesmo

material litológico, os solos que se formaram nessas áreas apresentam características diferentes e podem dar um indicativo das diferenças nas concentrações de Ca entre as duas florestas, já que as rochas que originaram esses solos são compostas pelos mesmos minerais.

Os solos das duas florestas de Serra Talhada são encontrados em terrenos do Pré-Cambriano, sendo desenvolvidos a partir de muscovita-biotita gnaisse, xisto com mármore e quartzito. Ao contrário do Argissolo Vermelho-Amarelo da FR, que caracteriza-se por ser um solo mais profundo, a classe de solo da FM constitui-se de um Neossolo Litólico, classe que compreende solos minerais, tipicamente rasos, com profundidades inferiores a 50 cm e que apresentam grandes quantidades de minerais primários em relação às outras classes, guardam íntima relação com o material originário e comumente apresentam na sua constituição fragmentos ou pedaços de rochas em diversos estágios de decomposição e com presença significativa de minerais primários (EMBRAPA, 2006). As maiores concentrações de Ca na FM podem estar associadas à formação mais recente do solo dessa área, menos intemperizado e, por se tratar de um solo jovem, carregar ainda herança do material que o originou. Aliado aos fatores fisiográficos e climáticos, quanto menor a intensidade do fator tempo, mais características herdadas o solo formado apresentará (FANNING; FANNING, 1989). Por outro lado, a absorção pelas plantas é um possível fator que contribuiu para a menor concentração de Ca na FR de Serra Talhada, já que essa área teve uso agrícola mais recente, ocupado por pastagem durante longo período. Além disso, por ser um solo mais evoluído, possivelmente ocorreu perdas também de Ca por lixiviação.

Nas florestas do Araripe, as concentrações de Ca foram as mais baixas em comparação aos outros dois locais avaliados. Considerando o material de origem dos solos: conglomerados e arenitos, rochas sedimentares pobres em nutrientes como o Ca, esse resultado já era o esperado. Não houve diferença significativa entre as concentrações de Ca na FR e FM.

Embora o material de origem dos solos de Igarassu, sedimentos da Formação Barreiras, também seja carente de nutrientes como o Ca, os teores obtidos foram mais elevados que os encontrados em áreas do Araripe, principalmente, na FR. Os maiores valores na FR podem ser explicados pelo alto aporte de Ca via aplicação de fertilizantes na área, antes ocupada pela cultura da cana-de-açúcar e, posteriormente, pastagem.

Não houve diferença significativa nas concentrações de K das duas florestas de Serra Talhada, porém, ambas tiveram concentrações mais elevadas que os demais locais de estudo, com média de 40574 mg kg⁻¹ na FM e 40769 mg kg⁻¹ na FR. As principais fontes naturais de potássio são os feldspatos potássicos e micas como muscovita e biotita (WEDEPOHL, 1978; STEINER, 2014), o que leva a concluir que a litologia das duas áreas de Serra Talhada, compostas por essas fontes, tivera sua contribuição nesses valores.

Nos solos de Igarassu houve diferença significativa para o K, onde as médias encontradas foram de 11203 mg kg⁻¹ e de 1902 mg kg⁻¹ na FR e FM, respectivamente. Por estarem na zona costeira, estas áreas são as que recebem os maiores totais anuais de precipitação pluvial entre as três áreas, bem acima da evapotranspiração potencial, acarretando frequentes episódios de lixiviação de elementos químicos ao longo da estação chuvosa.

HERRERO FERNANDÉZ (2017) ao estudar solos de fragmentos florestais em Pernambuco, encontrou concentrações médias próximas das obtidas nesse trabalho, com 4103 mg kg⁻¹, 18354 mg kg⁻¹ e 4169 mg kg⁻¹ de Ca, K e Mg, respectivamente.

Nos solos de Serra Talhada e Araripe, os teores encontrados para Fe ficaram de acordo com a concentração média encontrada nos solos em geral, que segundo EPSTEIN (1972) e BOWEN (1979) é de 40000 mg kg⁻¹. As duas florestas do Araripe apresentaram valores mais elevados, com média de 53671 mg kg⁻¹ (Tabela 5.).

Tabela 5 – Ferro, manganês, zinco, cobre e níquel (mg kg⁻¹) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Continua

Fe			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	51174Aa	56168Aa	53671
Serra Talhada	17170Ba	16580Ca	16875
Igarassu	22001Bb	47936Ba	34968

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

Tabela 5 – Ferro, manganês, zinco, cobre e níquel (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

			Conclusão
Mn			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	239Aa	240Ba	240
Serra Talhada	361Aa	250Ba	306
Igarassu	116Bb	625Aa	371
Zn			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	33Aa	32Ba	32
Serra Talhada	33Aa	22Ba	28
Igarassu	14Bb	58Aa	36
Cu			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	7,33Aa	1,70Ba	4,51
Serra Talhada	1,40Ba	2,30Ba	1,85
Igarassu	3,42Bb	12,32Aa	7,87
Ni			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	14,08Ba	15,00Ba	14,54
Serra Talhada	20,08Aa	27,30Aa	24,05
Igarassu	11,58Ba	17,72Ba	14,65

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

Não houve diferença significativa entre as florestas de Serra Talhada para os nutrientes avaliados. Em Igarassu houve diferença significativa entre as duas florestas para Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, onde o solo sob a FR apresentou teores mais elevados em comparação à FM.

Menores concentrações de Fe encontradas na FM de Igarassu (22001 mg kg⁻¹) são justificadas pela própria formação do solo, visto que os sedimentos oriundos da formação Barreiras são naturalmente pobres nesse elemento.

Teores de Fe mais elevados nas florestas do Araripe eram esperados, tendo em vista que, apesar de estar localizada no Semiárido, a região do Araripe caracteriza-se por apresentar solos bem desenvolvidos. São solos de formação antiga, altamente intemperizados e originados de antigos sedimentos marinhos soerguidos a milhões de anos. São solos profundos, bem drenados, de ótimas condições físicas e de fácil manejo e mecanização, sendo solos normalmente distróficos. São referidos à Formação Exu do Cretáceo Inferior, litologicamente constituída por conglomerados e arenitos na base, sobrepostos por arenitos médios a grossos, de cor vermelha, (COELHO, 2000), o que confirma a presença do óxido de Fe como agente cimentante do arenito. Segundo BIONDI et al. (2011), o maior acúmulo de Fe pode ser resultante da maior formação de óxidos em decorrência do intemperismo mais intenso que o de outras regiões. De maneira geral, diferenças entre os teores naturais de metais pesados em solos, incluindo o Fe são um reflexo, principalmente, do material de origem (GUILHERME et al., 2005, ALLEONI et al., 2005).

Concentrações bem abaixo das encontradas nesse estudo foram observadas por MOURA (2018), que ao avaliar os principais tipos de solo do estado de Alagoas, encontrou concentração média de 14361 mg kg⁻¹ de Fe em um Latossolo, bem próximo do encontrado na média geral do estado, com 14252 mg kg⁻¹. Em Minas Gerais, CAIRES (2009) ao avaliar os teores naturais de metais em solos observou que os Latossolos apresentaram significativamente os maiores teores de Fe, com média de 79070 mg kg⁻¹.

As concentrações de Mn nos solos em geral variam de 300 a 8000 mg kg⁻¹, com uma média de 700 mg kg⁻¹ (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992). Assim como ocorreu para o Fe, seguiu-se mesma tendência para o Mn, com diferença significativa entre FM e FR em Igarassu, sendo a maior concentração de MN observada em solos sob FR (625 mg kg⁻¹). Esse resultado pode estar relacionado ao histórico de intensa atividade antrópica nessa área, onde há pouco mais de 20 anos eram cultivadas com cana-de-açúcar e, por terem recebido adubação química e calagem durante muito tempo, podem ter incorporado os nutrientes exigidos pela

cultura, assim como outros elementos acessórios, que são impurezas dos fertilizantes.

Já em Serra Talhada e no Araripe, as concentrações médias de Mn foram próximas nas duas florestas e, embora não tenha ocorrido diferença entre as áreas, a FM de Serra Talhada apresentou a concentração mais elevada entre elas (361 mg kg⁻¹). Levando em consideração o material de origem e o solo que se originou dele (Neossolo Litólico), é possível que haja contribuição dele nos valores de Mn encontrados.

Os três locais avaliados ficaram dentro da média obtida por KABATA-PENDIAS (2011) que, trabalhando com solos a nível mundial encontrou concentração média de 488 mg kg⁻¹ de Mn. Em solos da Paraíba, ALMEIDA JUNIOR et al. (2016), encontrou 268,33 mg kg⁻¹ de Mn, média próximo das observadas no Araripe e Serra Talhada.

Houve diferença significativa para as concentrações Zn em Igarassu, com 14 mg kg⁻¹ na FM e 58 mg kg⁻¹ na FR. O Zn é um metal comumente associado a outros elementos e suas concentrações no solo variam de 20 a 110 mg kg⁻¹, com uma média de 90 mg kg⁻¹ (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992). De acordo com BELLUTA et al. (2008) as principais fontes de metais como Zn e Cd, Cu, Ni e Pb são os fertilizantes e pesticidas utilizados na agricultura, o que justifica em parte a maior concentração de Zn em Igarassu no solo sob FR, levando em consideração a grande quantidade de insumos aplicados nessa área enquanto existia o cultivo de cana-de-açúcar.

Também em Pernambuco, os teores de Zn encontrados por BIONDI (2011) em amostras de 35 solos de referência do Estado variaram nas três regiões fisiográficas, sendo as maiores médias observadas na Zona da Mata (30 mg kg⁻¹), seguidas pelo sertão (19,61 mg kg⁻¹) e agreste (16,70 mg kg⁻¹).

As concentrações de Cu nos solos em geral ficam entre 8 e 90 mg kg⁻¹, com uma média de 40 mg kg⁻¹ (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992), concentrações bem acima das encontradas nos solos de Pernambuco, que variaram de 1,40 mg kg⁻¹ a 12,32 mg kg⁻¹. Por ser um micronutriente essencial, as baixas concentrações de Cu indicam a possibilidade de ocorrência de deficiências nas plantas crescidas nestas áreas e, por extensão, aos animais que delas se alimentam.

As concentrações totais de Ni nos solos estudados encontram-se dentro da faixa de valores referidas por KABATA - PENDIAS & PENDIAS (1992) que vai de 7 a

60 mg kg⁻¹, com uma média de 25 mg kg⁻¹. As concentrações crescentes de Ni foram encontradas em Serra Talhada>Araripina>Igarassu.

Em ambientes naturais, as características físicas e químicas do material de origem contribuem para a distribuição desses elementos pelos solos, no entanto, quando ocorre interferência antrópica, a concentração dessas substâncias pode ser substancialmente elevada e comprometer o ecossistema (PAYE et al., 2010). A presença de metais contidos na rocha ou ingredientes utilizados na industrialização dos fertilizantes fosfatados, por exemplo, podem contribuir com o aumento de metais como Cd, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn no solo (CAMPOS et al., 2005). O manejo do solo associado a aplicação intensa de insumos agrícolas pode contribuir para aumentar os níveis de elementos, tais como: Ni, Pb, Zn e Mn no solo (MOURA & MAZUR, 2006), o que pode justificar a maior concentração desses elementos na FR de Igarassu.

As concentrações de V encontradas nos solos variam de 50 a 110 mg kg⁻¹, com concentração média de 90 mg kg⁻¹ (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992).

Tabela 6 – Vanádio (mg kg⁻¹) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

V			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	324,99Aa	359,10Aa	342,05
Serra Talhada	106,98Ca	119,34Ca	113,16
Igarassu	174,4Ba	244,90Ba	209,63

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

As concentrações de Pb encontradas nos solos variam de 8 a 90 mg kg⁻¹ (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992), com uma média de 30 mg kg⁻¹ (EPSTEIN 1972; BOWEN, 1979). De maneira geral, todas as áreas ficaram com médias abaixo de 30 mg kg⁻¹, exceto a FR do Araripe, onde a concentração média foi de 4,20 mg kg⁻¹ (Tabela 7.)

Tabela 7 – Chumbo (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Pb			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	16,52Ba	4,20Bb	10,37
Serra Talhada	30,46Aa	30,00Aa	30,23
Igarassu	22,80Ba	26,64Aa	24,74

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

A menor concentração de Pb na FR do Araripe pode estar associada à menor poluição com resíduos de combustíveis, anteriormente aditivados com tetraelita de chumbo, nessa área pouco cruzada por estradas e com baixa circulação de automóveis, ou seja, com menor influência das atividades relacionadas ao pólo gesseiro nessa região, que é bastante intenso.

O Sr ocorre na natureza como substituto de cálcio e o bário e vice-versa em feldspatos (plagioclásios e feldspatos potássicos) e em silicatos ferromagnesianos (WEDEPOHL, 1978). As concentrações encontradas em solos variam de 80 a 900 mg kg^{-1} , com uma concentração média de 250 mg kg^{-1} (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992). Os solos estudados apresentaram concentrações de Sr dentro desta faixa (Tabela 8.)

Tabela 8 – Estrôncio (mg kg^{-1}) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Sr			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	43,14Ba	43,00Ca	43,07
Serra Talhada	185,64Aa	182,74Aa	184,19
Igarassu	61,50Ba	144,07Bb	102,94

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

O Al está presente na crosta terrestre em concentrações acima de 80 g kg⁻¹ (TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961). A concentração média encontrada nos solos em geral é 70 g kg⁻¹ (EPSTEIN, 1972; BOWEN, 1979). Não houve diferença significativa entre áreas, porém, na média geral, Igarassu apresentou maior concentração (82 g kg⁻¹) (Tabela 9.).

Tabela 9 – Alumínio e Silício (g kg⁻¹) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Al			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	75Aa	76Aa	75
Serra Talhada	78Aa	77Aa	77
Igarassu	82Aa	82Aa	82
Si			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	158Ba	156Ca	157
Serra Talhada	243Aa	271Aa	257
Igarassu	220Aa	196Ba	208

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

De acordo com WEDEPOHL (1978), durante o intemperismo, a solubilidade do Al é baixa e isso faz com que ele se concentre nos solos, que vão se enriquecendo em óxidos e hidróxidos. Os valores corroboram a alta intemperização dos solos de Igarassu.

O Si apresentou maior média em Serra Talhada (257 g kg⁻¹), um reflexo da sua formação ainda recente, com solos rasos e ricos em materiais primários. Por outro lado, os solos de Araripina apresentaram as menores concentrações (157 g kg⁻¹). Apesar da ocorrência de chuvas na região ser baixa, os solos do Araripe são originados de sedimentos antigos, bastante intemperizados, que explica suas menores concentrações de Si, bem como de outros elementos, como Ca e Mg, que apesar da baixa solubilidade, vão sendo lentamente lixiviados dos solos.

As concentrações de Ti nos solos foram, em geral, maiores nos fragmentos do Araripe que no de Igarassu, e ambos os maiores que as encontradas nos solos de Serra Talhada. O Ti no solo apresentou concentrações de 2752 mg kg⁻¹ na FM a 11382 mg kg⁻¹ na FR (Tabela 10.).

Tabela 10 – Titânio (mg kg⁻¹) em solos sob florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Ti			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	10523Aa	11382Aa	10953
Serra Talhada	2752Ca	3003Ca	2878
Igarassu	5662Ba	7697Ba	6679

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

As concentrações médias de Ti nos três locais ficaram dentro dos limites comumente encontrados nos solos, que variam de 1000 a 10000 mg kg⁻¹, com concentração média de 5000 mg kg⁻¹ (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992).

4.2 Concentrações dos elementos químicos nas plantas

Não houve diferença significativa entre as concentrações de Ca na FM e FR dos cinco locais. Em Serra Talhada observou-se os maiores valores, tendência já esperada com base nas concentrações encontradas no solo. As concentrações de Mg foram mais altas em Triunfo e Serra Talhada, sendo que, quando calculada a relação Ca:Mg em cada local, Triunfo destacou-se por apresentar relação mais baixa que todos os outros locais (Tabela 11.).

Tabela 11 – Cálcio, magnésio, potássio, fósforo e enxofre (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Continua

Ca			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	8866BCa	7226Ba	7939
Igarassu	4996Ca	6709Ba	5853
Serra Talhada	20081Aa	18089Aa	19417
Caruaru	13310Ba	15203Aa	14068
Triunfo	5784Ca	7966Ba	6407
Mg			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	3618Aa	2470BCa	2970
Igarassu	2563Aa	2675BCa	2619
Serra Talhada	3992Ab	6753Aa	4912
Caruaru	2270Ba	1676Ca	2032
Triunfo	4674Aa	4462Aa	4613
K			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	6279Ca	6368Ba	6330
Igarassu	8071BCb	11722Aa	9896
Serra Talhada	10454Ba	8709Ab	9872
Caruaru	11061Ba	8238Ab	9932
Triunfo	15242Aa	8873Ab	13422

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

Tabela 11 – Cálcio, magnésio, potássio, fósforo e enxofre (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Conclusão			
P			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	972BCa	955Ba	962
Igarassu	815Cb	1485Aa	1150
Serra Talhada	1346Aa	1146Aa	1279
Caruaru	1455Aa	1480Aa	1465
Triunfo	1468Aa	1267Aa	1410
S			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	3059Aa	1811Bb	2354
Igarassu	1818Ba	2496Aa	2157
Serra Talhada	2102Aa	2475Aa	2227
Caruaru	2632Aa	2544Aa	2597
Triunfo	2519Aa	2686Aa	2567

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

As baixas concentrações médias de Ca e K nas folhas confirmam a pobreza nutricional dos solos da Chapada do Araripe, embora cada planta apresente padrão de acúmulo de nutrientes diferente, de maneira geral, as médias representam um reflexo da reserva desses elementos no solo dessa região, formados a partir de conglomerados e arenitos.

Os dois locais onde não foram realizadas análise de solo (Caruaru e Triunfo) têm solos razoavelmente férteis, sendo o de Triunfo menos intemperizado e com origem semelhante ao de Serra Talhada, dada a proximidade entre os locais, sendo a diferença entre eles a maior disponibilidade hídrica em Triunfo. Já em Caruaru, no Agreste, também são pouco intemperizados, porém, que podem eventualmente ter

recebido alguma adubação, principalmente o da vegetação em regeneração, por estarem localizadas dentro da Estação Experimental do IPA.

Não houve diferença significativa para K entre FM e FR, exceto em Igarassu e Triunfo. A maior concentração observada nas folhas da FR de Igarassu (11722 mg kg⁻¹), pode estar associado à aplicação mais recente de adubação potássica nessa área. Já em Triunfo na FM, local onde observou-se a maior concentração de K (15242 mg kg⁻¹), a possibilidade desses valores encontrados terem sido oriundos de adubação é muito pequena, visto se trata de uma área com corte seletivo há aproximadamente 30 anos. Acredita-se que esse valor encontrado nas folhas seja resultante da própria litologia da área, constituída de sienito e granito peralcalinos ultrapotássicos.

As concentrações de S não diferiram entre áreas, exceto no Araripe, onde a FM teve concentração superior com 3059 mg kg⁻¹. Tendo em vista que, a região é uma grande produtora/fornecedora de gesso mineral, fonte de enxofre para as culturas (NASCIMENTO, 2003), esse maior valor na região do Araripe pode ser atribuído à aplicação desse insumo em cultivos anteriores ou mesmo a resíduos trazidos pelo vento que vão sendo incorporados nesse solo e utilizados pelas plantas.

As concentrações dos micronutrientes nas folhas seguiu mesmo padrão do que ocorreu em solos, com diferença significativa entre a FM e FR de Igarassu, onde as maiores concentrações foram observadas na FR (Tabela 12.).

Tabela 12 – Ferro, manganês, zinco, cobre e níquel (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Continua

Fe			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	118Aa	122Ba	120
Igarassu	156Ab	513Aa	335

M – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

Tabela 12 – Ferro, manganês, zinco, cobre e níquel (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Continuação

Serra Talhada	65Aa	75Ba	68
Caruaru	115Aa	90Ba	105
Triunfo	66Aa	91Ba	73
Mn			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	267Aa	145Bb	198
Igarassu	76Bb	286Aa	181
Serra Talhada	71Ba	48Ca	63
Caruaru	190Ba	110Ba	158
Triunfo	58Ba	136Ba	80
Zn			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	13,6Aa	15,1BCa	14,4
Igarassu	19,8Ab	31,3Aa	25,6
Serra Talhada	23,6Aa	10,8Cb	19,3
Caruaru	23,3Aa	24,0Aa	23,6
Triunfo	20,3Aa	14,9Ba	18,9
Cu			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	4,18Ba	3,15Ba	3,60
Igarassu	10,54Ab	21,75Aa	16,14
Serra Talhada	4,81Ba	6,16Ba	5,26
Caruaru	6,68Ba	3,25Bb	5,31
Triunfo	4,64Ba	6,96Ba	5,31

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

Tabela 12 – Ferro, manganês, zinco, cobre e níquel (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

			Conclusão
Ni			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	0,92Ba	0,94Ba	0,93
Igarassu	2,85Ab	5,55Aa	4,20
Serra Talhada	0,64Bb	3,05Aa	1,44
Caruaru	0,32Ba	0,23Ba	0,29
Triunfo	0,61Ba	0,96Ba	0,71

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

As concentrações mais baixas de Fe foram observadas em Serra Talhada e Triunfo, além das concentrações semelhantes, resultado provavelmente associado à proximidade entre os locais, com solos menos desenvolvidos.

As concentrações de Mn podem variar entre 20 e 300 mg kg^{-1} , sendo a necessidade das plantas para seu desenvolvimento adequado entre 30 e 50 mg kg^{-1} (EPSTEIN, 1972; BOWEN, 1979). Concentrações que variam de 300 a 500 mg kg^{-1} são consideradas tóxicas para a maioria das plantas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992). Em muitas plantas, as folhas com deficiência desse elemento possuem concentrações menores que 20 mg kg^{-1} (MALAVOLTA et al., 1989; FURLANI, 2004). As maiores concentrações de Mn foram observadas em Igarassu (286 mg kg^{-1}) na FR, o que leva a uma tendência que as espécies dessa área provavelmente apresentam maior tolerância ao Mn, bem como maior capacidade de acumulação que as espécies da área madura e dos outros locais. Assim como para o Fe, as menores concentrações de Mn ocorreram em Serra Talhada e Triunfo, com média geral de 63 mg kg^{-1} e 80 mg kg^{-1} , respectivamente. Apesar das diferenças, todos os locais apresentaram concentrações dentro dos limites adequados.

A mesma situação observada com o Mn repetiu-se para Zn, Cu e Ni nas plantas, com maiores médias em Igarassu na FR, sendo 31,3 mg kg^{-1} de Zn, 21,75 mg kg^{-1} de Cu e 5,55 de mg kg^{-1} Ni.

As concentrações de Zn entre 27 e 150 mg kg⁻¹ são as normalmente encontradas em plantas, enquanto o efeito tóxico pode ser considerado com concentrações entre 100 e 400 mg kg⁻¹ (KABATA - PENDIAS & PENDIAS 1992). O Zn é um micronutriente e participa da formação da clorofila nas plantas, atuando também na ativação de enzimas. Todas as espécies avaliadas apresentaram concentrações dentro da faixa considerada adequada para o desenvolvimento das plantas, que se situa entre 10 e 50 mg kg⁻¹ (LARCHER, 2000).

As concentrações de Cu normalmente encontradas em vegetais ficam entre 5 e 30 mg kg⁻¹, sendo que, concentrações entre 20 e 100 mg kg⁻¹ podem ser consideradas tóxicas (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992). O Cu é um micronutriente, mas quando em excesso nas células, pode ser também potencialmente tóxico, inibindo o crescimento da planta e impedindo importantes processos celulares, como, por exemplo, o transporte de elétrons na fotossíntese (YRUELA, 2009).

Os teores de Cu encontrados nas espécies avaliadas em FM e FR ficaram dentro das concentrações médias encontradas em plantas, exceto na FR de Igarassu. Os demais locais apresentaram concentrações abaixo de 10 mg kg⁻¹ (Tabela 12.).

O Ni é considerado um micronutriente e constituinte da enzima urease nas plantas (TAIZ & ZIEGER, 2004). As concentrações de Ni nas plantas variam de 0,1 a 5 mg kg⁻¹. Concentrações entre 10 mg kg⁻¹ a 100 mg kg⁻¹ são consideradas tóxicas para a maioria das plantas (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992). As concentrações de Ni nas espécies ficaram dentro da faixa adequada para plantas, variando de 0,23 mg kg⁻¹ a 5,55 mg kg⁻¹.

Houve diferença significativa para o Mo em Serra Talhada, onde as concentrações na FM e FR foram de 1,46 mg.kg⁻¹ e 0,36 mg.kg⁻¹, respectivamente (Tabela 13.). O maior número de espécies da família das leguminosas que ocorrem na FM (Tabela 2.) pode ter contribuído com a maior concentração de Mo em folhas nessa área.

Tabela 13 – Molibdênio (mg.kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Mo			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	0,20Ba	0,13Aa	0,16
Igarassu	0,10Ba	0,16Aa	0,13
Serra Talhada	1,46Aa	0,36Ab	1,09
Caruaru	0,14Ba	0,51Aa	0,29
Triunfo	0,24Ba	0,11Aa	0,20

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

O Mo é um micronutriente que atua na absorção e translocação do ferro, no metabolismo do fósforo e na fixação biológica do nitrogênio (LARCHER, 2000), onde ele faz parte tanto da redutase do nitrato, pela qual o nitrato é reduzido a nitrito, quanto da nitrogenase, pela qual bactérias que fixam nitrogênio convertem o gás nitrogênio em amônia (TAIZ & ZIEGER, 2004), o que o caracteriza de grande importância para as plantas. Concentrações acima de 10 mg kg^{-1} podem causar toxicidade às plantas (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992). Os valores encontrados ficaram bem abaixo da faixa considerada tóxica.

As folhas em Igarassu tiveram os maiores teores de Na nas duas florestas (Tabela 14.). Em Igarassu, o local mais próximo do mar, o maior aporte de Na pode ter vindo do sal marinho carregado pelo vento.

Tabela 14 – Sódio (mg.kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Na			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	227Ba	190Ba	206
Igarassu	960Aa	917Aa	939
Serra Talhada	191Ba	101Ba	161
Caruaru	353Ba	533Aa	425
Triunfo	120Ba	256Ba	159

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

Em Triunfo foi o local onde se observou as menores concentrações, podendo ter relação com a própria fixação do Na no solo, que é baixa, o que o leva a ser perdido por lixiviação para camadas mais profundas (REBELO et al., 2020). O Na não é um elemento essencial e, por ser adsorvido por minerais de argila, sua fixação é mais fraca que as outras bases trocáveis do solo (MALAVOLTA, 2006).

As concentrações de Co encontradas em folhas nos cinco locais variaram de $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ a $2,89 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 15.)

Tabela 15 – Cobalto (mg.kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Co			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	0,05Ba	0,05Ba	0,05
Igarassu	0,45Ab	1,95Aa	1,20
Serra Talhada	0,17Aa	0,10Ba	0,15
Caruaru	0,14Aa	0,08Bb	0,12
Triunfo	0,59Ab	2,89Aa	1,25

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Menores concentrações de Co e Cu, associadas às menores concentrações dos macronutrientes reforça o fato dos solos do Araripe serem muito pobres quimicamente. O teor total de Co no solo depende do conteúdo da rocha de origem e varia de 0,05 a 300 mg. Pode também ser encontrado no solo pela aplicação de adubos fosfatados ou pelo fornecimento de sais para plantas e animais (MALAVOLTA, 2004). Apesar de ser considerado nutriente benéfico para as plantas, a função específica desse elemento para as plantas não é conhecida, no entanto, é comprovado que leguminosas com deficiência de cobalto têm desenvolvimento e função dos nódulos afetada (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Deficiências de minerais em bovinos, incluindo o Co tem deficiência comprovada em várias regiões do Brasil (TOKARNIA & DÖBEREINER, 1976; TOKARNIA et al., 2000). Levando em consideração a proximidade dos locais avaliados com a região do Araripe, as menores concentrações no Araripe tanto em FM quanto na FR são mais uma comprovação das baixas concentrações de Co nessa região, fazendo-se necessária a suplementação para os animais que ali vivem.

As concentrações de V normalmente encontradas nas plantas variam entre 0,2 mg kg⁻¹ a 1,5 mg kg⁻¹, estando os valores encontrados neste trabalho, portanto, desta faixa (de 0,09 mg kg⁻¹ a 1,26 mg kg⁻¹) (Tabela 16.)

Tabela 16 – Vanádio (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

V			
Local	Floresta		Média
	Madura	Regeneração	
Araripe	0,25Aa	0,26Ba	0,26
Igarassu	0,31Ab	1,26Aa	0,79
Serra Talhada	0,16Aa	0,16Ba	0,16
Caruaru	0,18Aa	0,19Ba	0,18
Triunfo	0,09Aa	0,17Ba	0,11

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

Apesar de estarem dentro da faixa normalmente encontrada de V em tecido vegetal, não é possível afirmar se as espécies dessas áreas têm potencial para acumular V em seus tecidos. Os limites de concentração de metais pesados reconhecidos nos tecidos vegetais para outros metais pesados como Cd, Pb, Mn são descritos na literatura (REEVES et al., 2017; LIU et al., 2019), no entanto, até então, os limites de concentração de V do tecido vegetal necessários para definir as plantas como hiperacumuladoras ainda não foram determinados. Deste modo, as plantas que podem acumular, translocar e tolerar grandes quantidades de V são em número menor do que aquelas definidas para outros metais tóxicos (AIHEMAITI et al., 2017; SACO et al., 2013; AKKUS et al., 2017; AMEH et al., 2019).

No Araripe e Triunfo encontrou-se diferenças significativas entre FM e FR, com as maiores concentrações de Cd nas áreas sob FR (Tabela 17.)

Tabela 17 – Cádmio (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Cd			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	0,09Bb	0,12BCa	0,11
Igarassu	0,18Aa	0,21Aa	0,19
Serra Talhada	0,06Ba	0,06Ca	0,06
Caruaru	0,22Aa	0,19Aa	0,21
Triunfo	0,07Bb	0,13BCa	0,09

FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

O Cd é um elemento tóxico mesmo em baixas concentrações. Os teores normalmente encontrados em plantas ficam entre $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ e $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ (KABATA - PENDIAS & PENDIAS, 1992). As concentrações médias foliares nos locais avaliados ficaram entre $0,09 \text{ mg kg}^{-1}$ e $0,21 \text{ mg kg}^{-1}$, dentro da faixa normalmente encontrada em plantas. Nas áreas sob FR, a maior contribuição provavelmente vem dos fertilizantes utilizados nos cultivos agrícolas que os antecederam. Dependendo do tipo de rocha fosfática, os fertilizantes fosfatados são

as maiores fontes de contaminação com Cd em solos agrícolas (BIZARRO et al., 2008).

As concentrações de Sr variaram de 54 mg kg⁻¹ a 139 mg kg⁻¹ (Tabela 18.), dentro da faixa encontrada em plantas, em concentrações que variam de 3 mg kg⁻¹ a 400 mg kg⁻¹, (EPSTEIN, 1972; BOWEN, 1979).

Tabela 18 – Estrôncio (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Pernambuco.

Sr			
Local	Floresta		Média
	FM	FR	
Araripe	107Aa	135Aa	123
Igarassu	101Aa	54Bb	77
Serra Talhada	126Aa	132Aa	128
Caruaru	99Aa	90Aa	95
Triunfo	139Aa	119Ab	133

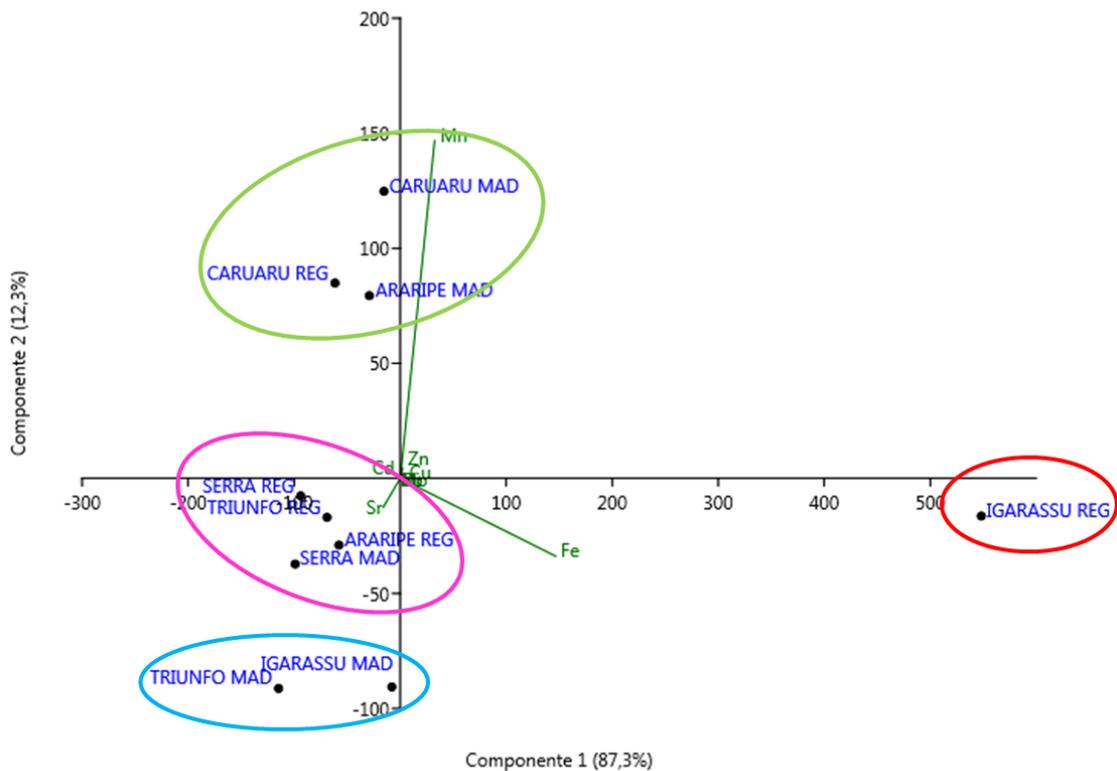
FM – Floresta madura; FR – Floresta em regeneração. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna para cada elemento e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: A autora (2023).

4.2.1 Componentes principais e correlação de Pearson

As análises multivariadas demonstram o efeito da localização e o tempo de regeneração das florestas sobre os elementos químicos estudados. A componente principal 1 (CP1) da análise discriminante contribuiu com 87,3% do total da variância e a componente principal 2 (CP2) contribuiu com 12,3% do total da variância, indicando uma alta explicação desses fatores ao modelo (Figura 2.).

Figura 2 – Análise discriminante e distribuição dos elementos Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni, V, Zn, Cd e Sr em relação as diferentes localidades e tempo de regeneração das florestas. (REG – Floresta em regeneração; MAD – Floresta madura).

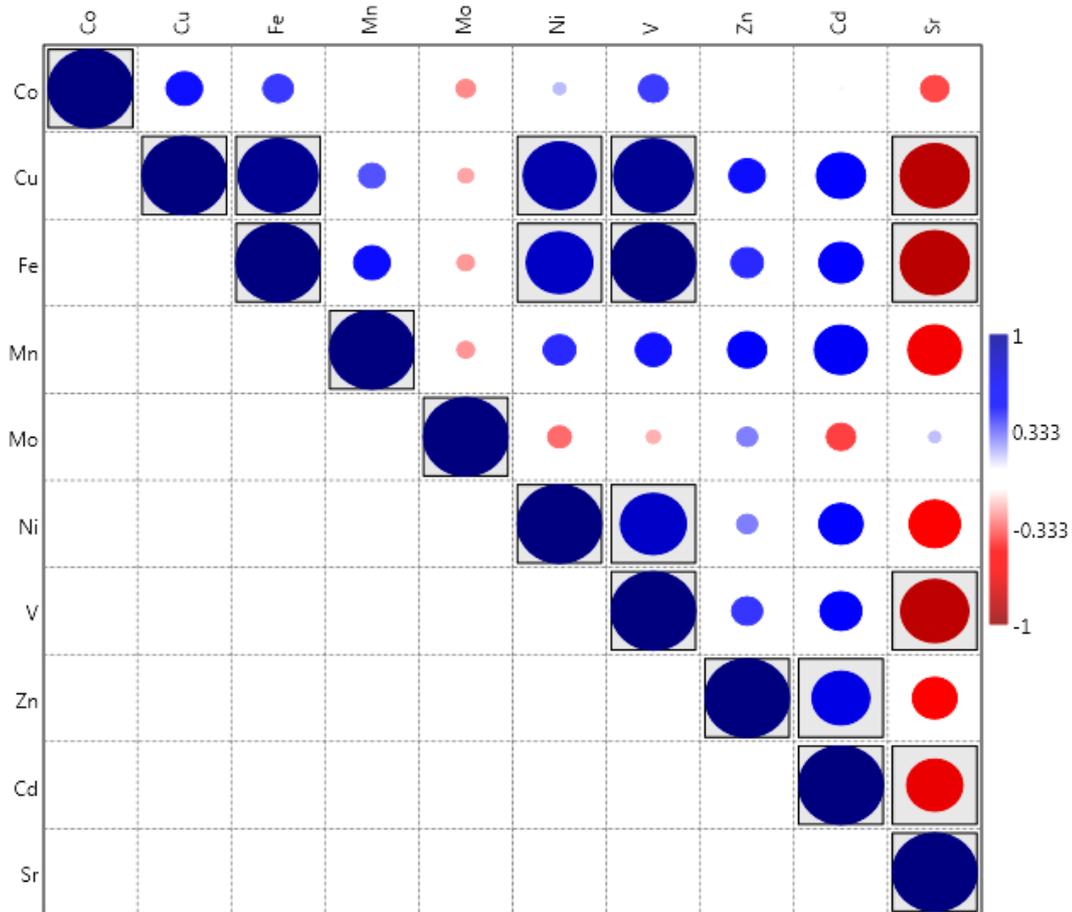


Fonte: A autora (2023).

A CP1 foi melhor representada pelo Fe (0,97) e positivamente carregada apenas com Igarassu REG (548,14), apresentando comportamento inverso com as demais áreas estudadas. Isto é explicado pelos maiores teores de Fe, Cu, Ni e V e pelo menor teor de Sr em Igarassu REG, como observado através da forte correlação entre estes elementos (Figura 3).

Figura 3 – Correlação linear de Pearson entre os elementos Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni, V, Zn, Cd e Sr em folhas de espécies arbóreas de diferentes localidades e tempo de regeneração das florestas.

Círculos dentro de caixas indicam efeito significativo ($p < 0,05$).



Fonte: A autora (2023).

Já a CP2 foi melhor representada pelo Mn (0,97) e positivamente carregada com Caruaru MAD (124,76), Caruaru MAD (84,89) e Araripe MAD (79,43).

Serra MAD (-99,03), Serra REG (-93,84), Triunfo REG (-69,06) e Araripe REG (-57,73) apresentaram os valores mais negativos para a CP1, enquanto Triunfo MAD (-91,28) e Igarassu MAD (-90,61) apresentaram os valores mais negativos para CP2.

5 CONCLUSÃO

A litologia de cada local de estudo teve papel relevante na dinâmica dos nutrientes dos solos e plantas e, de maneira geral, as concentrações encontradas estão associadas à origem dos solos de cada local e/ou associadas à atividade antrópica desenvolvida anteriormente em cada floresta.

As maiores concentrações dos micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu no solo na FR em Igarassu comprovaram o efeito residual da aplicação de adubos e fertilizantes utilizados nessa área quando em cultivo com cana-de-açúcar.

As análises multivariadas demonstraram o efeito da localização e do tempo de regeneração das florestas sobre as concentrações dos elementos químicos nas folhas.

O conhecimento das diferentes concentrações de nutrientes encontradas nos solos e folhas das florestas vai facilitar a elaboração de planos e avaliação de impactos ambientais futuros com base nas reservas encontradas em cada local.

REFERÊNCIAS

- AIDE, M. & GRAU, H.R. 2004. Globalization, Migration, and Latin American Ecosystems. *Science* 305: 1915–1916.
- AIDE, T.M.; ZIMMERMAN, J.K.; PASCARELLA, J.B.; RIVERA, L.; MARCANO-VEGA, H. Forest Regeneration in a Chronosequence of Tropical Abandoned Pastures: Implications for Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, v.8, n. 4, p. 328-338. 2000.
- AIHEMAITI, A., JIANG, J., LI, D., LI, T., ZHANG, W., DING, X., 2017. Toxic metal tolerance in native plant species grown in a vanadium mining area. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24 (34), 26839–26850.
- AKKUS, S.O., YAMAN, B., YAMAN, M., 2017. Assessment of the phytoextraction potential of thirteen plant species for chromium and vanadium and their relationship with sulfur and histidine. *J. Elem.* 22, 1387–1400.
- ALLEONI, L.R.F.; IGLESIAS, C. S. M.; MELLO, S. C.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C.; LAVORENTI, N. A. Atributos do solo relacionados à adsorção de cádmio e cobre em solos tropicais. *Acta Sci. Agron*, v. 27, p. 729-737, 2005.
- ALMEIDA JUNIOR, A. B. de; NASCIMENTO, C. W. A. do, BIONDI, C. M.; SOUZA, A. P. de; BARROS, F. M. R. Background and Reference Values of Metals in Soils From Paraíba State, Brazil. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.40:e0150122, 2016.
- AMEH, E.G., OMATOLA, O.D., AKINDE, S.B., 2019. Phytoremediation of toxic metal polluted soil: screening for new indigenous accumulator and translocator plant species, northern Anambra Basin, Nigeria. *Environ. Earth Sci.* 78 (12), 345.
- ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica*, Recife, v. 4, p. 243-274, 2007.
- ARAÚJO FILHO, J.C. et al. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11).
- ARAÚJO, A. L. L. de. Complexidade da acumulação de elementos químicos por árvores nativas da mata Atlântica. Piracicaba: USP, 2009. 113f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ARAÚJO, E. L.; SILVA, S. I.; FERRAZ, E. M. N. Herbáceas da Caatinga de Pernambuco. In: TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. da (Orgs.) *Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco*. Recife: Secretaria de Ciência e Tecnologia e Meio Ambiente/Editora Massangana, 2002, v. 1. p. 183-205.
- ARAÚJO, F.S., MARTINS, F.R. & SHEPHERD, G.J. Variações estruturais e florísticas do carrasco no planalto da Ibiapaba, estado do Ceará. *Revista Brasileira de Biologia* 59: p. 663–678, 1999.
- ARAÚJO, F.S.; RODAL, M.J.N.; BARBOSA, M.R.V.; MARTINS, F.R. Repartição da flora lenhosa no domínio da caatinga. In: ARAÚJO, F.S.; RODAL, M.J.N.;

BARBOSA, M.R.V. (Org.). Análise das variações da biodiversidade do bioma Caatinga: suporte a estratégias regionais de conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005, p.15-33.

ARAÚJO, F.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; FIGUEIREDO, M.A.; RODAL, M.J.N.; FERNANDES, A.G. Composição florística da vegetação de carrasco, Novo Oriente, CE. *Revista Brasileira de Botânica* 21: p.105–116, 1998.

BARBOSA, M.R.V.; SOTHERS, C.; MAYO, S.; GAMARRA-ROGAS, C.F.L. & MESQUITA, A.C. (orgs.). Checklist das plantas do nordeste brasileiro: 82 Angiospermas e Gymnospermas. Brasília: Ministério de Ciência e Tecnologia, 2006. 156p.

BELLUTA, I., TOFOLI, L. A., CORRÊA, L. C., CARVALHO, L. R., SILVA, A. M. M. Impactos provocados por metais potencialmente tóxicos dissolvidos em água e em sedimentos no Córrego do Cintra – Botucatu-SP. *Salusvita, Bauru*, v. 27, n. 2, p. 239-258, 2008. Disponível em: <
http://www.usc.br/biblioteca/salusvita/salusvita_v27_n2_2008_art_07.pdf. > Acesso em: 23/05/2022.

BERNINI, E.; SILVA, M. A. B. da; CARMO, T. M. S. do; CUZZUOL, G. R. F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 29, n. 4, p. 689-699, 2006.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; FABRICIO NETA, A. B.; RIBEIRO, M. R.; Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p. 1057-1066, 2011.

BIONDI, C.M. Teores Naturais de Metais Pesados nos Solos de Referência do Estado de Pernambuco. 2010. 67f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE).

BIZARRO, V. G.; MEURER, E. J.; TATSCH, F. R. P. Teor de cádmio em fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 247-250, 2008.

BOWEN H. J. M. 1979. *Environmental chemistry of the elements*. Academic Press, London.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife: Sudene, 1972. v.2, 354p. (MA. DNPEA-DPP. Boletim Técnico, 26; SUDENE-DRN. Série Pedologia, 141).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife: Sudene, 1973. v.1, 359p. (MA. DNPEA-DPP. Boletim Técnico, 26; SUDENE-DRN. Série Pedologia, 141).

CAIRES, S. M DE. Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade. 2009. 321 f. Tese (Doutorado em Agronomia- Solos e Nutrição de Plantas- Universidade Federal de Viçosa.

- CAMPOS, M.L.; SILVA, F.N.; FURTINI NETO, A.E.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; ANTUNES, A.S. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.4, p.361-367, 2005.
- CHANDRASEKARAN, A.; RAVISANKAR, R.; HARIKRISHNAN, N.; SATAPATHY, K. K.; PRASAD, M. V. R.; KANAGASABAPATHY, K. V. Multivariate statistical analysis of heavy metal concentration in soils of Yelagiri Hills, Tamilnadu, India – Spectroscopical approach. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 137, 589–600, 2015.
- COSTA, T. L. Fixação biológica de nitrogênio em leguminosas arbóreas em diferentes formações vegetais de Pernambuco / Tânia Lúcia da Costa. 121 p.: Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.
- COSTA, T. L., SAMPAIO, E. V., ARAÚJO, E. L., SILVA, A. F., & FREITAS, A. D. Contributions of Leguminosae to young and old stands of neotropical forests under different environmental conditions. *Annals of Forest Science*, v. 78, n. 2, p. 1-21, 2021.
- DANTAS, J.R.A. Mapa geológico do Estado de Pernambuco. Recife: DNPM, 1980. 112p. il. 2 mapas.
- ELIAS, C.; DE NADAI FERNANDES, E.A.; FRANÇA, E.J.; BACCHI, M.A. Seleção de epífitas acumuladoras de elementos químicos na Mata Atlântica. *Biota Neotropica*, Campinas, v. 6, n. 1, 2006.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília: DF: Embrapa Informação Tecnológica, 574p. 2017.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- EPSTEIN E. 1972. Mineral nutrition of plants. Wiley, New York.
- FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. Soil: morphology, genesis, and classification. New York: John Wiley, 1989. 395 p.
- FARIA, S.M.; LEWIS, G.P.; SPRENT, J.I.; SUTHERLAND, J.M. Occurrence of nodulation in the Leguminosae. *New Phytologist*, v.111, p.607-619, 1989.
- FEARNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, v.108, n.1-2, p.147-166, 1998.
- FERREIRA, F. F.; LACERDA, F. F.; ARAGÃO, J. O. R.. Relação entre a precipitação observada no leste de Pernambuco e os dados da bóia PIRATA localizada em 32W e 08S. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais 1980 – 2006, cbmet.com. Edição XIV, Florianópolis, 2006.
- FRANÇA, E. J. A biomonitoração da Mata Atlântica na conservação da biodiversidade: Espécies arbóreas nativas acumuladoras de elementos químicos.

Tese de doutorado, Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2006. 376 p.

FRANÇA, E.J.; DE NADAI FERNANDES, E.A.; BACCHI, M.A.; RODRIGUES, R.R.; VERBURG, T.G. Inorganic chemical composition of native trees of the Atlantic Forest. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v. 102, p. 349-357, 2005.

FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS, C. E. R. S; FERNANDES, A. R. Biological nitrogen fixation in legume trees of the Brazilian caatinga. *Journal of Arid Environments*, Exeter, v. 74, n. 3, p. 344-349, 2010.

FREITAS, A.D.S., SAMPAIO, E.V.S.B., RAMOS, A.P.S., BARBOSA, M.R.V., LYRA, R.P., ARAÚJO, E.L. Nitrogen isotopic patterns in tropical forests along a rainfall gradient in Northeast Brazil. *Plant and Soil*. 391,109–122, 2015.

FURLAN, C.M.; SALATINO, A.; DOMINGOS, M. influence o fair pollution on leaf chemistry, herbivore feeding and gall frequency on *Tibouchina pulchra* leaves in Cubatão (Brazil), *Biochemical Systematics and Ecology*, Elmsford, v. 32, p. 253-263, 2004.

GEHRING, C., VLEK, P.L.G., SOUZA, L.A.G., DENICH, M. Biological nitrogen fixation in secondary regrowth and mature rainforest of central Amazonia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 111, 237–252, 2005.

GIULIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. P. de. Diversidade e caracterização das fanerógamas do Semiárido brasileiro. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2006. 488 p.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P. de; BARBOSA, M. R. de V.; NETA, A. L. B.; FIGUEIREDO, M. A. Espécies endêmicas da caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B. GIULIETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. Vegetação e flora da caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2002. cap. 2, 11-24 p.

GOLLEY, F. B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: *Tropical forest ecosystems: structure and function*. Amsterdam: Elsevier, 1983. p.137-156.

GUEDES, M. V.. Situação das áreas de reserva legal e proteção dos recursos naturais em assentamentos rurais da Mata Meridional pernambucana. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de 54 Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Recife, 2012.

GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M.A.P.; ZULIANI, D.Q.; CAMPOS, M. L. & MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M. & SILVA, A.P., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v.4. p.345-390.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, v. 4, p. 1-9, 2001.

- HERRERO FERNÁNDEZ, Z. Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas. 92f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Recife – PE, 2017.
- IOVINE, P. Usando biomonitoramento para avaliar o impacto da poluição atmosférica no entorno de indústrias. 117p. Dissertação(mestrado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
- JIAO, W.; CHEN, W.; CHANG, A. C.; PAGE, A. L. Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: A review. *Environmental Pollution*, Oxford, v. 168, p. 44–53, 2012.
- KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in Soils and plants. New York: Taylor and Francis Group, 2011. 505p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soil and plants. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1992. 365 p.
- KRATZ, S.; SCHICK, J.; SCHNUG, E. Trace elements in rock phosphates and P containing mineral and organo-mineral fertilizers sold in Germany. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 542, p. 1013–1019, 2016.
- LACERDA, F.F.. Estimativa da variabilidade espacial das chuvas nas microrregiões homogêneas do Estado de Pernambuco em 1995. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Cachoeira Paulista, 1996.
- LARCHER W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. Rima Artes e Textos, São Carlos. 531p.
- LIU, H., ZHANG, B., YUAN, H., CHENG, Y., WANG, S., HE, Z., 2017. Microbial reduction of vanadium (V) in groundwater: Interactions with coexisting common electron acceptors and analysis of microbial community. *Environ. Pollut.* 231, 1362–1369.
- MAIOLI, O.L. Parâmetros bioquímicos foliares das espécies *Lucania tomentosa* (Beth) e *Bauhinia forficata* para avaliação da qualidade do ar. *Química Nova*, v. 13, n. 8, p. 1925-1932, 2008.
- MALAVOLTA, E.; Manual de Nutrição Mineral de Plantas, 1a ed., Ceres: Piracicaba, 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba, SP: Potafos, 1997. 319 p.
- MARKERT, B. Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment. Weinheim: VCH, 1993, 645 p.
- MARKERT, B.; KAYSER, G.; KORHAMMER, S.; OEHLMANN. Distribution and effects of trace substances in soils, plants and animals. In: MARKERT, B.; FRIESE, K. (Ed.) Trace elements: their distribution and effects in the environment. Amsterdam: Elsevier, 2000. p. 3-31.
- MCBRIDE, M.B. (1995) Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA regulations protective? *Journal of Environmental Quality*, v. 24, n. 1, p. 5-18.

MICÓ, C.; RECATALÁ, L.; PERIS, M.; SÁNCHEZ, J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, Oxford, v. 65, n. 5, p. 863–872, 2006.

MOURA, A. B. Valores de referência de qualidade (VRQs) de metais pesados para os principais tipos de solos de Alagoas / Adriano Barboza Moura. – 2018. 72 f.: il., tabs. (Tese).

MOURA, J. E. V. N. N.; MAZUR, B. D. A. S. N. Sistemas de preparo de solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão (*Capsicum Annum* L.). *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 36, n. 1, p.113-119.2006.

NASCIMENTO, C.W.A. Melhoria do ambiente radicular e fornecimento de nutrientes. Recife: UFRPE/Área de Solos, 2003. 9 p. (Apostila do Curso de Gestão Ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da Região do Araripe – PE).

PAYE, H. de S.; MELLO, J.W.V de; ABRAHÃO, W.A.P.; FERNANDES FILHO, E.I.; DIAS, L.C.P.; CASTRO, M.L.O.; MELO, S.B. de; FRANÇA, M.M. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.34, p.2041-2051, 2010.

PERIS, M.; MICÓ, C.; RECATALÁ, L.; SÁNCHEZ, R.; SÁNCHEZ, J. Heavy metal contents in horticultural crops of a representative area of the European Mediterranean region. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 378, n. 1, p. 42–48, 2007.

PÔRTO, K. C.; GERMANO, S. R.; BORGES, G. M. Avaliação dos Brejos de Altitude de Pernambuco e Paraíba, quanto à diversidade de briófitas, para a conservação. In: PÔRTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. (Ed.). Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 79-97.

PRITCHETT, W.L.; FISHER, R.F. Properties and management of forest soils. New York: John Wiley, 1987. 494p.

REBELO, A. G. M.; MONTEIRO, M. T. F.; FERREIRA, S. J.; RIOS-VILLAMIZAR, E. A.; QUESADA, C. A. N.; JUNIOR, S. D.; *Quim. Nova* 2020, 43, 534.

REEVES, R.D., BAKER, A.J.M., JAFFRÉ, T., ERSKINE, P.D., ECHEVARRIA, G., VAN DER ENT, A., 2017. A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. *N. Phytol.* 218, 407–411.

RESENDE, M.; CURTI, N.; RESENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 5. ed. Lavras: Editora da UFLA, 2007.

REZENDE, J.O. Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRE-SPA, 2000, 117p. il. (Série Estudo Agrícolas, 11).

RIBEIRO, L. P. Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação. Salvador, 1998. 99p.

ROBERTS, T. L. Cadmium and phosphorous fertilizers: The issues and the science. *Procedia Engineering*, Oxford, v. 83, p. 52–59, 2014.

- ROCHA, W.J.S. Características hidrogeológicas e hidroquímicas da ilha de Fernando de Noronha. 1995. 382 f. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1995.
- RODRIGUES, P. C. G.; CHAGAS, M. G. S.; SILVA, F. B. R.; PIMENTEL, R. M. M.. Ecologia dos brejos de altitude do agreste. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, n. 3, set/dez. 2008.
- SACO, D., MARTÍN, S., SAN JOSE, P., 2013. Vanadium distribution in roots and leaves of *Phaseolus vulgaris*: morphological and ultrastructural effects. Biol. Plant. 57, 128–132.
- SALGUEIRO, J.H.P.B.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MOURA, G.B.A. As precipitações máximas e seus tipos de ocorrências sobre as diversas altitudes de Pernambuco: uma abordagem geoestatística do atual conhecimento em Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2006, Gravatá. Anais... Gravatá: ABRH-PE, 2006.
- SAMPAIO, E.V.S.B. & SILVA, G.C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. Acta Botanica Brasilica, v.19, n.4, p.935-943, 2005.
- SAMPAIO, E.V.S.B. Caracterização do bioma caatinga: características e potencialidades. In: GARIGLIO, M.A. et al. (Orgs.). Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. Brasília: Serviço florestal brasileiro, 2010. p. 29-48.
- SANTOS, M. O.; GARCIA, P. A. B. B.; MONROE, P. H. M.; PAULA, A.. Effect of Caatinga forest management on organic carbon stock in soil aggregates. Scientia Forestalis, v.49, n.129, 2021.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5. ed. Viçosa: SBCS/SNLCS, 2005.
- SCHESSEL, M.; KRAUSE, L.; PIECHOWSKI, D; GOTTSBERGER, G.; OLIVEIRA, R. A fragmentação da Mata Atlântica em Pernambuco e suas conseqüências biológico-reprodutivas. In: FRANKE, C. R; ROCHA, P. L. B.; KLEIN, W.; GOMES, S. L. (Org.). Mata Atlântica e biodiversidade. Salvador: Edufba, 2005. p. 102- 139.
- SCHULZE, E. D.; E. BECK; MÜLLER-HOHENSTEIN. Plant Ecology. Heidelberg, Germany: Springer, 2002. 702 p.
- SCHÜÜRMAN, G.; MARKERT, B. Ecotoxicology. Amsterdam: John Wiley, 1998. 900p.
- SELINUS, O. Medical Geology: an emerging specialty. Terræ, 1(1):8-15. Disponível em:<<http://www.ige.unicamp.br/terrae/V2/PDF-N2/selinus.pdf>>, (Acesso em: dezembro de 2022), 2004.
- SILVA NETO, P. C. Interação solo-vegetação na avaliação de impactos ambientais em fragmento florestal de Mata Atlântica. Dissertação de mestrado, Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2015, 122 p.
- SILVA, F.B.R. et al. Zoneamento agroecológico do estado de Pernambuco. Recife: Embrapa Solos – UEP Recife, 2001. (Embrapa Solos. Documentos, 35).

SPRENT, J.I. Legume nodulation: a global perspective. B J. I. Sprent Chichester, UK: Wiley Blackwell, 2009.

STEINER, F. (2014) Balanço de potássio no sistema solo-planta influenciado pela textura e adubação potássica em solos tropicais. 93f. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, Brasil.

TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos. In: PÔRTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. (Ed.). Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 17-24.

TAIZ, L. ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 722p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TOKARNIA C.H. & DÖBEREINER J. 1976. Doenças causadas por deficiências minerais em bovinos em regime de campo no Brasil. In: Simpósio Latino-Americano sobre Pesquisa em Nutrição Mineral de Ruminantes em Pastagens, Belo Horizonte, Minas Gerais, p. 298-308.

TOKARNIA, C.H.; DÖBEREINER, J.; PEIXOTO, P.V. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. Pesquisa Veterinária Brasileira. 20(3):127-138, jul./set. 2000.

TORRES, F. S. M.; PFALTZGRAFF, P. A. S.. Geodiversidade do estado de Pernambuco. Recife: CPRM, 2014. 242 p.

TUREKIAN K. K. & WEDEPOHL K. H. 1961. Distribution of elements in some major units of the earth's crust. Geol. Soc. Of Am. Bull., 72:175-192.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização. Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco, Recife. 1971.

WEBER, J.; KARCZEWSKA, A. Biogeochemical processes and the role of heavy metals in the environment. Geoderma (special issue), 122, 2-4, 105-324, 2004.

WEDEPOHL K. H. 1978. Handbook of Geochemistry. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, v. II/1,2,3,4,5.

YRUELA, I. Cooper in plants: acquisition, transport and interactions. Functional Plant Biology, 36, p.409-430. 2009.

**APÊNDICE A – FAMÍLIA E ESPÉCIES DAS ARBÓREAS AMOSTRADAS NOS
FRAGMENTOS DE FLORESTAS TROPICAIS COM DIFERENTES TEMPOS DE
REGENERAÇÃO EM PERNAMBUCO**

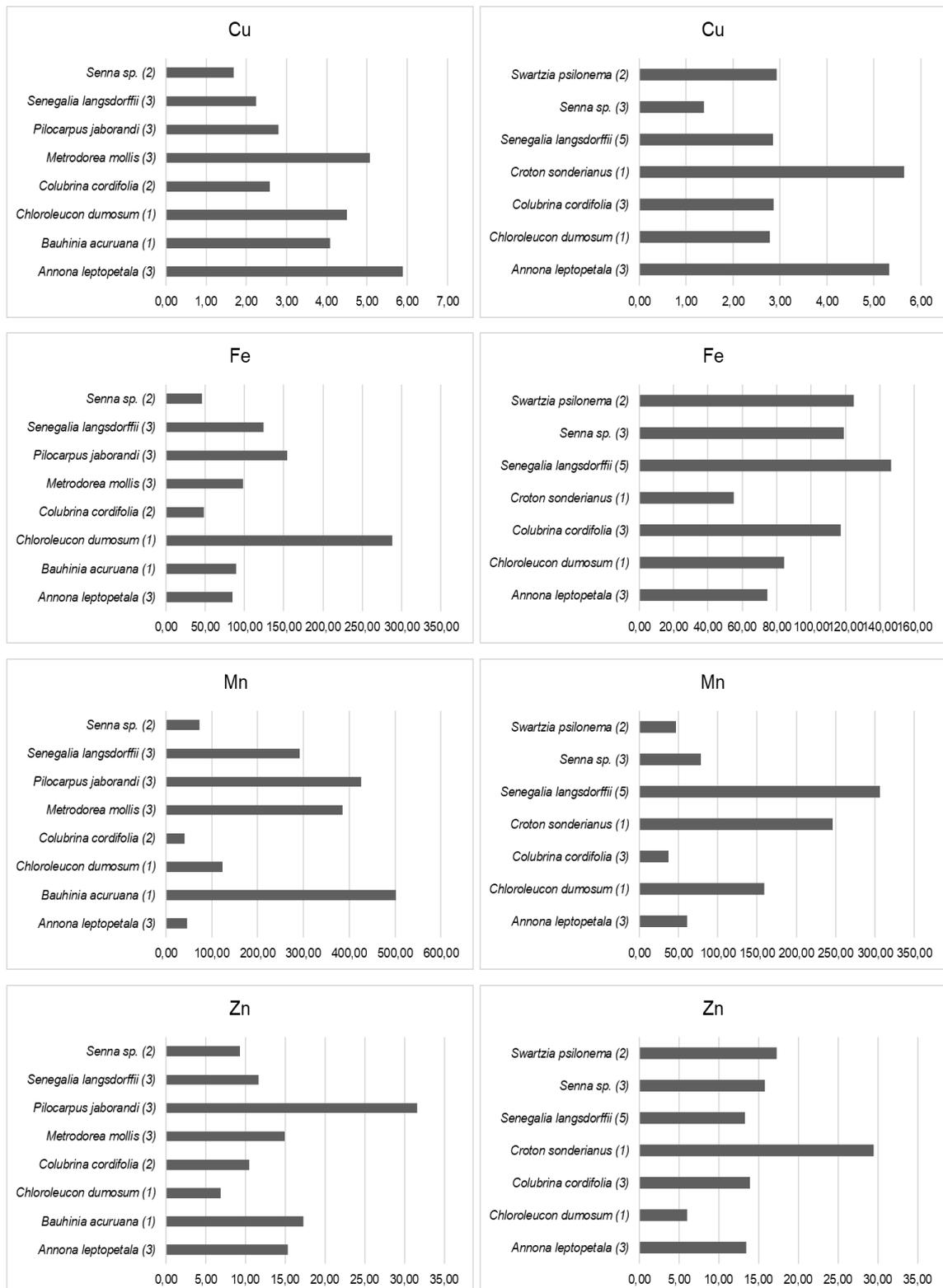
Município/idade/família	Espécies
Igarassu 20 anos	
Lecythidaceae	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Mart. ex Miers <i>Gustavia augusta</i> L.
Fabaceae -Caesalpinioideae	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.
Fabaceae – Mimosoideae	<i>Albizia polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record <i>Albizia saman</i> (Jacq.) F. Muell. <i>Inga cf. ingoides</i> (Rich.) Willd.
Fabaceae -Papilionoideae	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld <i>Swartzia pickelii</i> Killip ex Ducke
Malvaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.
Moraceae	<i>Brosimum discolor</i> Schott
Polygonaceae	<i>Coccoloba mollis</i> Casar.
Sapindaceae	<i>Cupania impressinervia</i> Acev.-Rodr. <i>Cupania oblongifolia</i> Mart.
Igarassu >40 anos	
Anacardiaceae	<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth. <i>Himatanthus phagedaenicus</i> (Mart.) Woodson
Apocynaceae	
Celastraceae	<i>Maytenus distichophylla</i> Mart. ex Reissek
Chrysobalanaceae	<i>Licania</i> sp.
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum mucronatum</i> Benth.
Lecythidaceae	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Mart. ex Miers
Fabaceae -Caesalpinioideae	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr. <i>Abarema cochliacarpus</i> (Gomes) Barneby & J.W.Grimes
Fabaceae -Mimosoideae	<i>Albizia pedicellaris</i> (DC.) L.Rico <i>Inga thibaudiana</i> DC.
Fabaceae -Papilionoideae	<i>Andira nitida</i> Mart. ex Benth. <i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth
Moraceae	<i>Brosimum discolor</i> Schott
Myrtaceae	<i>Calyptanthus brasiliensis</i> Spreng. <i>Pogonophora schomburgkiana</i> Miers ex Benth.
Peraceae	
Rubiaceae	<i>Alseis pickelii</i> Pilg. & Schmale
Caruaru 21 anos	
Anacardiaceae	<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.
Fabaceae -Caesalpinioideae	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud. <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P.Queiroz <i>Senna cf. spectabilis</i> (DC.) H.S.Irwin & Barneby

Fabaceae -Mimosoideae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan <i>Mimosa arenosa</i> (Willd.) Poir.
Caruaru >50 anos	
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.
Fabaceae -Caesalpinioideae	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud. <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P.Queiroz
Fabaceae -Mimosoideae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp. 1
Triunfo 20 anos	
Apocynaceae	<i>Aspidosperma</i> sp.
Celastraceae	<i>Maytenus obtusifolia</i> Mart.
Fabaceae -Caesalpinioideae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. <i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby <i>Albizia cf. polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record
Fabaceae -Mimosoideae	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke <i>Cupania impressinervia</i> Acev.-Rodr.
Sapindaceae	
Triunfo >80 anos	
Apocynaceae	<i>Aspidosperma</i> sp.
Fabaceae -Caesalpinioideae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. <i>Hymenaea courbaril</i> L. <i>Senna</i> sp. <i>Albizia cf. polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record
Fabaceae -Mimosoideae	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.
Fabaceae -Papilionoideae	<i>Machaerium</i> sp.
Rubiaceae	<i>Randia armata</i> (Sw.) DC. <i>Allophyllus edulis</i> (A.St.-Hil. et al.) Hieron. Ex Niederl.
Sapindaceae	
Serra Talhada 15 anos	
Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyriformium</i> Mart.
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill. <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P.Queiroz
Fabaceae – Papilionoideae	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A. C. Sm.
Fabaceae -Mimosoideae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan <i>Mimosa ophtalmocentra</i> Mart. Ex. Benth <i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.
Anacardiaceae	
Serra Talhada >50 anos	
Combretaceae	<i>Combretum monetaria</i> Mart.
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill. <i>Manihot carthaginensis</i> subsp. <i>glaziovii</i> (Müll.Arg.) Allem
Fabaceae -Caesalpinioideae	<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud. <i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz <i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L.P.Queiroz
Fabaceae -Mimosoideae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan <i>Chloroleucon dumosum</i> (Benth.) G.P.Lewis <i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.

	<i>Parapiptadenia zehntneri</i> (Harms) M.P.Lima & H.C.Lima
	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke
Araripe 20 anos	
Annonaceae	<i>Annona leptopetala</i> (R.E.Fr.) H.Rainer
Euphorbiaceae	<i>Croton cf. hemiargyreus</i> Müll.Arg.
Fabaceae -Caesalpinioideae	<i>Senna</i> sp.
Fabaceae -Mimosoideae	<i>Chloroleucon dumosum</i> (Benth.) G.P.Lewis
	<i>Senegalia langsdorffii</i> (Benth.) Seigler & Ebinger
	<i>Swartzia psilonema</i> Harms
Rhamnaceae	<i>Colubrina cordifolia</i> Reissek
Araripe >40 anos	
Annonaceae	<i>Annona leptopetala</i> (R.E.Fr.) H.Rainer
Fabaceae -Caesalpinioideae	<i>Bauhinia acuruana</i> Moric.
	<i>Senna</i> sp.
Fabaceae – Mimosoideae	<i>Chloroleucon dumosum</i> (Benth.) G.P.Lewis
	<i>Senegalia langsdorffii</i> (Benth.) Seigler & Ebinger
Rhamnaceae	<i>Colubrina cordifolia</i> Reissek
Rutaceae	<i>Metrodorea mollis</i> Taub.
	<i>Pilocarpus jaborandi</i> Holmes

Fonte: A autora (2023).

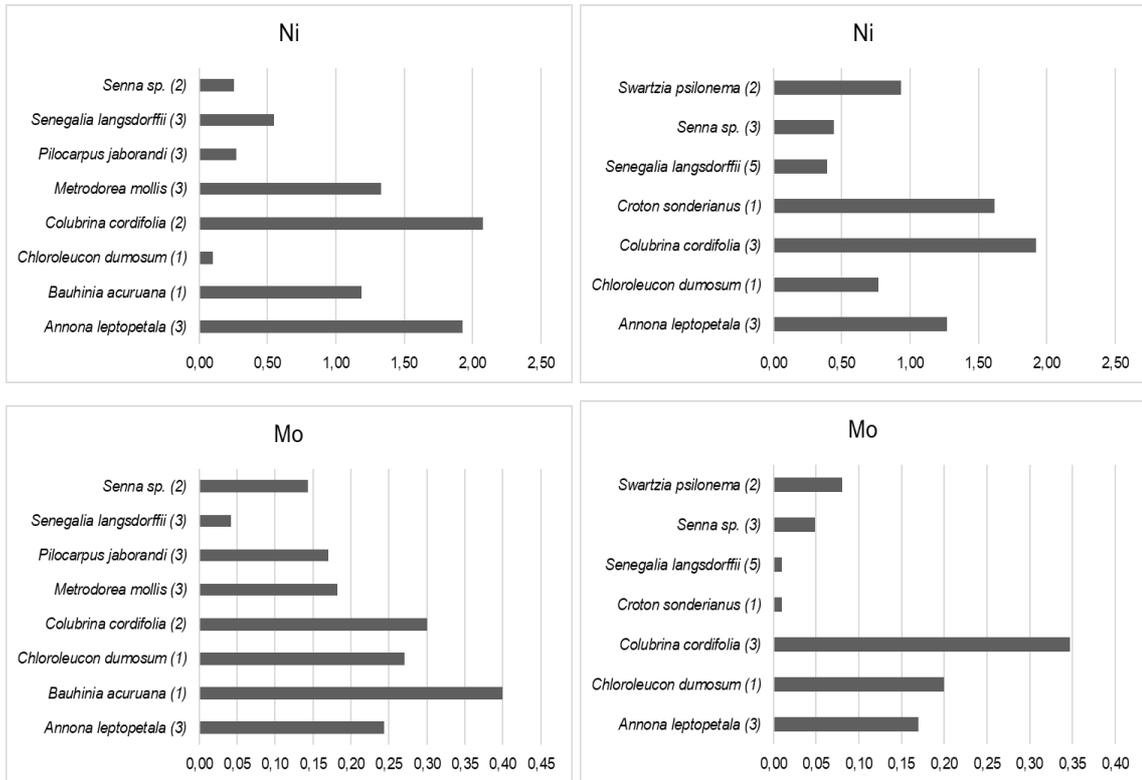
APÊNDICE B – CONCENTRAÇÃO MÉDIA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR ESPÉCIE EM CADA ÁREA DE AMOSTRAGEM



Floresta madura

Floresta em regeneração

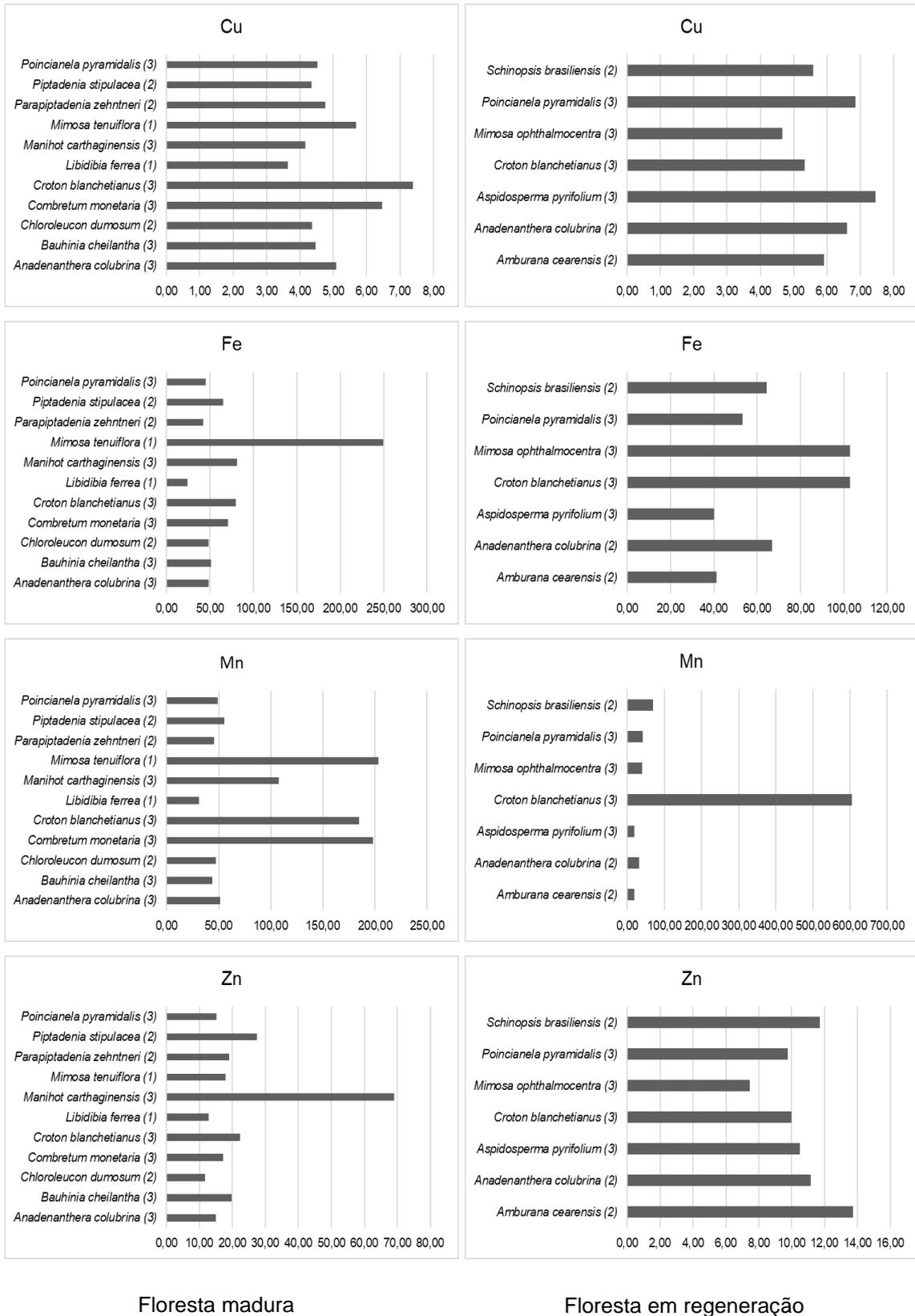
Cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração no Araripe - Pernambuco. (Nº de amostras por espécie).



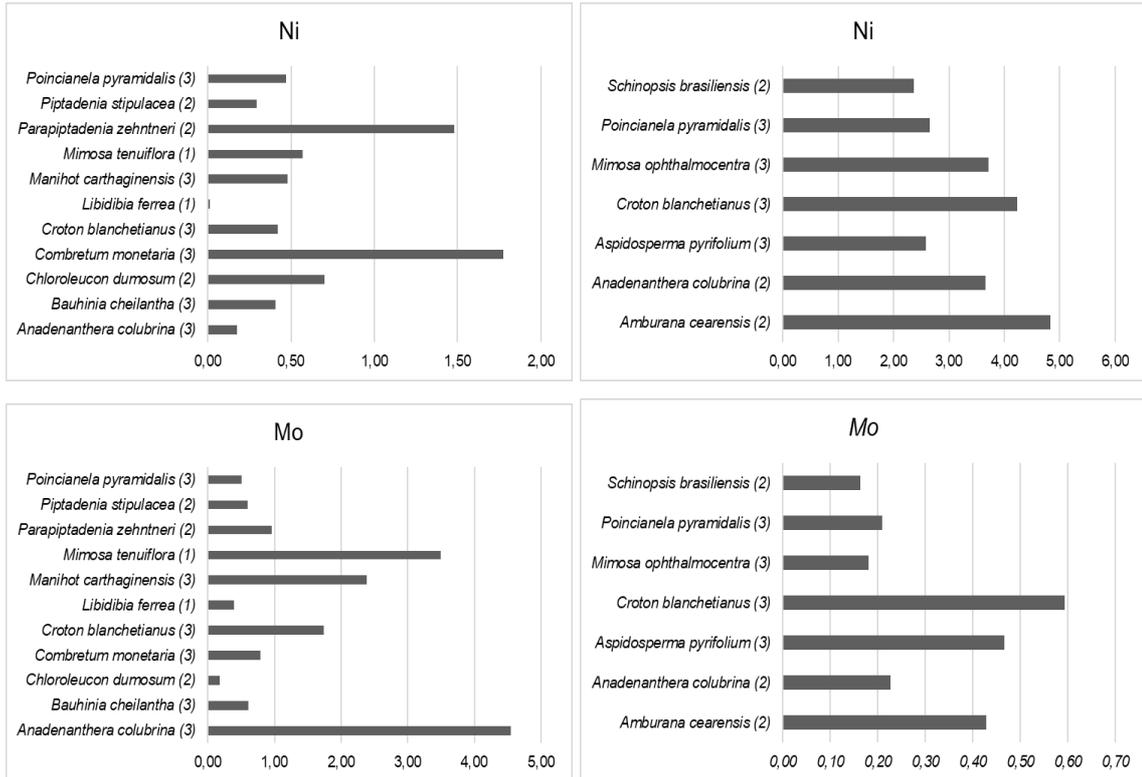
Floresta madura

Floresta em regeneração

Níquel e molibdênio (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração no Araripe - Pernambuco. (Nº de amostras por espécie).



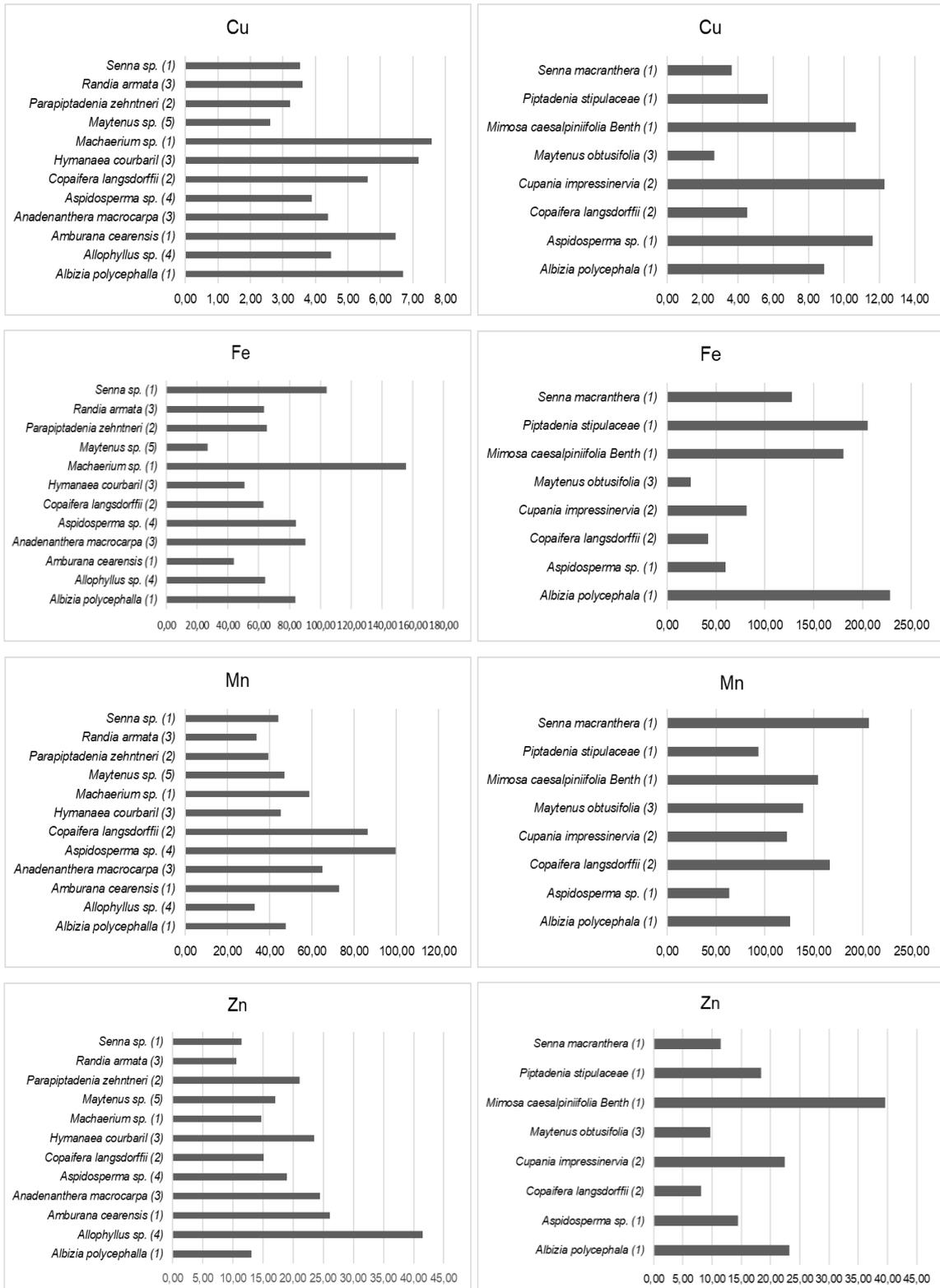
Cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Serra Talhada- Pernambuco. (Nº de amostras por espécie).



Floresta madura

Floresta em regeneração

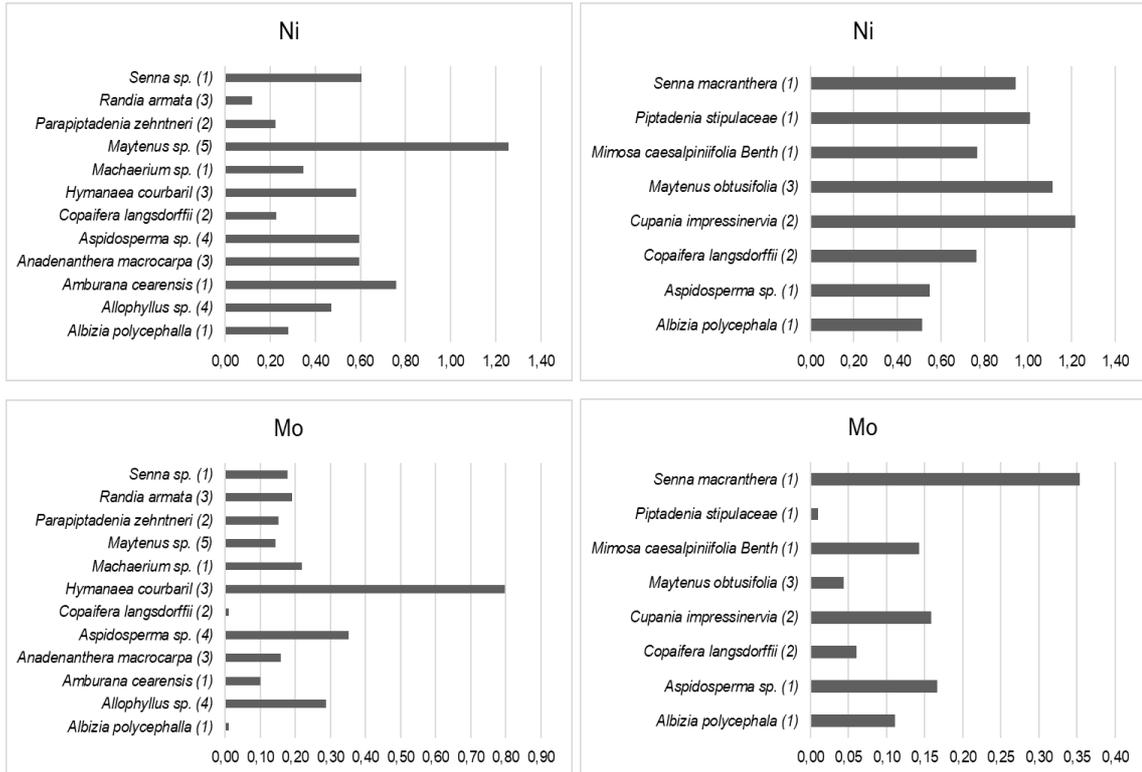
Níquel e molibdênio (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Serra Talhada- Pernambuco. (Nº de amostras por espécie).



Floresta madura

Floresta em regeneração

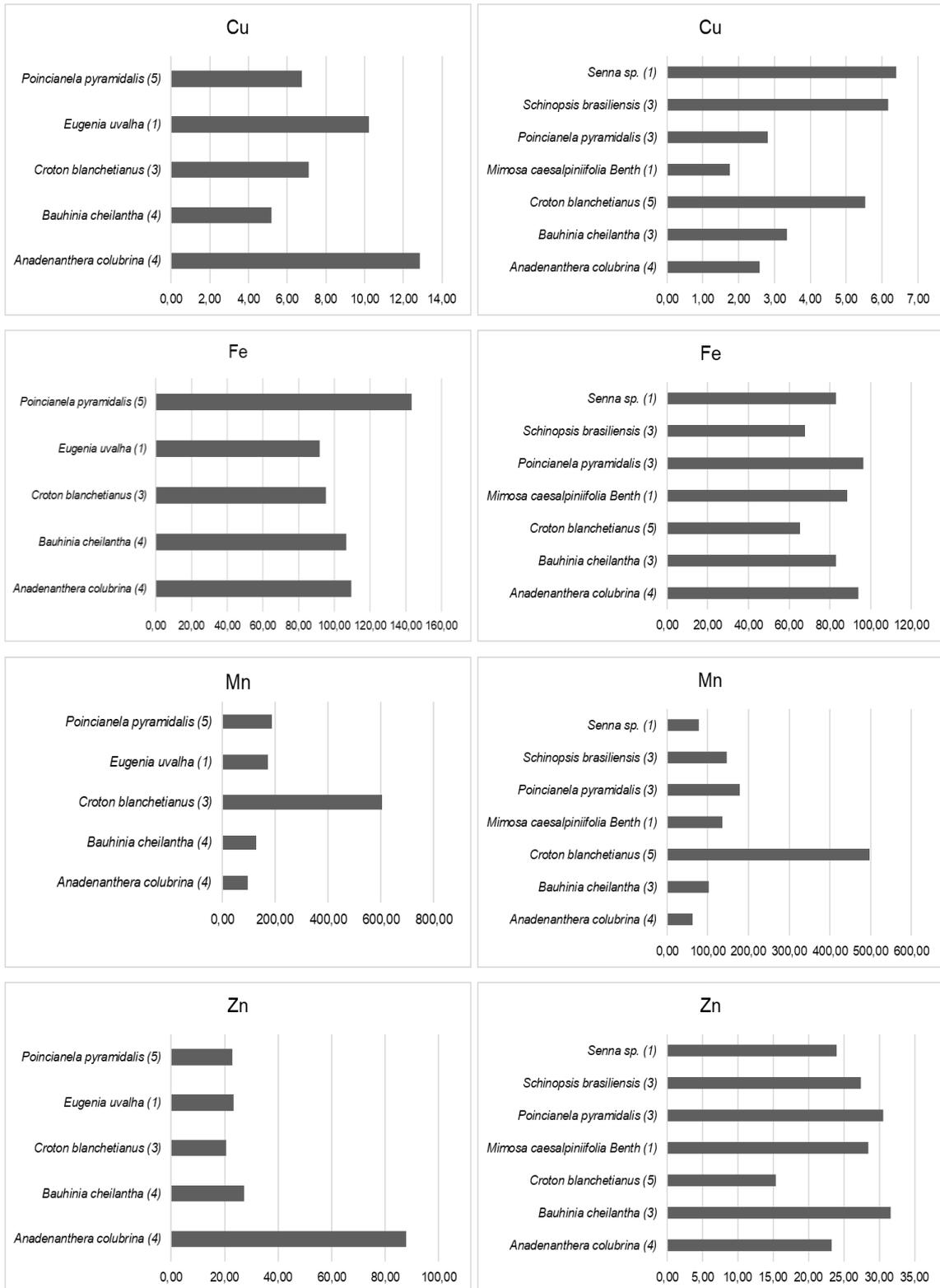
Cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Triunfo – Pernambuco (Nº de amostras por espécie).



Floresta madura

Floresta em regeneração

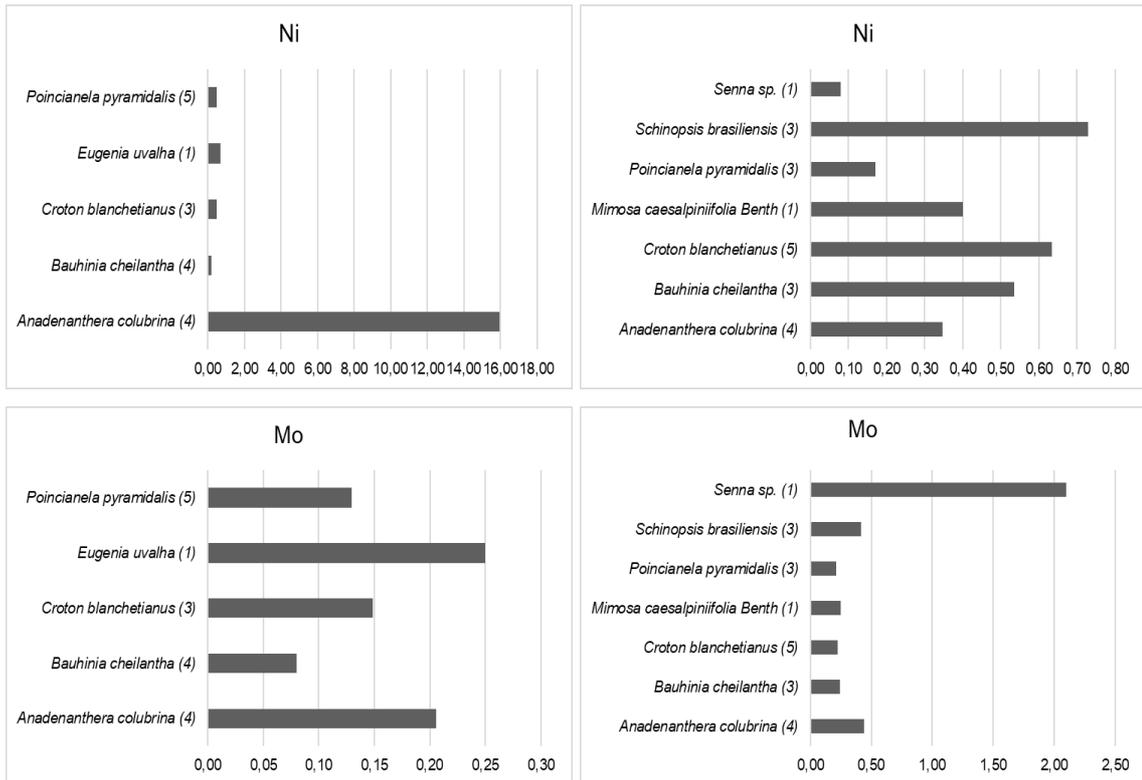
Níquel e molibdênio (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Triunfo – Pernambuco (Nº de amostras por espécie).



Floresta madura

Floresta em regeneração

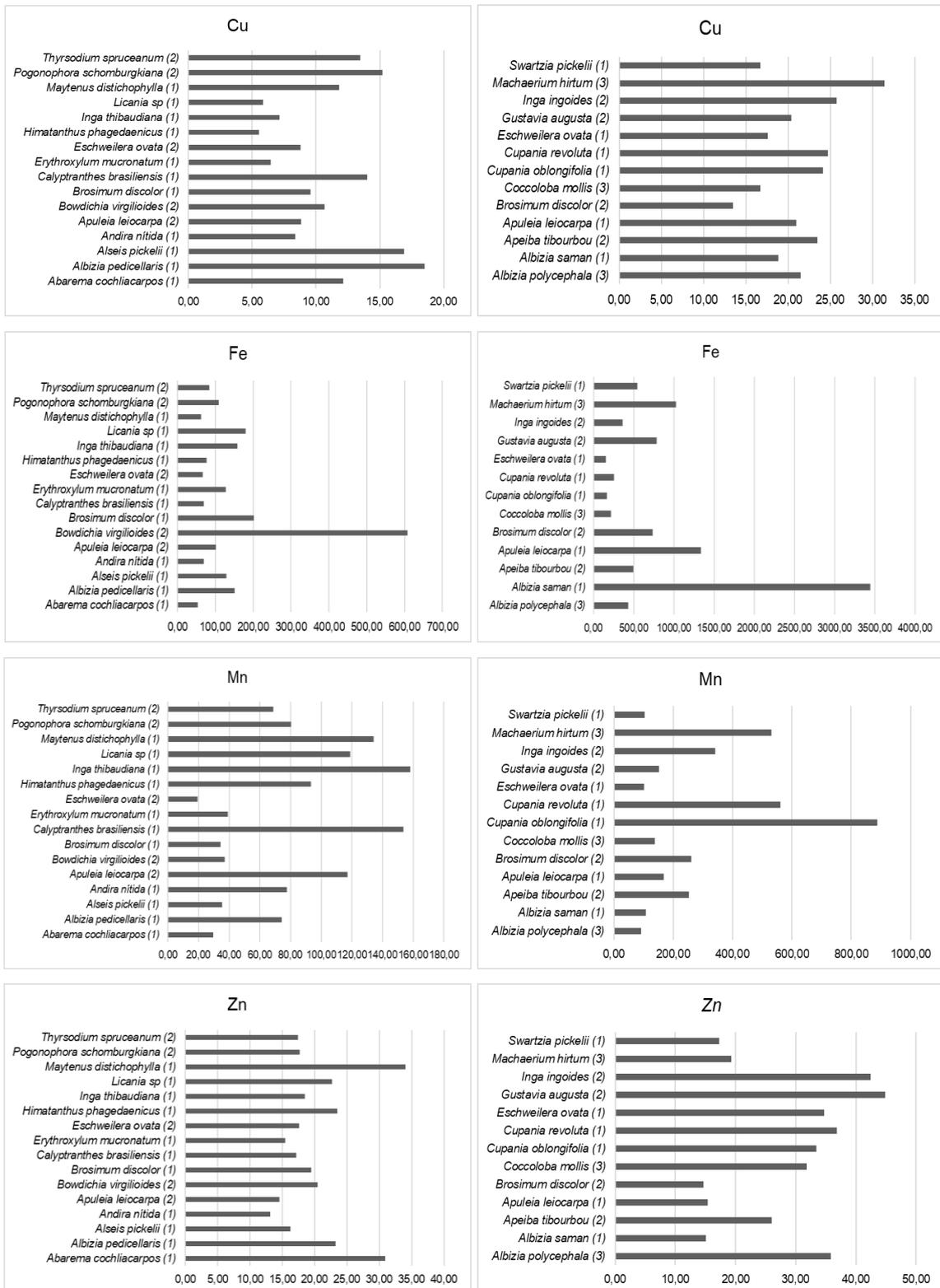
Cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Caruaru – Pernambuco (Nº de amostras por espécie).



Floresta madura

Floresta em regeneração

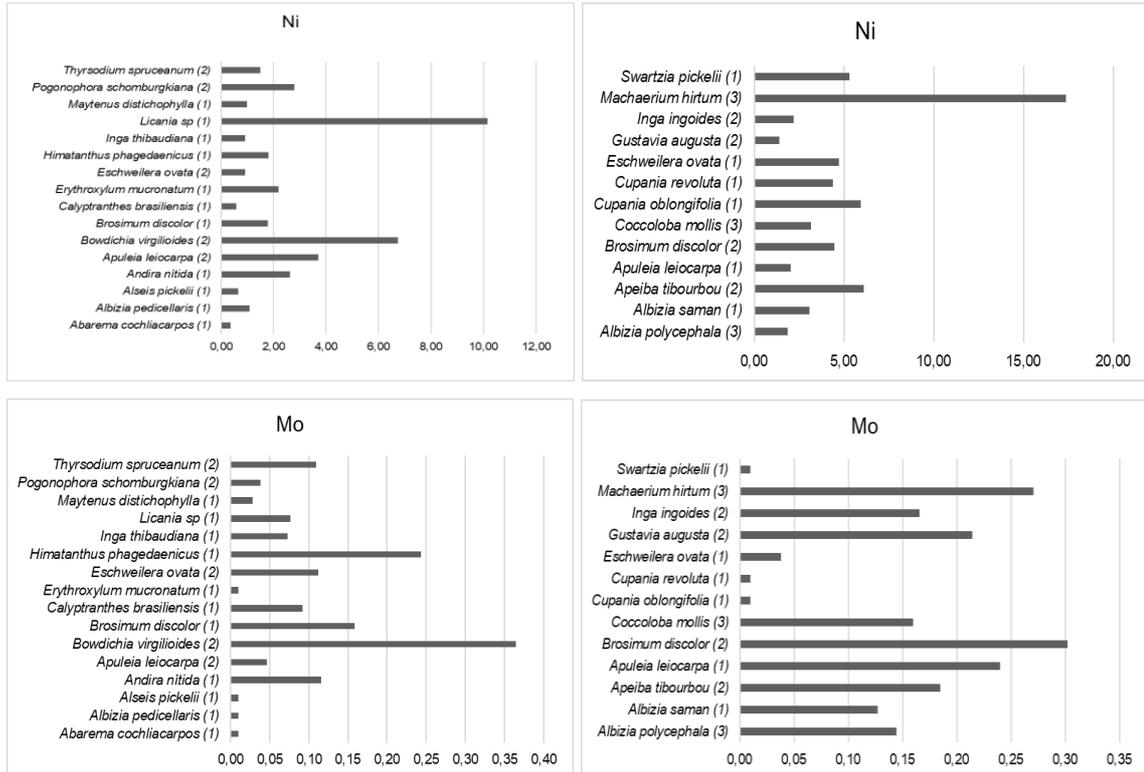
Níquel e molibdênio (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Caruaru – Pernambuco (Nº de amostras por espécie).



Floresta madura

Floresta em regeneração

Cobre, ferro, manganês e zinco (mg kg⁻¹) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Igarassu – Pernambuco (Nº de amostras por espécie).



Floresta madura

Floresta em regeneração

Níquel e molibdênio (mg kg^{-1}) nas folhas de espécies arbóreas em florestas com diferentes tempos de regeneração em Igarassu – Pernambuco (Nº de amostras por espécie).