



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

MATHEUS ANDRADE ROCHA COSTA

**PLANTAS LENHOSAS DAS CAATINGAS BIOACUMULADORAS DE
ELEMENTOS QUÍMICOS**

Recife

2023

MATHEUS ANDRADE ROCHA COSTA

**PLANTAS LENHOSAS DAS CAATINGAS BIOACUMULADORAS DE
ELEMENTOS QUÍMICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociência - CTG, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de Concentração: Aplicações de Radioisótopos na Agricultura e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Elvis Joacir De França

Co-orientador: Prof. Dr. Romilton dos Santos Amaral

Recife

2023

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Costa, Matheus Andrade Rocha.

Plantas lenhosas das caatingas bioacumuladoras de elementos químicos / Matheus Andrade Rocha Costa. - Recife, 2023.
155f.: il.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares.

Orientação: Prof. Dr. Elvis Joacir de França.

Coorientação: Prof. Dr. Romilton dos Santos Amaral.

1. Caatinga; 2. PARNA Catimbau; 3. Bioacumulação; 4. Elementos químicos. I. França, Elvis Joacir de. II. Amaral, Romilton dos Santos. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CDD 620

MATHEUS ANDRADE ROCHA COSTA

**PLANTAS LENHOSAS DAS CAATINGAS BIOACUMULADORAS DE
ELEMENTOS QUÍMICOS**

Tese Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociência - CTG, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de Concentração: Aplicações de Radioisótopos na Agricultura e Meio Ambiente.

Aprovado em: 14/09/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Elvis Joacir de França (Orientador)
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE

Prof^a. Dr^a. Ana Maria Mendonça de Albuquerque Melo (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof^a. Dr^a. Maíra de Vasconcelos Lima (Examinadora Externa)
Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – CRCN-NE

Prof^a. Dr^a. Maria José de Filgueiras Gomes (Examinadora Externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Prof^a. Dr^a. Zahily Herrero Fernández (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

À minha família, à minha companheira
Neura e aos amigos Elvis e Marcelo por
todo apoio e incentivo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente aos que estão ao meu lado desde sempre. Aos meus pais Jesus e Sandra, pelos conselhos, contribuições e por toda a dedicação e confiança em mim depositadas, sem vocês eu não chegaria até aqui. Aos meus irmãos Diógenes, Aída e Laiz que mesmo distantes sempre estiveram ao meu lado. Grato por todo o apoio ao longo da minha jornada.

À minha companheira Neura por toda cumplicidade, pelo constante cuidado, auxílio, carinho e amizade. Por compreender os momentos de ausência e por todo incentivo nos diferentes momentos, seja nos alegres ou difíceis.

Ao meu orientador Prof. Dr. Elvis Joacir de França pela amizade, confiança, respeito, paciência e por acreditar em meu potencial. Agradeço também por toda dedicação e inestimável orientação, contribuindo para minha formação acadêmica e pessoal.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Romilton dos Santos Amaral pela confiança e colaboração.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa, possibilitando a realização da pesquisa.

À Universidade Federal de Pernambuco, em especial a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares (PROTEN - UFPE) pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

À Subárea Ambientais da Área de Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e Ensino do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – PDIE/CRCN-NE, pela infraestrutura e apoio para realização deste trabalho.

Aos colegas do SEAMB, pela amizade, conhecimento compartilhado e colaboração no desenvolvimento do trabalho, em especial, Marcelo Belmiro, Fabiano Ferreira e Crescêncio Andrade.

Aos técnicos Alexsandro Nascimento, Crescêncio Andrade, Gilberto Arruda e Ana Claudia; do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste pelo auxílio no desenvolvimento das atividades de laboratório.

A equipe do PELD Catimbau, em especial ao professor Marcelo Tabarelli, Ana Silva e Alice Santos, pelas amostras cedidas para realização do trabalho.

Ao Comitê de Acompanhamento, os professores Dra. Ana Dolores, Dr. Thiago Oliveira e Dra. Zahily Herrero pela disponibilidade e contribuições para melhoramento do trabalho.

À Secretaria de Pós-Graduação de Tecnologias Energéticas e Nucleares pelo suporte na resolução de problemas, e apoio prestado durante todo o doutorado.

Aos demais professores de pesquisa e docentes do PROTEN pelo conhecimento compartilhado.

E finalmente a todos os familiares e amigos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

As caatingas constituem tipos vegetacionais heterogêneos, de elevadas biodiversidade e nível de endemismo. Contudo, as caatingas constituem ecossistemas extremamente alterados, com extensas áreas degradadas e alto nível de fragmentação. Além disso, como consequência das atividades antropogênicas, novas substâncias químicas estão sendo inseridas no ambiente, afetando a qualidade dos ecossistemas. Neste caso, torna-se essencial a realização de estudos de bioacumulação de elementos químicos para avaliar os efeitos sobre a biota, auxiliar em projetos de restauração ambiental, definir padrões de referência e avaliar o potencial de bioprospecção de espécies nativas acumuladoras. Neste contexto, este estudo objetivou avaliar a capacidade de bioacumulação de 37 elementos químicos (essenciais, tóxicos e traços) de 114 espécies de plantas nativas do Parque Nacional do Catimbau (Pernambuco), a partir da análise das folhas, por meio de técnicas analíticas multielementares. O estudo foi desenvolvido em 34 parcelas permanentes no PARNA Catimbau, instaladas no âmbito do Projeto PELD-Catimbau (Projeto Ecológico de Longa Duração Sítio Parque Nacional do Catimbau). Em laboratório, as amostras foram secas e cominuídas, seguindo-se com a análise por Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF) para quantificação de Ca, Cl, Fe, K, Mg, Mn, P, S, Sr e Zn. Posteriormente, o tratamento químico com ácido nítrico foi empregado para a solubilização dos analitos das amostras, possibilitando a quantificação de Al (parte das amostras) e Fe em Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama (FAAS), Al, As, Co, Cr, Ni e V em Espectrômetro de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS) e B, Cd, Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Mo, Nd, Pb, Pr, Sb, Sm, Tb, Tm Th, U e Yb por Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS). Materiais de referência certificados foram analisados para a avaliação da qualidade dos procedimentos analíticos, para obter resultados com nível metrológico. Fe e Th foram utilizados como elementos químicos traçadores para estudar a influência da contaminação do material biológico com terra ressuspêndida, auxiliando na categorização das amostras de folhas em grupos contaminados e não contaminados. As famílias destacadas na acumulação por grupo de elementos químicos foram Boraginaceae e Rhamnaceae (nutricionais), Rhamnaceae e Simaroubaceae (elementos-traço) e Boraginaceae, Malvaceae Rhamnaceae, Sapindaceae e Sapotaceae (lantanóides), famílias menos representativas dentro do conjunto de dados. As espécies destacadas na acumulação por grupos de elementos químicos foram *Aspidosperma* sp. e *Cordia bullata* var. *globosa* (elementos-traço e lantanóides leves), *Varronia globosa* (nutrientes e lantanóides leves) e *Allophylus quercifolius*, *Amburana cearenses*, *Cordia leucocephala*, *Croton sonderianus*, *Croton tricolor*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Poincianella pyramidalis*, *Sideroxylon obtusifolium* e *Ziziphus joazeiro* (lantanóides). Na avaliação individual por elemento químico, foram identificadas 21 espécies de plantas das caatingas com potencial de bioacumulação de elementos químicos, ressaltando-se espécies das famílias Fabaceae e Euphorbiaceae (famílias mais representativas no conjunto de dados). As espécies que acumularam mais quantidade de elementos químicos foram *Croton tricolor* (Cd, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, K, La, Mo, Nd, Ni, Pr, Sm e Yb), *Campomanesia eugenioides* (Al, Dy, Er, Gd, Nd, Pr, S, Sb, Sm, U e Yb), *Aspidosperma pyriforme* (Ca, Cl, Ce, La, Mg e Sr), *Allamanda blanchetti* (Ce, La, Pr e Yb), *Cynophalla flexuosa* (B, Co, S e Sr) e *Guapira noxia* (As, Cl, Mg e P). Assim, este trabalho constitui um dos maiores bancos de dados das caatingas com relação ao número de elementos químicos e número de espécies investigadas, sendo compilados os primeiros valores de elementos químicos tóxicos e traços presentes na vegetação do Parque Nacional do Catimbau.

Palavras-chave: Caatinga; PARNA Catimbau; bioacumulação; elementos químicos.

ABSTRACT

The caatingas constitute heterogeneous vegetation types, with high biodiversity and level of endemism. However, caatingas constitute of extremely altered ecosystems, with extensive degraded areas and a high level of fragmentation. Furthermore, as a consequence of anthropogenic activities, new chemical substances are being introduced into the environment, affecting the quality of ecosystems. In this case, it is essential to study bioaccumulation of chemical elements to evaluate the effects on biota, to assist in environmental restoration projects, to define reference standards and to evaluate the bioprospecting potential of native accumulator species. In this context, this study aimed to evaluate the bioaccumulation capability of 37 chemical elements (essential, toxic and trace) of 114 species of native plants from the Catimbau National Park (Pernambuco), based on the analysis of leaves, using multi-element analytical techniques. The study was developed in 34 permanent plots in PARNA Catimbau, installed within the scope of the PELD-Catimbau Project (Long-Term Ecological Project Sítio Parque Nacional do Catimbau). In the laboratory, the samples were dried and milled, followed by Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) analysis for quantification of Ca, Cl, Fe, K, Mg, Mn, P, S, Sr and Zn. Subsequently, chemical treatment with nitric acid was used to solubilize the analytes of samples, enabling the quantification of Al (part of samples) and Fe by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS), Al, As, Co, Cr, Ni and V by means of Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS) and B, Cd, Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Mo, Nd, Pb, Pr, Sb, Sm, Tb, Tm, Th, U and Yb by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). Certified reference materials were analyzed to assess the quality of the analytical procedures for obtaining results with metrological level. Fe and Th were used as tracer chemical elements to study the influence of contamination of biological material with resuspended soil, allowing categorizing leaf into contaminated and non-contaminated groups. The families highlighted in the accumulation by group of chemical elements were Boraginaceae and Rhamnaceae (nutritional), Rhamnaceae and Simaroubaceae (trace elements) and Boraginaceae, Malvaceae, Rhamnaceae, Sapindaceae and Sapotaceae (lanthanoids), less representative families within the dataset. The species highlighted in the accumulation by groups of chemical elements were *Aspidosperma* sp. and *Cordia bullata* var. *globosa* (trace elements and light lanthanoids), *Varronia globosa* (nutrients and light lanthanoids) and *Allophylus quercifolius*, *Amburana cearenses*, *Cordia leucocephala*, *Croton sonderianus*, *Croton tricolor*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Poincianella pyramidalis*, *Sideroxylon obtusifolium* and *Ziziphus joazeiro* (lanthanoids). In the individual assessment by chemical element, 21 species of plants from the caatingas with potential for bioaccumulation of chemical elements were identified, highlighting species from the Fabaceae and Euphorbiaceae families (the most representative families in the dataset). The species that accumulated considerable amounts of chemical elements were *Croton tricolor* (Cd, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, K, La, Mo, Nd, Ni, Pr, Sm and Yb), *Campomanesia eugenioides* (Al, Dy, Er, Gd, Nd, Pr, S, Sb, Sm, U and Yb), *Aspidosperma pyriformis* (Ca, Cl, Ce, La, Mg and Sr), *Allamanda blanchetti* (Ce, La, Pr and Yb), *Cynophalla flexuosa* (B, Co, S and Sr) and *Guapira noxia* (As, Cl, Mg and P). Therefore, this work constitutes one of the largest databases of the caatingas in relation to the number of chemical elements and number of species investigated, compiling the first values of toxic and trace elements present in the vegetation of the Catimbau National Park.

Keywords: Caatinga; PARNA Catimbau; bioaccumulation; chemical elements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição da Caatinga indicando a divisão dos estados do Brasil e dos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia.....	21
Figura 2 – Localização do Parque Nacional do Catimbau no Estado de Pernambuco, Brasil.....	24
Figura 3 – Mapa de solos do Parque Nacional do Catimbau.....	25
Figura 4 – Sistema Biológico dos Elementos Químicos (SBEQ)*.....	29
Figura 5 – Esquema representativo de funcionamento de um espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia - EDXRF.....	41
Figura 6 – Funcionamento de um Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama - FAAS.....	43
Figura 7 – Representação do sistema de atomização do Espectrômetro de Absorção Atômica com Atomização Eletrotérmica em Forno de Grafite - GFAAS...	44
Figura 8 – Esquema de funcionamento de um Espectrômetro de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente - ICP-MS.....	45
Figura 9 – Mapa da área de estudo com a localização das parcelas no PARNA Catimbau.....	48
Figura 10 – Moinho planetário de bolas PM200 com detalhes dos vasos de moagem...	51
Figura 11 – Equipamento EDX-720 da Shimadzu.....	52
Figura 12 – Sistema digestor de amostras, modelo DGT 100 Plus da Provecto Analítica (A). Filtração das amostras e armazenamento nos tubos Falcon (B).....	54
Figura 13 – (a) Espectrofotômetro de chama VARIAN AAS 220 FS e (b) Espectrofotômetro de Absorção Atômica VARIAN AA240Z (Zeeman) com forno de grafite GTA 120.....	55
Figura 14 – Equipamento NexION 300, PerkinElmerSCIEX (ICP-MS).....	56
Figura 15 – Gráfico de dispersão entre as concentrações de Fe determinadas por FAAS (Fe FAAS) e aquelas quantificadas por EDXRF (Fe EDXRF) com elipse de predição em nível de 95% de confiança.....	69
Figura 16 – Incongruência das concentrações de Fe em folhas do PARNA Catimbau obtidas por EDXRF e FAAS.....	70

Figura 17 – Concentrações médias de Fe em folhas do PARNA Catimbau obtidas por EDXRF e FAAS.....	71
Figura 18 – Concentrações de Fe quantificadas por EDXRF em folhas PARNA Catimbau com a indicação do limite de 109 mg/kg.....	72
Figura 19 – Concentrações de Th em folhas do PARNA Catimbau e indicação do limite definido de 0,024 mg/kg.....	73
Figura 20 – <i>Fingerprint</i> dos elementos químicos nutricionais dos grupos de folhas analisados no PARNA Catimbau.....	84
Figura 21 – <i>Fingerprint</i> dos elementos químicos traços e tóxicos dos grupos de folhas analisados no PARNA Catimbau.....	85
Figura 22 – <i>Fingerprint</i> dos lantanídeos dos grupos de folhas analisados no PARNA Catimbau.....	85
Figura 23 – Comparação entre as concentrações máximas e mínimas dos elementos químicos investigados com os valores de referência da planta de Markert	87
Figura 24 – Comparação entre as concentrações máximas e mínimas dos elementos químicos investigados com os valores de referência de França (2006) de árvores da Mata Atlântica.....	88
Figura 25 – Comparação entre as concentrações máximas e mínimas dos lantanídeos investigados com os valores de referência de Silva Filho (2018) de árvores de caatingas.....	89
Figura 26 – Índice de bioacumulação médio para as famílias de todas as amostras de folhas investigadas.....	93
Figura 27 – Índice de bioacumulação médio para as famílias das amostras de folhas não problemáticas (sem contaminação por terra).....	95
Figura 28 – Índice de bioacumulação por espécies definidos pela média dos grupos de elementos químicos.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espécies de plantas de caatingas investigadas por Silva Filho (2018), com potencial de bioacumulação de ETRs.....	33
Tabela 2 – Valores e faixas de concentração esperada de elementos químicos (mg/kg) em plantas.....	36
Tabela 3 – Coordenadas geográficas das parcelas no PARNA Catimbau e a quantidade de amostras de folhas coletadas.....	49
Tabela 4 – Parâmetros utilizados nas análises por EDXRF.....	52
Tabela 5 – Parâmetros utilizados nas análises por FAAS.....	55
Tabela 6 – Parâmetros utilizados nas análises por GFAAS.....	55
Tabela 7 – Analitos e respectivos isótopos analisados por ICP-MS.....	57
Tabela 8 – Condições operacionais do ICP-MS.....	57
Tabela 9 – Valores obtidos e certificados (mg/kg) e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança dos elementos químicos determinados nos materiais de referência SRM 1547 Peach Leaves e SRM 1570a Spinach Leaves analisados por EDXRF.....	63
Tabela 10 – Valores obtidos e certificados (mg/kg) e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança dos elementos químicos determinados nos materiais de referência SRM 1515 Apple Leaves e SRM 1573a Tomato Leaves analisados por FAAS e GFAAS.....	65
Tabela 11 – Valores obtidos e certificados (mg/kg) e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança dos elementos químicos determinados nos materiais de referência SRM 1515 Apple Leaves e SRM 1573a Tomato Leaves analisados por ICP – MS.....	67
Tabela 12 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos nutricionais das amostras de folhas problemáticas.....	75
Tabela 13 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos nutricionais das amostras de folhas não problemáticas.....	76
Tabela 14 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos tóxicos e traços das amostras de folhas problemáticas.....	77
Tabela 15 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos tóxicos e traços das amostras de folhas não problemáticas.....	78

Tabela 16 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos lantanóides das amostras de folhas problemáticas.....	79
Tabela 17 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos lantanóides das amostras de folhas não problemáticas.....	80
Tabela 18 – Concentrações (mg/kg) médias, mediana, máximos, mínimos e coeficiente de variação (CV%) dos elementos químicos de nutrição das amostras de folhas não problemáticas e problemáticas do PARNA Catimbau.....	82
Tabela 19 – Concentrações (mg/kg) médias, mediana, máximos, mínimos e coeficiente de variação (CV%) dos elementos químicos lantanídeos das amostras de folhas não problemáticas e problemáticas do PARNA Catimbau.....	82
Tabela 20 – Concentrações (mg/kg) das médias, mediana, máximos, mínimos e coeficiente de variação (CV%) dos elementos químicos tóxicos e traços das amostras de folhas não problemáticas e problemáticas do PARNA Catimbau.....	83
Tabela 21 – Estatística descritiva e quartis das concentrações dos elementos químicos (mg/kg) das amostras de folhas não problemáticas de plantas das caatingas do PARNA Catimbau.....	91
Tabela 22 – Espécies potencialmente bioacumuladoras de elementos químicos das caatingas do Parque Nacional do Catimbau.....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	<i>Atomic Absorption Spectrometry</i> (Espectrometria por Absorção Atômica)
BCR	<i>Bureau Communautaire de Référence</i> (Gabinete Comunitário de Referência)
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRCN-NE	Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste
EDTA	Ácido etileno-diamino-tetracético
EDXRF	<i>Energy Dispersive X-Ray Fluorescence</i> (Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia)
ETR	Elementos terras raras
ETRL	Elementos terras raras leves
ETRP	Elementos terras raras pesados
FAAS	<i>Flame Atomic Absorption Spectrometry</i> (Espectrometria por Absorção Atômica por Chama)
FACEPE	Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco
FT	Fatores de transferência
FBFS	Fator de bioacumulação folha-solo
GFAAS	<i>Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry</i> (Espectrometria por Absorção Atômica com Atomização Eletrotérmica em Forno de Grafite)
IB	Índice de Bioacumulação
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia Atômica)
ICP-MS	<i>Inductively coupled plasma mass spectrometry</i> (Espectrometria de Massas com Plasma Acoplado Indutivamente)
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Arquitetônico Nacional
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização)
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i> (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia)
PARNA	Parque Nacional
PELD	Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração

PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PRONEX	Programa de Apoio aos Núcleos de Excelência
SBE	Sistema Biológico dos Elementos
SBEQ	Sistema Biológico dos Elementos Químicos
SRM	<i>Standard Reference Material</i> (Material de referência padrão)
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1.1	Caatingas Nordestinas.....	20
2.1.2	Parque Nacional do Catimbau – PARNA Catimbau.....	24
2.2	Elementos químicos.....	27
2.3	Transferência de elementos químicos.....	30
2.4	Bioacumulação e Biomonitoração.....	31
2.5	Padrões de qualidade ambiental – Vegetação.....	34
2.6	Contaminação na superfície de folhas.....	37
2.7	Técnicas analíticas multielementares.....	39
2.7.1	Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF).....	40
2.7.2	Espectrometria de Absorção Atômica (AAS).....	42
2.7.3	Espectrometria de Massa Com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS).....	44
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.1	Área de estudo.....	47
3.2	Amostragem e preparação das amostras.....	48
3.3	Análises químicas.....	51
3.3.1	EDXRF.....	51
3.3.2	Tratamento químico de amostras para FAAS, GFAAS e ICP-MS.....	53
3.3.3	Análise por FAAS e GFAAS.....	54
3.3.4	Análise por ICP-MS.....	56
3.4	Controle de qualidade do procedimento analítico.....	58
3.4.1	Incerteza analítica.....	58
3.4.2	Qualidade do procedimento analítico – Número E_n	59
3.5	Análise dos resultados.....	59
3.5.1	Avaliação da contaminação na superfície das folhas.....	60
3.5.2	Índice de Bioacumulação – IB.....	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1	Qualidade do procedimento analítico.....	62
4.1.1	EDXRF.....	62

4.1.2	FAAS e GFAAS.....	64
4.1.3	ICP-MS.....	66
4.2	Influência da contaminação da superfície das folhas com material geológico.....	68
4.2.1	Contaminação nas superfícies das folhas com material geológico.....	68
4.2.2	Categorização das amostras quanto à presença de material geológico exógeno....	71
4.2.3	Correlação entre elementos químicos para os dois grupos de amostras.....	73
4.2.4	Comparação entre os resultados de amostras contaminadas e não contaminadas.	81
4.3	Valores de referência.....	86
4.4	Bioacumulação de elementos químicos.....	92
4.4.1	Famílias bioacumuladoras.....	92
4.4.2	Espécies bioacumuladoras.....	97
5	CONCLUSÕES.....	105
	REFERÊNCIAS.....	107
	APÊNDICE A – LISTAGEM DAS ESPÉCIES COLETADAS NAS PARCELAS DO PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU, PERNAMBUCO.....	119
	APÊNDICE B – CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS PARA PLANTAS DAS CAATINGAS: sem contaminação.....	122
	APÊNDICE C – CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS PARA PLANTAS DAS CAATINGAS: com contaminação.....	149
	APÊNDICE D – GUIA DE ELEMENTOS QUÍMICOS PARA PLANTAS DAS CAATINGAS.....	155

1 INTRODUÇÃO

As caatingas representam as principais formações vegetais da Região Nordeste e compreendem uma única região natural exclusivamente brasileira, formando um mosaico de florestas tropicais secas e vegetação arbustiva (PENNINGTON et al., 2009). Esta região abriga uma ampla biodiversidade, com alto nível de endemismo e um elevado potencial econômico (LEAL et al., 2008; SILVA et al., 2017). Entretanto, por conta das atividades antropogênicas, associadas com as condições climáticas severas desta região, tornou-se um dos tipos vegetacionais mais alterados e ameaçados do país, com extensas áreas degradadas e alto nível de fragmentação (TABARELLI et al., 2018; PEREIRA et al., 2023).

As caatingas compreendem ecorregiões extremamente frágeis e pouco preservadas, com níveis alarmantemente baixos de proteção ambiental. Apenas 1,8% do território é protegido por unidades de conservação de proteção integral (TEIXEIRA et al., 2021). Inversamente proporcional ao grau de conservação e por conta das ações antropogênicas, há um contínuo e extenso processo de alteração e deterioração ambiental provocado pelo uso insustentável dos seus recursos naturais. Esse cenário tem acarretado uma rápida perda de espécies endêmicas, muitas das quais ainda desconhecidas, além da interrupção de processos ecológicos e a formação de vastas áreas de desertificação (LEAL et al., 2008; TABARELLI et al., 2018; PEREIRA et al., 2023).

No Estado de Pernambuco, encontra-se um dos últimos remanescentes de Caatinga ainda em excelente estado de conservação, localizado no Parque Nacional (PARNA) do Catimbau, que abrange uma área de 62.300 ha. Esse parque é amplamente reconhecido como uma das unidades de conservação mais importantes para a preservação da Caatinga, devido à sua notável diversidade de espécies endêmicas, presença de espécies raras e um patrimônio arqueológico e paisagístico de valor inestimável (TABARELLI et al., 2017b).

O PARNA Catimbau é considerado uma área de referência para a pesquisa ecológica no Brasil, um Sítio PELD-CNPq, apoiado por agências de fomento estaduais e federais, que incentivam o desenvolvimento de estudos nos mais diversos temas. As pesquisas desenvolvidas no PARNA Catimbau, contribuem para entender como as perturbações antropogênicas afetam a biota da Caatinga, contribuindo também para a conservação da biodiversidade e a manutenção das condições ambientais, sendo imprescindível o direcionamento de recursos humanos e econômicos para a caracterização e a conservação desses ambientes (SOUSA et al., 2013a; TABARELLI et al., 2017b).

Nestas áreas preservadas, estudos sobre a concentração de elementos químicos nos compartimentos ecológicos tornam-se essenciais, pois a disponibilidade de elementos químicos, entre outros fatores como clima, estresse hídrico, poluição e manejo, pode afetar a qualidade dos ecossistemas (FRANÇA, 2006; RAMOS et al., 2016). Novas substâncias químicas estão sendo inseridas no ambiente, como consequência das ações antropogênicas, provocando mudanças na disponibilidade de elementos químicos e excedendo a capacidade de tolerância dos organismos, com alguns destes elementos químicos podendo ter efeitos tóxicos mesmo com concentrações traços (KABATA-PENDIAS, 2011). Desta forma, é importante conhecer os possíveis efeitos na biota e a capacidade de acumulação das espécies vegetais, principalmente, da acumulação de substâncias indesejáveis tais como elementos químicos tóxicos e moléculas orgânicas (FRANÇA, 2006; MARKERT et al., 2015).

Devido às características de adaptabilidade às variações químicas do ambiente e por acumularem elementos químicos, algumas espécies vegetais podem ser denominadas de bioacumuladoras, podendo ocorrer independentemente das concentrações nativas dos substratos (FRANÇA et al., 2010). Novas investigações estão sendo realizadas com o objetivo de identificar espécies nativas bioacumuladoras. Essas espécies podem ser utilizadas na monitoração de unidades de conservação e fragmentos florestais com relação ao fluxo de elementos químicos, dispensando o emprego de organismos exóticos. As plantas nativas bioacumuladoras oferecem a vantagem de permitir avaliações periódicas, fornecendo informações importantes sobre a qualidade ambiental dessas áreas preservadas (FRANÇA, 2006; ARAÚJO, 2009). O uso de plantas biomonitoras contribui para avaliar os efeitos de influências antropogênicas, as concentrações, tendências e efeitos acumulativos (MAĆKIEWICZ et al., 2018). Além disso, os resultados obtidos podem servir de base para o estabelecimento de valores de referência e contribuir com o direcionamento de ações futuras para a melhoria da qualidade ambiental.

No entanto, a maioria dos estudos relacionados à caracterização química do ambiente e às investigações sobre espécies bioacumuladoras, tem sido feito em áreas urbanas e industrializadas. Como resultado, há uma escassez significativa de informações disponíveis sobre a distribuição de elementos químicos nos ecossistemas brasileiros, principalmente em áreas remotas naturais, sendo poucos trabalhos voltados para a caracterização da vegetação das caatingas. Além disso, a gama de elementos químicos investigados nestes estudos são muitas vezes restritos a alguns elementos químicos específicos como Ca, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, N, Na, P, S, e Zn, negligenciando outros elementos na vegetação de importância científica, geralmente em concentrações traços (FRANÇA, 2006; FRANÇA et al., 2010; LIRA, 2020).

Por exemplo, os elementos terras raras são importantes do ponto vista ambiental por permitirem reconhecer padrões naturais de acumulação (FRANÇA et al., 2002), além de serem extremamente importantes para aplicações tecnológicas.

Com relação as técnicas analíticas empregadas, para avaliar a qualidade ambiental e realizar a caracterização de elementos químicos em ecossistemas naturais, destacam-se a Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia - EDXRF (FERNÁNDEZ et al., 2017), a Espectrometria de Massas com Plasma Acoplado Indutivamente - ICP-MS (SILVA FILHO, 2018) e a Espectrometria de Absorção Atômica - AAS (NASCIMENTO, 2019), consideradas técnicas analíticas sensíveis e confiáveis para a quantificação de elementos químicos em matrizes biológicas.

Neste contexto, assume-se a hipótese que as espécies vegetais nativas das caatingas tendem a acumular substâncias químicas nas folhas, incluindo elementos químicos tóxicos, em seu ambiente natural. Desta forma, o objetivo geral deste trabalho é avaliar a capacidade de bioacumulação de 37 elementos químicos (essenciais, tóxicos e traços) de 114 espécies de plantas nativas do PARNA Catimbau, a partir da análise das folhas, por meio de técnicas analíticas multielementares (EDXRF, FAAS, GFAAS e ICP-MS). Como objetivos específicos, têm-se:

- Quantificar as concentrações dos seguintes elementos químicos: Al, As, B, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Sr, Th, U, V, Zn e elementos terras raras (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm e Yb);¹
- Avaliar a influência da contaminação na superfície das folhas com terra ressuspendida, utilizando elementos químicos traçadores Fe e Th, para classificar amostras em contaminadas e não contaminadas;
- Reportar os primeiros valores de concentrações de elementos químicos tóxicos e traços presentes na vegetação das caatingas do Parque Nacional do Catimbau;
- Avaliar a capacidade de bioacumulação das famílias de plantas investigadas;
- Identificar as espécies de plantas nativas das caatingas bioacumuladoras de elementos químicos.

¹ Alumínio (Al), arsênio (As), boro (B), cálcio (Ca), cádmio (Cd), cloro (Cl), cobalto (Co), cromo (Cr), ferro (Fe), potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), fósforo (P), chumbo (Pb), enxofre (S), antimônio (Sb), estrôncio (Sr), tório (Th), urânio (U), vanádio (V), zinco (Zn); Elementos terras raras: cério (Ce), disprósio (Dy), érbio (Er), európio (Eu), gadolínio (Gd), hólmio (Ho), lantânio (La), lutécio (Lu), neodímio (Nd), praseodímio (Pr), samário (Sm), térbio (Tb), túlio (Tm) e itérbio (Yb).

2 REVISÃO DE LITERATURA

O nome “caatinga” é de origem Tupi-Guarani e significa “mata branca” ou “floresta branca”. Este termo caracteriza o aspecto da vegetação na estação seca, quando grande parte da vegetação perde suas folhas, permanecendo na paisagem apenas os troncos brancos e brilhosos das árvores e arbustos (PRADO, 2008; SILVA et al., 2017). Até meados do século XX acreditava-se que a Caatinga seria o resultado da degradação de formações vegetais anteriores, como a Mata Atlântica ou a Floresta Amazônica (ALVES et al., 2009). Este pensamento produziu convicções equívocas de que a Caatinga seria homogênea, com sua biota pobre em espécies e baixa frequência de espécies endêmicas. Por isso, possuía baixa prioridade de conservação e menor valorização do que outros tipos vegetacionais (ALVES et al., 2009; SILVA et al., 2017). Deste modo, as caatingas são pouco estudadas, com grande parte do esforço científico concentrado em alguns pontos em torno das principais cidades e regiões, havendo uma carência de estudos principalmente relacionados a caracterização da vegetação das caatingas.

2.1.1 Caatingas Nordestinas

As caatingas constituem regiões diversas de floresta seca, com uma grande riqueza de espécies, sendo muitas delas endêmicas (SILVA et al., 2017) e com seus limites estando inteiramente restritos ao território brasileiro, correspondendo a um dos principais ecossistemas da Região Nordeste (Figura 1). Representa a quarta maior formação vegetacional do Brasil, ocupando 11% do território nacional, presente em ao menos dez estados, abrangendo uma porção da região sudeste (norte de Minas Gerais) e os estados do nordeste brasileiro (LEAL et al., 2008; ALVES et al., 2009).

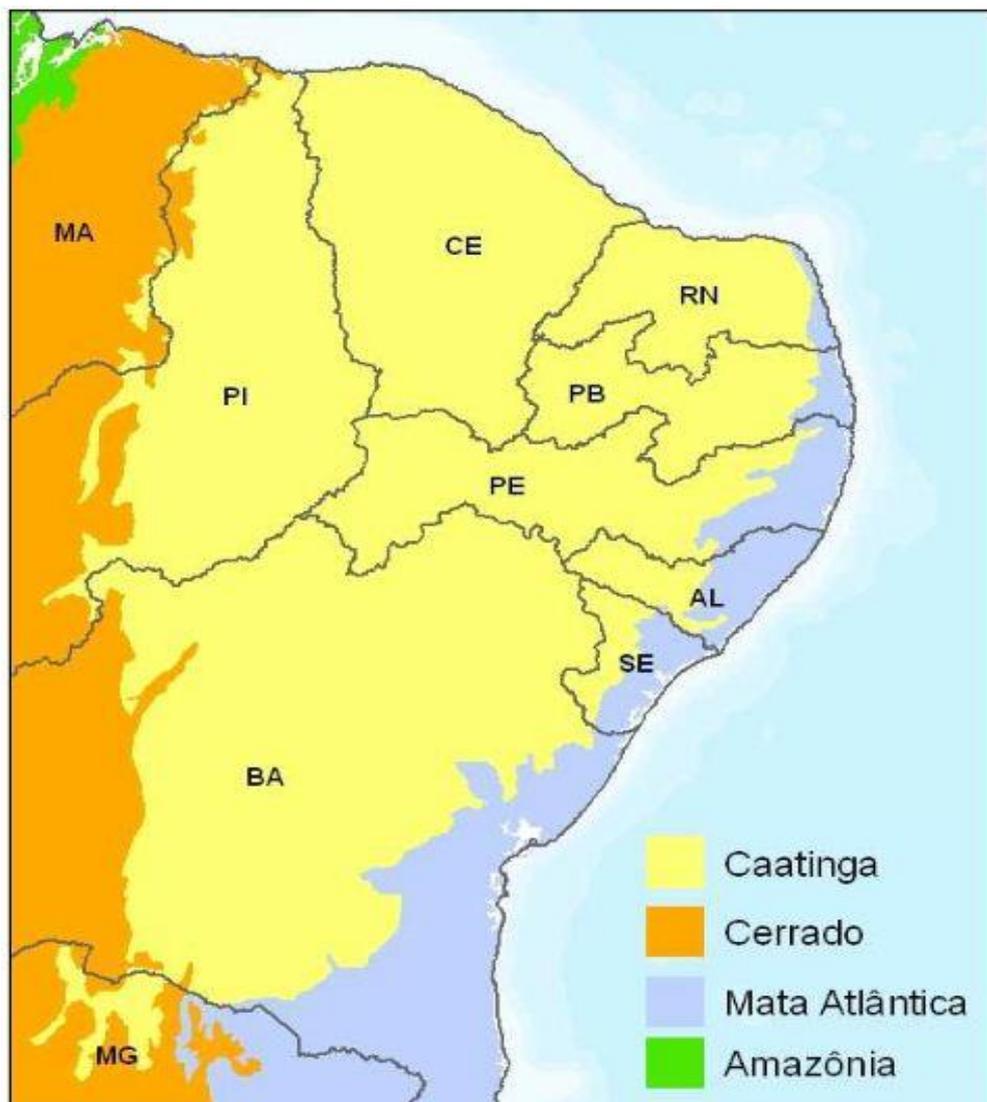
A denominação “caatinga” tem sido muito usada para a região geográfica no nordeste do Brasil, e isto tem gerado algumas confusões. O conceito exclui áreas que, apesar de floristicamente serem parte da vegetação de caatinga, não são consideradas dentro da região geográfica, tais como certas regiões da bacia Rio Grande no oeste da Bahia ou o vale seco do rio Jequitinhonha em Minas Gerais (PRADO, 2008).

Por representar um ambiente bastante heterogêneo, a região deve ser chamada de “caatingas”, uma vez que esta inclui várias fisionomias e composição florística diferentes de vegetação (ANDRADE-LIMA, 1966; PRADO, 2008). Hoje são reconhecidos 12 tipos diferentes de caatingas, formando paisagens únicas, com trechos de florestas secas em diversos

estágios de regeneração e trechos remanescentes de floresta madura, constituindo-se em verdadeiros “mosaicos” de vegetação, solo e disponibilidade de água (ALVES et al., 2009; RITO et al., 2017).

A região ocupada pelas caatingas apresenta clima típico de semiárido com características extremas dentre os parâmetros meteorológicos como elevada radiação solar, baixa nebulosidade, altas temperaturas medias anuais (com valores entre 25°C a 29°C), evapotranspiração mais elevada e as precipitações mais baixas e irregulares, que normalmente são limitadas a um período muito curto no ano (LEAL et al., 2008; PRADO, 2008).

Figura 1 – Distribuição da Caatinga indicando a divisão dos estados do Brasil e dos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Amazônia



Fonte: Hauff (2010).

A precipitação média anual é em torno de 1.000 mm, porém metade da região recebe menos de 750 mm/ano e, em algumas áreas mais centralizadas, menos de 500 mm/ano, tais como o raso da Catarina e uma grande área central dos estados de Pernambuco e Paraíba. A distribuição anual da chuva nas caatingas é um fator preponderante, normalmente são concentradas em três meses consecutivos, constituindo, assim, um clima sazonal muito forte. Isto ocasiona uma longa estação de seca, sendo que algumas localidades estão sujeitas a períodos de 7 a 11 meses de baixa disponibilidade hídrica (PRADO, 2008; SILVA et al., 2017).

A vegetação dominante das caatingas varia de savana aberta a florestas altas e secas moldadas por alta variabilidade interanual na precipitação, com a vegetação sendo representada basicamente por plantas xerofíticas e caducifólias muito resistentes aos períodos secos, sendo adaptadas à escassez de água, com fisionomia e florística diversificada, dependendo do regime de chuvas e do tipo de solo (PRADO, 2008; SILVA et al., 2017). É formada por uma mistura de estratos herbáceo, arbustivo ou arbóreo de pequeno porte, tortuosa e espinhenta, com folhas pequenas ou modificadas em espinhos para minimizar a evapotranspiração. São constituídas principalmente por espécies vegetais da família Bignoniaceae, Cactaceae, Caesalpinaceae, Capparaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Mimosaceae e Myrtaceae (GIULIETTI et al., 2004; PRADO, 2008; CORDEIRO; FÉLIX, 2014; ATHIÊ-SOUZA et al., 2018).

A fauna e a flora são caracterizadas pelo grande número de espécies e um acentuado grau de endemismo. As caatingas abrigam, atualmente, 183 espécies de mamíferos, 276 de formigas, 548 de aves, 98 de anfíbios, 191 de répteis e 3150 espécies de plantas vasculares distribuídas em 950 gêneros, apresentando níveis de endemismos variando de 6% entre os mamíferos a 52,7% entre os peixes, o que confere às caatingas o título das florestas secas mais ricas do mundo (SILVA et al., 2017; ARAÚJO; SILVA, 2017). A biodiversidade das caatingas certamente é muito maior do que expressam os dados relatados na literatura, pois ainda existem muitas outras espécies por descobrir, o que evidencia a precariedade do conhecimento sobre estes ricos ecossistemas (SILVA et al., 2017; ARAÚJO; SILVA, 2017).

Mesmo apresentando esta riqueza, as caatingas vem sofrendo pressões antropogênicas. A Região Nordeste abriga 54,6 milhões de habitantes (IBGE, 2022), com as caatingas abrigando cerca de 27 milhões de habitantes (BRASIL, 2022), tornando-se uma das regiões semiáridas mais populosa do mundo, sendo a maioria da população carente e dependente dos recursos naturais para sobreviver (SILVA et al., 2017; PEREIRA et al., 2023). A exploração da vegetação das caatingas é predominantemente extrativista, com estas florestas sendo amplamente utilizadas pela população rural, incluindo áreas que abrigam flora e fauna endêmica (PEREIRA et al., 2023). De acordo com Silva et al. (2017), os principais distúrbios

que afetam as caatingas são: redução da biomassa pela agricultura de corte e queima; pastagem extensiva e coleta de lenha; conversões de áreas de vegetação nativa para construção de estradas, ou agricultura comercial; e introdução de espécies exóticas que afetam a população de espécies nativas. Somada os impactos antropogênicos com as sucessivas temporadas de seca, as caatingas tornaram-se os tipos vegetacionais mais vulneráveis do planeta e umas das mais alteradas e ameaçadas do país, perdendo apenas para a Floresta Atlântica e o Cerrado (GIULIETTI et al., 2004; TABARELLI et al., 2017a).

A vegetação continua passando por um extenso processo de alteração provocado pelo uso insustentável dos seus recursos naturais (LEAL et al., 2008), com a diversidade de espécies estando ameaçada pelos efeitos de distúrbios antropogênicos (PEREIRA et al., 2023). A situação é ainda mais preocupante, pois os esforços de conservação da biodiversidade não têm acompanhado a transformação do ecossistema, visto que esta região sofre historicamente com o descaso, ficando em segundo plano quando se discutem políticas para o estudo e a conservação da biodiversidade do país (GIULIETTI et al., 2004; TABARELLI et al., 2018).

Aproximadamente 50% da cobertura original foram perdidos, sendo que a vegetação restante está limitada a fragmentos dos ecossistemas naturais das caatingas, uma vez que toda a região é explorada há séculos (FONSECA et al., 2018). O desmatamento é um dos maiores problemas associados à região, favorecendo a perda de biodiversidade e a formação de extensos núcleos de desertificação em várias áreas das caatingas (LEAL et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2015).

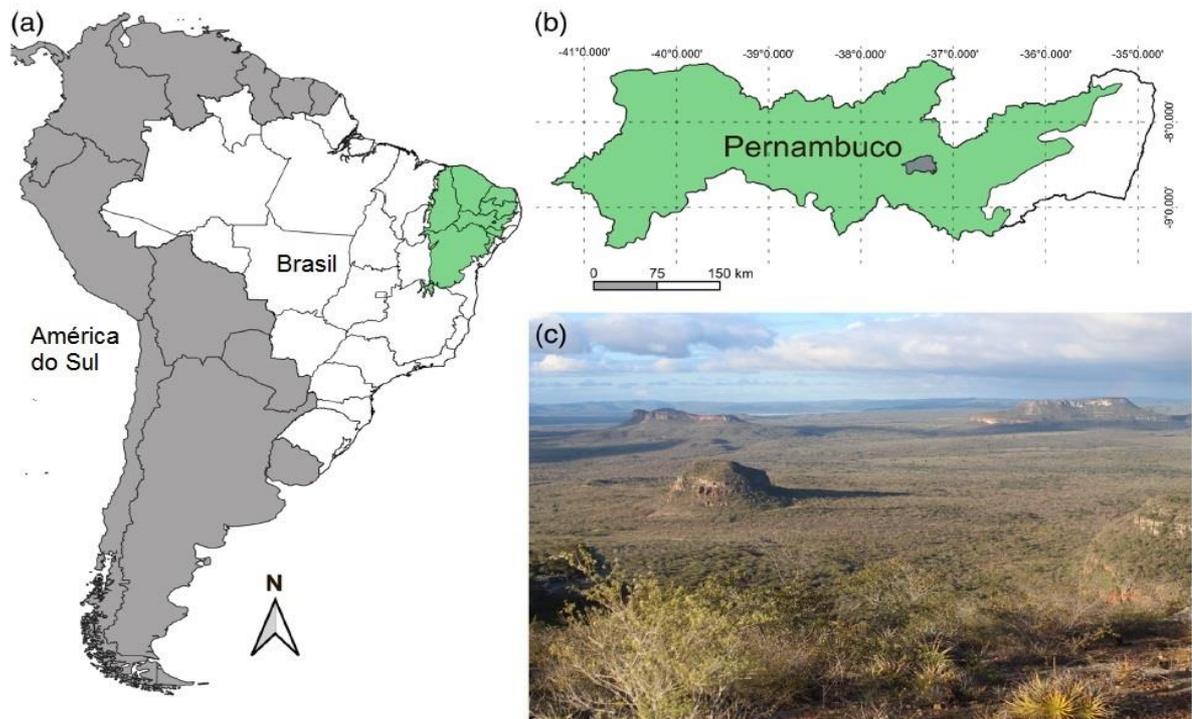
Caatingas possuem a menor extensão protegida dentre todos os biomas brasileiros, com 8,9% sob alguma forma de proteção legal, sendo 7,1% protegido por unidades de conservação de uso sustentável e 1,8% de unidades de conservação de proteção integral (TEIXEIRA et al., 2021). Entretanto, algumas das áreas protegidas enfrentam problemas devido à situação fundiária não resolvida, sem plano de manejo e a falta de infraestrutura básica e recursos para o funcionamento adequado (FONSECA et al., 2018).

Além destas questões, parte da área protegida encontra-se nos terrenos arenosos, como o Parque Nacional da Serra da Capivara, Serra das Confusões e Parque Nacional do Catimbau, enquanto as caatingas sobre o cristalino (70% da área original) permanecem pouco protegidas (TABARELLI et al., 2018).

2.1.2 Parque Nacional do Catimbau – PARNA Catimbau

O Parque Nacional (PARNA) do Catimbau foi criado pelo decreto (s/nº) de 13 de dezembro de 2002, em conformidade com a Lei Federal nº 9.985 (Lei SNUC) e o decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Encontra-se localizado no Estado de Pernambuco (Figura 2) entre os municípios de Buíque, Ibirimir Sertânia e Tupanatinga, e representa uma das poucas áreas protegidas da Caatinga, com 62.300 hectares.

Figura 2 – Localização do Parque Nacional do Catimbau no Estado de Pernambuco, Brasil



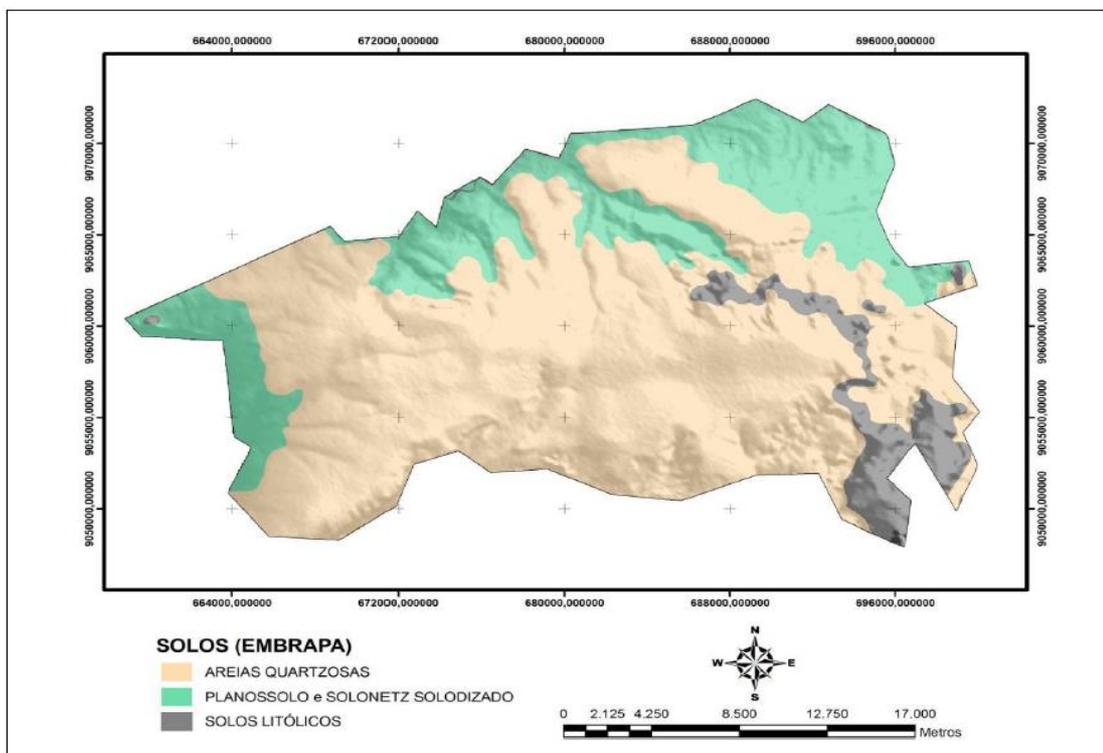
(a) Mapa da América do Sul (cinza escuro), destacando as divisões geopolíticas do Brasil (branco) e da região da Caatinga (verde). (b) Estado de Pernambuco, com destaque para o Parque Nacional do Catimbau (cinza). (c) Vista aérea do Parque Nacional do Catimbau.

Fonte: Adaptado de Bezerra-Silva et al. (2023).

O PARNA Catimbau é considerado uma das mais importantes unidades de conservação da Caatinga por apresentar números relevantes de endemismos, espécies raras e um patrimônio arqueológico e paisagístico de valor inestimável, sendo considerado o segundo maior sítio arqueológico do Brasil para pinturas rupestres, perdendo somente para o Parque Nacional da Serra da Capivara, no Piauí. Devido a sua riqueza, o parque foi transformado em patrimônio arqueológico nacional pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Arquitetônico Nacional - IPHAN (TABARELLI et al., 2017b).

O parque está localizado em uma área com predomínio de chapadas de arenito da bacia sedimentar Tucano-Jatobá. De modo geral, a maior parte do parque apresenta solos arenosos, com baixa fertilidade e fortemente ácidos (pH menor que 5, por exemplo), ocorrendo diferentes tipos de solos. Predomina-se solos com Areia Quartzolíticas (aproximadamente 70%), seguidos de áreas com Planossolos e Litossolos (Figura 3) (ARNAN et al., 2018; BARROS, 2018). Atributos físicos e químicos dos solos do PARNA Catimbau podem ser consultados em Barros (2018) e Da Silva et al. (2020).

Figura 3 – Mapa de solos do Parque Nacional do Catimbau



Fonte: Adaptado de Silva Junior (2013).

A unidade de conservação é conhecida pela sua rica fauna e flora, sendo considerado como área de extrema importância biológica e prioritária para a preservação. É formado por um conjunto de montanhas, com paredões rochosos e vales abertos, apresentando uma vegetação bastante diversificada devido à interação do clima com o solo, o relevo, a altitude e os processos geológicos (TABARELLI et al., 2017b). A vegetação inclui manchas de floresta tropical sazonalmente seca e é dominada por arbustos e árvores de baixa estatura, típica de caatinga (vegetação espinhosa caducifólia). Embora, devido as variações de relevo e microclima, são também encontradas no parque espécies de cerrado, de campos rupestres e de restinga (TABARELLI et al., 2017b; ATHIÊ-SOUZA et al., 2018).

O PARNA Catimbau apresenta uma flora bastante diversificada com 613 espécies registradas pertencentes a 366 gêneros e 85 famílias (ATHIÊ-SOUZA et al., 2018), predominando as plantas lenhosas das famílias Fabaceae, Poaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae e Boraginaceae. O estrato herbáceo é composto por espécies das famílias Cactaceae, Bromeliaceae, Malvaceae, Asteraceae e Fabaceae (RITO et al., 2017; ARNAN et al., 2018).

O parque foi criado em 2002, contudo, a desapropriação ainda não foi concluída com aproximadamente 400 famílias ainda residindo dentro do parque. Estes habitantes vivem da dependência da exploração dos recursos naturais do Catimbau, exercendo práticas tradicionais da agricultura de subsistência e pecuária como a criação de caprinos e bovinos, a extração de madeira e lenha, a caça e a colheita de plantas medicinais (RITO et al., 2017; TABARELLI et al., 2017b). Estas atividades contribuem para a redução da biomassa e a degradação do parque mesmo que existam regras restritas de uso dos recursos e da terra no PARNA Catimbau, tanto para moradores como para os turistas (TABARELLI et al., 2017b; SPECHT et al., 2019).

A utilização histórica das áreas do PARNA Catimbau resultou em um extenso mosaico de áreas em regeneração natural, devido ao uso diferenciado da terra e de pressão antropogênica sobre a biota (ARNAN et al., 2018). Existindo várias áreas, que mesmo após décadas de abandono das roças, suportam apenas vegetação arbustiva, indicando uma forte evidência de degradação do solo e, talvez, sobrepastoreio, que limitam a regeneração natural do estrato herbáceo. Como os animais domésticos são criados de forma extensiva, praticamente não há áreas de vegetação que estejam livres de herbivoria (TABARELLI et al., 2017b).

Devido a estas características, o PARNA Catimbau representa uma excelente oportunidade para avaliar como as perturbações antropogênicas, por exemplo, agricultura, pecuária e extração de madeira, afetam a biota da Caatinga e as consequências para a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e a qualidade de vida das populações humanas residentes no PARNA Catimbau (TABARELLI et al., 2017b).

Mesmo não tendo grau de conservação de uma reserva da biosfera, hoje, o Parque do Catimbau é considerado uma área de referência para a pesquisa ecológica no Brasil, um Sítio PELD-CNPq, com muitas pesquisas sendo desenvolvidas no parque. Por exemplo, estudos sobre a dinâmica e estoque de nutrientes (MOURA et al., 2016; SANTOS, 2020; SILVA, 2020), influência da perturbação humana sobre a fauna e flora (TABARELLI et al. 2017b; RITO et al., 2017; ARNAN et al., 2018; MERAMO et al., 2022; PEREIRA et al., 2023); impactos das formigas cortadeiras na regeneração da floresta (KNOECHELMANN et al., 2020) estudos sobre polinização por morcegos e formigas (DOMINGOS-MELO et al., 2017; ROCHA et al., 2020, DOMINGOS-MELO et al., 2021); dinâmica na produção de néctar (DOMINGOS-

MELO et al., 2021; SOUZA et al., 2022; BEZERRA-SILVA et al., 2023). Outros estudos desenvolvidos no PARNA Catimbau podem ser consultados no site do PELD: <https://www.peldcatimbau.com.br/publicacoes/>.

A situação da preservação na Caatinga é preocupante. Entretanto, somente a proteção legal não garante a sustentabilidade desse ecossistema, tornando-se necessário conhecer os impactos ambientais diretos e indiretos nos fragmentos remanescentes, em que estudos de restauração, medidas de conservação e manejo devem ser aplicados. Vale salientar que estudos ambientais envolvendo áreas preservadas são importantes para servirem de modelo em projetos de restauração ambiental. Estudos ambientais sobre a distribuição de substâncias químicas nos ecossistemas são, muitas vezes, negligenciados em áreas de recuperação ambiental ou unidades de conservação. Nestas áreas, estudos envolvendo a ciclagem de elementos químicos nos compartimentos ecológicos tornam-se essenciais, pois a disponibilidade de elementos químicos, entre outros fatores como clima, estresse hídrico, poluição e manejo, pode afetar a qualidade dos ecossistemas (FRANÇA, 2006; RAMOS et al., 2016).

2.2 Elementos químicos

Os elementos químicos são importantes para os ecossistemas devido a sua funcionalidade nos processos fisiológicos dos organismos vivos (FRANÇA, 2006), com alguns elementos sendo estabelecidos como essenciais para o crescimento e desenvolvimento biológico (FRÄNZLE, 2009). Estes elementos químicos essenciais podem ser definidos como um componente intrínseco na estrutura ou no metabolismo de um organismo, com sua ausência podendo causar anormalidades severas no crescimento, no desenvolvimento, na reprodução ou impedindo o ciclo de vida (MARKERT, 1998; KABATA-PENDIAS, 2011).

Oficialmente são conhecidos 118 elementos químicos com a maioria de origem natural, sendo que 16 são essenciais para o desenvolvimento vegetal. Dentre os elementos químicos conhecidos, cerca de 20% foram sinteticamente produzidos, com alguns sendo encontrados apenas em concentrações traços. Os elementos químicos essenciais ou nutricionais podem ser divididos em macronutrientes e micronutrientes, de acordo com a quantidade necessária para o desempenho de suas funções biológicas. No entanto, grande parte dos elementos químicos não possuem funções biológicas claramente conhecidas (MARKERT et al., 2015).

Os macronutrientes são elementos químicos essenciais na vegetação que ocorrem em maiores concentrações, destacando-se o nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, enxofre e o silício. Os micronutrientes apresentam concentrações menores, mas que são vitais para as

plantas como cloro, cobalto, ferro, estrôncio, boro, manganês, zinco, cobre, níquel e molibdênio (FRÄNZLE; MARKERT, 2000; MARKERT et al., 2015). Os elementos essenciais também podem ser classificados de acordo com a sua funcionalidade nos organismos: 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, Sn, Se, F, I, Mg) (MARKERT, 1998).

Praticamente todos os elementos químicos essenciais, quando presentes em concentrações elevadas, podem provocar mudanças significativas nos ecossistemas. As toxicidades podem não ocorrer para alguns elementos químicos benéficos em pequenas concentrações, mas que podem causar efeitos danosos quando presentes em grandes quantidades, como cobalto, cobre, ferro, níquel, selênio e zinco (FRÄNZLE; MARKERT, 2000). Outros elementos químicos podem ter efeito tóxico, mesmo em quantidades traços, com concentrações menores que 100 mg/kg, destacando-se alumínio, arsênio, cobre, cádmio, cromo, chumbo e mercúrio, por exemplo, que em condições específicas, podem contaminar solos, corpos de águas e inibir diversas reações em plantas e animais (KABATA-PENDIAS, 2011).

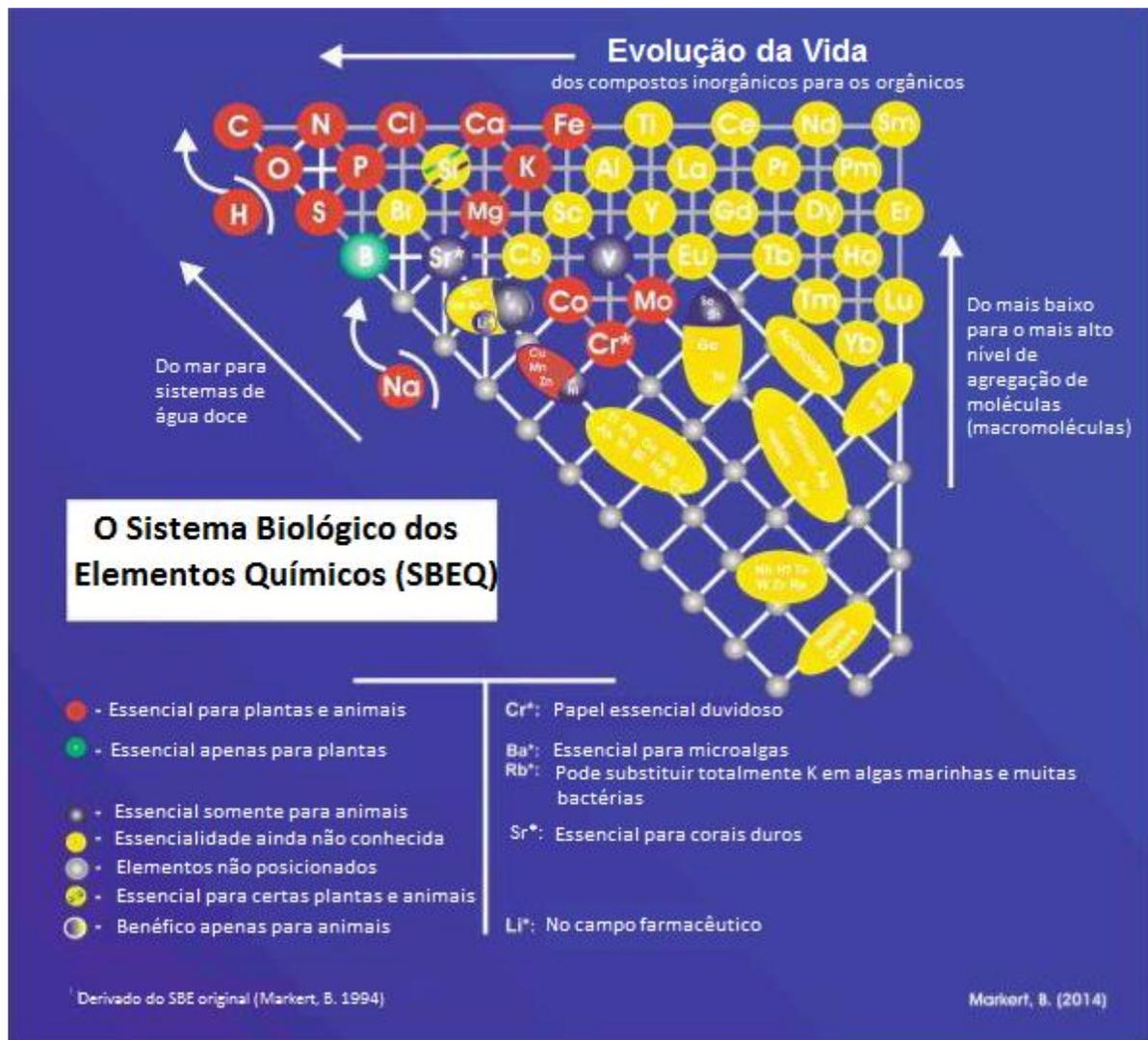
Algumas classificações biológicas de elementos químicos têm sido sugeridas em complementação à classificação da tabela periódica (FRANÇA, 2006). O Sistema Biológico dos Elementos Químicos (SBEQ) é uma das classificações mais empregadas para classificar a essencialidade dos elementos químicos para os organismos, conforme mostrado na Figura 4 (MARKERT, 1994; MARKERT et al., 2018). O SBEQ foi estabelecido pela primeira vez em 1994 e era denominado até o final de 2017 como Sistema Biológico de Elementos (SBE) (MARKERT et al., 2018). O SBEQ foi desenvolvido a partir da correlação entre os dados sobre funções fisiológicas dos elementos químicos individuais em organismos vivos, de informações sobre a absorção dos elementos químicos pela planta e do desenvolvimento evolutivo do ambiente inorgânico, elucidando a utilização dos elementos químicos pelos organismos (FRÄNZLE; MARKERT, 2000; MARKERT et al., 2018).

Vale ressaltar que o H e Na não estão fixos no SBEQ, pois exercem várias funções no sistema biológico (MARKERT et al., 2018). Muitos elementos químicos ainda não foram posicionados no SBEQ devido à dificuldade no estabelecimento das relações e ausência de dados, como é o caso de elementos químicos tóxicos, lantanídeos e actinídeos.

Novos estudos sobre as concentrações de elementos químicos nos ecossistemas podem auxiliar futuras classificações, bem como, o entendimento do uso, acumulação e toxicidade dos elementos químicos para o ecossistema. Por exemplo, os elementos terras raras (ETR) são importantes do ponto vista ambiental por permitirem reconhecer padrões naturais de acumulação (FRANÇA et al., 2002), além de serem extremamente importantes para aplicações

tecnológicas. Os ETR ainda não possuem essencialidade confirmada para as plantas, embora há relatos sobre seu impacto estimulante em funções bioquímicas (KABATA-PENDIAS, 2011). Os ETR podem ser divididos em três grupos, em função das características físico-químicas e dos raios iônicos, os leves (La, Ce, Pr e Nd), médios (Sm, Eu, Gd) e os pesados (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu), com exceção do promécio, que é um elemento químico artificial (TYLER, 2004; SILVA FILHO, 2018).

Figura 4 – Sistema Biológico dos Elementos Químicos (SBEQ)*



*O Sistema Biológico dos Elementos Químicos (SBEQ) para plantas terrestres a partir de Market (1994). O diagrama mostra as relações entre os elementos junto com suas funções essenciais correspondentes (cores), extensão das funções bioquímicas e capacidade correspondente para formar macromoléculas por reações de condensação (seta vertical lado direito do diagrama). A seta diagonal refere-se a mudanças de concentração do oceano para a água doce.

Fonte: Adaptado de Markert et al. (2018).

2.3 Transferência de elementos químicos

Os ecossistemas naturais representam unidades ambientais funcionais, com ciclos equilibrados de elementos químicos, matéria e fluxo de energia, existindo uma inter-relação entre os meios de comunicação dos compartimentos abióticos e bióticos (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007). Nesta relação, as principais vias de entrada e saída de elementos químicos no ecossistema são o solo, a atmosfera e os cursos d'água, sendo que a vegetação apresenta a função de reciclagem e acumulação, que é essencial para as formações vegetacionais desenvolvidas sobre solos contendo baixo teor de nutrientes (DE ANDRADE et al., 1999; FERREIRA, 2016; ZULIANI et al., 2016).

O comportamento dos elementos químicos em cada ecossistema é único e complexo, com as espécies vegetais sendo responsáveis pela movimentação de elementos químicos no ecossistema, absorvendo-os do solo e da atmosfera e incorporando-os no sistema por meio da produção de serrapilheira (FRANÇA, 2006). As folhas e a serrapilheira representam parte importante do fluxo de elementos químicos nos ecossistemas, com as folhas absorvendo elementos químicos e a serrapilheira transferindo substâncias químicas da vegetação para a superfície do solo. O fluxo de elementos químicos através da serrapilheira representam um dos processos mais importantes e dinâmicos na ciclagem de elementos químicos (MORAES et al., 1999, SANTOS, 2020).

Os solos das florestas de caatingas, em geral, são ácidos, arenosos e com baixa fertilidade natural (ARNAN et al., 2018; BARROS, 2018), com o enriquecimento na camada superficial do solo para alguns elementos químicos, sendo reflexo da ciclagem de elementos químicos e de entradas via atmosfera. Santos (2020) investigou estoques de nutrientes (C, N, P e K) na biomassa acima do solo (folhas, galhos e serrapilheira) para florestas de caatingas no PARNA Catimbau, constatando que a fertilidade do solo, que é naturalmente muito baixa, tem pouca relevância nos estoques de nutrientes, com as folhas e a serrapilheira apresentando maiores estoques de nutrientes. A autora também constatou que as caatingas sofrem de deficiência nutricional, particularmente de P, ocorrendo a reabsorção de N e P antes da abscisão foliar, o que pode indicar a deficiência de ambos os nutrientes no solo das caatingas.

Costa et al. (2022) investigaram radionuclídeos naturais (K-40, Ra-226, Ra-228 e Th-228) em solos do PARNA Catimbau, com K-40 apresentando baixa concentração. As concentrações do nutriente K disponíveis nos solos neste ambiente são reduzidas, o que demonstra a adaptabilidade das plantas das caatingas.

Silva (2020) estudou a dinâmica de nutrientes (N, P, Ca e Mg) durante a regeneração de uma floresta seca de caatinga, constatando que as concentrações de N, P, Ca e Mg não diferiram com relação ao índice de fertilidade do solo, sendo um compartimento com pouca influência em relação à dinâmica de nutrientes na biomassa vegetal.

França (2006) estudou a ciclagem de elementos químicos em plantas da Mata Atlântica, com o autor indicando que o ecossistema local apresentava ciclagem de elementos químicos “fechada”, com a atmosfera e a ciclagem via decomposição da serrapilheira, sendo as principais entradas de elementos químicos no sistema solo-planta.

De maneira geral, observa-se que a atmosfera e deposição da serapilheira representam as principais vias de elementos químicos no sistema, com o compartimento solo exercendo pouca influência na concentração dos elementos químicos da planta, principalmente em formações vegetacionais desenvolvidas sobre solos com baixo teor de nutrientes, como ocorre nas caatingas (FRANÇA, 2006; SANTOS, 2020).

2.4 Bioacumulação e Biomonitoração

Os elementos químicos seguem vias específicas, passando dos substratos para os organismos e dos organismos para o ambiente após senescência (FERREIRA, 2016). Neste contexto, a monitoração ambiental é um instrumento importante e necessário, devido ao fato de as atividades antropogênicas terem provocado mudanças profundas no ambiente, disponibilizando grandes variedades de substâncias complexas e excedendo a capacidade de tolerância dos organismos. Estes seres vivos passam a responder de diversas formas aos impactos antropogênicos. Dada a característica de adaptabilidade às variações químicas do ambiente, algumas espécies tendem a acumular elementos químicos, especialmente tóxicos. Estas espécies são denominadas de bioacumuladoras e podem ser utilizadas como biomonitores em estudos de monitoração ambiental (MARKERT, 2008; PHILLIPS; RAINBOW, 2013).

Existe uma distinção clara entre o bioindicador e biomonitor com relação à abordagem qualitativa e quantitativa das substâncias químicas do ambiente, respectivamente. De acordo com Markert (1991), os bioindicadores são organismos (parte de um organismo ou uma comunidade de organismos) que contém informações sobre aspectos do ambiente. Estas informações podem ser obtidas geralmente de forma qualitativa, como as mudanças na fisiologia, morfologia e ecologia das espécies estudadas. Os biomonitores são definidos como organismos (parte de um organismo ou uma comunidade) que contém informações sobre os aspectos quantitativos da qualidade do ambiente (MARKERT, 1991; MARKERT, 2008).

A biomonitoração pode ser classificada em ativa e passiva. No tipo ativo, o biomonitor é coletado em local considerado limpo (condições de laboratório, com menor grau de interferência humana) e transplantado para o local de interesse de forma padronizada por um período definido. Na biomonitoração passiva, informações sobre a qualidade do ambiente podem ser obtidas pela quantificação da substância de interesse nos organismos nativos, que já ocorrem naturalmente no ecossistema. Após a análise dos organismos, é possível inferir a qualidade ambiental da área monitorada (MARKERT, 1991; MARKERT, 2008).

Neste contexto, pode-se concluir que um biomonitor é sempre um bioindicador, no entanto, um bioindicador não atende necessariamente aos requisitos de biomonitor. Ambos os métodos (bioindicação e biomonitoração) são reconhecidos como importantes meios de rastrear a influência de fatores externos nos ecossistemas. A bioindicação também pode ser empregada para entender relações complexas entre poluentes e fatores bióticos ou abióticos e fatores que influenciam os organismos indicadores (MAĆKIEWICZ et al., 2018).

Diferentes tipos de organismos são empregados como biomonitores ou bioindicadores, como musgos, animais e plantas superiores (WAPPELHORST et al., 2000; BURTON et al., 2001; KAVUN et al., 2002; ELIAS et al., 2008; MARKERT, 2008; FRANÇA et al., 2010; LIRA, 2020). As plantas bioacumuladoras apresentam características importantes para serem empregadas na monitoração ambiental, tendo em vista que estas plantas são organismos fixos ao substrato, estando sempre expostas às alterações das condições ambientais de sua área de crescimento e servindo também, como um importante interceptador para o material particulado da atmosfera originário tanto de fontes antropogênicas ou naturais (ARAÚJO, 2009).

Outras vantagens no uso de plantas vasculares como biomonitoras são a fisiologia, morfologia e ecologia bem conhecida, a facilidade de identificação, cultivo e reprodução das espécies, a relevância ecológica por atuarem como interceptadores de elementos químicos e a tolerância à toxicidade. As dificuldades estão na escolha das espécies, visto que a diversidade é elevada na maioria das formações vegetacionais (MARKERT, 1993; MERTENS et al., 2005).

Nos estudos de biomonitoração são utilizadas espécies que proporcionam maior sensibilidade aos fatores de estresse. Diferentes órgãos da planta (folha, caule, casca e raiz) têm sido investigados nestes estudos e as espécies nativas vêm ganhando destaque. Estas espécies apresentam grande relevância ecológica, pois o seu emprego como biomonitoras dispensa o uso de espécies exóticas, principalmente em unidades de conservação, visto que as avaliações periódicas podem ser realizadas com estas plantas nativas bioacumuladoras (FRANÇA, 2006; ARAÚJO, 2009).

Com a finalidade de avaliar a influência antropogênica sobre os ecossistemas, o desenvolvimento de estudos relacionados à identificação de espécies bioacumuladoras para serem utilizadas como biomonitoras tem se tornado cada vez mais comum nos ecossistemas brasileiros (COCCARO et al., 2000; FRANÇA et al., 2004; ELIAS et al., 2006; ELIAS et al., 2008; FRANÇA et al., 2010; ARAÚJO et al., 2012; FRANÇA et al., 2016; SILVA FILHO, 2018; LIRA, 2020). Entretanto, a maior parte dos estudos envolvendo biomonitoras tem sido realizada em áreas urbanas e industrializadas, com poucas informações sobre a distribuição de elementos químicos nos ecossistemas brasileiros, principalmente em áreas remotas (FRANÇA et al., 2004; FRANÇA et al., 2010; LIRA, 2020).

Nas caatingas, ainda são poucos os estudos relacionados a identificação de espécies bioacumuladoras de elementos químicos, podendo ser destacado o estudo de Silva Filho (2018). O autor investigou 10 espécies de plantas das caatingas, identificando potencial de acumulação de Elementos Terras Raras (ETR) em 8 espécies, destacando-se as espécies *Cynophalla flexuosa*, *Guapira cf. laxa*, *Lippia gracilis*, *Mimosa tenuiflora* e *Poincianella pyramidalis*, espécies que acumularam mais elementos terras raras, conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Espécies de plantas de caatingas investigadas por Silva Filho (2018), com potencial de bioacumulação de ETRs

Espécie	Família	Elementos terras raras bioacumulados
<i>Cynophalla flexuosa</i>	Capparaceae	Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Er, Tm e Y
<i>Guapira cf. laxa</i>	Nyctaginaceae	La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Er, Tm e Y
<i>Lippia gracilis</i>	Verbenaceae	Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Ho, Er, Tm Nb e Y
<i>Mimosa tenuiflora</i>	Farbaceae	La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Ho, Tb, Dy, Er, Tm, Nb e Y
<i>Poincianella pyramidalis</i>	Fabaceae	La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Er, Tm, Nb e Y
<i>Senegalia</i> sp. 1	Fabaceae	Tm
<i>Senegalia</i> sp. 2	Fabaceae	La, Pr, Nd, Sm, Eu e Tb
<i>Zizuphus joazeiro</i>	Rhamnaceae	La, Pr, Nd, Sm, Tb, Dy e Tm

Fonte: Adaptado de Silva Filho (2018).

Novas investigações contribuem para identificação de espécies nativas bioacumuladoras nos diferentes tipos vegetacionais brasileiros, com estas espécies podendo ser utilizadas na monitoração de unidades de conservação e fragmentos florestais. Esta monitoração pode ser realizada para avaliar os efeitos de influências antropogênicas, estabelecendo concentrações, tendências, efeitos cumulativos, ou apoiar a tomada de decisão

de órgãos competentes no estabelecimento de regulamentos ambientais e/ou estabelecerem estratégias de preservação dos recursos naturais (MAĆKIEWICZ et al., 2018). Contudo, para avaliar se determinados organismos podem ser utilizados como biomonitores, torna-se necessário conhecer as concentrações de elementos químicos naturais ou valores de referências máximos e mínimos.

2.5 Padrões de qualidade ambiental – Vegetação

Nas últimas décadas, as mudanças introduzidas ou estimuladas ao ambiente pelo homem vêm sendo acumuladas rapidamente, alcançando uma nova dimensão em termos de velocidade e modificações dos ecossistemas (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007). As ações antropogênicas se caracterizam por processos destrutivos que afetam o equilíbrio natural do ambiente, modificando a estrutura dos ecossistemas e interferindo negativamente nos processos ecológicos essenciais (COSTA; MENEZES, 2016). Uma das principais modificações é a fragmentação de grandes ecossistemas em fragmentos de paisagem cada vez mais numerosa e impactada, como por exemplo, a Mata Atlântica e as Caatingas, que são tipos vegetacionais altamente fragmentados e impactados.

Outro problema é a questão das novas substâncias químicas e complexas que vêm sendo inseridas no ambiente, como consequência do desenvolvimento humano. Estes novos compostos químicos podem afetar significativamente a qualidade do ecossistema a partir da alteração da disponibilidade de substâncias químicas, tendo em vista que ocorre a acumulação nos compartimentos ecológicos (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007; MARKERT et al., 2015).

Os mecanismos biológicos de seleção de elementos químicos permitem que as plantas controlem, até certo ponto, sua composição, embora esta barreira seja um pouco limitada com relação aos elementos traços. Concentrações de elementos traços em plantas são muitas vezes correlacionadas com a abundância destes elementos químicos nos meios de crescimento. A modificação dos níveis de elementos químicos a valores prejudiciais aos organismos, cria problemas para as plantas, animais e o homem (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007).

Devido a estas questões, torna-se essencial conhecer as concentrações dos elementos químicos e seus efeitos no ecossistema, sendo importante desenvolver padrões de qualidade ambiental ou definir valores de referência, visto que estes parâmetros possam auxiliar na conservação dos ecossistemas e contribuir com o direcionamento de ações futuras de controle e monitoração para a melhoria da qualidade ambiental (FONSECA, 2010).

No Brasil, os padrões de qualidade ambiental foram introduzidos pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), objetivando a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida e visando assegurar as condições necessárias ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981).

Órgãos federais e estaduais ficaram a cargo de regulamentar os padrões de qualidade ambiental e definirem valores de referência das concentrações máximas e mínimas de substâncias em diferentes esferas, como no solo, no ar, nas águas e nos efluentes, estabelecendo também, limites para ruídos sonoros e doses de radiação aceitável. Destaca-se o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão federal responsável por verificar e assegurar os padrões de qualidade ambiental do Brasil, na ausência de padrões estaduais ou municipais, as resoluções do CONAMA correspondem à legislação aplicável (BRASIL, 1981).

Por serem organismos fixos ao substrato, as plantas estão expostas às alterações das condições ambientais de sua área de crescimento (ARAÚJO, 2009), realizando a interceptação direta das substâncias em suas folhas e podendo acumular elementos químicos em função de características, como adaptabilidade às variações químicas do ambiente. As folhas também possuem uma produção constante durante o ciclo de vida da planta, além de apresentar relativa facilidade de coleta e análise (MARKERT, 1993; FRANÇA et al., 2010; CHRABASZCZ; MRÓZ, 2017). Devido a estas características, estes organismos podem ser utilizados como indicadores da qualidade ambiental, sendo empregados em projetos de biomonitoração e fitorremediação (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007; PRABAKARAN et al., 2019).

É importante conhecer as concentrações de elementos químicos naturais ou os valores de referência para a vegetação, para que as avaliações sobre as alterações no ecossistema sejam precisas (FRANÇA, 2006; FRANÇA, et al., 2011). Este conhecimento também contribui para avaliar se determinados organismos podem ser utilizados como biomonitores.

Entretanto, no Brasil não há legislação sobre valores de referência da concentração de elementos químicos para plantas. Como abordagem para contornar esta problemática pode-se utilizar valores de referência reportados na literatura (Tabela 2). Destacam-se os valores de referência da planta de Markert (1998), com faixas de concentração mínima e máxima definidos para diversos elementos químicos. Outro estudo bastante utilizado como referência para concentração de elementos químicos tanto em plantas como em solos é o de Kabata-Pendias (2011), no qual foram definidas faixas de concentração de diferentes elementos químicos em plantas, conforme observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores e faixas de concentração esperada de elementos químicos (mg/kg) em plantas

Elemento químico	Valores de referência			
	Markert (1998)	Kabata-Pendias (2011)	França (2006)	Silva Filho (2018)
Al	90-530	100-1000	-	-
As	0,01-1,5	0,009-1,5	-	-
B	30-75	5-30	-	-
Ca	10000*	-	1750-27000	-
Cd	0,03-0,5	0,029-0,4	-	-
Ce	0,25-0,55	0,009-3,42	0,05-484	0,03-3,4
Cl	2000-20000	10-7000	240-27000	-
Co	0,02-0,5	0,10-0,57	0,01-114	-
Cr	0,2-1	0,02-0,5	-	-
Dy	0,025-0,05	0,05-0,3	-	0,003-0,14
Er	0,015-0,030	0,002-0,3	-	0,002-0,05
Eu	0,005-0,015	0,001-0,092	0,001-1,95	0,003-0,11
Fe	5-200	18-1000	39,7-620	-
Gd	0,03-0,06	0,002-0,3	-	0,007-0,65
Ho	0,005-0,015	0,001-0,15	-	0,002-0,019
K	5000-34000	-	3000-51700	-
La	0,15-0,25	0,001-1,88	0,03-102	0,08-4,4
Lu	0,0025-0,005	0,0158*	-	0,002-0,004
Mg	1000-9000	-	-	-
Mn	1-700	30-500	29,6-1130	-
Mo	0,03-5	0,33-2,3	-	-
Nd	0,1-0,25	0,003-1,797	0,38-69	0,03-1,56
Ni	0,4-4	0,13-2,7	-	-
P	120-30000	-	-	-
Pb	0,1-5	0,7-3.6	-	-
Pr	0,03-0,06	0,001-0,7	-	0,008-0,43
S	600-10000	-	-	-
Sb	0,0001-0,2	0,002-0,029	0,01-4,3	-
Sm	0,02-0,04	0,002-0,7	0,003-9,17	0,004-0,18
Sr	3-400	1,2-662	15-948	-
Tb	0,005-0,015	0,001-0,703	0,003-0,63	0,0008-0,03
Th	0,03-1,3	0,008-1,3	0,005-0,75	-
Tm	0,0025-0,005	0,001-0,004	-	0,002-0,006
U	0,005-0,06	0,005-0,06	-	-
V	0,001-10	0,01-0,84	-	-
Yb	0,015-0,030	0,001-0,3	0,028-1,06	0,003-0,04
Zn	15-150	1,2-73	7,8-117	-

*Concentração média.

Fonte: O autor (2023).

Os valores de referência reportados por estes autores são bastante reconhecidos, entretanto, é recomendado que as comparações dos resultados sejam feitas com valores de referência obtidas de plantas do mesmo clima local da área de estudo. Contudo, no Brasil são poucas as investigações voltadas para a definição de padrões de referência em plantas. Destaca-se o trabalho de França (2006), que identificou espécies de plantas acumuladoras de elementos químicos da Mata Atlântica, reportando a concentração máxima e mínima para diferentes elementos químicos (Tabela 2). Para a Caatinga, destaca-se o estudo de Silva Filho (2018), que investigou a concentração de elementos terras raras (ETR) em plantas das caatingas e da Mata Atlântica, realizando a identificação de espécies acumuladoras. Na Tabela 2, são apresentados os valores de ETR reportados por Silva Filho (2018) para plantas das caatingas.

A definição de valores de referência para a distribuição de elementos químicos em ecossistemas naturais é essencial para países que possuem uma ampla biodiversidade como o Brasil, pois estes conhecimentos contribuem para a detecção e monitoração de impactos ambientais (FRANÇA, 2006). No Brasil, alguns estudos foram realizados para a obtenção de padrões de referência ambientais, com a maioria estando direcionados para a Mata Atlântica (FRANÇA et al., 2004; ELIAS et al., 2006; ELIAS et al., 2008; FRANÇA et al., 2010; FRANÇA et al., 2011; ARAÚJO et al., 2012), sendo poucos aqueles voltados para a caracterização da vegetação das caatingas. Além disso, a gama de elementos químicos determinados pode ser restrita, focando-se, principalmente, em alguns elementos químicos específicos essenciais para as plantas como Ca, Cu, K, Fe, Mn, N, Ni, P e Zn, por exemplo.

2.6 Contaminação na superfície de folhas

Conforme abordado no tópico anterior, as folhas representam um dos órgãos da planta mais importante em estudos sobre acumulação de elementos químicos, por estarem expostas as alterações das condições ambientais, realizando a interceptação de substâncias e apresentando tendência em acumular elementos químicos (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007; FRANÇA et al., 2010). Deve-se considerar também que as folhas interceptam partículas de poeira (terra ressuspendida). Esta poeira pode ficar aderida na superfície externa das folhas e caso este material não seja removido, pode influenciar na concentração de muitos elementos químicos, obtendo concentrações acima das esperadas, principalmente para os elementos químicos terrígenos (MARKERT, 1995; FERRARI et al., 2006; KARDEL et al., 2018).

Nos trabalhos envolvendo análise de plantas, a influência da contaminação nas superfícies das folhas é um fato conhecido e bastante preocupante, podendo constituir uma das

principais fontes de erro. Dependendo dos objetivos da pesquisa, ocorre a necessidade da utilização de elementos químicos traçadores ou de procedimentos de lavagem do material biológico a ser analisado para evitar que a contaminação na superfície influencie nos resultados das concentrações de elementos químicos, contudo, a lavagem das folhas apenas com água pode não ser suficiente (ARAÚJO, 2009; KARDEL et al., 2018).

Para a obtenção de material vegetal livre de contaminação, a limpeza utilizando água e detergentes apropriados vem sendo recomendada, pois retiram contaminantes depositados nas folhas, sem promover a lixiviação de elementos químicos endógenos. Um dos métodos sugeridos para a limpeza das folhas para análise é a combinação de detergente aniônico Alconox 1% com baixa concentração de impurezas, solução 0,01 M de ácido etileno-diamino-tetracético – EDTA, seguido de água bidestilada para a remoção do resíduo (MARKERT, 1995).

A utilização de elementos químicos traçadores, como Al, Fe, Hf, Sc e Th, também podem auxiliar nesta problemática da contaminação na superfície das folhas. As concentrações de elementos químicos Al, Fe, Hf, Sc, Th, U e lantanídeos mostram-se enriquecidas nos compartimentos vegetais de ecossistemas tropicais, devido as partículas de terra aderidas às folhas (FRANÇA et al., 2002; FRANÇA et al., 2003), em alguns casos pode inviabilizar a utilização destes resultados. Logo, a determinação de algum destes elementos químicos traçadores pode auxiliar no rastreamento e correção da contaminação das folhas.

Na Mata Atlântica, diversas espécies arbóreas foram testadas quanto às mudanças decorrentes da lavagem de folhas com detergentes (FERRARI et al., 2006; FRANÇA, 2006; ELIAS et al., 2008). França (2006) testou dois procedimentos de lavagem, o primeiro com água de torneira, EDTA 0,01M e água bidestilada. No segundo experimento foi utilizado três tratamentos de lavagem: água de torneira (I), EDTA 0,01M + água bidestilada (II) e Alconox 1% + EDTA 0,01M e água bidestilada (III). Constatou-se que o primeiro procedimento de lavagem com EDTA foi suficiente para a retirada de partículas exógenas das folhas. Além disso, o autor verificou que a própria magnitude da concentração do elemento químico traçador pode ser indicativo da presença de terra, como acontece para Fe, em que se constatou que concentrações obtidas para Fe de até 100 mg/kg podem ser consideradas como endógenas das folhas, logo concentrações acima desse valor são indicativo de contaminação na superfície das folhas. Th e Sc também foram testados como traçador de terra aderida às folhas, com Th apresentando melhor desempenho como elemento traçador.

Ferrari et al. (2006) avaliaram os efeitos da contaminação na superfície das folhas de espécies da Mata Atlântica, realizando procedimentos de lavagem e avaliando Sc como traçador

de solo. Os autores concluíram que a lavagem com água de torneira, EDTA 0,01 M, seguida de água bidestilada, deve ser usada principalmente para a avaliação de elementos terrígenos, enquanto as concentrações corrigidas de Sc são consideradas satisfatórias para outros elementos químicos.

Os estudos de ciclagem e biomonitoração podem ser influenciados pelo material contaminante nas superfícies das folhas, ocasionando estimativas erradas nas concentrações dos elementos químicos. Neste contexto, observa-se a importância em avaliar a influência da contaminação na superfície das folhas a partir da utilização de elementos traçadores para corrigir os resultados ou por meio do emprego dos procedimentos de lavagens adequados.

2.7 Técnicas analíticas multielementares

Nos estudos ambientais, um dos principais requisitos na avaliação da qualidade ambiental é a determinação da distribuição de elementos químicos com nível metrológico adequado. Para esse tipo de estudo, as técnicas analíticas multielementares tornam-se importantes ferramentas, principalmente pelo fato destas técnicas possibilitarem a caracterização detalhada dos compartimentos estudados, envolvendo elementos químicos essenciais, traços e tóxicos (FRANÇA, 2006).

Mesmo utilizando técnicas analíticas mais modernas, a comparação quantitativa de dados analíticos para plantas, solos e tecidos animais são muitas vezes difíceis devido a diferentes preparações químicas das amostras, tornando-se necessário garantir a comparabilidade dos resultados com o emprego de métodos confiáveis e devidamente validados, utilizando-se, também, de materiais de referência certificados como instrumentos de controle da qualidade do procedimento analítico. Os materiais de referência são produzidos principalmente por agências internacionais, como a *International Atomic Energy Agency* (Agência Internacional de Energia Atômica) - IAEA, o *National Institute of Standards and Technology* (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia) - NIST e o *Bureau Communautaire de Référence* (Gabinete Comunitário de Referência) - BCR. Estes materiais de referência devem ser semelhantes à matriz original investigada e adequados para a padronização por conta dos métodos rígidos aplicados em sua produção para evitar a contaminação. Desta forma, o emprego de materiais de referência certificados e o uso de métodos confiáveis diminuem as incertezas dos dados analíticos, aumentando o nível metrológico das técnicas multielementares e favorecendo a comparabilidade dos estudos de monitoração ambiental (KANE, 2002; FRANÇA et al., 2004; FRANÇA, 2006; AKABULUT et al., 2014; TOLOSA et al., 2019).

Dentre as técnicas analíticas mais comumente empregadas para a caracterização de elementos químicos estão a Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF), a Espectrometria por Absorção Atômica (AAS) e a Espectrometria de Massas com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS). Essas técnicas analíticas podem ser utilizadas para quantificar uma ampla faixa de elementos químicos em matrizes ambientais, tanto biológicas como geológicas.

2.7.1 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF)

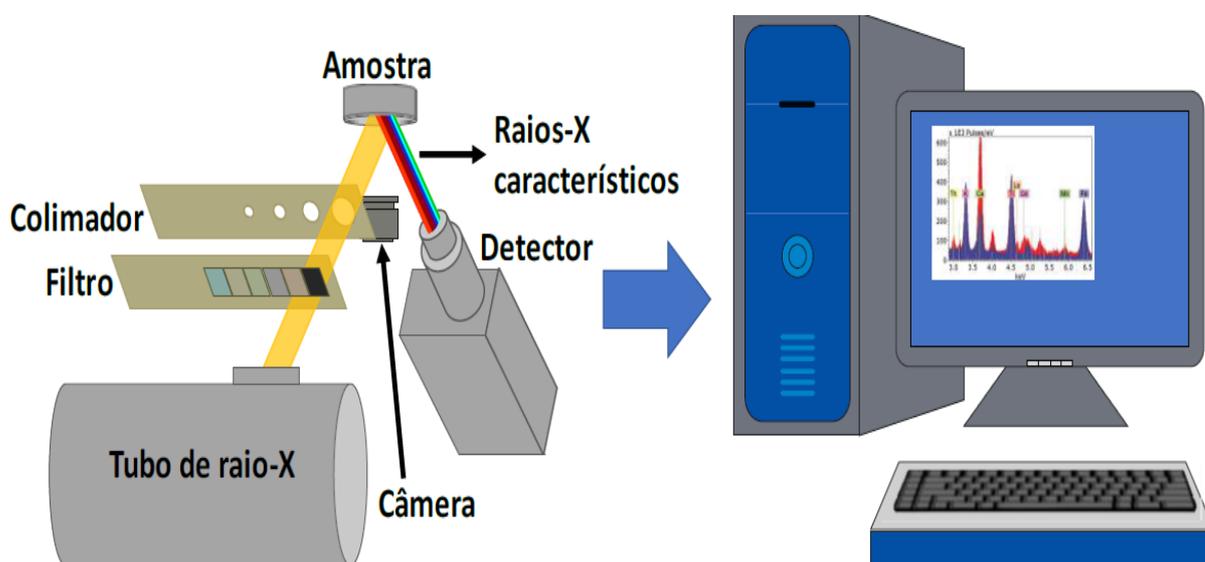
A Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (EDXRF) é uma técnica analítica multielementar com potencial para quantificar elementos químicos em diferentes matrizes ambientais, como por exemplo, água (JOSHI et al., 2006), vegetação (MARGUÍ et al., 2005; SOUSA et al., 2013b; LIRA, 2020), líquens (FERNÁNDEZ et al., 2016), moluscos (MÉLO, 2019), insetos (MAGALHÃES, 2015) e solo (ANJOS et al., 2002; FERNÁNDEZ et al., 2017; FERNÁNDEZ et al., 2022).

As vantagens desta técnica estão relacionadas às análises rápidas, à simplicidade no tratamento das amostras (técnica não destrutiva e sem uso de reagentes), à análise elementar simultânea, ao design compacto, ao baixo custo e à alta eficiência. Por outro lado, as principais desvantagens incluem os altos limites de detecção (10 mg/kg para alguns elementos químicos) e efeitos de matriz (SOUSA et al., 2013b; FERNÁNDEZ et al., 2017). Embora alguns sistemas de análise possam incluir procedimentos de correção de efeito de matriz, dispositivo de atmosfera a vácuo e filtros primários para aumentar a sensibilidade das análises, é indispensável a obtenção de curvas analíticas estabelecidas com matérias de referência certificados para a maior aplicabilidade da EDXRF (BROUWER, 2010; FERNÁNDEZ et al., 2017).

O conceito básico para o EDXRF baseia-se na propriedade de que cada elemento químico quando excitado, emite raios-X com energia característica (SOUSA et al., 2013b). O equipamento envolve uma fonte de radiação, nas quais amostras são posicionadas na direção do feixe de raio-X, excitando os elétrons dos elementos químicos constituintes da amostra, que por sua vez, emitem raios-X em linhas características com energias específicas de cada elemento químico a ser medido pelo detector semicondutor de alta resolução. O detector produz pulsos eletrônicos proporcionais às energias e às intensidades dos raios-X, sendo posteriormente amplificados para a obtenção dos espectros (Figura 5). Os detectores mais empregados são o de silício ativado com lítio – Si(Li) e o de germânio hiperpuro - HPGe (MARGUÍ et al., 2005; SOUSA et al., 2013b; MAGALHAES, 2015).

A técnica requer padronização adequada dos parâmetros para cada rotina experimental, com a finalidade de se obter uma maior precisão na análise do material, principalmente para amostras biológicas, cuja variedade de matrizes e composições químicas são relativamente grandes. Apesar das limitações, é possível obter resultados com incertezas analíticas menores que as técnicas monoelementares (FERNÁNDEZ et al., 2017; MÉLO, 2019).

Figura 5 – Esquema representativo de funcionamento de um espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia - EDXRF



Fonte: Mélo (2019)

O EDXRF vem demonstrando ser uma ferramenta efetiva para determinar diversos elementos químicos de relevância ambiental. Por exemplo, Fernández et al. (2017; 2022) confirmaram ser uma técnica confiável para quantificar elementos químicos em solos e sedimentos, como os elementos terrígenos (Al, Fe, Si e Ti), incluindo nutrientes (Ca, Fe, K, Mg, Mn, Ni e Zn) e poluentes (Mn, Ni, Pb e Zn), dependendo das magnitudes das concentrações. Souza et al. (2013b) construíram curvas analíticas multielementares de alto rigor analítico para a análise de matrizes biológicas, indicando que Mg, P, Cl, Mn, Fe, Cu, Zn e Sr podem ser determinados por EDXRF. Nos estudos de Marguí et al. (2005), a técnica provou ser uma ferramenta eficaz para a determinação de metais em plantas, sendo aplicado para análise de K, Ca, Mn, Fe, Cu, Sr, Pb e Zn. A técnica também foi eficiente para quantificar Ca, K, Mg e P em solos e plantas (folhas e galhos) das caatingas (SANTOS, 2020; SILVA, 2020).

Mesmo o EDXRF apresentando uma ampla aplicabilidade como ferramenta de monitoração ambiental, esta técnica apresenta algumas limitações na determinação de alguns analitos (alto limite de detecção e efeito de matriz), tornando-se necessário a utilização de técnicas analíticas em que as amostras necessitam de tratamento químico para obtenção de soluções aquosas.

2.7.2 Espectrometria de Absorção Atômica (AAS)

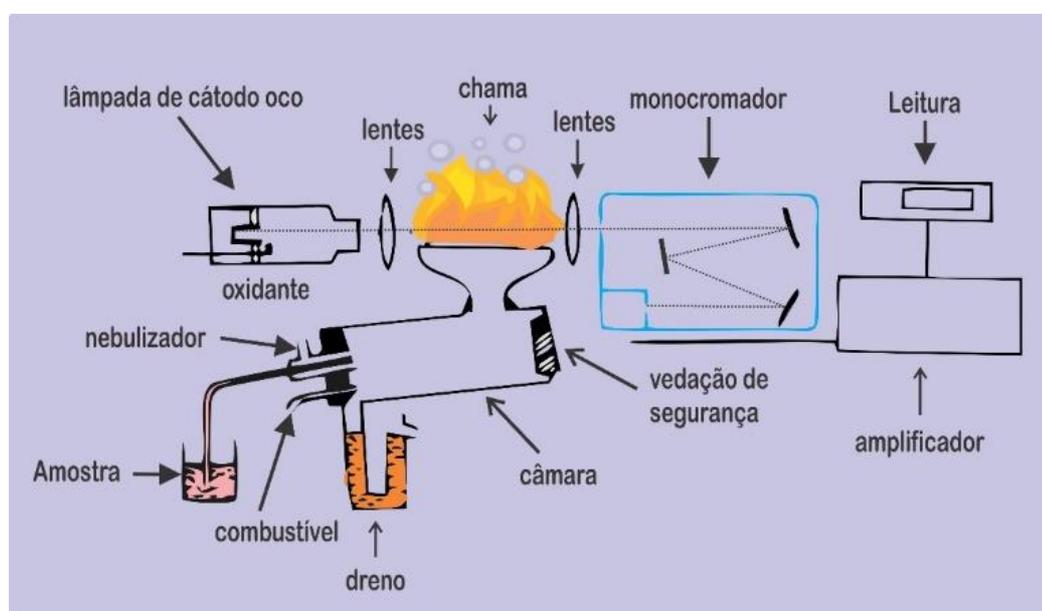
A Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) tem como princípio a determinação quantitativa de elementos químicos baseadas na absorção da radiação por átomos livres no estado gasoso, sendo que a quantidade de radiação absorvida normalmente está relacionada com a concentração dos átomos no estado fundamental (WELZ; SPERLING, 1999; KRUG et al., 2006). Esse fenômeno é empregado para a quantificação de elementos químicos (metais, semi-metais e alguns não metais) em uma ampla gama de solução de amostras, como em materiais biológicos (organismos, tecidos, fluídos), matrizes ambientais (plantas, água, solos e sedimentos) assim como em alimentos (KRUG et al., 2006). Entretanto, para serem analisadas, as amostras precisam passar por um tratamento químico por meio de solubilização ácida (digestão), sendo necessário maior tempo para a realização das análises e obtenção dos resultados. A etapa de digestão pode levar poucos minutos ou até mesmo alguns dias dependendo da complexidade da matriz (BARNES et al., 2014).

Os componentes básicos de um espectrômetro de absorção atômica incluem uma fonte de radiação luminosa, sistema de atomização, conjunto monocromador, detector e processador. As lâmpadas de cátodo oco representam uma das fontes de radiação mais utilizadas nas medições. São construídas em um tubo de vidro preenchido com gás inerte, como por exemplo, o argônio, com eletrodos posicionados em uma das extremidades. Os eletrodos consistem em um ânodo de tungstênio ou zircônio e um cátodo confeccionado ou revestido com o próprio elemento químico de interesse (KRUG et al., 2006; NASCIMENTO, 2019).

Para a determinação de espécies químicas, as amostras devem ser nebulizadas e atomizadas, sendo que o atomizador é uma parte essencial da AAS. Neste dispositivo, são gerados os átomos gasosos no estado fundamental, que absorvem a radiação de comprimento de onda característico proveniente da fonte de radiação, e, conseqüentemente, a concentração do elemento químico de interesse pode ser determinada. Os dois tipos de atomizadores mais utilizados em AAS são a chama e o forno de grafite, com este sistema de introdução de amostras na célula de atomização sendo uma das principais diferenças entre as técnicas. Outra diferença

importante está relacionada à sensibilidade, a Espectrometria de Absorção Atômica com Chama - FAAS é a técnica mais indicada para análises químicas com concentrações na ordem de mg/L, enquanto a Espectrometria de Absorção Atômica com Atomização Eletrotérmica em Forno de Grafite - GFAAS é utilizada para determinações de concentrações na faixa de $\mu\text{g/L}$, sendo considerada uma técnica mais sensível (KRUG et al., 2006; NASCIMENTO, 2019). Um esquema de um Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama e seus principais componentes é mostrado na Figura 6. Na Figura 7, observa-se o sistema de atomização por forno de grafite GFAAS.

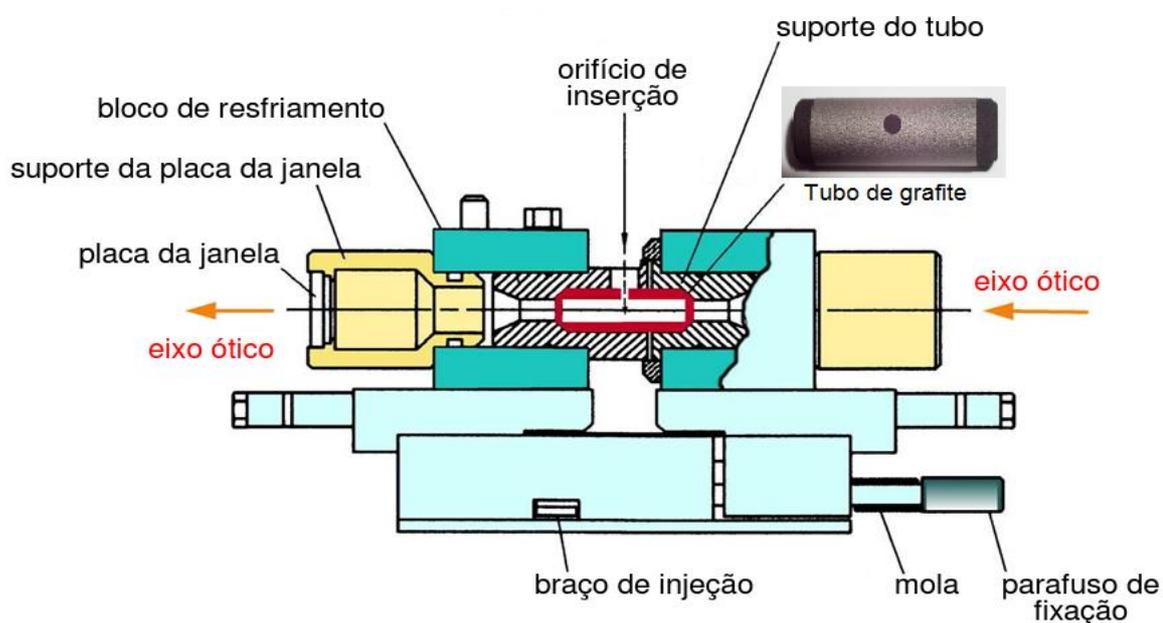
Figura 6 – Funcionamento de um Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama - FAAS



Fonte: Ferreira (2016).

Diversos elementos químicos podem ser analisados por AAS utilizando atomização por chama e forno de grafite. No trabalho de Tüzen (2003), Cu, Fe e Zn foram determinados em amostras de plantas usando FAAS, e devido aos limites de detecção, Cd, Pb, Co, Cr, Mn e Ni foram determinados por GFAAS. Coşkun et al. (2006), estudaram amostras de solo e determinaram Cu, Co, Mn, Ni e Zn por FAAS, já por GFAAS, determinaram As, Cd e Pb. FAAS também foi empregada para determinar Ca e Mg (BAŞGEL; ERDEMOĞLU, 2006), além de Al, Ca, Mg e Mn (COSTA et al., 2002), em ervas e folhas de chá, respectivamente. GFAAS também foi utilizada na análise de V (AMBROZINI et al., 2009), Cr, Ni, Pb e Cd (CEJNER et al., 2016), Fe, Cu, Ni, Co e Cd (CARDOSO et al., 2017), As, Ni e Pb (LIRA, 2020), em amostras de plantas e solo.

Figura 7 – Representação do sistema de atomização do Espectrômetro de Absorção Atômica com Atomização Eletrotérmica em Forno de Grafite - GFAAS



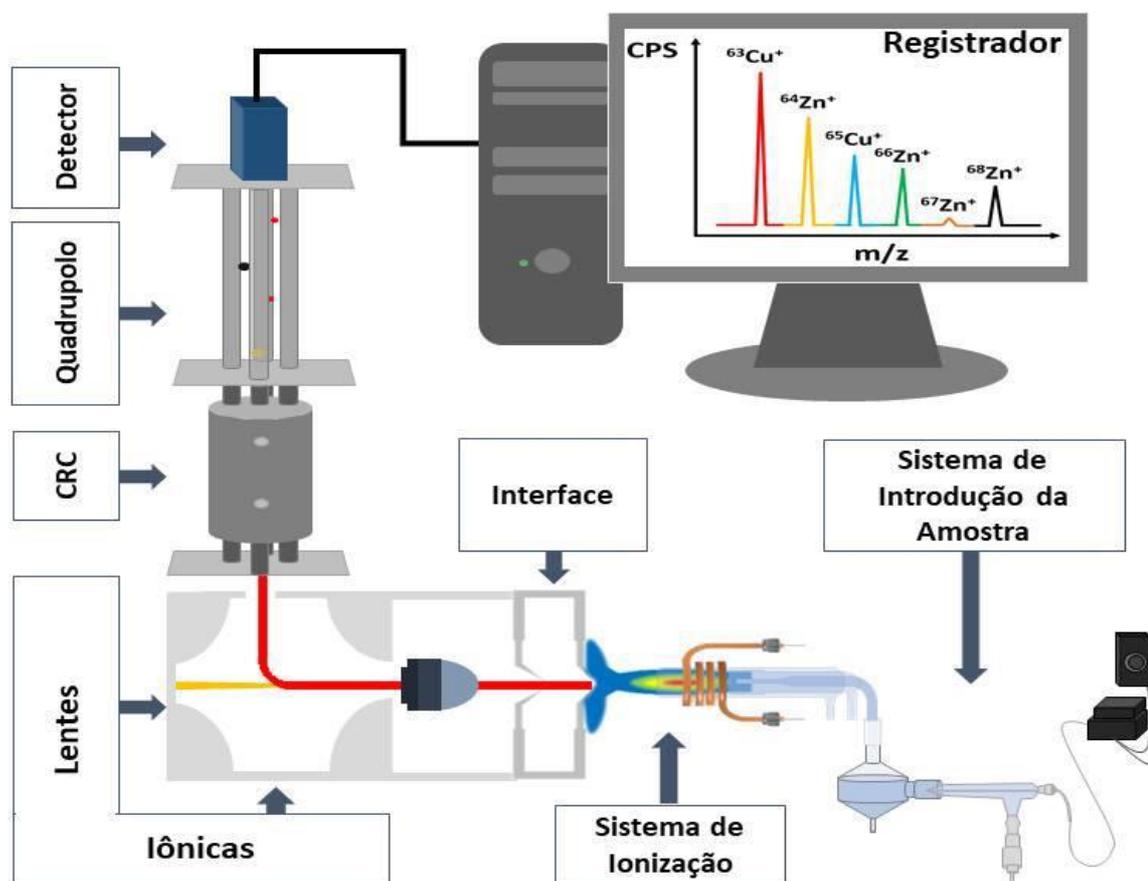
Fonte: Adaptado de Kauer (2008).

2.7.3 Espectrometria de Massa Com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS)

A Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS) é uma técnica analítica versátil e robusta, bastante utilizada na determinação de elementos químicos em muitas áreas, incluindo matrizes ambientais, geoquímicas, segurança alimentar, nuclear, controle de qualidade, agricultura, em aplicações nas áreas médicas e farmacêuticas (BECKER, 2002; OHTA et al., 2022).

O equipamento de ICP-MS usa o plasma de argônio indutivamente acoplado como fonte de excitação para atomizar e ionizar as amostras. A amostra na forma líquida é bombeada por uma bomba peristáltica para dentro do nebulizador, sendo, então, convertida em aerossol que é produzido durante a passagem do nebulizador com auxílio de um fluxo de gás argônio. Em seguida, o feixe de íons produzidos no plasma é transferido para o detector em um campo eletrostático controlado dentro de um vácuo dinamicamente crescente. O separador do tipo quadrupolo permite que os íons do analito de uma razão massa carga (m/z) em particular atravessem o detector, ao mesmo tempo em que filtra o que não for analito (íons interferentes e da matriz). O sinal eletrônico gerado é, então, processado e convertido em concentração do elemento químico, a partir do estabelecimento de curvas analíticas (BECKER, 2002; SKOOG et al., 2002). Na Figura 8, observa-se o esquema geral de funcionamento de um ICP-MS.

Figura 8 – Esquema de funcionamento de um Espectrômetro de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente - ICP-MS



Fonte: Nogueira, (2023)

A técnica é considerada uma das mais importantes para a determinação de elementos químicos devido aos baixos limites de detecção, apresentando limites semelhantes ou melhores do que os obtidos por outras técnicas analíticas como FAAS e GFAAS. É bastante sensível, capaz de detectar elementos traços na ordem de partes por bilhão, ou em concentrações ainda menores (partes por trilhão). Apresenta também uma expressiva capacidade de determinar diversos elementos químicos quase que simultaneamente, com a capacidade de determinação de aproximadamente 80 elementos da tabela periódica, além de ser empregada em determinações isotópicas (BECKER, 2002; NOGUEIRA, 2023). Uma das limitações desta técnica está relacionado a ocorrência de interferências matriciais, necessitando uma criteriosa seleção das condições de calibração (SKOOG et al., 2002).

O ICP-MS é certamente a técnica mais promissora para a determinação de elementos traços e terras raras em amostras ambientais (MASSON; DALIZ; 2016). Por exemplo, no

trabalho de Masson e Daliz (2016) foi desenvolvido um procedimento analítico confiável para determinar elementos terras raras em amostras de plantas, demonstrando aplicabilidade da espectrometria por ICP-MS desde que as inferências da matriz sejam corrigidas. Bayon et al. (2009) apresentaram um método revisado para determinar concentrações de terras raras e outros elementos químicos (Y, Sc, Zr, Ba, Hf, Th) em amostras geológicas. Silva Filho (2018) determinou La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc e Y em folhas de plantas e solos das caatingas e da Mata Atlântica. Outros trabalhos relatam o uso do ICP-MS na determinação dos seguintes elementos químicos: V, As, Co, Hg, Cd, Mo, Sn, Ba, Be, Cr, Ni, Pb, Cu e Zn, em solos e sedimentos (FALCIANI et al., 2000); Rb, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Ta, Pb, Th e U, em materiais de referência basálticos (NAVARRO et al., 2008); Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr e Pb, em plantas (TOKALIOĞLU, 2012) e Cd, Pb, Al, As, Ba, Ni e Sb em matrizes geológicas e em plantas (FILIPIAK-SZOK et al., 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu em parcelas permanentes localizadas no Parque Nacional do Catimbau, instaladas no âmbito do Projeto Ecológico de Longa Duração Sítio Parque Nacional do Catimbau (PELD – Catimbau, www.peldcatimbau.com.br). As amostras de folha foram cedidas pela equipe do pesquisador Marcelo Tabarelli, Professor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e coordenador do PELD Catimbau (PRONEX/FACEPE/CNPq). Foram selecionadas 114 espécies de plantas, totalizando 504 amostras de folhas para determinação dos seguintes elementos químicos: alumínio (Al), arsênio (As), boro (B), cálcio (Ca), cádmio (Cd), cloro (Cl), cobalto (Co), cromo (Cr), ferro (Fe), potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), fósforo (P), chumbo (Pb), enxofre (S), antimônio (Sb), estrôncio (Sr), tório (Th), urânio (U), vanádio (V), zinco (Zn), e elementos terras raras: cério (Ce), disprósio (Dy), érbio (Er), európio (Eu), gadolínio (Gd), hólmio (Ho), lantânio (La), lutécio (Lu), neodímio (Nd), praseodímio (Pr), samário (Sm), térbio (Tb), túlio (Tm) e itérbio (Yb). A quantificação destes elementos químicos foi realizada pela combinação das técnicas analíticas Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia – EDXRF, Espectrometria de Absorção Atômica – FAAS/GFAAS e Espectrometria de Massas com Plasma Acoplado Indutivamente – ICP-MS, disponíveis no Serviço de Monitoração Ambiental do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste – SEAMB/CRCN-NE e aplicadas de acordo com a rotina das análises químicas.

3.1 Área de estudo

O PARNA Catimbau está localizado no agreste do Estado de Pernambuco (coordenadas geográficas: latitude 8°24'00" e 8°36'35" S; longitude 37°0'30" e 37°1'40" O) e abrange uma área de 607 km² de vegetação do tipo caatinga (ARNAN et al., 2018). De acordo com a classificação de Köppen, é predominante o clima semiárido Bsh, com algumas áreas distintas de clima tropical chuvoso As' (PEEL et al., 2007). A temperatura média anual é 25°C, com precipitação média anual variando de 480 mm a 1100 mm e grande irregularidade no regime interanual (RITO et al., 2017). O parque apresenta vários tipos de solos, destacando-se o tipo arenoso (Areia Quartzosa: aproximadamente 70%), fortemente ácidos e com baixa fertilidade (ARNAN et al., 2018; BARROS, 2018).

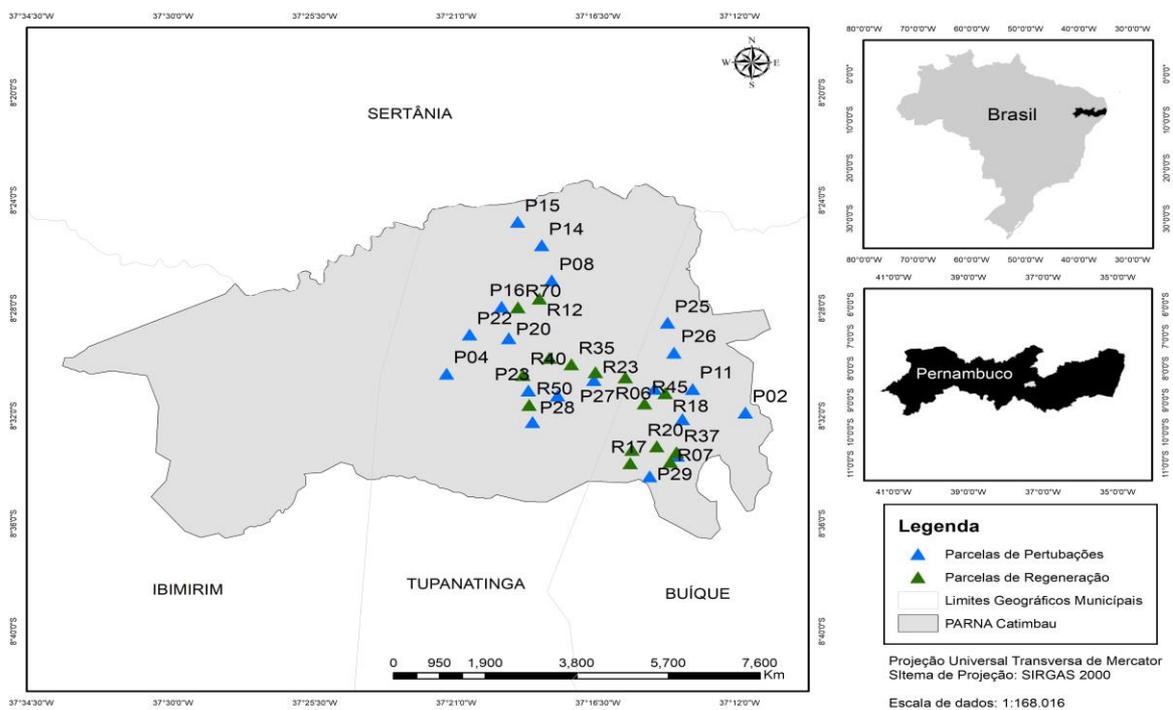
O Parque Nacional do Catimbau consiste em um mosaico de áreas em regeneração natural com diferentes históricos de uso da terra e de perturbações antrópicas, fornecendo meios

de subsistência para mais de 400 famílias (agricultores e comunidades indígenas), que ainda vivem dentro da unidade a partir da agricultura de subsistência (agricultura de corte-e-queima), criação de cabras e coleta de produtos florestais, como lenha, madeira e forragem (SILVA, 2020). A vegetação predominante é a floresta seca dominada por arbustos e árvores de baixa estatura, destacando-se as plantas lenhosas das famílias: Fabaceae, Euphorbiaceae e Boraginaceae (RITO et al., 2017; ARNAN et al., 2018).

3.2 Amostragem e preparação das amostras

O estudo foi desenvolvido em 34 parcelas de 20 x 50 m permanentes no PARNA Catimbau (instaladas no âmbito do projeto PELD-Catimbau), com distância mínima de 2 km entre elas (Figura 9). As parcelas estão divididas em dois grupos (Tabela 3): 15 parcelas distribuídas em áreas de regeneração natural, com diferentes idades de abandono (entre 4 e 70 anos), formando uma cronossequência espacial; e 19 parcelas que correspondem a um gradiente de perturbação crônica (por exemplo, sobrepastoreio, exploração de madeira e caça). No entanto, as áreas investigadas estão sob efeito de retirada de madeira e pastejo de bode, amplamente realizados na região (RITO et al., 2017; ARNAN et al., 2018; SANTOS, 2020).

Figura 9 – Mapa da área de estudo com a localização das parcelas no PARNA Catimbau



Fonte: O autor (2023).

Tabela 3 – Coordenadas geográficas das parcelas no PARNA Catimbau e a quantidade de amostras de folhas coletadas

Parcela	Número de amostras	Latitude	Longitude
P02	8	8° 31' 53"S	37° 11' 49"O
P04	24	8° 30' 26"S	37° 21' 18"O
P08	12	8° 26' 59"S	37° 17' 58"O
P10	12	8° 32' 07"S	37° 13' 48"O
P11	13	8° 31' 00"S	37° 13' 29"O
P14	17	8° 25' 40"S	37° 18' 17"O
P15	9	8° 24' 48"S	37° 19' 03"O
P16	13	8° 27' 57"S	37° 19' 33"O
P17	17	8° 33' 29"S	37° 13' 58"O
P20	21	8° 29' 07"S	37° 19' 20"O
P21	28	8° 31' 15"S	37° 17' 47"O
P22	17	8° 28' 59"S	37° 20' 34"O
P23	19	8° 31' 04"S	37° 18' 42"O
P25	17	8° 28' 33"S	37° 14' 17"O
P26	8	8° 29' 39"S	37° 14' 05"O
P27	15	8° 30' 41"S	37° 16' 37"O
P28	17	8° 32' 14"S	37° 18' 34"O
P29	21	8° 34' 15"S	37° 14' 51"O
P30	27	8° 30' 60"S	37° 14' 42"O
R04	12	8° 33' 16"S	37° 15' 25"O
R06	6	8° 30' 34"S	37° 15' 37"O
R07	11	8° 33' 43"S	37° 14' 12"O
R10	12	8° 29' 51"S	37° 18' 02"O
R12	9	8° 27' 39"S	37° 18' 21"O
R17	17	8° 33' 46"S	37° 15' 28"O
R18	6	8° 31' 09"S	37° 14' 21"O
R20	21	8° 33' 08"S	37° 14' 37"O
R23	12	8° 30' 23"S	37° 16' 35"O
R35	15	8° 30' 05"S	37° 17' 20"O
R37	19	8° 33' 21"S	37° 13' 60"O
R40	15	8° 30' 29"S	37° 18' 52"O
R45	14	8° 31' 32"S	37° 15' 01"O
R50	12	8° 31' 36"S	37° 18' 41"O
R70	8	8° 27' 58"S	37° 19' 02"O
Total	504	-	-

P - Parcelas em perturbação; R - Parcelas em regeneração.

Fonte: O autor (2023).

Os locais das parcelas apresentam uma variação na precipitação pluviométrica anual variando de 510 a 940 mm. As parcelas estudadas foram selecionadas com base em entrevistas com a população local realizadas pela Equipe do PELD-Catimbau, buscando conhecer o histórico de uso e a idade das áreas abandonadas, sendo estabelecidos três gradientes principais para seleção das parcelas: precipitação, perturbação crônica e tempo de abandono desde o último cultivo (RITO et al., 2017; ARNAN et al., 2018; BARROS, 2018).

No conjunto de 504 amostras investigadas neste trabalho, englobam-se 114 espécies de plantas de 30 famílias. As famílias mais representativas dentro do conjunto de amostras foram Fabaceae com 188 amostras e 32 espécies, seguido da família Euphorbiaceae com 94 amostras e 16 espécies de plantas. Demais famílias representativas com relação ao número de amostras foram Myrtaceae (31), Capparaceae (26), Bignoniaceae (21), Nyctaginaceae (19), Annonaceae (16), Erythroxylaceae (15), Burseraceae (11), Apocynaceae (10), Verbenaceae (10), entre outras famílias com menor representatividade dentro do conjunto de amostras, conforme pode ser observado no Apêndice A. A identificação das espécies foi realizada pela equipe do professor Marcelo Tabarelli utilizando a base de dados do PELD Catimbau, com ajuda de parataxonomistas e especialistas para alguns táxons.

As espécies lenhosas foram coletadas considerando indivíduos arbustivo-arbóreo tendo diâmetro na altura do solo maior ou igual a 3,0 cm e altura total maior ou igual a 1 m. Foram coletadas amostras compostas (3 a 4 indivíduos) por espécie em cada parcela, totalizando cerca de 10 a 20 gramas de folhas. A coleta foi realizada com auxílio de tesoura de poda, sendo considerado folhas sem danos por herbívoros, expostas ao sol e totalmente expandidas. Mais detalhes sobre a metodologia de coleta podem ser consultados em Santos (2020) e Silva (2020). O número de espécies coletadas (amostras compostas) em cada parcela variou de 6 a 28 amostras, totalizando 504 amostras compostas, conforme apresentado na Tabela 3.

Nos laboratórios da Central Analítica do Centro Regional de Ciências Nuclear do Nordeste - CRCN-NE, realizou-se a preparação e análise das amostras. As amostras de folha foram recebidas secas, contudo, um novo procedimento de secagem foi realizado em estufa de circulação forçada (TECNAL - TE 394/3) à 60 °C até peso constante. Posteriormente, as amostras foram cominuídas em moinho de bolas da Retsch modelo PM200 (material de moagem revestido em alumina) para a redução do tamanho das partículas ($\leq 0,5$ mm), garantindo a homogeneidade das amostras e evitando a contaminação com elementos químicos metálicos (Figura 10). As amostras foram armazenadas em sacos de polietileno para posterior tratamento químico e análise.

Figura 10 – Moinho planetário de bolas PM200 com detalhes dos vasos de moagem



Fonte: O autor (2023).

3.3 Análises químicas

As amostras de folha foram preparadas para realização das análises químicas de acordo com os procedimentos estabelecidos para cada técnica analítica a ser utilizada. A Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia – EDXRF foi utilizada neste trabalho para a quantificação dos elementos químicos Ca, Cl, Fe, K, Mg, Mn, P, S, Sr e Zn em folha, de modo não destrutivo. Porções analíticas independentes das amostras foram tratadas quimicamente por meio de solubilização ácida (digestão), conforme descrito na Seção 3.3.2. Após a digestão, as amostras foram analisadas por FAAS para quantificar Al e Fe; por GFAAS para determinar Al, As, Co, Cr, Ni e V e por ICP-MS para determinar B, Cd, Mo, Pb, Sb, Th, U e os lantanídeos Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm e Yb. O elemento químico Fe foi analisado por EDXRF e por FAAS com objetivo de avaliar a contaminação na superfície das folhas com material exógeno, conforme abordado no tópico 3.5.1.

3.3.1 EDXRF

Porções-teste de 0,5 g de cada amostra de folha (moída e homogeneizada) foram transferidas para tubos de polietileno vedados na parte superior e inferior com filme de polipropileno específico para análise química por EDXRF. O equipamento empregado nas análises foi o espectrômetro modelo EDX 720 da Shimadzu, com detector de Si(Li) (Figura 11).

Para o controle da qualidade do procedimento analítico por EDXRF, foram utilizados os materiais de referência certificados NIST-SRM-1547 *Peach Leaves*, NIST-SRM-1570a *Trace Elements in Spinach Leaves*, produzidos pelo *National Institute of Standard and Technology* (NIST). Os materiais de referência foram analisados com as amostras nas mesmas condições

analíticas. Antes da realização das análises foi realizada a verificação de calibração em energia e resolução do equipamento utilizando o padrão interno A-750, fornecido pelo fabricante, seguido pela verificação do procedimento empregando o padrão interno SUS.

Figura 11 – Equipamento EDX-720 da Shimadzu



Fonte: O autor (2023).

As análises foram realizadas em atmosfera a vácuo com pressão menor que 30 Pa e com tensões de 15 kV para elementos químicos leves (número atômico menor que 11) e 50 kV para os demais elementos químicos, conforme as condições analíticas da Tabela 4. A quantificação dos elementos químicos contidos na amostra foi realizada a partir de curvas analíticas construída por meio da análise de materiais de referência certificados de matriz biológica (SOUSA et al., 2013b).

Tabela 4 – Parâmetros utilizados nas análises por EDXRF

Analito	Voltagem (kV)	Corrente elétrica (μA)	Energia do fotopico (keV)	Filtro*
Ca	15	450	3,69	-
Cl	15	1000	2,62	Alumínio
Fe	50	80	6,40	Titânio
K	15	1000	3,31	Alumínio
Mg	15	450	1,25	-
Mn	50	80	5,89	Titânio
P	15	450	2,01	-
S	15	450	2,31	-
Sr	50	50	14,1	-
Zn	50	635	8,63	Prata

*A utilização de filtro reduz as possíveis interferências espectrais durante as análises.

Fonte: O autor (2023).

Após as quantificações dos analitos, os resultados de concentração de Ca, Cl, Fe, K, Mg, Mn, P, S, Sr e Zn das amostras de folha foram compilados em planilha Excel da Microsoft para o cálculo das concentrações em mg/kg e estimativa das incertezas analíticas associadas ao resultado (Seção 3.4.1).

Os resultados para os elementos químicos Ca, K, Mg e P obtidos por EDXRF foram disponibilizados para pesquisas do Projeto Ecológico de Longa Duração Sítio Parque Nacional do Catimbau (PELD Catimbau - PRONEX/FACEPE/CNPq), no âmbito da parceria estabelecida. Essas pesquisas estudaram a dinâmica e estoque de nutrientes nas florestas de caatingas do PARNA Catimbau (SANTOS, 2020; SILVA, 2020). Entretanto, os resultados para estes elementos químicos também foram reportados neste trabalho, sendo abordado em uma temática diferente, com a finalidade de identificar espécies acumuladoras de elementos químicos.

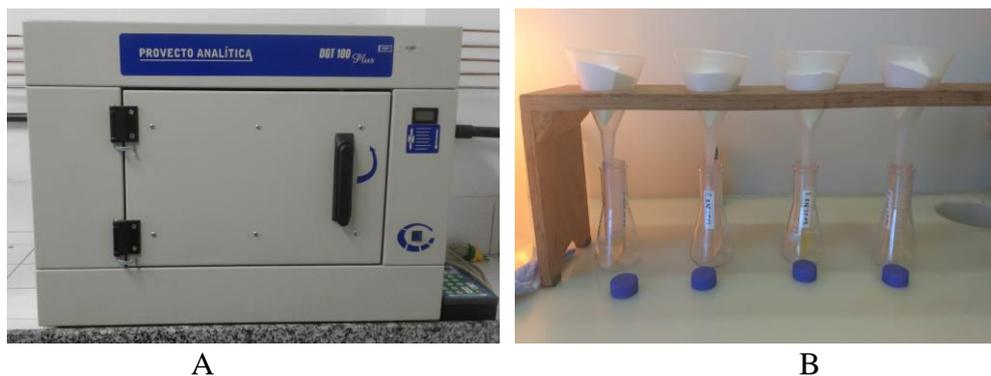
3.3.2 Tratamento químico de amostras para FAAS, GFAAS e ICP-MS

O tratamento químico (digestão) das amostras de folha foi realizado utilizando ácido nítrico (HNO_3) e forno digestor, com base no protocolo analítico da USEPA 3051A (ELEMENT, 2007). Para o controle da qualidade do procedimento analítico foram utilizados os materiais de referência certificados SRM-1515 *Apple Leaves* e SRM-1573a *Tomato Leaves*, produzidos pelo NIST. Porções analíticas das amostras de folha e materiais de referência foram submetidos aos mesmos procedimentos de tratamento e análise, assim como os brancos analíticos contendo apenas os reagentes. As etapas do procedimento estão descritas abaixo:

- Porções-testes de aproximadamente 0,5 g de amostras de folhas foram transferidos para tubos de teflon;
- Em seguida, foi adicionado 9 mL de HNO_3 (ácido nítrico ~65%) destilado, para solubilização das amostras;
- Posteriormente, os tubos foram transferidos para o sistema digestor de amostras, modelo DGT 100 Plus da Provecto Analítica (Figura 12-A) com uma programação de potência de 220 W por 5 minutos, aumentando-se para 430 W por 10 minutos, seguido de resfriamento por 10 minutos (potência de 0 W);
- Após 30 minutos aproximadamente, as amostras foram filtradas (papel de filtro quantitativo) em capela de exaustão (Figura 12-B) e acondicionadas em tubos falcon;

- O volume final das amostras foi completado até 20 mL com uma solução a 2% de ácido nítrico destilado em água ultrapura (Milli-Q - resistividade de $18,2 \text{ M}\Omega \times \text{cm}$ à $25 \text{ }^\circ\text{C}$);
- Os tubos com as soluções obtidas foram acondicionados em geladeira até a realização das análises químicas.

Figura 12 – Sistema digestor de amostras, modelo DGT 100 Plus da Provecto Analítica (A). Filtração das amostras e armazenamento nos tubos Falcon (B)



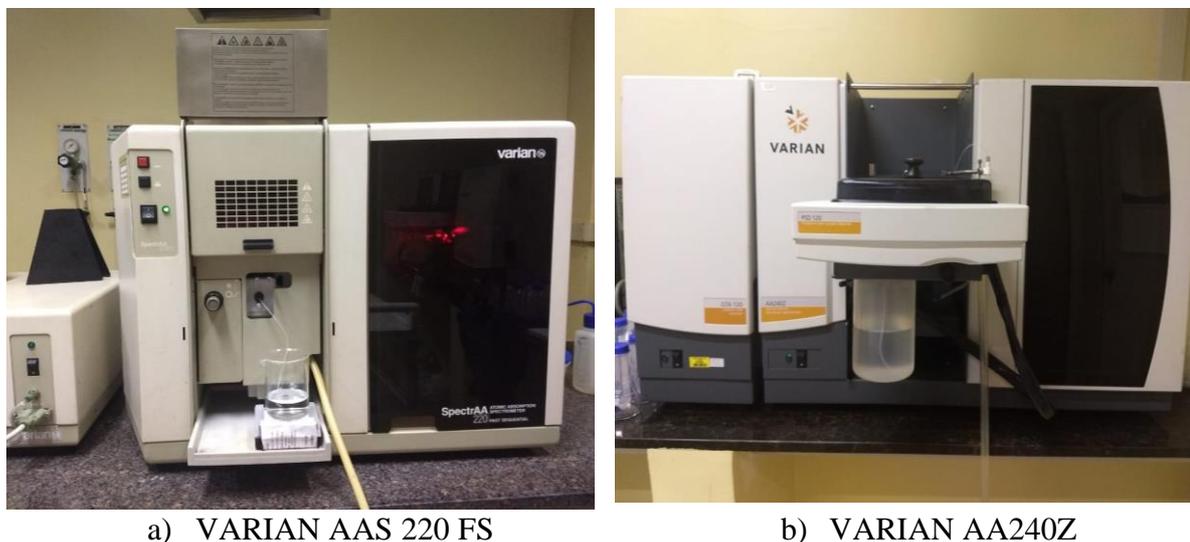
Fonte: O autor (2023).

3.3.3 Análise por FAAS e GFAAS

A quantificação dos elementos químicos Al e Fe por FAAS e dos elementos Al, As, Co, Cr, Ni e V por GFAAS, nas amostras de folhas, materiais de referência e brancos analíticos foram realizadas por meio do Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama da marca VARIAN AAS 220 FS e do Espectrômetro de Absorção Atômica VARIAN AA240Z com Atomização Eletrotérmica em Forno de Grafite GTA 120, respectivamente (Figura 13). Soluções-padrão (Merck) foram empregadas para a obtenção dos padrões internos para as curvas analíticas de acordo com os elementos químicos a serem determinados. As condições analíticas para cada elemento químico investigado estão descritas nas Tabelas 5 e 6. Detalhes da metodologia podem ser consultados em Nascimento (2019).

As análises para a determinação do elemento químico Al foram divididas em dois lotes por questões operacionais dos equipamentos. As análises foram iniciadas pelo forno de grafite (GFAAS), visto que, na época, devido às limitações orçamentárias provocadas pela pandemia do COVID-19, não se tinha o gás óxido nitroso para realização das análises por chama (FAAS). Posteriormente, por meio de parcerias com outros grupos de pesquisa foi possível adquirir o óxido nitroso, e conseqüentemente realizar a finalização das análises por FAAS, por ser mais viável em termos de tempo e recurso.

Figura 13 – (a) Espectrofotômetro de chama VARIAN AAS 220 FS e (b) Espectrofotômetro de Absorção Atômica VARIAN AA240Z (Zeeman) com forno de grafite GTA 120



a) VARIAN AAS 220 FS

b) VARIAN AA240Z

Fonte: O autor (2023).

Tabela 5 – Parâmetros utilizados nas análises por FAAS

Analito	Corrente (mA)	Comprimento de onda (nm)	Diâmetro da janela (nm)	Supressor de ionização	Gás combustível/Oxidante	Faixa de concentração (mg/kg)
Al	8	309,3	0,5	2000 ug/mL de K	Acetileno/oxido nitroso	0 - 60
Fe	5	248,3	0,2	-	Acetileno/ar	0 - 15

Fonte: O autor (2023).

Tabela 6 – Parâmetros utilizados nas análises por GFAAS

Analito	Comprimento de onda (nm)	Modificador de matriz	Amostra (µL)	Temperatura de atomização (°C)	Faixa de concentração (ug/kg)
Al	309,3	-	20	2500	0 - 270
As	193,7	Ácido ascórbico (2%); solução de Pd (500 mg/L)	20	2700	0 - 20
Co	242,5	-	20	2300	0 - 50
Cr	357,9	Ácido ascórbico (2%); solução de Pd (500 mg/L)	20	2600	0 - 50
Ni	232,0	-	15	2400	0 - 60
V	318,5	-	20	2700	0 - 60

Fonte: O autor (2023).

3.3.4 Análise por ICP-MS

Os elementos químicos B, Cd, Mo, Pb, Sb, Th, U e lantanídeos Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm e Yb, das soluções das amostras de folhas, materiais de referência e brancos analíticos foram analisados por ICP-MS, empregando o equipamento NexION 300 ICP-MS, PerkinElmerSCIEX (Figura 14). Soluções-padrão Merck foram empregadas para a obtenção das curvas analíticas entre 0 e 150 $\mu\text{g/L}$. Os isótopos de cada elemento químico investigado podem ser consultados na Tabela 7.

Figura 14 - Equipamento NexION 300, PerkinElmerSCIEX (ICP-MS)



Fonte: O autor (2023).

Antes das análises químicas, uma solução contendo 1 $\mu\text{g/L}$ de Be, Ce, Fe, In, Li, Mg, Pb e U foi empregada para os ajustes na otimização das configurações do equipamento. Por meio desse procedimento foram ajustados os parâmetros: potência, fluxo do gás de nebulização, fluxo do gás auxiliar, fluxo do gás refrigerante, temperatura de resfriamento, temperatura de aquecimento, potencial de viés do quadrupolo e voltagem do multiplicador, conforme apresentados na Tabela 8. Simultaneamente, foi verificada a razão de CeO/Ce para limitar o valor em 2,5%. Detalhes da metodologia podem ser consultados em Silva Filho (2018).

Tabela 7 – Analitos e respectivos isótopos analisados por ICP-MS

Analito	Isótopo	Abundância (%)
B	¹¹ B	80,10
Cd	¹¹¹ Cd	12,86
Mo	⁹⁸ Mo	15,92
Pb	²⁰⁸ Pb	52,40
Sb	¹²¹ Sb	57,21
Th	²³² Th	100
U	²³⁸ U	99,27
La	¹³⁹ La	99,91
Ce	¹⁴⁰ Ce	88,45
Pr	¹⁴¹ Pr	100
Nd	¹⁴⁴ Nd	23,80
Sm	¹⁵² Sm	26,75
Eu	¹⁵³ Eu	52,19
Gd	¹⁵⁸ Gd	24,84
Tb	¹⁵⁹ Tb	100
Dy	¹⁶¹ Dy	18,89
Ho	¹⁶⁵ Ho	100
Er	¹⁶⁷ Er	22,87
Tm	¹⁶⁹ Tm	100
Yb	¹⁷³ Yb	16,13
Lu	¹⁷⁵ Lu	97,41

Fonte: O autor (2023).

Tabela 8 – Condições operacionais do ICP-MS

Parâmetros	Valores
Fluxo de gás do nebulizador	1,01 L/min
Fluxo de gás auxiliar	1,00 L/min
Gás do plasma	18,00 L/min
Potência do ICP RF	1470 W
Tensão da fase analógica	-1642 W
Tensão da fase de pulso	848 V
Leitura/varredura	60
Leituras	1
Replicatas	3
Detector	Analógico
Modelo de digitalização	Altura do pico

Fonte: O autor (2023).

Após as quantificações dos analitos, os resultados de concentração de elementos químicos das amostras de folha foram compilados em planilha Excel da Microsoft para o cálculo das concentrações em mg/kg e estimativa das incertezas analíticas associadas ao resultado.

3.4 Controle de qualidade do procedimento analítico

Em laboratórios de análise química é essencial que existam procedimentos para garantir resultados confiáveis e adequados. Para priorizar a qualidade do procedimento analítico, em todo processo de tratamento químico das amostras foram empregados água ultrapura Milli-Q (resistividade 18,5 M Ω cm à 25 °C) e ácido nítrico com alto grau de pureza, após destilação em sub ebulição (*sub-boiling*). As vidrarias, frascos de plásticos e demais materiais foram descontaminados por imersão em solução de detergente Extran neutro 5% por 24 horas, enxaguando-se com água destilada e, posteriormente, imersos em solução aquosa de ácido nítrico a 10% por 24 horas e enxaguados com água ultrapura. As pesagens de amostras secas foram realizadas em balança analítica da Gehaka (AG200), enquanto, para o preparo de soluções e diluições, empregou-se a balança analítica da Celtac (FA2104N), balanças com precisão de quatro casas, que foram devidamente verificadas a partir de pesos certificados pelo fabricante. As soluções foram preparadas, utilizando-se micropipetas automáticas calibradas com ponteiros descartáveis.

Com auxílio do Excel da Microsoft foram calculadas as incertezas analíticas relacionadas as análises de quantificação de elementos químicos e o Número E_n para comprovar a qualidade do procedimento analítico.

3.4.1 Incerteza analítica

A incerteza analítica é o parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser atribuídos ao mensurando (VIM, 2012). A estimativa das incertezas analíticas das técnicas espectrométricas empregadas neste trabalho (EDXRF, FAAS, GFAAS e ICP-MS), foram obtidas a partir da combinação das incertezas relativas à precisão (repetições analíticas) e à exatidão (desvio com relação aos materiais de referência analisados), conforme o EURACHEM / CITAC Guide CG (ELLISON; WILLIAMS, 2012). As incertezas analíticas foram expandidas em nível de 95% de confiança.

3.4.2 Qualidade do procedimento analítico – Número E_n

A partir dos resultados analíticos e incertezas dos materiais de referência analisados nas técnicas empregadas, Número E_n foi calculado para comprovar a qualidade dos procedimentos analíticos de acordo com a norma ISO 13528 (2005). O número é calculado pela diferença entre o valor obtido na análise da amostra e o valor certificado, dividido pela raiz quadrada da soma quadrática das incertezas analíticas expandidas, conforme Equação 1. A faixa adequada para os resultados de cada analito é no intervalo -1 e 1, indicando qualidade do procedimento analítico em nível de confiança de 95%.

$$E_n = \frac{V_{obt} - V_{ref}}{\sqrt{U_{obt}^2 + U_{ref}^2}} \quad (1)$$

em que,

- V_{obt} = valor obtido da concentração do elemento químico no material de referência analisado (mg/kg);
- V_{ref} = valor de referência da concentração do elemento químico constante do certificado de análise do material de referência analisado (mg/kg);
- U_{obt} = incerteza expandida em nível de 95% de confiança do valor obtido (mg/kg);
- U_{ref} = incerteza expandida em nível de 95% de confiança do valor de referência (mg/kg).

3.5 Análise dos resultados

Os resultados foram analisados com auxílio de planilhas do Excel da Microsoft e o software STATISTIC 10 (STATSOFT, 2011), sendo realizada a estatística descritiva (média, mediana, coeficiente de variação, máximo e mínimo), cálculo dos quantis (25% e 75%), confecções de gráficos e tabelas para auxiliar na avaliação da influência da contaminação na superfície das folhas, para comparar os resultados com valores de referência e avaliar a bioacumulação de elementos químicos em espécies de plantas das caatingas.

3.5.1 Avaliação da contaminação na superfície das folhas

A presença de material exógeno na superfície das folhas eleva as concentrações endógenas de muitos elementos químicos, podendo inviabilizar a utilização destes resultados, principalmente para elementos químicos terrígenos (MARKERT, 1995). Esta problemática poderia ser resolvida por meio de procedimentos de lavagem nas folhas ou pela utilização de elementos químicos traçadores para rastrear e corrigir a contaminação. Mais detalhes podem ser consultados no tópico de revisão 2.6 - Contaminação na superfície de folhas.

As amostras de folhas disponibilizadas pela equipe responsável pelo projeto PELD-Catimbau estavam previamente secas, o que inviabilizou a realização do procedimento de limpeza (lavagem). Desta forma, investigou-se a ocorrência de contaminação na superfície das folhas a partir dos resultados de Fe obtidos por EDXRF e FAAS. O processo de digestão empregado com ácido nítrico (HNO_3) não é eficiente para disponibilizar todos os elementos químicos contido na terra aderida ao material biológico. Logo, espera-se que os resultados de Fe em FAAS sejam menores com relação aos resultados obtidos por EDXRF, podendo indicar contaminação de terra. Esta avaliação inicial foi realizada utilizando gráficos de dispersão e regressão linear para os resultados de Fe obtidos pelas duas técnicas analíticas.

Após constatar a ocorrência de contaminação de terra na superfície das folhas realizamos a separação do grupo de amostras, em problemáticas (amostras com possíveis contaminação de terra) e não problemáticas (provavelmente sem contaminação por terra). Esta separação foi realizada a partir da definição de limites de concentração para os elementos químicos traçadores Fe e Th. Para Fe utilizou-se do limite definido por França (2006) de 100 mg/kg (concentração considerada endógenas das folhas). Logo, com base neste limite e considerando a incerteza analítica média para Fe analisado neste trabalho por EDXRF de 9 mg/kg, definiu-se como limite de concentração para Fe o valor de 109 mg/kg, para as folhas das espécies arbóreas. As amostras que apresentaram concentração abaixo deste limite foram consideradas sem contaminação por terra. Posteriormente, calculou-se a mediana para Th deste grupo de amostras, definindo assim o limite para Th de 0,024 mg/kg.

A partir da aplicação destes limites de concentração estabelecidos para Fe e Th, do total de 504 amostras investigadas neste trabalho foi possível separar 292 amostras, consideradas sem contaminação por terra ou com pequena influência de particulado geológico. Matrizes de correlação de Pearson, estatística descritiva e gráficos de impressões digitais (“fingerprints”) foram obtidos para avaliar se os critérios adotados para separar o conjunto de dados em amostras contaminadas e não contaminadas foram eficientes.

3.5.2 Índice de Bioacumulação – IB

Quando ocorre a disponibilidade de valores dos elementos químicos para solo e para a planta, a avaliação da bioacumulação de elementos químicos pode ser feita utilizando Fatores de Bioacumulação Folha-Solo (FBFS) (FRANÇA, 2006). Embora, quando não há muitas informações disponíveis sobre a concentração de elementos químicos no solo da área investigada, a avaliação da bioacumulação nas plantas pode ser feita por meio da comparação direta para espécies crescendo em um mesmo local a partir de critérios estatísticos, conforme ocorreu neste trabalho.

Neste trabalho, foi calculado o Índice de Bioacumulação (IB) para as famílias e espécies de plantas das caatingas, utilizado como parâmetro o terceiro quartil (75%) obtido das concentrações dos elementos químicos investigados. O índice de bioacumulação (IB) foi determinado para cada elemento químico e amostra investigada, sendo atribuído o índice 0 para amostras que apresentaram concentrações abaixo do terceiro quartil (75%) e o índice 1 para amostras com concentração acima do quartil 75%, indicando plantas acumuladoras de elementos químicos, consistindo em metodologia semelhante à aplicada por Silva Filho (2018) e Mélo (2019).

Após o cálculo individual por amostra e elemento químico, obteve-se a média do índice de bioacumulação considerando quatro grupos de elementos químicos, nutricionais (B, Ca, Cl, Co, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Sr, S e Zn), tóxicos e traços (Al, As, Cd, Cr, Pb, Sb, Th, U e V), elementos terras raras leves (La, Ce, Pr, Nd, Sm e Eu) e elementos terras raras pesados (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu). Posteriormente, considerando a média do IB destes quatro grupos de elementos químicos, obteve-se o índice de bioacumulação médio por família e o índice médio por espécie, com a finalidade de avaliar a acumulação por grupos de elementos químicos.

Em seguida foi feita a avaliação individual por espécie e por elemento químico, para identificar potenciais espécies de plantas das caatingas bioacumuladoras de elementos químicos. Para isso, além do índice de bioacumulação, foram considerados mais dois critérios:

- Representatividade das espécies, sendo excluído as espécies raras e considerando as espécies com mais de 3 indivíduos;
- Percentual de indivíduos acumuladores, considerado como espécie bioacumuladora quando o percentual de indivíduos acumulando o elemento químico for maior que 75% ($n \geq 3$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, é explicitada a qualidade do procedimento analítico para os elementos químicos determinados por EDXRF, FAAS, GFAAS e ICP-MS nas amostras de folhas coletadas em parcelas permanentes localizadas no Parque Nacional do Catimbau, etapa bastante relevante para a garantia de comparabilidade dos resultados analíticos, abrangendo, também, avaliações sobre a influência da contaminação da superfície das folhas a partir de elementos químicos traçadores como Fe e Th para selecionar amostras não contaminadas com terra. Comparou-se, também, a concentração dos elementos químicos investigados (Al, As, B, Ca, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Dy, Fe, Er, Eu, Gd, Ho, K, La, Lu, Mg, Mn, Mo, Nd, Ni, P, Pb, Pr, S, Sb, Sm, Sr, Tb, Th, Tm, U, V, Yb e Zn) com valores de referência da literatura. Por fim, avaliou-se a capacidade de bioacumulação das plantas das caatingas em nível de família e espécie, identificando potenciais espécies de plantas das caatingas bioacumuladoras de elementos químicos.

4.1 Qualidade do procedimento analítico

Esta seção engloba a demonstração da qualidade do procedimento analítico para a determinação dos elementos químicos em folhas de plantas estudadas no PARNA Catimbau, essencial para a garantia de comparabilidade dos resultados, visto que, para avaliar a qualidade dos procedimentos analíticos utilizados, torna-se necessário que os valores de referência obtidos pelo método sejam coerentes com os valores certificados (COSTA et al., 2019). A qualidade dos procedimentos analíticos para as amostras de folha foi baseada na análise de materiais de referências certificados, que foram analisados com as amostras. As incertezas analíticas expandidas em nível de 95% de confiança foram obtidas a partir da combinação de incertezas individuais, relacionadas com a exatidão e precisão dos resultados dos materiais de referência certificados para os valores obtidos por EDXRF, FAAS, GFAAS e ICP-MS.

4.1.1 EDXRF

A média dos valores obtidos, os valores certificados e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança para os materiais de referência certificados SRM 1547 *Peach Leaves* e SRM 1570a *Spinach Leaves* analisados por EDXRF estão disponíveis na Tabela 9, assim como os valores do Número E_n . Observa-se que os valores do Número E_n

obtidos para os elementos químicos quantificados nos materiais de referência analisados estiveram no intervalo entre -1 e 1, faixa considerada adequada conforme a recomendação ISO 13528 (2005), garantindo a qualidade do procedimento analítico para a determinação de Ca, Cl, Fe, K, Mg, Mn, P, S, Sr e Zn por EDXRF em amostras de folhas de espécies das caatingas do PARNA Catimbau.

Observou-se uma tendência de valores positivos para os elementos químicos determinados no material de referência SRM 1547, com exceção do K que apresentou tendência negativa próxima a -1 para ambos os materiais de referência. Para SRM 1570a, a tendência de valores positivos foi para Fe, Mg, S, Sr e Zn.

Tabela 9 – Valores obtidos e certificados (mg/kg) e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança dos elementos químicos determinados nos materiais de referência SRM 1547 *Peach Leaves* e SRM 1570a *Spinach Leaves* analisados por EDXRF

Analito	SRM 1547 – <i>Peach Leaves</i>					SRM 1570a – <i>Spinach Leaves</i>				
	Certificado		Obtido		Número E _n	Certificado		Obtido		Número E _n
	Média	Inc.	Média	Inc.		Média	Inc.	Média	Inc.	
Ca	15590	± 160	15726	± 320	0,38	15260	± 660	13589	± 2586	-0,63
Cl	361	± 14	nq		-	6680 ^{a)}	± 200	6489	± 344	-0,48
Fe	219,8	± 6,8	234	± 23	0,60	269 ^{b)}	± 8	272	± 31	0,10
K	24330	± 380	23144	± 1169	-0,96	29000	± 260	27908	± 1167	-0,91
Mg	4320	± 150	4787	± 1268	0,37	9000*	± 1800	9279	± 1485	0,12
Mn	97,8	± 1,8	108	± 24	0,44	76	± 1,2	67	± 23	-0,40
P	1371	± 81	1388	± 166	0,09	5187	± 670	5171	± 235	-0,02
S	2000*	± 400	2212	± 572	0,30	5000*	± 1000	5800	± 574	1,0
Sr	53	± 4	53	± 10,6	0,02	55,5	± 0,5	61	± 12	0,5
Zn	17,97	± 0,53	19,0	± 4,1	0,29	82,3	± 3,9	88	± 13	0,42

Inc. = incerteza analítica expandida em nível de 5% de significância; nq = não quantificado; *Valor informativo do material de referência certificado; a) dados da literatura: Anderson e Cunningham (2000); b) dados da literatura: Gupta et al. (2010)

Fonte: O autor (2023).

As concentrações obtidas destes elementos químicos estiveram em concordância com os valores certificados dos materiais de referência SRM 1547 e SRM 1570a. Entretanto, para Cl em SRM 1547, não foi possível realizar a quantificação neste material devido à baixa concentração de 361 mg/kg (valor certificado) e elevada incerteza analítica, sendo utilizados os

resultados do material SRM 1570a para avaliação da qualidade do procedimento analítico. Destaca-se também que Cl e Fe não possuem valores certificados para o material de referência SRM 1570a, tornando-se necessário recorrer a valores de referência da literatura como o valor de 6680 ± 200 mg/kg para Cl (ANDERSON; CUNNINGHAM, 2000) e 269 ± 8 mg/kg para Fe (GUPTA et al., 2010), com os valores obtidos nas análises estando coerente ao reportado na literatura. Deste modo, foi possível comprovar a qualidade analítica para estes elementos químicos Cl e Fe quantificados em porções testes de SRM 1570a, visto que, o Número E_n calculado ficou dentro da faixa esperada (entre -1 e 1).

Mg e S para o material de referência SRM 1570a e S para o SRM 1547 são reportados como valores informativos no certificado do material de referência, devido à ausência de incerteza analítica. Desta forma, para se calcular o Número E_n para estes elementos químicos, considerou-se uma incerteza analítica expandida de 20% (valor máximo admitido para a maior parte dos elementos químicos constantes dos certificados de análise dos materiais de referência) para o valor reportado no certificado (MAGALHÃES, 2015), podendo assim, estimar os valores de Número E_n , que ficaram entre o intervalo de -1 e 1.

Mesmo que a qualidade da técnica EDXRF tenha sido comprovada pelos cálculos do número E_n , as incertezas analíticas também devem ser comparadas. As incertezas fornecidas nos certificados dos materiais de referência podem refletir apenas a precisão da medição, não incluindo todas as fontes de incertezas ou refletir uma falta de concordância estatística entre vários métodos analíticos (MÉLO, 2019). As incertezas analíticas expandidas em nível de 95% de confiança foram superiores para os elementos químicos analisados por EDXRF quando comparadas àquelas dos materiais de referência, com exceção do Mg, P e S para SRM 1570a. EDXRF é uma técnica muito dependente da matriz a ser analisada, enfatizando a necessidade, ainda mais, de demonstração da qualidade do procedimento analítico, uma vez que, os materiais de referência empregados na construção da curva analítica foram de diversas matrizes de plantas com composição química bastante ampla (SOUSA et al., 2013b).

4.1.2 FAAS e GFAAS

Para demonstrar a qualidade do procedimento analítico pelas técnicas de FAAS (Al e Fe) e GFAAS (Al, As, Co, Cr, Ni e V,) foram utilizados os materiais de referência SRM 1515 *Apple Leaves* e SRM 1573a *Tomato Leaves*, cujos valores de Número E_n , a média dos valores obtidos, os valores certificados e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança estão apresentados na Tabela 10. Alumínio não foi quantificado no SRM 1515. Tendo

em conta os valores de Número E_n (entre -1 e 1), não foram observadas diferenças significativas em nível de confiança de 95% entre as concentrações obtidas e os valores certificados para todos os elementos químicos (ISO 13528, 2005), indicando que os métodos analíticos adequados foram capazes de quantificar Al, As, Co, Cr, Ni e V nas amostras de folhas das árvores das caatingas.

Tabela 10 – Valores obtidos e certificados (mg/kg) e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança dos elementos químicos determinados nos materiais de referência SRM 1515 *Apple Leaves* e SRM 1573a *Tomato Leaves* analisados por FAAS e GFAAS

Analito	SRM 1515 – <i>Apple Leaves</i>				SRM 1573a – <i>Tomato Leaves</i>					
	Certificado		Obtido		Número E_n	Certificado		Obtido		Número E_n
	Média	Inc.	Média	Inc.		Média	Inc.	Média	Inc.	
Al*	284,5	± 5,8	nq		-	598,4	± 7,1	598	± 88	-0,02
Fe*	82,7	± 2,6	78,20	± 9,44	-0,48	367,5	± 4,3	355	± 43	-0,28
Al**	284,5	± 5,8	276	± 61	-0,22	598,4	± 7,1	573	± 126	-0,20
As**	0,036 ^{a)}	± 0,006	0,035	± 0,006	-0,08	0,1126	± 0,0024	0,11	± 0,02	-0,18
Co**	0,09***	± 0,018	0,085	± 0,023	-0,19	0,5773	± 0,0071	0,61	± 0,16	0,16
Cr**	0,3***	± 0,06	0,269	± 0,066	-0,37	1,988	± 0,034	2,23	± 0,55	0,42
Ni**	0,936	± 0,094	1,02	± 0,28	0,25	1,582	± 0,041	1,47	± 0,41	-0,31
V**	0,254	± 0,027	0,27	± 0,05	0,32	0,835	± 0,034	0,86	± 0,17	0,12

Inc. = incerteza analítica expandida em nível de 5% de significância; *Analitos quantificados por FAAS; **Analitos quantificado por GFAAS; ***Valor informativo do material de referência certificado; nq = não quantificado; a) dados da literatura: Yamashita et al. (2006)

Fonte: O autor (2023).

O elemento químico arsênio não apresenta valor certificado para o material de referência SRM 1515. Para comprovar a qualidade do procedimento analítico para o As neste material de referência, empregou-se resultados reportados na literatura (YAMASHITA et al., 2006), tornando possível o cálculo do Número E_n , que ficou dentro da faixa esperada entre -1 e 1. Os elementos químicos Co e Cr no material de referência SRM 1515 são reportados como valores informativos no certificado, devido à ausência de incerteza analítica. Considerou-se para estes elementos químicos, uma incerteza analítica expandida de 20% para o valor reportado no certificado (MAGALHÃES, 2015), resultando em valores para o Número E_n na faixa considerada adequada em nível de 95% de confiança.

Embora tenha sido encontrado viés negativo para boa parte dos elementos químicos analisados, conforme os resultados do Número E_n (Tabela 10), as análises químicas foram consideradas adequadas para a determinação de Al e Fe por FAAS e Al, As, Co, Cr, Ni e V por GFAAS, em amostras de folhas em plantas das caatingas.

4.1.3 ICP-MS

Para a técnica de ICP-MS, também foram empregados os materiais de referência certificados SRM 1515 *Apple Leaves* e SRM 1573a *Tomato Leaves* para demonstrar a qualidade do procedimento analítico. Na Tabela 11, estão apresentados os valores do Número E_n , os valores certificados e as concentrações obtidas na quantificação dos elementos químicos B, Cd, Mo, Pb, Sb, Th, U e lantanídeos Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm e Yb por ICP-MS. Os resultados obtidos ficaram dentro da faixa de concentração do valor certificado para os materiais de referência (Tabela 11).

Os elementos químicos Lu, Pb e Tm não foram certificados para o SRM 1573a, como alternativa utilizou-se dos resultados do material de referência SRM 1515, para realizar a avaliação da qualidade do procedimento analítico para estes elementos químicos. Ce, La e Sb no material de referência SRM 1515 e Ce, La e Mo para SRM 1573a são reportados como valores informativos. Logo, considerando a incerteza analítica expandida de 20% (MAGALHÃES, 2015), foi possível comprovar a qualidade analítica para estes elementos químicos, visto que, o Número E_n ficou entre -1 e 1.

Alguns elementos químicos não apresentam valores certificados nos materiais de referência empregados (SRM 1515 e SRM 1573a), por isso, optou-se por buscar valores na literatura. Para os elementos químicos Dy, Er, Eu, Gd, Ho, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Th, U e Yb utilizou-se dos valores reportados por Ivanova et al. (2001) como referência, que reportou resultados para ambos os materiais de referência, incluindo as incertezas analíticas. Já para o elemento químico Tm utilizou-se do valor reportado por De Oliveira et al. (2017), para SRM 1515. Os resultados obtidos nas análises estiveram coerentes aos resultados reportados por estes autores (Tabela 11), tornando possível calcular o Número E_n , o qual ficou dentro da faixa esperada (entre -1 e 1). Assim, comprovou-se a qualidade do procedimento analítico para estes elementos químicos.

Embora as incertezas analíticas tenham ficado maiores quando comparado com os valores certificados, salienta-se que os valores de Número E_n estiveram no intervalo entre -1 e 1 para todos os elementos químicos investigados, faixa considerada adequada conforme a

recomendação ISO 13528 (2005), o que permitiu confirmar a qualidade do procedimento analítico em nível de 95% de confiança para a determinação de B, Cd, Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Mo, Nd, Pb, Pr, Sb, Sm, Tb, Th, Tm, U e Yb em amostras de folhas de espécies das caatingas por ICP-MS.

Tabela 11 – Valores obtidos e certificados (mg/kg) e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança dos elementos químicos determinados nos materiais de referência SRM 1515 *Apple Leaves* e SRM 1573a *Tomato Leaves* analisados por ICP – MS

Analito	SRM 1515 – <i>Apple Leaves</i>					SRM 1573a – <i>Tomato Leaves</i>					Número E_n
	Certificado		Obtido		Número E_n	Certificado		Obtido			
	Média	Inc.	Média	Inc.		Média	Inc.	Média	Inc.		
B	27,6	± 2,8	29,66	± 5,96	0,30	33,13	± 0,42	30,64	± 6,16	-0,42	
Cd	0,0132	± 0,0015	0,013	± 0,003	-0,01	1,51	± 0,027	1,52	± 0,28	-0,02	
Ce	3,0*	± 0,6	2,96	± 0,34	-0,05	2,0*	± 0,4	2,07	± 0,24	0,15	
Dy^a	1,7	± 0,03	1,74	± 0,25	0,15	0,094	± 0,002	0,094	± 0,013	-0,05	
Er^a	0,582	± 0,009	0,61	± 0,16	0,13	0,045	± 0,001	0,043	± 0,012	-0,22	
Eu^a	0,231	± 0,003	0,211	± 0,042	-0,50	0,0404	± 0,0001	0,039	± 0,008	-0,15	
Gd^a	2,89	± 0,03	2,89	± 0,49	-0,02	0,175	± 0,004	0,175	± 0,030	-0,03	
Ho^a	0,227	± 0,004	0,25	± 0,07	0,036	0,017	± 0,001	0,015	± 0,004	-0,44	
La	20*	± 4	19,87	± 3,63	-0,03	2,3*	± 0,46	2,29	± 0,42	-0,04	
Lu^a	0,017	± 0,0004	0,016	± 0,005	-0,16	nd		nq		-	
Mo	0,095	± 0,011	0,095	± 0,014	-0,01	0,46*	± 0,092	0,460	± 0,065	-0,01	
Nd^a	15,06	± 0,15	14,62	± 2,27	-0,21	1,07	± 0,02	1,10	± 0,17	0,15	
Pb	0,47	± 0,024	0,47	± 0,13	-0,05	nd		nq		-	
Pr^a	2,39	± 0,02	2,38	± 0,28	-0,07	0,288	± 0,004	0,294	± 0,035	0,16	
Sb	0,013*	± 0,0026	0,012	± 0,002	-0,41	0,0619	± 0,0032	0,063	± 0,008	0,06	
Sm^a	2,63	± 0,03	2,61	± 0,36	-0,07	0,154	± 0,03	0,167	± 0,023	0,54	
Tb^a	0,317	± 0,004	0,349	± 0,092	0,34	0,019	± 0,001	0,018	± 0,005	-0,30	
Tm^b	0,039	± 0,008	0,040	± 0,010	0,10	nd		nq		-	
Th^a	0,021	± 0,001	0,021	± 0,005	-0,04	0,083	± 0,003	0,070	± 0,018	-0,54	
U^a	0,0094	± 0,0003	0,011	± 0,003	0,45	0,023	± 0,001	0,023	± 0,006	-0,15	
Yb^a	0,20	± 0,006	0,201	± 0,004	0,00	0,027	± 0,001	0,024	± 0,005	-0,69	

Inc. = incerteza analítica expandida em nível de 5% de significância; nq = não quantificado; nd = não disponível no certificado de análise do material de referência; *Valor informativo do material de referência certificado; a) dados da literatura: Ivanova et al. (2001); b) dados da literatura: De Oliveira et al. (2017)

4.2 Influência da contaminação da superfície das folhas com material geológico

A influência da contaminação da superfície das folhas por material exógeno (terra) é bastante importante para amostras de folhas que não passaram pelo processo de lavagem antes de ser realizado as etapas de secagem e moagem. Desta forma, pressupõem-se que ao menos parte das amostras podem estar contaminadas com terra (partículas de solo ressuspendidas), o que pode influenciar significativamente nas concentrações de elementos químicos provenientes das folhas (FERRARI et al., 2006). A presença de material exógeno eleva a concentração de muitos elementos químicos encontrados nas folhas acima das suas concentrações endógenas (MARKERT, 1995), principalmente para elementos químicos terrígenos, como Al, Fe, Hf, Sc, Th, U e lantanóides (FRANÇA et al., 2002; FRANÇA et al., 2003). Neste trabalho, o procedimento de lavagem das folhas foi inviabilizado, devido ao fato das amostras terem sido recebidas secas, desta forma, utilizou-se dos elementos químicos Fe e Th como elementos traçadores para investigar a influência da contaminação da superfície das folhas por material geológico e separar o conjunto de dados em amostras não problemáticas (amostras provavelmente sem contaminação por terra) e amostras problemáticas (grupo de amostras com possível contaminação de terra).

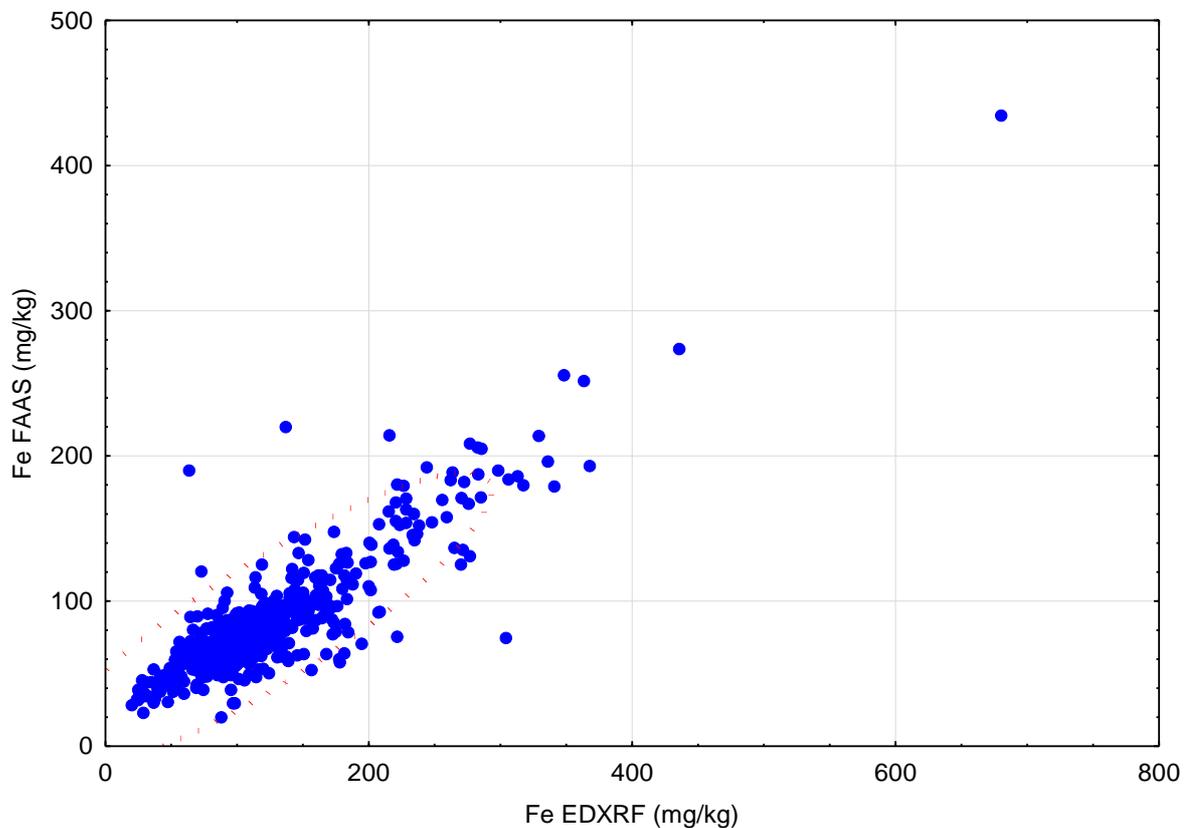
4.2.1 Contaminação nas superfícies das folhas com material geológico

O elemento químico Fe foi analisado por EDXRF e FAAS, o que possibilitou a comparação dos resultados entre as duas técnicas analíticas e avaliar a influência do tratamento químico sobre as concentrações de Fe nas folhas. Na Figura 15, é apresentado um gráfico de dispersão construído para averiguar a correlação entre os dois elementos químicos e a presença de pontos de fora de controle (*outliers*), por meio da elipse de predição em nível de 95% de confiança. O achatamento da elipse é indicativo de correlação, quanto mais achatada e inclinada (próximo ao ângulo de 45°) maior é a correlação entre os elementos químicos. No estudo observou-se correlação positiva, resultado esperado por ser o mesmo elemento químico, embora determinado por técnicas analíticas diferentes. Foram observados também pontos fora de controle, por não ter sido englobado pela elipse de predição.

Um dos *outliers* mais significativo foi para uma amostra de *Piptadenia stipulacea* que apresentou concentração de Fe bastante elevada por EDXRF com relação ao obtido na análise por FAAS, indicativo de elevada contaminação de terra nesta amostra, pois espera-se que os resultados para Fe em FAAS sejam menores ou próximos dos resultados obtidos para o

EDXRF, visto que o processo de digestão empregado com ácido nítrico (HNO_3) não é eficiente para solubilizar totalmente os elementos químicos da terra, sendo necessário o emprego de outros ácidos em associação, como, por exemplo, o ácido nítrico + ácido fluorídrico (HF). Em matérias de referência certificados de solo SRM 2709 *San Joaquin Soil* e SRM 2710 *Montana Soil* a taxa média de recuperação de Fe reportado nos certificados de referência foi de aproximadamente 80%, utilizando-se ácido nítrico no processo de solubilização ácida.

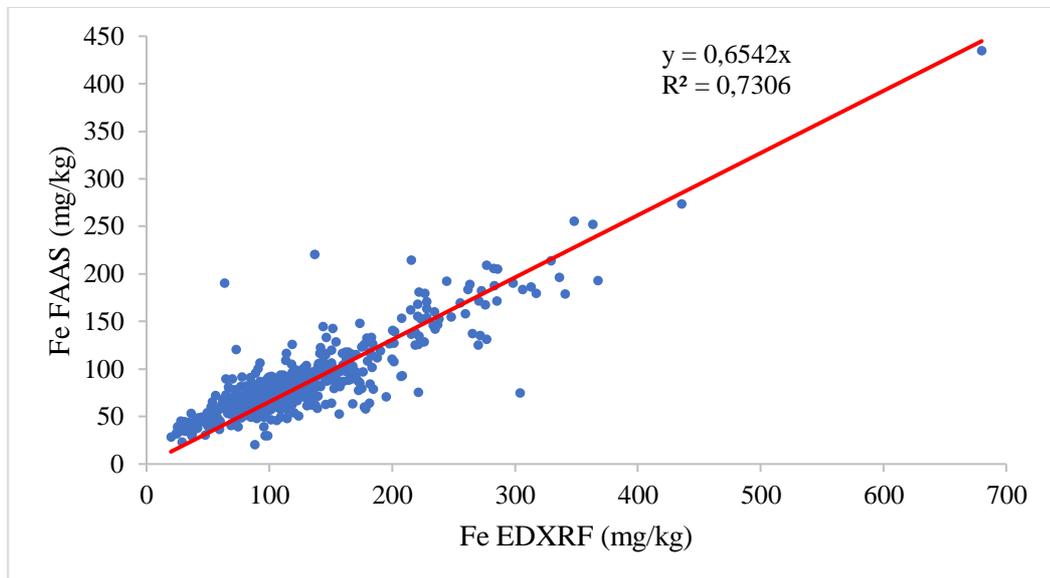
Figura 15 – Gráfico de dispersão entre as concentrações de Fe determinadas por FAAS (Fe FAAS) e aquelas quantificadas por EDXRF (Fe EDXRF) com elipse de predição em nível de 95% de confiança



Outros *outliers* mais significativos foram para amostras das espécies *Annona leptopetala*, *Aspidosperma* sp., *Cnidocolus bahianus*, *Helicteres velutina* e *Solanum rhytidoandrum* que apresentaram valores de Fe maiores para FAAS, diferente do que era esperado, o que pode indicar erros analíticos ou contaminação durante o processo de digestão e análise. Cabe ressaltar que os valores para outras amostras destas mesmas espécies apresentaram comportamento mais normalizado, indicando ser problemas pontuais observados nestes *outliers*.

Na Figura 16, verifica-se que os resultados de Fe para as amostras de folhas determinados por EDXRF e FAAS apresentam incongruência (R^2 de 0,7306), ao menos para parte das amostras que ficaram mais distantes da reta, corroborando com o gráfico de dispersão da Figura 15. Mélo et al. (2015), comparou os resultados de Zn determinados por EDXRF e FAAS, relutando-se que o R^2 superior a 0,9 indica equivalência entre os resultados obtidos pelas duas técnicas analíticas. Quanto maior a proximidade dos pontos à reta, menores são as diferenças entre os resultados obtidos entre as duas técnicas EDXRF e FAAS.

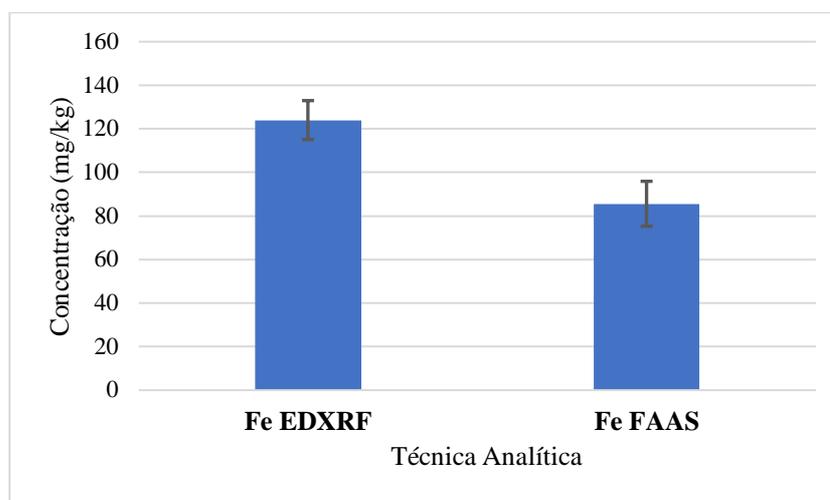
Figura 16 – Incongruência das concentrações de Fe em folhas do PARNA Catimbau obtidas por EDXRF e FAAS



Fonte: O autor (2023).

As incertezas analíticas foram menores para os resultados de EDXRF. Entretanto, houve uma tendência de EDXRF apresentar resultados com valores maiores para as amostras de folhas, conforme apresentado na Figura 17, em que realizou-se uma comparação entre os valores médios obtidos por essas duas técnicas, com suas respectivas incertezas analíticas médias.

Figura 17 – Concentrações médias de Fe em folhas do PARNA Catimbau obtidas por EDXRF e FAAS



Barras de erros se referem a média das incertezas analíticas

Fonte: O autor (2023).

Desconsiderando problemas analíticos, como interferências espectrais e efeito da matriz (POUZAR et al., 2001; SOUSA et al., 2013b), e considerando a equação ($y = 0,6542x$) do gráfico da Figura 16, ajustado para iniciar no eixo 0, verifica-se que, em média, 65,42% do Fe determinado por FAAS foi dissolvido no processo de tratamento químico, ou seja, em média 34,58% do Fe não foi completamente dissolvido em solução. Esta relação indica a eficiência do tratamento químico para as amostras de folhas, porém também indica contaminação, visto que a metodologia de digestão empregado para as amostras de folhas com ácido nítrico (HNO_3) não foi eficiente para solubilizar os elementos químicos do material geológico, ocorrendo digestão parcial de terra presente nas amostras e corroborando para menores valores de Fe obtidos em FAAS. Deste modo, estima-se que todos os elementos terrígenos também não foram totalmente dissolvidos em solução.

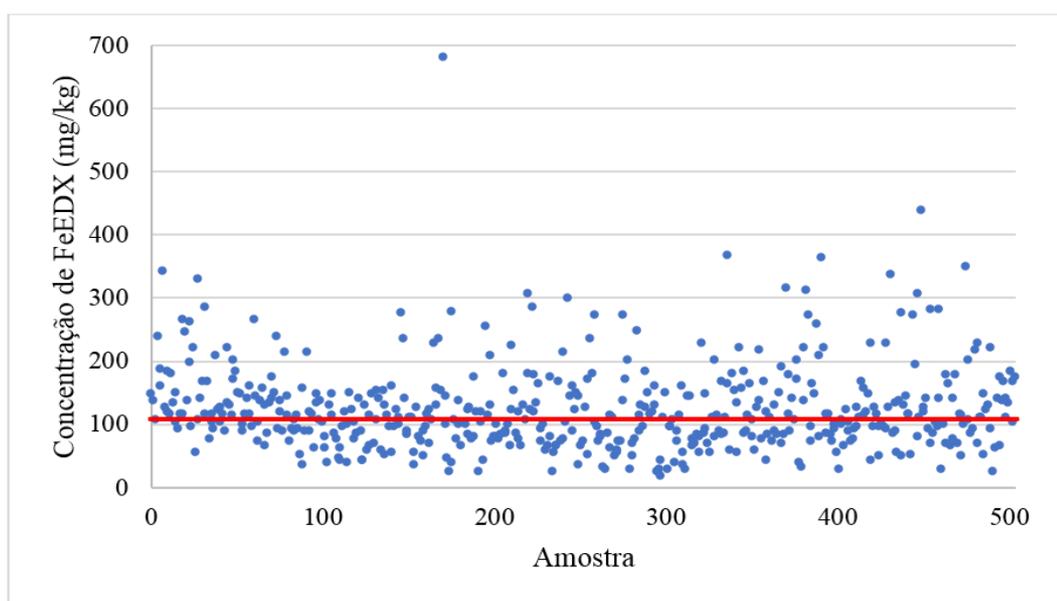
4.2.2 Categorização das amostras quanto à presença de material geológico exógeno

Conforme demonstrado na seção anterior, por meio da comparação entre os resultados de Fe obtidos por EDXRF e FAAS, constatou-se que pelo menos parte das amostras de folhas estão com problema de contaminação com poeira (terra). Para identificar e separar possíveis amostras não contaminadas das amostras contaminadas, ao menos em sua grande parte, definiu-se limites de concentrações para os elementos químicos Fe e Th. A partir da definição destes limites e com base nas concentrações obtidas para estes elementos químicos, separou-se o

conjunto de dados das amostras de folhas em 2 grupos, as não problemáticas (amostras provavelmente sem contaminação por terra) e as problemáticas (grupo de amostras com possíveis contaminação de terra ou que estejam acumulando Fe e Th).

De acordo com França (2006), que investigou diferentes tratamentos de limpeza nas superfícies das folhas de plantas de mata atlântica, constatou que as concentrações obtidas para Fe de até 100 mg/kg podem ser consideradas endógenas das folhas. Desta forma, considerando este limite reportado pelo autor e levando em conta a incerteza analítica média para Fe analisado por EDXRF de 9 mg/kg, definiu-se como limite de concentração para Fe o valor de 109 mg/kg (Figura 18). Considerando este limite máximo definido, foi possível separar inicialmente 247 amostras não problemáticas, das 504 amostras de plantas investigadas neste trabalho.

Figura 18 – Concentrações de Fe quantificadas por EDXRF em folhas do PARNA Catimbau com a indicação do limite de 109 mg/kg

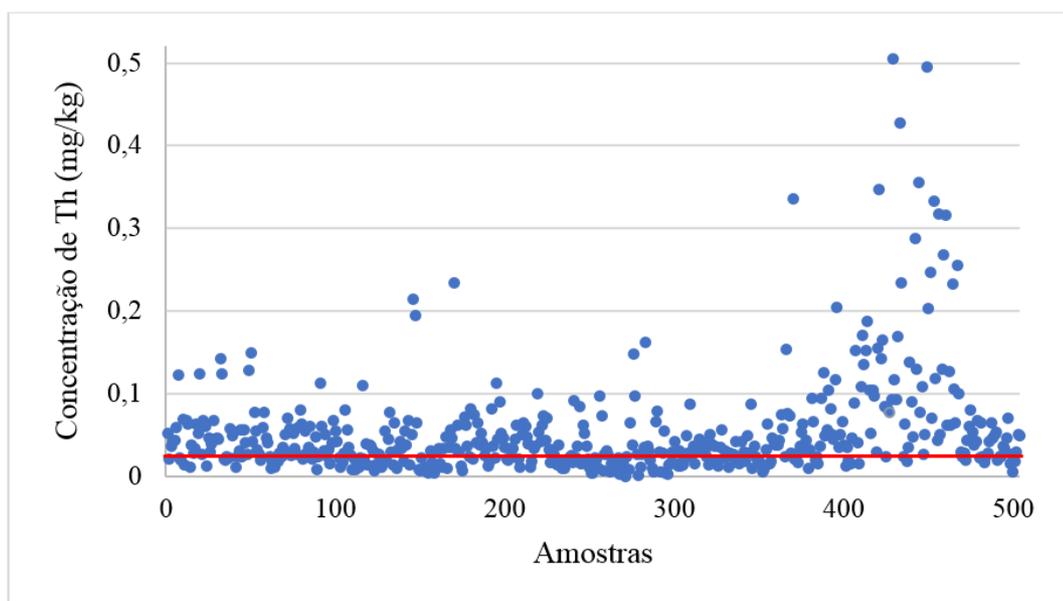


Fonte: O autor (2023).

Na segunda etapa, foi definido o limite de concentração de Th para selecionar mais amostras consideradas não problemáticas. A definição do limite máximo de Th foi realizado considerando a mediana calculada para os resultados de Th das 247 amostras separadas inicialmente pelo limite definido para Fe. Desta forma, foi possível definir o limite de concentração para Th em 0,024 mg/kg (valor da mediana), assim, as amostras restantes do grupo das problemáticas que apresentaram concentração inferior a este limite de Th foram também consideradas como amostras não problemáticas, indicativo da não ocorrência de contaminação por terra. Na Figura 19, observa-se o gráfico das concentrações de Th em folhas

de espécimes de plantas do PARNA Catimbau com a indicação do limite de 0,024 mg/kg definido para esse elemento químico.

Figura 19 – Concentrações de Th em folhas do PARNA Catimbau e indicação do limite definido de 0,024 mg/kg



Fonte: O autor (2023).

Deste modo, foi possível selecionar mais 45 amostras no conjunto de dados. Somando as amostras separadas inicialmente pelo limite considerado para Fe (247), totalizaram-se 292 amostras de folhas no grupo das não problemáticas, ou seja, consideradas sem contaminação com terra aderida. No grupo considerado problemáticas, restaram 212 amostras, que ficaram fora dos parâmetros selecionados ($Fe < 109 \text{ mg/kg}$ e $Th < 0,024 \text{ mg/kg}$); possivelmente são amostras que estão contaminadas com poeira (terra) ou pode ter alguma espécie que esteja acumulando Fe ou Th, fato que somente seria solucionado com a limpeza adequada das folhas das árvores (MARKERT, 1995) em trabalhos futuros.

4.2.3 Correlação entre elementos químicos para os dois grupos de amostras

Matrizes de correlação de Pearson foram obtidas com a finalidade de avaliar os dois conjuntos de dados (amostras problemáticas e não problemáticas) e verificar se foram separados adequadamente, com base nos limites definidos para Fe e Th demonstrado anteriormente. Para elaborar as matrizes de correlações, os elementos químicos foram divididos em 3 grupos: nutricionais (B, Ca, Cl, Co, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, S, Sr Zn), tóxicos e traços (Al, As, Cd, Cr,

Pb, Sb, Th, U e V) e lantanóides (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm e Yb). O elemento químico Fe obtido por EDXRF e FAAS foi inserido nas matrizes de correlação para os 3 grupos de elementos químicos, para avaliar a partir das correlações do Fe com os demais elementos químicos, principalmente elementos terrígenos, se os parâmetros utilizados foram adequados para separar as amostras de folha contaminadas com terra das não contaminadas.

A matriz de correlação para os elementos químicos nutricionais do conjunto de dados considerado contaminado com terra (amostras problemáticas) está apresentada na Tabela 12. A análise bivariada demonstrou correlações significativas, destacadas em vermelho em nível de 95% de confiança. Além da forte correlação esperada entre Fe quantificado por EDXRF e Fe por FAAS ($r=0,87$), a segunda correlação mais forte foi identificada entre Ca e Sr ($r = 0,68$), normalmente encontrada em plantas devido a sua similaridade química (FRANÇA, 2006). O Fe determinado por EDXRF não apresentou correlações com os demais elementos químicos, enquanto o Fe quantificado por FAAS apresentou fraca correlação positiva com Mg, P e Sr e fraca correlação negativa com o Mn.

Na Tabela 13 observam-se as correlações para os elementos químicos nutricionais para as amostras não contaminadas com terra. Verificou-se correlação mais fraca entre Fe quantificado por EDXRF e por FAAS ($r = 0,60$), quando comparado com a correlação das amostras contaminadas (Tabela 12). As correlações mais fortes foram encontradas para Ca e Sr ($r = 0,73$), Fe EDXRF e Mn ($r = 0,63$), B e S ($r = 0,57$), B e Co ($r= 0,48$), Ca e Mg ($r = 0,45$), Co e S ($r = 0,45$) e Mg e Sr ($r = 0,42$). Para Fe, as correlações significativas em nível de 95% de confiança foram encontradas para Cl, Mn Zn (Fe EDXRF) e Sr (Fe FAAS), diferentemente das correlações reportadas para as amostras problemáticas (Tabela 12), principalmente comparado com Fe determinado por FAAS. Entretanto, verifica-se que os elementos químicos nutricionais nas amostras não problemáticas, consideradas sem contaminação de terra, apresentaram correlações mais fortes quando comparado com as correlações par o grupo de amostras problemáticas.

Tabela 12 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos nutricionais das amostras de folhas problemáticas

	Fe EDXRF	Fe FAAS	B	Ca	Cl	Co	K	Mg	Mn	Mo	Ni	P	S	Sr	Zn
Fe EDXRF	1,00														
Fe FAAS	0,87	1,00													
B	0,14	0,13	1,00												
Ca	0,13	0,14	0,03	1,00											
Cl	-0,12	0,05	-0,20	0,01	1,00										
Co	0,08	0,07	0,35	-0,05	-0,10	1,00									
K	-0,10	0,05	-0,10	0,16	0,24	-0,02	1,00								
Mg	0,09	0,25	0,19	0,08	0,31	0,07	0,31	1,00							
Mn	0,08	-0,21	0,05	0,29	-0,18	0,01	0,13	-0,05	1,00						
Mo	-0,04	0,03	0,05	0,09	0,07	0,32	0,09	0,19	-0,15	1,00					
Ni	0,03	-0,05	0,05	-0,09	-0,11	0,47	0,17	0,01	0,18	0,12	1,00				
P	0,10	0,17	-0,23	0,38	0,21	-0,15	0,40	0,29	0,07	0,16	-0,09	1,00			
S	0,16	0,13	0,14	0,00	-0,02	0,13	0,05	0,13	-0,06	0,06	0,12	0,34	1,00		
Sr	0,13	0,26	-0,12	0,68	0,15	-0,16	0,16	0,15	0,01	0,05	-0,10	0,37	-0,05	1,00	
Zn	0,12	0,07	0,22	0,09	-0,14	0,27	0,01	0,27	0,13	0,13	0,21	0,16	0,17	-0,06	1,00

Valores destacados em vermelho são significativos em nível de 95% de confiança.

Fonte: O autor (2023).

Tabela 13 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos nutricionais das amostras de folhas não problemáticas

	Fe EDXRF	Fe FAAS	B	Ca	Cl	Co	K	Mg	Mn	Mo	Ni	P	S	Sr	Zn
Fe EDXRF	1,00														
Fe FAAS	0,60	1,00													
B	0,02	-0,02	1,00												
Ca	0,07	0,09	0,28	1,00											
Cl	-0,18	-0,03	-0,13	0,12	1,00										
Co	-0,09	-0,13	0,48	0,18	-0,09	1,00									
K	-0,08	0,12	0,00	0,01	0,22	0,02	1,00								
Mg	0,08	0,08	0,35	0,45	0,38	0,21	0,16	1,00							
Mn	0,63	0,12	0,14	0,23	-0,02	0,09	0,10	0,19	1,00						
Mo	-0,12	0,05	-0,07	0,08	-0,04	-0,02	0,14	0,06	-0,11	1,00					
Ni	0,10	-0,03	0,06	-0,10	-0,17	0,39	0,20	-0,01	0,19	-0,04	1,00				
P	0,10	0,13	-0,13	0,20	0,41	-0,08	0,32	0,33	0,20	0,04	-0,03	1,00			
S	-0,09	-0,10	0,57	0,07	-0,17	0,45	0,09	0,21	0,06	0,07	0,12	0,04	1,00		
Sr	0,11	0,17	0,23	0,73	0,17	0,14	-0,10	0,42	0,10	0,02	-0,08	0,22	0,09	1,00	
Zn	0,19	0,15	-0,06	0,06	-0,07	0,10	0,12	0,14	0,12	0,08	0,17	0,23	0,12	0,02	1,00

Valores destacados em vermelho são significativos em nível de 95% de confiança.

Fonte: O autor (2023).

Na Tabela 14, é apresentada a matriz de correlação para os elementos químicos tóxicos e traços para o grupo de amostras consideradas problemáticas. Observa-se forte correlação entre os valores de Fe obtidos por EDXRF e por FAAS ($r = 0,90$) e Th e U ($r = 0,86$). Correlações menores foram encontradas para V e Fe por FAAS ($r = 0,56$), V e Fe por EDXRF ($r = 0,50$) e V e U ($r = 0,41$). Verifica-se também que parte dos elementos químicos tóxicos e traços (As, Cr, Pb, Th, U e V) apresentaram correlação com Fe (EDXRF e FAAS), indicativo de contribuição de material terrígeno depositado na superfície das folhas.

Tabela 14 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos tóxicos e traços das amostras de folhas problemáticas

	Fe EDXRF	Fe FAAS	Al	As	Cd	Cr	Pb	Sb	Th	U	V
Fe EDXRF	1,00										
Fe FAAS	0,90	1,00									
Al	0,08	0,14	1,00								
As	0,12	0,17	0,02	1,00							
Cd	0,13	0,11	0,04	0,35	1,00						
Cr	0,17	0,24	0,06	-0,04	-0,01	1,00					
Pb	0,35	0,37	0,13	0,00	0,07	0,15	1,00				
Sb	0,04	0,06	-0,05	-0,10	0,03	0,07	0,12	1,00			
Th	0,35	0,33	-0,02	0,27	0,27	-0,04	0,30	-0,06	1,00		
U	0,15	0,10	-0,04	0,27	0,22	-0,11	-0,01	-0,06	0,86	1,00	
V	0,50	0,56	0,21	0,24	0,22	0,05	0,35	-0,07	0,41	0,20	1,00

Valores destacados em vermelho são significativos em nível de 95% de confiança.

Fonte: O autor (2023).

As correlações para as amostras não problemáticas dos elementos químicos tóxicos e traços estão apresentados na Tabela 15. As correlações dos elementos químicos com Fe foram menores em comparação às amostras problemáticas (Tabela 14), apresentando correlação negativa com Cd (Fe EDXRF) e correlação positiva em Cr e Sb (Fe FAAS), indicando que as amostras não problemáticas apresentam baixa contaminação com terra na superfície das folhas, devido à não correlação de Fe com elementos terrígenos. Para os demais elementos químicos, as correlações mais fortes foram encontradas para Pb e Sb ($r = 0,67$) e entre Th e U ($r = 0,45$).

Tabela 15 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos tóxicos e traços das amostras de folhas não problemáticas

	Fe EDXRF	Fe FAAS	Al	As	Cd	Cr	Pb	Sb	Th	U	V
Fe EDXRF	1,00										
Fe FAAS	0,70	1,00									
Al	-0,09	-0,02	1,00								
As	-0,01	0,10	0,01	1,00							
Cd	-0,16	-0,06	0,03	0,08	1,00						
Cr	0,09	0,27	0,10	-0,01	-0,06	1,00					
Pb	0,04	0,13	0,05	0,04	-0,11	0,15	1,00				
Sb	0,08	0,15	0,04	-0,11	-0,10	0,19	0,67	1,00			
Th	0,03	0,04	-0,06	0,15	0,14	-0,07	0,22	-0,05	1,00		
U	-0,06	-0,06	0,24	-0,03	0,15	-0,06	-0,05	-0,13	0,45	1,00	
V	-0,05	0,06	0,05	0,27	0,04	-0,03	0,02	-0,09	0,23	0,00	1,00

Valores destacados em vermelho são significativos em nível de 95% de confiança.

Fonte: O autor (2023).

As matrizes de correlação para o grupo dos lantanídeos estão apresentadas nas Tabela 16 (amostras problemáticas) e Tabela 17 (amostras não problemáticas). Verificaram-se correlações positivas os lantanídeos nos dois grupos de amostras, não ocorrendo correlações apenas em Ce e Lu, La e Lu e Lu e Nd, conforme observado nas Tabelas 16 e 17. As amostras problemáticas apresentaram correlações dos lantanídeos Ce, La, Nd, Pr e Sm com Fe, indicando que este conjunto de amostras apresenta problemas de contaminação. Já para as amostras não problemáticas, consideradas sem contaminação, não houve correlação significativa em nível de 95% de confiança entre Fe e lantanídeos (Tabela 17).

Com base na comparação das matrizes de correlação de Pearson, o grupo de amostras não problemáticas não apresentaram correlações de Fe com elementos terrígenos, indicando não contaminação de material geológico depositado na superfície das folhas para este grupo de amostras.

Tabela 16 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos lantanóides das amostras de folhas problemáticas

	Fe EDXRF	Fe FAAS	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Tm	Yb
Fe EDXRF	1,00															
Fe FAAS	0,88	1,00														
Ce	0,21	0,17	1,00													
Dy	0,13	0,07	0,90	1,00												
Er	0,09	0,04	0,82	0,97	1,00											
Eu	0,11	0,06	0,89	0,92	0,85	1,00										
Gd	0,11	0,06	0,92	0,94	0,85	0,93	1,00									
Ho	0,09	0,03	0,86	0,97	0,98	0,90	0,90	1,00								
La	0,18	0,14	0,99	0,87	0,78	0,88	0,91	0,83	1,00							
Lu	-0,07	-0,10	0,14	0,24	0,29	0,28	0,20	0,34	0,13	1,00						
Nd	0,19	0,15	0,98	0,94	0,87	0,93	0,95	0,90	0,96	0,16	1,00					
Pr	0,19	0,15	0,99	0,92	0,84	0,92	0,95	0,89	0,98	0,17	0,99	1,00				
Sm	0,19	0,15	0,96	0,95	0,88	0,95	0,97	0,91	0,93	0,20	0,99	0,98	1,00			
Tb	0,12	0,06	0,91	0,97	0,92	0,95	0,96	0,97	0,89	0,30	0,95	0,94	0,96	1,00		
Tm	-0,03	-0,09	0,54	0,73	0,80	0,68	0,62	0,85	0,51	0,52	0,59	0,58	0,62	0,78	1,00	
Yb	0,08	0,03	0,72	0,91	0,97	0,78	0,77	0,93	0,67	0,33	0,78	0,75	0,80	0,85	0,82	1,00

Valores destacados em vermelho são significativos em nível de 95% de confiança.

Fonte: O autor (2023).

Tabela 17 – Matriz de correlação para a concentração dos elementos químicos lantanóides das amostras de folhas não problemáticas

	Fe EDXRF	Fe FAAS	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Tm	Yb
Fe EDXRF	1,00															
Fe FAAS	0,59	1,00														
Ce	-0,06	-0,02	1,00													
Dy	-0,04	-0,06	0,60	1,00												
Er	-0,03	0,00	0,41	0,95	1,00											
Eu	0,00	-0,07	0,73	0,79	0,62	1,00										
Gd	-0,03	-0,11	0,82	0,83	0,63	0,90	1,00									
Ho	-0,02	0,00	0,47	0,97	0,99	0,68	0,69	1,00								
La	-0,06	-0,04	0,97	0,57	0,39	0,70	0,81	0,44	1,00							
Lu	0,04	0,09	0,15	0,78	0,90	0,43	0,40	0,90	0,13	1,00						
Nd	-0,06	-0,10	0,90	0,76	0,57	0,85	0,95	0,62	0,89	0,32	1,00					
Pr	-0,07	-0,09	0,95	0,72	0,51	0,82	0,93	0,57	0,95	0,26	0,99	1,00				
Sm	-0,04	-0,13	0,83	0,80	0,59	0,92	0,98	0,65	0,79	0,35	0,96	0,93	1,00			
Tb	-0,02	-0,05	0,67	0,97	0,88	0,86	0,90	0,93	0,65	0,74	0,83	0,79	0,87	1,00		
Tm	0,03	0,07	0,25	0,85	0,95	0,50	0,47	0,95	0,23	0,99	0,40	0,35	0,43	0,80	1,00	
Yb	-0,02	0,02	0,34	0,92	0,99	0,57	0,57	0,98	0,31	0,93	0,50	0,45	0,53	0,85	0,97	1,00

Valores destacados em vermelho são significativos em nível de 95% de confiança.

Fonte: O autor (2023).

4.2.4 Comparação entre os resultados de amostras contaminadas e não contaminadas

Nesta seção, foram compilados os resultados da estatística descritiva (coeficiente de variação, o número de amostras analisadas, as concentrações médias, medianas, máximas e mínimas) e impressões digitais (*fingerprint*) entre os dois grupos de amostras (problemáticas e não problemáticas) estudados no PARNA Catimbau. Os resultados foram divididos em três grupos de elementos químicos: nutricionais, lantanídeos e o grupo dos tóxicos e traços, conforme divisão realizada para as matrizes de correlações demonstradas anteriormente.

Na Tabela 18, encontra-se o resultado da estatística descritiva em mg/kg dos elementos químicos nutricionais B, Ca, Cl, Co, Fe FAAS, Fe EDXRF, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, S, Sr, e Zn determinados nas folhas para o grupo das problemáticas e não problemáticas. Alta variabilidade foi observada para a maior parte dos elementos químicos determinados, com o coeficiente de variação acima de 40%, destacando-se Co, cujo coeficiente de variação atingiu 420%, indicando a existência de amostras com alta concentração de Co no conjunto de dados. Os elementos químicos com as menores variações foram Fe, P e Zn.

Os valores da estatística descritiva para o grupo dos lantanídeos Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm e Yb são reportados na Tabela 19. Para os lantanídeos, observou-se elevada variabilidade para todos os elementos químicos dos dois conjuntos de dados (problemáticas e não problemáticas), com o coeficiente de variação acima de 40%, principalmente quando comparado aos elementos nutricionais que apresentaram variabilidade menor, indicando a ocorrência de amostras com elevadas concentrações para este grupo de elementos químicos.

Na Tabela 20, reportam-se os valores da estatística descritiva para os elementos químicos tóxicos e os traços Al, As, Cd, Cr, Pb, Sb, Th, U e V. Para este grupo de elementos químicos a variabilidade também foi alta (máximo de 250%), sendo mais elevada para Cd, Th e U. Para obter uma melhor visualização da diferença de concentrações dos elementos químicos entre os dois grupos de amostras, foram elaborados gráficos de impressão digital *fingerprint* a partir da média dos 2 grupos de amostras (Figuras 20, 21 e 22).

Tabela 18 – Concentrações (mg/kg) médias, mediana, máximos, mínimos e coeficiente de variação (CV%) dos elementos químicos de nutrição das amostras de folhas não problemáticas e problemáticas do PARNA Catimbau

Grupo		B	Ca	Cl	Co	Fe FAAS	Fe EDXRF	K	Mg	Mn	Mo	Ni	P	S	Sr	Zn
Não problemáticas	Média	76,0	11000	6450	0,278	66,3	87,0	11500	3850	249	0,301	0,543	1410	3830	51,7	23,1
	Med	61,8	9550	5110	0,0370	63,1	85,9	10400	3470	175	0,102	0,389	1330	2950	42,5	21,1
	CV%	81	56	78	420	37	44	47	48	89	237	93	36	79	68	34
	Max	514	39100	25900	14,5	220	367,5	37600	11800	1240	7,76	3,58	4310	19300	311	65,5
	Min	18,3	2390	510	0,0131	20,0	19,8	3070	1610	12,7	0,0117	0,0419	549	1430	12,1	9,0
	n	292	292	258	194	292	292	292	292	270	292	292	292	292	288	292
Problemáticas	Média	70,8	9971	5480	0,192	112	174,9	11100	3700	351	0,234	0,540	1460	3530	48,0	24,2
	Med	59,5	9135	4740	0,0341	96,3	151,6	9850	3320	277	0,113	0,375	1340	2970	43,8	21,8
	CV%	75	46	77	532	41	39	44	40	70	186	100	36	53	47	41
	Max	577	24800	24600	11,6	434	680,0	28800	10700	1560	4,27	3,81	4730	15400	148	87,0
	Min	22,7	2399	557	0,0137	50,3	110	3737,8	1650	37,1	0,0098	0,0687	604	1430	15,4	13,5
	n	212	212	198	164	212	212	212	191	212	212	212	212	212	212	212

Med = Mediana; Max = Máximo; Min = Mínimo; CV = Coeficiente de variação; n = número de amostras

Fonte: O autor (2023).

Tabela 19 – Concentrações (mg/kg) médias, mediana, máximos, mínimos e coeficiente de variação (CV%) dos elementos químicos lantanídeos das amostras de folhas não problemáticas e problemáticas do PARNA Catimbau

Grupo		Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Tm	Yb
Não problemáticas	Média	0,339	0,00886	0,00567	0,00281	0,0166	0,0022	0,158	0,00091	0,0722	0,0162	0,0141	0,00207	0,00120	0,00303
	Med	0,195	0,00398	0,00188	0,00142	0,00977	0,00083	0,0856	0,00029	0,0425	0,00917	0,00884	0,00079	0,00036	0,00140
	CV%	145	207	277	142	155	227	172	185	152	155	142	179	205	259
	Max	4,41	0,183	0,178	0,0258	0,211	0,0517	2,32	0,0137	0,848	0,190	0,163	0,0271	0,0228	0,0903
	Min	0,0229	0,00039	0,00046	0,00047	0,00032	0,00038	0,00663	0,00028	0,00424	0,0003	0,00038	0,00038	0,00035	0,00032
	n	292	267	228	219	290	215	292	110	292	292	292	292	182	132
Problemáticas	Média	0,623	0,0134	0,00684	0,00353	0,0281	0,00272	0,282	0,00086	0,130	0,0291	0,0239	0,00243	0,00106	0,00391
	Med	0,430	0,00784	0,00374	0,00237	0,0191	0,00129	0,185	0,00029	0,0864	0,0194	0,0163	0,00155	0,00075	0,00250
	CV%	115	143	160	119	135	148	128	177	120	121	108	151	117	131
	Max	5,94	0,164	0,0871	0,0356	0,405	0,0294	2,79	0,0155	1,33	0,306	0,231	0,0323	0,00674	0,0394
	Min	0,0785	0,00118	0,00047	0,00047	0,0039	0,00039	0,0336	0,00028	0,0167	0,00381	0,00426	0,00039	0,00035	0,00033
	n	212	212	204	198	212	190	212	136	212	212	212	184	146	202

Med = Mediana; Max = Máximo; Min = Mínimo; CV = Coeficiente de variação; n = número de amostras

Fonte: O autor (2023).

Tabela 20 – Concentrações (mg/kg) das médias, mediana, máximos, mínimos e coeficiente de variação (CV%) dos elementos químicos tóxicos e traços das amostras de folhas não problemáticas e problemáticas do PARNA Catimbau

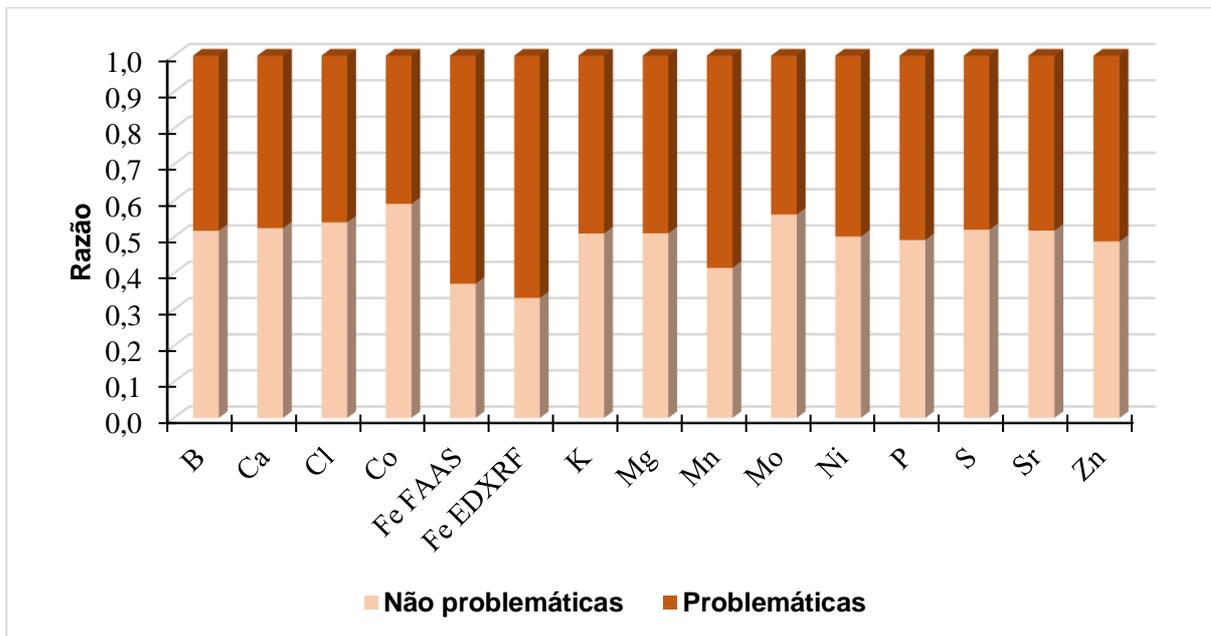
Grupo		Al	As	Cd	Cr	Pb	Sb	Th	U	V
Não problemáticas	Média	297	0,0594	0,0544	0,271	0,260	0,0146	0,0353	0,0375	0,156
	Med	200	0,0529	0,0279	0,220	0,204	0,0103	0,0232	0,0239	0,138
	CV%	98	61	144	77	77	84	137	177	62
	Max	1790	0,202	0,621	1,98	1,26	0,0861	0,428	0,866	0,509
	Min	49,0	0,00443	0,0007	0,036	0,0217	0,0002	0,0010	0,0009	0,0133
	n	212	285	287	292	287	290	291	292	288
Problemáticas	Média	354	0,0629	0,0541	0,303	0,390	0,0228	0,0792	0,0462	0,234
	Med	293	0,0589	0,0250	0,264	0,359	0,0155	0,0571	0,0359	0,190
	CV%	76	65	250	52	62	218	89	86	70
	Max	1980	0,255	1,80	0,927	1,69	0,708	0,505	0,285	1,28
	Min	97,1	0,00358	0,0022	0,0699	0,0511	0,0020	0,0251	0,0085	0,0154
	n	180	204	209	212	212	212	212	212	212

Med = Mediana; Max = Máximo; Min = Mínimo; CV = Coeficiente de variação; n = número de amostras

Fonte: O autor (2023).

A Figura 20 ilustra as diferenças entre as razões das concentrações médias encontradas para os elementos químicos nutricionais. Verificou-se pouca variação entre as razões dos elementos químicos B, Ca, Cl, K, Mg, Ni, P, S, Sr e Zn. Para as plantas do conjunto de dados considerados sem contaminação por terra (não problemáticas), foram obtidas as maiores razões de concentração para Co e Mo, podendo ser indicativo de espécies acumuladoras destes elementos químicos. Para Fe quantificado por FAAS e por EDXRF e Mn, foi observada maior razão média para o conjunto de amostras problemáticas, comportamento esperado, visto que um dos critérios para separar o conjunto de dados em amostras contaminadas e não contaminadas por terra foi a utilização do limite de Fe < 109 mg/kg para amostras não contaminadas. Mn apresentou intercorrelação com Fe, com esses elementos químicos estando associados em processos geoquímicos (KABATA-PENDIAS, 2011).

Figura 20 – *Fingerprint* dos elementos químicos nutricionais dos grupos de folhas analisados no PARNA Catimbau

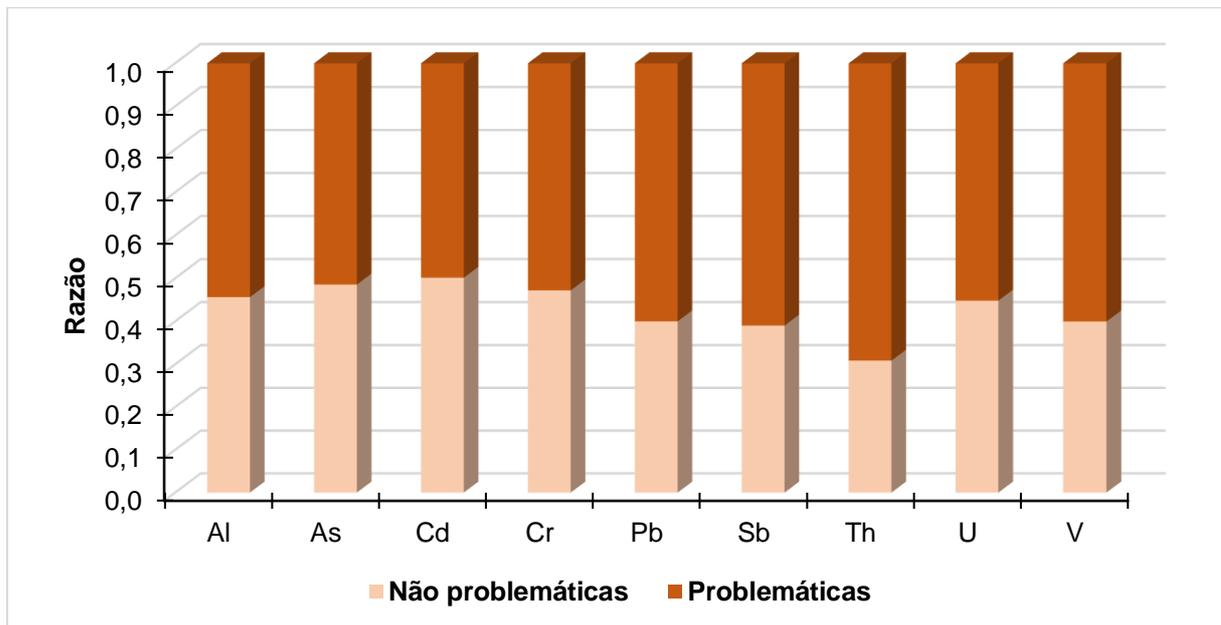


Fonte: O autor (2023).

A impressão digital para o grupo de elementos químicos tóxicos e traços (Al, As, Cd, Cr, Pb, Sb, Th, U e V) está apresentada na Figura 21. Para este grupo de elementos químicos, a tendência foi maior valor médio para o grupo de amostras problemáticas (consideradas com contaminação por terra), com exceção do Cd que apresentou razão de concentrações próximas entre os dois grupos de amostras. Tório apresentou elevada tendência para as amostras problemáticas, resultado esperado devido ao segundo critério utilizado na separação dos dois grupos de amostras ($Th < 0,024$ mg/kg). Outros elementos químicos terrígenos como Al, Pb, Th e U também apresentaram esta tendência, indicando que os parâmetros utilizados na divisão dos dois grupos de amostras foram eficientes para separar as amostras de folhas contaminadas com terra das não contaminadas.

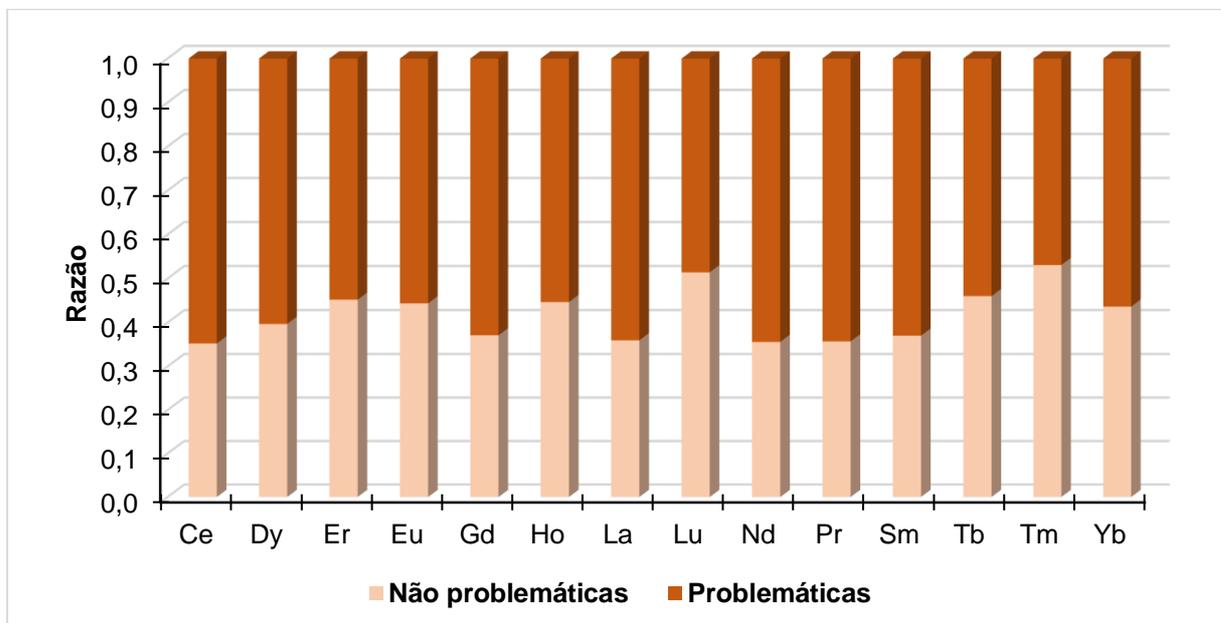
No gráfico de impressão digital da Figura 22, foram ilustradas as diferenças entre as razões das concentrações encontradas para os lantanídeos (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm e Yb) nas amostras problemáticas e não problemáticas. Apenas Lu e Tm apresentaram razão de concentrações próxima entre os dois grupos de amostras. Para os demais lantanídeos investigados (Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Nd, Pr, Sm, Tb e Yb), foi verificada a tendência das espécies do grupo das problemáticas apresentarem maiores concentrações de elementos químicos.

Figura 21 – *Fingerprint* dos elementos químicos traços e tóxicos dos grupos de folhas analisados no PARNA Catimbau



Fonte: O autor (2023).

Figura 22 – *Fingerprint* dos lantanídeos dos grupos de folhas analisados no PARNA Catimbau



Fonte: O autor (2023).

Esta tendência de os elementos químicos terrígenos apresentarem maiores concentrações médias para o grupo de amostras problemáticas, conforme observado nas Figuras 21 e 22, confirmam as observações feitas nas matrizes de correlações de Pearson, em que se

verificou a não correlação de elementos químicos terrígenos com Fe para o grupo de amostras não contaminadas com terra (não problemáticas). Desta forma, pode-se concluir que a aplicação dos limites definidos para Fe (< 109 mg/kg) e Th ($< 0,024$ mg/kg) foi satisfatória para dividir as amostras de folhas em dois grupos, amostras não contaminadas e amostras contaminadas com terra. Contudo, vale ressaltar que espécies acumuladoras de Fe e Th podem ter sido consideradas como problemáticas.

Devido a este problema de contaminação por terra na superfície das folhas, nas etapas seguintes deste trabalho foram consideradas apenas o grupo de amostras não problemáticas, ou seja, amostras de folhas consideradas sem contaminação por terra na sua superfície. Também foram considerados nas próximas etapas apenas os resultados para Fe FAAS, indicativo de menor ocorrência de contaminação nos resultados em comparação com Fe EDXRF.

As concentrações médias, máximas e mínimas em mg/kg, para o grupo de espécies sem contaminação por terra foram reportadas no Apêndice B. Contudo, devido aos critérios aplicados para separar o conjunto de dados em amostras contaminadas e não contaminadas, algumas espécies acabaram sendo eliminadas do grupo de amostras não problemáticas. Estas espécies que foram eliminadas deste conjunto de dados foram reportadas no Apêndice C, com valores das concentrações médias, máximas e mínimas. Os resultados para estas espécies eliminadas podem estar sujeitos à contaminação por terra, principalmente nos elementos químicos terrígenos.

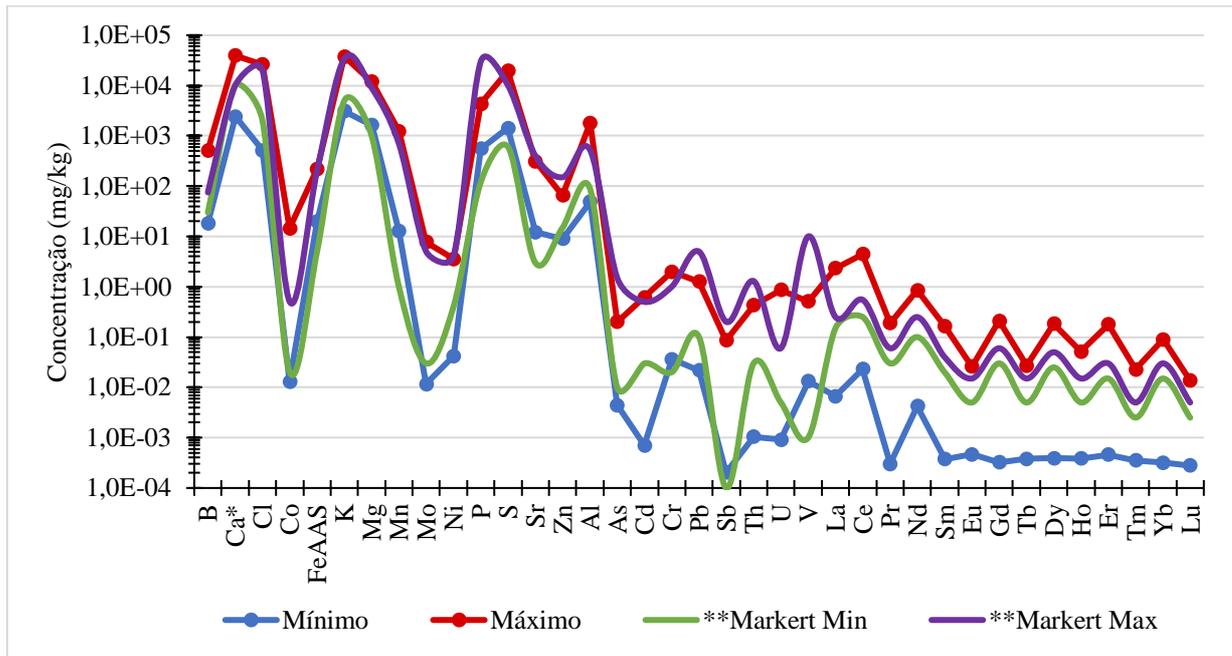
4.3 Valores de referência

As plantas estão expostas às alterações das condições ambientais de sua área de crescimento, podendo acumular elementos químicos em função de característica de adaptabilidade às variações químicas do ambiente. Devido a estas características, estes organismos podem ser utilizados como indicadores da qualidade ambiental (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007). Entretanto, para avaliar se determinados organismos podem ser utilizados como biomonitores, torna-se necessário conhecer as concentrações de elementos químicos naturais ou valores de referências. No entanto, estudos voltados para a obtenção de padrões de referência ambientais são poucos, com a maioria estando direcionada para a Mata Atlântica, sendo poucos aqueles voltados à caracterização da vegetação das caatingas. Destaca-se, ainda, que grande parte destes estudos são limitados a elementos químicos nutricionais.

Como exemplo de valores de referência, têm-se os valores máximos e mínimos da planta de referência de Markert (1998), que são estimadas as faixas de concentrações para

diversos elementos químicos, nutricionais, tóxicos e traços. No gráfico da Figura 23, realizou-se uma comparação entre as concentrações máximas e mínimas obtidas para os elementos químicos estudados neste trabalho (amostras não problemáticas) com os valores de referência da planta de Markert.

Figura 23 – Comparação entre as concentrações máximas e mínimas dos elementos químicos investigados com os valores de referência da planta de Markert



* Concentração média para Markert; **Referência de Markert (1998).

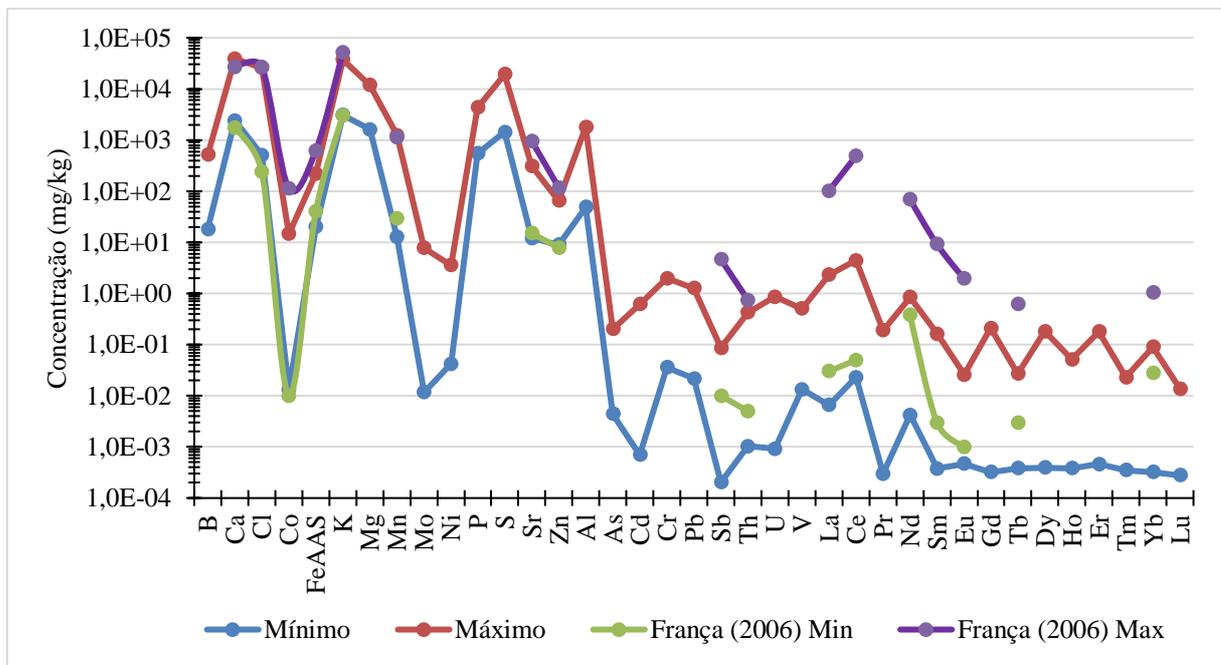
Fonte: O autor (2023).

A maior parte dos elementos químicos investigados, nutricionais (B, Ca Cl, Co, Mg, Mn, Mo, P e S), tóxicos e traços (Al, Cd, Cr e U) e lantanídeos (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb Lu), apresentou valores máximos superiores aos valores máximos reportados para a planta de Markert (1998). Este fenômeno pode estar relacionado com altas concentrações encontradas para algumas espécies, sendo indicativo da presença de plantas bioacumuladoras de elementos químicos no conjunto de dados. Observa-se também, que a maioria dos elementos químicos investigados, com destaque para os lantanídeos, Cd, Th e U, apresentaram concentrações mínimas abaixo das mínimas reportadas por Markert (1998). Os dados também indicam deficiência nutricional em algumas destas plantas, confirmando os estudos de Santos (2020) e Silva (2020) que relataram deficiência nutricional em espécies de plantas das caatingas, principalmente de N e P.

Mesmo que os valores reportados para a planta de Markert (1998) sejam reconhecidos como padrões de referência, recomenda-se realizar a comparação dos resultados neste trabalho com valores de referência de plantas de clima local. Entretanto, valores de referência para os diferentes tipos vegetacionais brasileiros são muitas vezes limitados. Embora, pode-se destacar o estudo de França (2006), que investigou a concentração de elementos químicos de plantas da Mata Atlântica, realizando a identificação de espécies acumuladoras.

Na Figura 24, foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos neste trabalho com as concentrações máximas e mínimas dos elementos químicos investigados por França (2006). Verifica-se que a maior parte dos elementos químicos estudados pelo autor (Cl, Co, Fe, K, Sr, Zn, Sb, Th, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb e Yb), apresentaram concentrações mais elevadas em comparação com os resultados deste trabalho. Os elementos químicos Ca e Mn apresentaram concentrações máximas superiores neste estudo quando comparado as concentrações máximas reportadas por França (2006), indicativo de acumulação de Ca e Mn em folhas de alguma espécie de plantas da Caatinga.

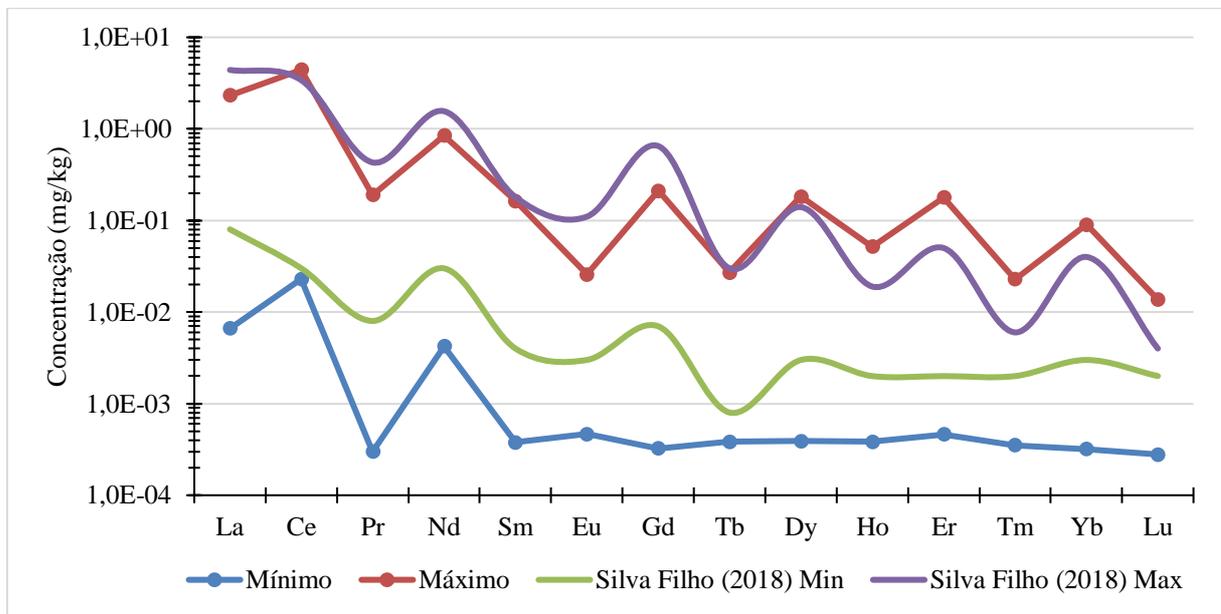
Figura 24 – Comparação entre as concentrações máximas e mínimas dos elementos químicos investigados com os valores de referência de França (2006) de árvores da Mata Atlântica



Fonte: O autor (2023).

Na Figura 25, observam-se os resultados para lantanídeos investigados neste trabalho em comparação com os resultados máximos e mínimos reportados por Silva Filho (2018) em espécies de plantas das caatingas. As concentrações máximas de Ce, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu investigados neste trabalho foram superiores aos resultados reportados por Silva Filho (2018), que também reportou plantas acumuladoras de terras raras nas caatingas. Os valores máximos para estes elementos químicos também foram superiores quando comparado com a planta de referência de Markert, podendo confirmar a presença de plantas acumuladoras de lantanídeos no conjunto de dados investigados.

Figura 25 – Comparação entre as concentrações máximas e mínimas dos lantanídeos investigados com os valores de referência de Silva Filho (2018) de árvores de caatingas



Fonte: O autor (2023).

Na ausência de valores de referência, principalmente para plantas das caatingas, ocorrem dificuldades em avaliar se as plantas investigadas podem ser definidas como acumuladoras de elementos químicos. Entretanto, alguns critérios podem ser adotados para avaliar a bioacumulação de substâncias químicas. Por exemplo, a partir da comparação entre as concentrações encontradas em diversas espécies ocorrentes num mesmo ecossistema, podendo ser utilizado a comparação entre fatores de transferência (FT) ou fatores de bioacumulação folha-solo (FBFS), quando há a disponibilidade de valores individuais dos solos (FRANÇA, 2006). Outra alternativa é realizar a comparação direta para espécies crescendo em um mesmo local a partir de critérios estatísticos, como, pela comparação entre a concentração do elemento químico e a sua concentração média, ou pela utilização dos quartis 25% e 75%, sendo

considerado o primeiro quartil (25%) como valor de referência (*background*), já as concentrações de elementos químicos acima do terceiro quartil (75%) considera-se como organismos acumuladores (SILVA FILHO, 2018; MÉLO, 2019).

Elias et al. (2006) selecionaram espécies epifíticas acumuladoras de elementos químicos na Mata Atlântica com base na diversidade de elementos químicos e acumulação nas folhas. O método utilizado pelos autores para medir a acumulação refere-se à computação de índices variando de 0 a 1, conforme comparação entre a concentração do elemento químico para a espécie e a concentração média do elemento químico, com as espécies que apresentaram valores médios próximos a 1 sendo consideradas acumuladoras. Mélo (2019) investigou a acumulação de elementos químicos por gastrópodes de manguezais da costa brasileira. Inicialmente, realizou-se a comparação entre o valor da mediana e a concentração do elemento químico para as espécies investigadas, definindo índices de acumulação variando entre -1 para a menor média e +1 para as espécies que apresentaram concentração média maior que a mediana. Posteriormente, adotou-se o primeiro quartil (25%) como *background* ambiental para definir os valores de referência para o estudo de biomonitoração (MÉLO, 2019).

Silva Filho (2018) utilizou a comparação direta para avaliar a bioacumulação de elementos terras raras em plantas das caatingas, sendo atribuído a distribuição normal das concentrações dos ETR para a obtenção dos quartis 25% e 75%. O autor considerou que as plantas com concentração abaixo do primeiro quartil (25%) não eram acumuladoras, enquanto as plantas com concentrações acima do terceiro quartil (75%) foram indicativas de acumulação.

Neste trabalho, devido às limitações de informações sobre valores de referência para plantas das caatingas e pela indisponibilidade de valores individuais para as concentrações de elementos químicos nos solos, impossibilitando trabalhar com fatores de bioacumulação solo-planta, a identificação de espécies acumuladoras de elementos químicos foi feita com base em valores obtidos do terceiro quartil (75%). Na Tabela 21, é apresentada a estatística descritiva e os quartis Q1 (25%) e Q3 (75%) para os elementos químicos determinados nas folhas (amostras não problemáticas) das espécies de plantas das caatingas do Parque Nacional do Catimbau.

Deve-se considerar também, que os solos das florestas de caatingas, em geral, são ácidos, arenosos e com baixa fertilidade natural (ARNAN et al., 2018; BARROS, 2018; COSTA et al., 2022). Desta forma, o compartimento solo exerce pouca influência na concentração dos elementos químicos da planta, com a atmosfera e a ciclagem via decomposição da serrapilheira, sendo as principais entradas de elementos químicos no sistema solo-planta (FRANÇA, 2006; SANTOS, 2020; SILVA, 2020). Neste contexto, a identificação de plantas bioacumuladoras com base nos valores dos quartis se tornou apropriada.

Tabela 21 – Estatística descritiva e quartis das concentrações dos elementos químicos (mg/kg) das amostras de folhas não problemáticas de plantas das caatingas do PARNA

Catimbau

Analito	n	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Quartil 25%	Quartil 75%
Al	212	297	200	49	1790	138	338
As	285	0,0594	0,0529	0,00443	0,202	0,0347	0,0761
B	292	75,9	61,8	18,2	513	47,4	84,5
Ca	292	11000	9550	2390	39100	6330	14030
Cd	287	0,0544	0,0279	0,0007	0,621	0,0112	0,0649
Ce	292	0,339	0,195	0,0229	4,41	0,123	0,344
Cl	258	6450	5110	510	25900	3040	8800
Co	194	0,278	0,037	0,0131	14,5	0,0199	0,0848
Cr	292	0,271	0,220	0,036	1,98	0,154	0,311
Dy	267	0,00886	0,00398	0,00039	0,183	0,00237	0,00743
Er	228	0,00567	0,00188	0,00046	0,178	0,00137	0,00373
Eu	219	0,00281	0,00142	0,00046	0,0258	0,00079	0,0027
Fe FAAS	292	66,3	63,1	20,0	220	52,6	75,8
Gd	290	0,0166	0,00977	0,00032	0,211	0,00576	0,0153
Ho	215	0,0022	0,00083	0,00038	0,0517	0,00039	0,00171
K	292	11500	10400	3070	37600	7990,0	13500
La	292	0,159	0,0856	0,00662	2,32	0,0543	0,145
Lu	110	0,0009	0,00029	0,00028	0,0137	0,00028	0,00091
Mg	270	3850	3470	1610	11800	2500	4580
Mn	292	249	175	12,7	1230	107	321
Mo	292	0,301	0,102	0,0117	7,76	0,0516	0,279
Nd	292	0,0722	0,0425	0,00423	0,848	0,0263	0,0689
Ni	292	0,543	0,389	0,0418	3,58	0,230	0,637
P	292	1410	1330	549	432	1100	1600
Pb	287	0,260	0,204	0,0217	1,26	0,124	0,348
Pr	292	0,0162	0,00917	0,0003	0,190	0,00536	0,0148
S	288	3820	2950	1430	19300	2350	3980
Sb	290	0,0146	0,0103	0,00020	0,0861	0,00725	0,0182
Sm	292	0,0141	0,00884	0,00038	0,163	0,00545	0,0131
Sr	292	51,7	42,5	12,1	311	28,4	63,9
Tb	182	0,00207	0,00078	0,00038	0,0271	0,00039	0,00195
Th	291	0,0353	0,0232	0,00103	0,428	0,0152	0,0371
Tm	132	0,0012	0,00036	0,00035	0,0228	0,00036	0,00115
U	292	0,0375	0,0239	0,00091	0,866	0,0121	0,0417
V	288	0,156	0,138	0,0133	0,509	0,0808	0,200
Yb	238	0,00302	0,0014	0,00032	0,0903	0,00069	0,00248
Zn	292	23,1	21,1	9,0	65,5	17,8	26,1

n = número de amostras cadastradas

Fonte: O autor (2023).

4.4 Bioacumulação de elementos químicos

O estudo da bioacumulação de elementos químicos em plantas das caatingas foi realizado para avaliar a capacidade de acumulação em nível de família e de espécies, indicando potenciais espécies bioacumuladoras de elementos químicos. Considerações sobre a essencialidade dos elementos químicos e a comparação das concentrações obtidas das espécies estudadas foram também realizadas com aquelas já encontradas em plantas.

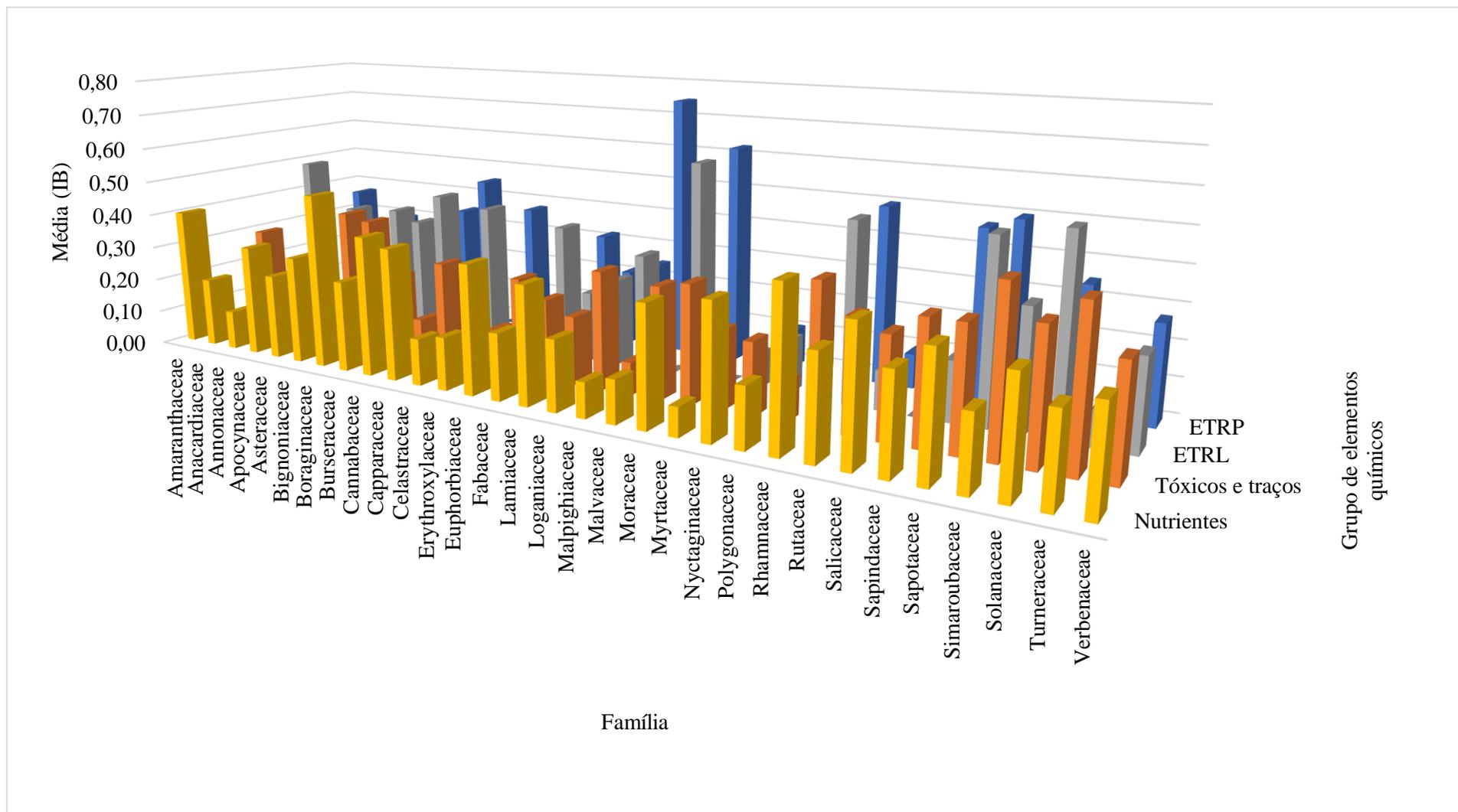
A identificação de espécies acumuladoras foi realizada utilizando como parâmetro as concentrações obtidas para o terceiro quartil (75%) (Tabela 21). Após a definição do terceiro quartil para cada elemento químico investigado foi calculado o Índice de Bioacumulação (IB) variando de 0 a 1, sendo atribuído o índice 0 para amostras que apresentaram concentrações abaixo do valor definido para o quartil de 75% e o índice 1 definido para amostras que apresentaram concentração acima do terceiro quartil, sendo indicativo de acumulação de elemento químico. O índice de bioacumulação foi calculado individualmente para cada amostra de folha e elemento químico investigado neste trabalho. A média do índice de bioacumulação também foi calculada considerando os seguintes grupos de elementos químicos, nutricionais (B, Ca, Cl, Co, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Sr, S e Zn), tóxicos e traços (Al, As, Cd, Cr, Pb, Sb, Th, U e V), elementos terras raras leves (La, Ce, Pr, Nd, Sm e Eu) e elementos terras raras pesados (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu).

4.4.1 Famílias bioacumuladoras

A avaliação da bioacumulação por família foi realizada a partir do cálculo do índice médio de bioacumulação para os quatro grupos de elementos químicos nutricionais, tóxicos e traços, elementos terras raras leves (ETRL) e elementos terras raras pesados (ETRP), sendo realizado a média destes grupos de elementos químicos para cada família investigada, obtendo o índice de bioacumulação por família.

Os resultados foram plotados em dois gráficos; inicialmente foram reportados os resultados médios para o índice de bioacumulação por família para todas as amostras investigadas neste trabalho (Figura 26), sendo consideradas também neste grupo as amostras que apresentaram contaminação por terra (conforme discutido no tópico 4.2 Influência da contaminação da superfície das folhas com material geológico).

Figura 26 – Índice de bioacumulação médio para as famílias de todas as amostras de folhas investigadas



IB = Índice de Bioacumulação ETRP = Elementos terras raras pesados; ETRL = Elementos terras raras leves.

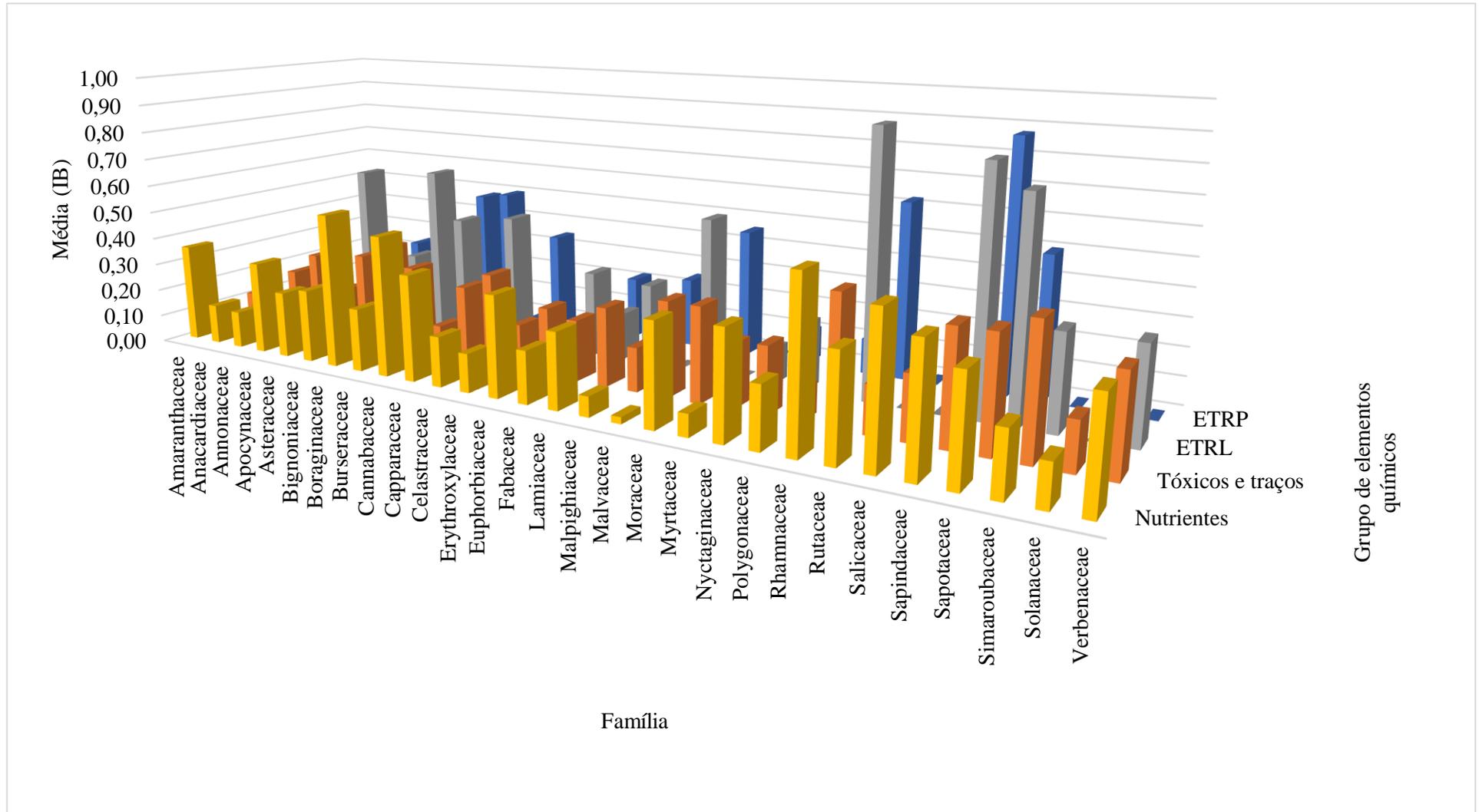
Fonte: O autor (2023).

Considerando as informações reportadas no gráfico da Figura 26 para o conjunto total de amostras, as famílias que apresentaram maior índice de bioacumulação de nutrientes foram a Boraginaceae (IB = 0,5) e Rhamnaceae (IB = 0,43). Para os elementos tóxicos e traços, destacam-se as famílias Simaroubaceae (IB = 0,44) e Turneraceae (IB = 0,42). Para o grupo dos elementos terras raras leves (ETRL), as famílias que apresentaram maior índice de bioacumulação foram Anacardiaceae (IB = 0,5), Burseraceae (IB = 0,44), Malvaceae (IB = 0,61), Rhamnaceae (IB = 0,5), Sapotaceae (IB = 0,5) e Solanaceae (IB = 0,53). Já para os elementos químicos terras raras pesados (ETRP), as famílias com maior índice foram Burseraceae (IB = 0,45), Loganiaceae (IB = 0,75), Malvaceae (IB = 0,63), Rhamnaceae (IB = 0,5), Sapindaceae (IB = 0,47) e Sapotaceae (IB = 0,5).

Na Figura 27, foram desconsideradas as amostras que apresentaram contaminação por terra, ou seja, levando em conta apenas o grupo de amostras não problemáticas, apresentando-se o índice de bioacumulação médio definidos para as famílias das amostras de folhas não problemáticas (sem contaminação por terra). Ao eliminar as amostras consideradas com contaminação por terra, as famílias Loganiaceae e Turneraceae acabaram sendo excluídas neste conjunto de dados. Mudanças no índice de bioacumulação médio para as famílias também foram observados, com alguns índices aumentando e outros diminuindo. Para os elementos químicos nutricionais, as famílias que apresentaram maiores índices foram Boraginaceae (IB = 0,55), Cannabaceae (IB = 0,5), Rhamnaceae (IB = 0,57) e Salicaceae (IB = 0,5). Com relação aos tóxicos e traços, as famílias com maiores IB foram Rhamnaceae (IB = 0,44) e Simaroubaceae (IB = 0,44). Observa-se que a acumulação de elementos químicos tóxicos e traços foi relativamente menor em comparação com os demais grupos de elementos químicos, com os índices de bioacumulação estando abaixo de 0,5 para todas as famílias investigadas.

No grupo dos lantanídeos leves e pesados, observa-se as famílias com os maiores índices de bioacumulação, quando comparado ao grupo dos elementos químicos nutricionais e tóxicos e traços; para os elementos terras raras leves (ETRL): os maiores índices foram para Apocynaceae (IB = 0,59), Boraginaceae (IB = 0,62), Capparaceae (IB = 0,48), Malvaceae (IB = 0,56), Rhamnaceae (IB = 0,92), Sapindaceae (IB = 0,83) e Sapotaceae (IB = 0,75); com relação aos elementos terras raras pesados (ETRP): as famílias com maiores índices foram Boraginaceae (IB = 0,48), Capparaceae (IB = 0,5), Malvaceae (IB = 0,46), Rhamnaceae (IB = 0,63), Sapindaceae (IB = 0,83) e Sapotaceae (IB = 0,75).

Figura 27 – Índice de bioacumulação médio para as famílias das amostras de folhas não problemáticas (sem contaminação por terra)



IB = Índice de Bioacumulação ETRP = Elementos terras raras pesados; ETRL = Elementos terras raras leves.

Fonte: O autor (2023).

Conforme observado no gráfico da Figura 27, todas as famílias apresentaram índices de bioacumulação para os elementos químicos nutricionais e para o grupo dos elementos tóxicos e traços, embora algumas famílias apresentaram índices próximos a zero, destacando a Malvaceae e Myrtaceae. No grupo dos lantanídeos leves e pesados (ETRL e ETRP), algumas famílias apresentaram índice de bioacumulação igual a 0, como por exemplo, Annonaceae, Asteraceae, Malpighiaceae, Moraceae, Rutaceae e Solanaceae, indicando ausência de espécies acumuladoras de lantanídeos nestas famílias.

Outra questão a ser considerada é que algumas destas famílias que apresentaram maiores índices de bioacumulação possuem pouca representatividade com relação ao conjunto total de dados, por exemplo, as famílias Simaroubaceae e Salicaceae são representadas por 1 indivíduo cada, as famílias Loganiaceae, Rhamnaceae e Sapotaceae são representadas por apenas 2 indivíduos. Isto indica que estas famílias apresentam espécies raras que podem estar acumulando elementos químicos, elevando o IB. Enquanto famílias mais representativas, como a Fabaceae e Euphorbiaceae, apresentaram índices de bioacumulação menores, demonstrando que elas podem ter espécies acumuladoras para alguns elementos químicos, embora os índices médios de bioacumulação estejam sendo afetados por espécies não acumuladoras.

A família Fabaceae (leguminosas) é uma das mais diversificadas em se tratando do número de espécies investigadas neste trabalho, representando 32 espécies das 114 estudadas. A diversidade de espécies leguminosas é particularmente maior em florestas tropicais secas em comparação com as úmidas em áreas sob regeneração natural (GEI et al., 2018). São plantas pioneiras e adaptadas a condições de altas temperaturas e baixa disponibilidade de água no semiárido (GEI et al., 2018), por isso a predominância de espécies de Fabaceae em florestas de caatingas do PARNA Catimbau (ATHIÊ-SOUZA et al., 2018).

Mesmo não apresentando índices de bioacumulação elevados, algumas espécies de Fabaceae podem acumular elementos químicos. Silva filho (2018) reportou que as espécies das caatingas *Mimosa tenuiflora*, *Poincianella pyramidalis* e *Senegalia* sp. apresentam potencial de acumulação de elementos químicos terras raras. Abubakari et al. (2021) reportaram diferentes espécies de *Gastrolobium* como hiperacumuladoras de flúor. Grankina et al. (2009) indicaram acumulação de Fe, Mn, Cu e Co em *Glycyrrhiza uralensis*.

Euphorbiaceae é considerada uma das principais famílias da flora brasileira, com representantes espalhados em diferentes habitats, principalmente em regiões tropicais e temperadas (SÁTIRO; ROQUE, 2008). Com relação ao conjunto de dados investigado neste trabalho, essa família botânica representou a segunda família mais diversificada, com 16

espécies de plantas estudadas embora seja considerada a terceira família mais representativa nas caatingas do PARNA Catimbau (ATHIÊ-SOUZA et al., 2018).

O índice de bioacumulação médio para a família Euphorbiaceae foi maior em comparação com os índices para a família Fabaceae. Espécies de Euphorbiaceae já foram identificadas como bioacumuladoras, por exemplo, França (2006) investigou a acumulação de elementos químicos em plantas da Mata atlântica, indicando a espécie *Hyeronima alchorneoides* (Euphorbiaceae) como acumuladora de Co. Barba-Brioso et al. (2023) reportaram *Euphorbia segetalis* como acumuladora de Cd, Co e Zn, enquanto a espécie *Euphorbia granulata* foi indicada como eficiente acumuladora de Hg (PARVEZ, 2023).

4.4.2 Espécies bioacumuladoras

Os estudos de bioacumulação por espécies foram realizados considerando o grupo de amostras não problemáticas (sem contaminação por terra), sendo composto por 292 amostras de planta, com este grupo representando 97 espécies das 114 estudadas neste trabalho. Inicialmente, a avaliação de espécies bioacumuladoras foi realizada considerando a média do índice de bioacumulação por espécie para os quatro grupos de elementos químicos: nutricionais, tóxicos e traços, elementos terras raras leves (ETRL) e elementos terras raras pesados (ETRP). Posteriormente, foi realizada a avaliação individual de espécies acumuladoras por elemento químico, sendo considerado o índice de bioacumulação, a representatividade de cada espécie de planta e o percentual de indivíduos acumuladores. Desta forma, foi possível indicar potenciais espécies de plantas das caatingas bioacumuladoras de elementos químicos.

Na Figura 28, é mostrado o índice de bioacumulação (IB) por espécies, considerando a média dos quatro grupos de elementos químicos: nutricionais (B, Ca, Cl, Co, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Sr, S e Zn), tóxicos e traços (Al, As, Cd, Cr, Pb, Sb, Th, U e V), elementos terras raras leves – ETRL (La, Ce, Pr, Nd, Sm e Eu) e elementos terras raras pesados – ETRP (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu). Considerando esta bioacumulação por grupos de elementos químicos, as espécies com índices de bioacumulação (IB) mais centralizados no gráfico indicam pouca acumulação de elementos químicos. Enquanto as espécies com IB mais próximos de 1, pontos mais externos do gráfico, indicam espécies com maior potencial acumulativo de elementos químicos.

Analisando os quatro grupos de elementos químicos, as espécies com maiores índices de bioacumulação foram *Cordia bullata* var. *globosa*, *Cordia leucocephala*, *Croton tricolor*, *Poincianella pyramidalis*, *Sideroxylon obtusifolium*, *Varronia globosa* e *Ziziphus joazeiro*, apresentando índices elevados nos quatro grupos de elementos químicos. Avaliando individualmente cada grupo, a espécie *Varronia globosa* foi a que apresentou maior IB para os elementos químicos nutricionais. Considerando o grupo dos elementos tóxicos e traços, as espécies com maiores índices foram *Cordia bullata* var. *globosa* e *Aspidosperma* sp.

Os grupos dos elementos terras raras leves (ETRL) e terras raras pesados (ETRP) foram os que apresentaram espécies com IB mais próximo de 1, destacando-se as espécies *Allophylus quercifolius*, *Amburana cearenses*, *Cordia bullata* var. *globosa*, *Cordia leucocephala*, *Croton sonderianus*, *Croton tricolor*, *Hyptis* sp., *Mimosa ophthalmocentra*, *Poincianella pyramidalis*, *Sideroxylon obtusifolium* e *Ziziphus joazeiro*. Algumas espécies apresentaram IB elevado para elementos terras raras leves, entretanto, não acumulando para elementos terras raras pesados, como exemplo, têm-se as espécies *Aspidosperma pyriformis*, *Aspidosperma* sp., *Bauhinia acuruana*, *Lippia* sp., *Senna cana* e *Varronia globosa*.

As espécies *Poincianella pyramidalis* e *Ziziphus joazeiro* também foram estudadas por Silva Filho (2018), com o autor indicando serem espécies com potencial de acumulação de elementos terras raras, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho. Contudo, algumas destas espécies que apresentaram IB elevados (índices próximos a 1), possuem pouca representatividade, com 1 ou 2 amostras dentro do conjunto de dados. As espécies *Poincianella pyramidalis* e *Ziziphus joazeiro* também são pouco representativas no conjunto de dados, com 2 amostras de cada espécie. Por serem pouco representativas, elas são consideradas como espécies raras, entretanto, também podem estar acumulando elementos químicos. Contudo, para avaliar se estas espécies raras são bioacumuladoras de elementos químicos, torna-se necessário a realização de mais estudos, com um maior número de amostras por espécie.

Após avaliar a bioacumulação das espécies por grupos de elementos químicos, realizou-se os estudos para seleção de espécies acumuladoras por elemento químico. Para isso foram considerados três critérios: (1) o índice de bioacumulação, considerando as amostras que apresentaram concentração acima do terceiro quartil; (2) a representatividade das espécies, sendo excluído as espécies raras e considerando as espécies com mais de 3 indivíduos; e (3) o percentual de indivíduos acumuladores, considerado como espécie bioacumuladora quando o percentual de indivíduos acumulando o elemento químico for maior que 75%. A partir destes critérios, as espécies selecionadas como potencialmente bioacumuladoras de elementos químicos das caatingas do Parque Nacional do Catimbau foram relacionadas na Tabela 22.

Tabela 22 – Espécies potencialmente bioacumuladoras de elementos químicos das caatingas do Parque Nacional do Catimbau

Elemento químico	Espécie acumuladora	Família	Faixa de concentração		n	% de indivíduos acumuladores	Valores de referência (mg/kg)			
			Mínima (mg/kg)	Máxima (mg/kg)			Markert (1998)	Kabata-Pendias (2011)	França (2006)	Silva Filho (2018)**
B	<i>Cynophalla flexuosa</i>	Capparaceae	138	513	9	100	30-75	1-30	-	-
Ca	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Apocynaceae	21300	30800	3	100	10000*	-	1750-27000	-
Cl	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Apocynaceae	9390	17500	3	100	2000-20000	10-7000	240-27000	-
	<i>Moquiniastrum oligocephalum</i>	Asteraceae	9610	13900	3	100				
	<i>Erythroxylum revolutum</i>	Erythroxylaceae	5500	18200	11	90,9				
	<i>Croton heliotropiifolius</i>	Euphorbiaceae	10100	16800	5	100				
	<i>Guapira graciliflora</i>	Nyctaginaceae	8920	25900	8	100				
	<i>Guapira noxia</i>	Nyctaginaceae	9670	23900	3	100				
	Co	<i>Cynophalla flexuosa</i>	Capparaceae	0,182	14,5	9	100	0,02-0,5	0,10-0,57	0,01-114
Fe	<i>Jatropha mutabilis</i>	Euphorbiaceae	45,6	138	10	80	5-200	18-1000	39,7-620	-
K	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	18100	26100	3	100	5000-34000	-	3000-51700	-
	<i>Moquiniastrum oligocephalum</i>	Asteraceae	19000	20000	3	100				
	<i>Helicteres velutina</i>	Bignoniaceae	14500	24400	3	100				
	<i>Ditaxis desertorum</i>	Euphorbiaceae	17200	37600	3	100				
	<i>Dalbergia cearensis</i>	Fabaceae	14800	21600	5	100				
	Mg	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Apocynaceae	5680	8120	3	100	1000-9000	-	-
	<i>Guapira graciliflora</i>	Nyctaginaceae	4530	11800	9	87,5				
	<i>Guapira noxia</i>	Nyctaginaceae	5480	8410	3	100				
	Mn	<i>Helicteres velutina</i>	Bignoniaceae	415	704	3	100	1-700	30-500	29,6-1130
	<i>Senegalia piauiensis</i>	Fabaceae	274	794	3	75				
Mo	<i>Croton heliotropiifolius</i>	Euphorbiaceae	0,125	3,23	4	80	0,03-5	0,33-2,3	-	-
	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,462	0,853	3	100				
	<i>Senegalia bahiensis</i>	Fabaceae	0,432	0,602	4	100				

Continua...

Elemento químico	Espécie acumuladora	Família	Faixa de concentração		n	% de indivíduos acumuladores	Valores de referência (mg/kg)				
			Mínima (mg/kg)	Máxima (mg/kg)			Markert (1998)	Kabata-Pendias (2011)	França (2006)	Silva Filho (2018)**	
											Continua...
Ni	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,717	1,22	3	100	0,4-4	0,13-2,7	-	-	
	<i>Dalbergia cearensis</i>	Fabaceae	0,421	3,59	4	80					
P	<i>Croton heliotropiifolius</i>	Euphorbiaceae	1240	2540	4	80	120-30000	-	-	-	
	<i>Jatropha mutabilis</i>	Euphorbiaceae	1330	2500	8	80					
	<i>Guapira graciliflora</i>	Nyctaginaceae	1390	4320	7	87,5					
	<i>Guapira noxia</i>	Nyctaginaceae	1620	2720	3	100					
Sr	<i>Aspidosperma pyriforme</i>	Apocynaceae	76,2	109	3	100	3-400	1,2-662	15-948	-	
	<i>Cynophalla flexuosa</i>	Capparaceae	27,8	150	7	77,8					
	<i>Jatropha mutabilis</i>	Euphorbiaceae	39,4	177	8	80					
S	<i>Cynophalla flexuosa</i>	Capparaceae	12900	19300	9	100	600-10000	-	-	-	
	<i>Neocalyptrocalyx longifolium</i>	Capparaceae	5590	9750	11	100					
	<i>Piptadenia stipulacea</i>	Fabaceae	4690	6690	3	100					
	<i>Senegalia piauiensis</i>	Fabaceae	5090	15200	4	100					
	<i>Senna rizzinii</i>	Fabaceae	2730	4650	4	80					
	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	3670	4960	3	75					
Zn	<i>Neocalyptrocalyx longifolium</i>	Capparaceae	22,4	59,4	9	81,8	15-150	1,2-73	7,8-117	-	
Al	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	1500	1700	4	100	90-530	100-1000	-	-	
As	<i>Guapira noxia</i>	Nyctaginaceae	0,0773	0,135	3	100	0,01-1,5	0,009-1,5	-	-	
Cd	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,0706	0,270	3	100	0,03-0,5	0,029-0,4	-	-	
Sb	<i>Dahlstedtia araripensis</i>	Fabaceae	0,0203	0,0306	3	100	0,0001-0,2	0,002-0,029	0,01-4,3	-	
	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	0,00674	0,0343	3	75					
Th	<i>Croton nepetifolius</i>	Euphorbiaceae	0,0335	0,0844	6	83,3	0,03-1,3	0,008-1,3	0,005-0,75	-	
U	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	0,0328	0,866	4	75	0,005-0,06	0,005-0,06	-	-	
V	<i>Senna rizzinii</i>	Fabaceae	0,151	0,360	5	80	0,001-10	0,01-0,84	-	-	

Elemento químico	Espécie acumuladora	Família	Faixa de concentração		n	% de indivíduos acumuladores	Valores de referência (mg/kg)			
			Mínima (mg/kg)	Máxima (mg/kg)			Markert (1998)	Kabata-Pendias (2011)	França (2006)	Silva Filho (2018)**
La	<i>Allamanda blanchetti</i>	Apocynaceae	0,183	0,406	3	100	0,15-0,25	0,001-1,88	0,03-102	Conclusão 0,08-4,4
	<i>Aspidosperma pyriformium</i>	Apocynaceae	0,175	0,260	3	100				
	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,170	0,888	3	100				
Ce	<i>Allamanda blanchetti</i>	Apocynaceae	0,415	0,950	3	100	0,25-0,55	0,25-3,42	0,05-484	0,03-3,4
	<i>Aspidosperma pyriformium</i>	Apocynaceae	0,386	0,530	3	100				
Pr	<i>Allamanda blanchetti</i>	Apocynaceae	0,0164	0,0518	3	100	0,03-0,06	0,001-0,7	-	0,008-0,43
	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,0207	0,0728	3	100				
	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	0,0132	0,0200	4	75				
Nd	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,0923	0,286	3	100	0,1-0,25	0,003-1,797	0,38-69	0,03-1,56
	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	0,0570	0,0783	4	75				
Sm	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,0218	0,0425	3	100	0,02-0,04	0,002-0,7	0,003-9,17	0,004-0,18
	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	0,0119	0,0157	4	75				
Eu	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,00333	0,00427	3	100	0,005-0,015	0,001-0,092	0,001-1,95	0,003-0,11
Gd	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,0246	0,0419	3	100	0,03-0,06	0,002-0,3	-	0,007-0,65
	<i>Senna cana</i>	Fabaceae	0,0223	0,0421	3	100				
	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	0,0136	0,0306	4	75				
Dy	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,0117	0,0173	3	100	0,025-0,05	0,05-0,3	-	0,003-0,14
	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	0,00585	0,0109	4	75				
Ho	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,00212	0,00302	3	100	0,005-0,015	0,001-0,15	-	0,002-0,019
Er	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,00509	0,00702	3	100	0,015-0,030	0,002-0,3	-	0,002-0,05
	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	0,00232	0,00556	4	75				
Yb	<i>Allamanda blanchetti</i>	Apocynaceae	0,00323	0,0903	3	100	0,015-0,030	0,001-0,3	0,028-1,06	0,003-0,04
	<i>Croton tricolor</i>	Euphorbiaceae	0,00283	0,00359	3	100				
	<i>Campomanesia eugenioides</i>	Myrtaceae	0,00176	0,00319	4	75				

*Concentração média; **valores para plantas das caatingas; n = número de amostras

Fonte: O autor (2023).

Conforme observado na Tabela 22, dos 37 elementos químicos investigados neste trabalho, foi possível encontrar potenciais espécies bioacumuladoras para 32 elementos químicos, não sendo reportado espécies que acumulam Cr, Pb, Tb, Tm e Lu. As famílias que apresentaram mais representantes de plantas bioacumuladoras foram Fabaceae e Euphorbiaceae, com 6 e 5 espécies, respectivamente, podendo ser justificado por serem as famílias mais representativas no conjunto de dados.

Com relação às espécies acumuladoras, foram reportadas 21 espécies de plantas potencialmente bioacumuladoras de elementos químicos, com a maior parte destas plantas acumulando mais de 1 elemento químico, destacando-se: *Croton tricolor* (Euphorbiaceae) que acumulou 14 elementos químicos Cd, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, K, La, Mo, Nd, Ni, Pr, Sm e Yb; *Campomanesia eugenioides* (Myrtaceae) bioacumulando 11 elementos químicos Al, Dy, Er, Gd, Nd, Pr, S, Sb, Sm, U e Yb; *Aspidosperma pyriformium* (Apocynaceae) bioacumulando 6 elementos químicos Ca, Cl, Ce, La, Mg e Sr. As espécies que acumularam 4 elementos químicos são: *Allamanda blanchetti* (Apocynaceae) Ce, La, Pr e Yb; *Cynophalla flexuosa* (Capparaceae) B, Co, S e Sr; e *Guapira noxia* (Nyctaginaceae) As, Cl, Mg e P. Outras espécies que bioacumularam menos elementos químicos podem ser observadas na Tabela 22.

Cynophalla flexuosa apresentou concentração máxima de Co 29 vezes superior ao valor máximo reportado para a planta de Markert (1998) e cerca de 25 vezes superior ao valor máximo reportado por Kabata-Pendias (2011), confirmando ser uma espécie bioacumuladora de cobalto. Esta espécie também apresentou concentração máxima elevada para B, quando comparado aos valores de referência de Markert (1998) e Kabata-Pendias (2011), sugerindo-se como uma espécie acumuladora de boro.

Silva Filho (2018), também investigou a espécie *Cynophalla flexuosa*, indicando apresentar potencial acumulativo para elementos terras raras (Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Er, Tm e Y). Neste estudo, não foi confirmada a acumulação individual para estes elementos químicos, embora na avaliação realizada para os grupos dos elementos terras raras leves e pesados (ETRL e ETRP), os índices de bioacumulação médios para esta espécie foram de 0,55 para ETRL e 0,45 para ETRP, conforme observado no gráfico da Figura 27. Logo, há indícios que esta espécie apresente capacidade acumulativa para alguns elementos terras raras, principalmente em áreas mais modificadas e poluídas.

A espécie *Campomanesia eugenioides* destacou-se apresentando potencial de acumulação para 11 elementos químicos, principalmente elementos terras raras. A bioacumulação foi confirmada para U, com esta espécie apresentando concentrações máximas

de urânio 14 vezes superiores aos valores máximos de referência reportados por Markert (1998) e Kabata-Pendias (2011).

Considerando que a faixa de concentração reportada para estas espécies bioacumuladoras, em alguns casos, estão acima dos valores de referência e levando em conta o grau de preservação da área de estudo, distante de centros urbanos e grandes fontes de poluição, é possível indicar que o potencial de bioacumulação das espécies seja ainda maior em regiões mais modificadas das caatingas.

No Apêndice D, encontra-se um modelo de guia informativo com as características químicas dos elementos químicos, sua essencialidade e valores de referência (REIMANN; DE CARITA, 1998; MARKERT, 1998; KABATA-PENDIAS, 2011; KABATA-PENDIAS; SZTEKE, 2015). Neste guia também abordamos informações sobre as plantas das caatingas investigadas neste trabalho que apresenta potencial de acumulação de elementos químicos. Informações sobre as espécies foram obtidas de cartilhas de identificação disponíveis no site do PELD Catimbau (<https://peldcatimbau.com.br/cartilha-de-identificacao-de-especies/>). O guia completo com todos os elementos químicos e espécies acumuladoras investigadas neste trabalho foi retirado para publicação em formato de livro.

5 CONCLUSÕES

A partir da determinação de 37 elementos químicos de interesse nutricional, tóxicos e traços em espécies de plantas das caatingas do Parque Nacional do Catimbau no Estado de Pernambuco, conclui-se que:

- ✓ As técnicas analíticas empregadas EDXRF, FAAS, GFAAS e ICP-MS apresentaram alto nível metrológico com exatidão e precisão adequada para determinar 37 elementos químicos em plantas das caatingas;
- ✓ A utilização de Fe como elemento químico indicativo para rastrear a contaminação de material biológico com terra aderida na superfície das folhas auxiliou na categorização das amostras de folhas;
- ✓ A aplicação dos limites de concentração definidos para Fe (109 mg/kg) e Th (0,024 mg/kg) foi satisfatório para selecionar as amostras de folhas em dois grupos, amostras não contaminadas e amostras contaminadas com terra, proporcionando confiabilidade ao estudo de bioacumulação;
- ✓ Espécies acumuladoras de Fe e Th podem ter sido consideradas como problemáticas (com contaminação) e excluídas do conjunto de dados de amostras livre de contaminação, com estas espécies não sendo consideradas nos estudos de bioacumulação;
- ✓ Muitos elementos químicos investigados apresentam valores máximos acima daqueles estabelecidos para a planta de referência de Markert e para valores de referência de estudos locais, indicando a presença de plantas acumuladoras de elementos químicos no conjunto de dados;
- ✓ As famílias com maiores índices de bioacumulação por grupos de elementos químicos foram Boraginaceae, Loganiaceae, Malvaceae, Rhamnaceae, Sapindaceae e Sapotaceae. Contudo, ressalta-se que são famílias menos representativas considerando-se o conjunto de amostras investigadas;
- ✓ Famílias mais representativas, como a Fabaceae e Euphorbiaceae, apresentaram índices de bioacumulação por grupo de elementos químicos menores, indicando a presença de algumas espécies acumuladoras nestas famílias, embora os índices de bioacumulação estejam sendo afetado por espécies não acumuladoras;
- ✓ As espécies de plantas das caatingas destacadas na bioacumulação por grupos de elementos químicos foram *Cordia bullata* var. *globosa*, *Cordia leucocephala*, *Croton*

tricolor, *Poincianella pyramidalis*, *Sideroxylon obtusifolium*, *Varronia globosa* e *Ziziphus joazeiro*;

- ✓ Identificaram-se 21 espécies de plantas das caatingas apresentando potencial de bioacumulação de elementos químicos. Destacando-se as plantas das famílias Fabaceae e Euphorbiaceae que apresentaram um maior número de espécies acumuladoras de elementos químicos;
- ✓ As plantas bioacumuladoras para maiores quantidades de elementos químicos foram *Croton tricolor* (Cd, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, K, La, Mo, Nd, Ni, Pr, Sm e Yb), *Campomanesia eugenioides* (Al, Dy, Er, Gd, Nd, Pr, S, Sb, Sm, U e Yb), *Aspidosperma pyriforme* (Ca, Cl, Ce, La, Mg e Sr), *Allamanda blanchetti* (Ce, La, Pr e Yb), *Cynophalla flexuosa* (B, Co, S e Sr) e *Guapira noxia* (As, Cl, Mg e P);
- ✓ Com a finalização do trabalho, obteve-se um dos maiores bancos de dados das caatingas com relação ao número de elementos químicos, quantidade de amostras e número de espécies investigadas, sendo apresentado os primeiros valores de elementos químicos tóxicos e traços presentes na vegetação do Parque Nacional do Catimbau;
- ✓ Esse conhecimento contribuirá com a monitoração futura de unidades de conservação quanto à alteração destes elementos químicos. Os resultados também servirão de base para o estabelecimento de valores de referência, colaborando, ainda mais, com a conservação deste e de ecossistemas correlatos.

REFERÊNCIAS

- ABUBAKARI, F.; NKRUMAH, P. N.; FLOTTMANN, J.; ALIZADEH, A.; VAN DER ENT, A.; COOK, G. Fluoride hyperaccumulation in *Gastrolobium* species (Fabaceae) from Western Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 69, p. 516-526, 2021.
- AKABULUT, S.; CEVIK, U.; VAN, A. A.; DE WAEL, K.; VAN GRIEKEN, R. Precision and accuracy of ST-EDXRF performance for As determination comparing with ICP-MS and evaluation of As deviation in the soil media. **Chemosphere**, v. 96, p. 16-22, 2014.
- ALVES, J. J. A.; DE ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 126-135, 2009.
- AMBROZINI, B.; A FILHO, V. R.; OLIVEIRA, S. R.; SACRAMENTO, L. V. S.; GOMES NETO, J. A. Evaluation of modifiers for determination of V in parsley by GF AAS. **Food Chemistry**, v. 116, p. 1024-1028, 2009.
- ANDERSON, D. L.; CUNNINGHAM, W. C. Revalidation and long-term stability of National Institute of Standards and Technology Standard Reference Materials 1566, 1567, 1568, and 1570. **Journal of AOAC International**, v. 83, p. 1121-1134, 2000.
- ANDRADE-LIMA, D. Vegetação. In: ANDRADE-LIMA, D. **Atlas Nacional do Brasil**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia - IBGE, 1966. 62 p.
- ANJOS, M. J.; LOPES, R. T.; JESUS, E. F. O.; ASSIS, J. T.; CESAREO, R.; BARROSO, R. C.; BARRADAS, C. A. A. Elemental concentration analysis in soil contaminated with recyclable urban garbage by tube-excited energy-dispersive X-ray fluorescence. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 65, p. 495-500, 2002.
- ARAÚJO, A. L. L. **Complexidade da acumulação de elementos químicos por árvores nativas da Mata Atlântica**. 2009. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- ARAÚJO, A. L. L.; FERNANDES, E. A. D. N.; BACCHI, M. A.; DE FRANÇA, E. J. Bioaccumulation pattern of lanthanides in pteridophytes and magnoliophytes species from Atlantic Forest. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 291, p. 187-192, 2012.
- ARAÚJO, H. F. P.; SILVA, J. M. C. The avifauna of the Caatinga: biogeography, ecology, and conservation. In: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 181-210.
- ARNAN, X.; ARCOVERDE, G. B.; TORTA, M. R.; RIBEIRO-NETO, J. D.; LEAL, I. R. Increased anthropogenic disturbance and aridity reduce phylogenetic and functional diversity of ant communities in Caatinga dry forest. **Science of the Total Environment**, v. 631, p. 429-438, 2018.

ATHIÊ-SOUZA, S. M.; MELO, J. I. M.; SILVA, L. P.; SANTOS, L. L.; SANTOS, J. S.; OLIVEIRA, L. S. D.; SALES, M. F. Phanerogamic flora of the Catimbau National Park, Pernambuco, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 19, p. 1-27, 2018.

BARBA-BRIOSO, C.; HIDALGO, P. J.; FERNÁNDEZ-LANDERO, S.; GIRÁLDEZ, I.; FERNÁNDEZ-CALIANI, J. C. Phytoaccumulation of trace elements (As, Cd, Co, Cu, Pb, Zn) by *Nicotiana glauca* and *Euphorbia segetalis* growing in a Technosol developed on legacy mine wastes (Domingo Rubio wetland, SW Spain). **Environmental Geochemistry and Health**, v. 45, p. 9541-9557, 2023.

BARNES, R. M.; SANTOS JÚNIOR, D.; KRUG, F. J. Introduction to sample preparation for trace element determination. *In*: FLORES, E. M. M. **Microwave-assisted sample preparation for trace element determination**. 1ª ed. Newnes: Elsevier B.V., 2014. p. 1-58.

BARROS, M. F. G. S. **Regeneração natural da Caatinga após agricultura: mudanças nas diversidades taxonômica, funcional e filogenética nas assembleias de plantas**. 2018. 142 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

BAŞGEL, S.; ERDEMOĞLU, S. B. Determination of mineral and trace elements in some medicinal herbs and their infusions consumed in Turkey. **Science of the Total Environment**, v. 359, p. 82-89, 2006.

BAYON, G.; BARRAT, J. A.; ETOUBLEAU, J.; BENOIT, M.; BOLLINGER, C.; RÉVILLON, S. Determination of rare earth elements, Sc, Y, Zr, Ba, Hf and Th in geological samples by ICP-MS after Tm addition and alkaline fusion. **Geostandards and Geoanalytical Research**, v. 33, p. 51-62, 2009.

BECKER, J. S. Applications of inductively coupled plasma mass spectrometry and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry in materials science. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 57, p. 1805-1820, 2002.

BEZERRA-SILVA, A.; ALBUQUERQUE-LIMA, S.; NADIA, T. L.; MACHADO, I. C.; FUNCH, L. S. Comparative nectar dynamics in four ornithophilous *Melocactus* (Cactaceae) species in a seasonally dry tropical forest. **Plant Species Biology**, v. 38, p. 144-153, 2023.

BRASIL. Lei. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1981.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Caatinga**. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga>. Acesso em: 03 nov. 2023.

BROUWER, P. **Theory of XRF**. Almelo, Netherlands: PANalytical BV, 2010. 62 p.

BURTON, S. M.; RUNDLE, S. D.; JONES, M. B. The relationship between trace metal contamination and stream meiofauna. **Environmental Pollution**, v. 111, p. 159- 167, 2001.

- CARDOSO, K. M.; DE PAULA, A.; SANTOS, J. S.; SANTOS, M. L. P. Uso de espécies da arborização urbana no biomonitoramento de poluição ambiental. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 535-547, 2017.
- CEJNER, M.; DOBROWOLSKI, R.; RESZKO-ZYGMUNT, J. Determination of selected trace metals (Cr, Ni, Pb and Cd) in soils by slurry sampling GF AAS. **Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, sectio AA-Chemia**, v. 70, p. 157-168, 2016.
- CHRABAŚCZ, M.; MRÓZ, L. Tree Bark, a valuable source of information on air quality. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 26, p. 453-466, 2017.
- COCCARO, D. M. B.; SAIKI, M.; VASCONCELLOS, M. B. A.; MARCELLI, M. P. Evaluation of trace elements in different species of lichens by neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 244, p. 141-145, 2000.
- CORDEIRO, J. M. P.; FÉLIX, L. P. Conhecimento botânico medicinal sobre espécies vegetais nativas da caatinga e plantas espontâneas no agreste da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira Plantas Mediciniais**, v. 16, p. 685-692, 2014.
- COŞKUN, M.; STEINNES, E.; FRONTASYEVA, M. V.; SJOBÄKK, T. E.; DEMKINA, S. Heavy metal pollution of surface soil in the Thrace region, Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 119, p. 545-556, 2006.
- COSTA, L. M.; GOUVEIA, S. T.; NÓBREGA, J. A. Comparison of heating extraction procedures for Al, Ca, Mg, and Mn in tea samples. **Analytical Sciences**, v. 18, p. 313-318, 2002.
- COSTA, P. D.; MENEZES, C. T. B. Avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas costeiros articulados com processos de educação ambiental: o uso de indicadores de qualidade da água por alunos de uma escola pública do município de Garopaba, SC. **Tecnologia e Ambiente**, v. 22, p. 73-80, 2016.
- COSTA, V. C.; AMORIM, F. A. C.; BABOS, D. V.; PEREIRA FILHO, E. R. Direct determination of Ca, K, Mg, Na, P, S, Fe and Zn in bivalve mollusks by wavelength dispersive X-ray fluorescence (WDXRF) and laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). **Food Chemistry**, v. 273, p. 91-98, 2019.
- COSTA, M. A. R.; SANTOS, C. C. S.; SILVA, I. L. A.; LIRA, M. B. G.; AMARAL, R. S.; MAGALHÃES, M. R. L.; FRANÇA, E. J.; Radionuclídeos naturais em solos Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco. *In: International Joint Conference Radio*, 2022, Poços de Caldas. **Livro de resumos: International Joint Conference Radio - Novo marco regulatório: oportunidades e desafios**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de proteção Radiológica, 2022. Disponível em: <https://www.sbpr.org.br/conteudo.php?p=radio-2022>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- DA SILVA, J. V. C. L.; HIRSCHFELD, M. N. C.; CARES, J. E.; ESTEVES, A. M. Land use, soil properties and climate variables influence the nematode communities in the Caatinga dry forest. **Applied Soil Ecology**, v. 150: 103474, 2020.

DE ANDRADE, A. G.; CABALLERO, S. S. U.; DE FARIA, S. M. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos (Documentos n° 13 - INFOTECA-E), 1999. 58 p.

DE OLIVEIRA, F. A.; ABREU, A. T.; NASCIMENTO, N. O.; FROES-SILVA, R. E. S.; ANTONINI, Y.; NALINI JR, H. A.; DE LENA, J. C. Evaluation of matrix effect on the determination of rare earth elements and As, Bi, Cd, Pb, Se and In in honey and pollen of native Brazilian bees (*Tetragonisca angustula*-Jataí) by Q-ICP-MS. **Talanta**, v. 162, p. 488-494, 2017.

DOMINGOS-MELO, A.; NADIA, T. D. L.; MACHADO, I. C. Complex flowers and rare pollinators: does ant pollination in *Ditassa* show a stable system in Asclepiadoideae (Apocynaceae)? **Arthropod-Plant Interactions**, v. 11, p. 339-349, 2017.

DOMINGOS-MELO, A.; NADIA, T. L.; LEAL, I. R.; MACHADO, I. C. Nocturnal ant integrates generalist pollination system in the Caatinga dry forest. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. 1-3, 2021.

ELEMENT, C. A. S. Method 3051A microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. **Zeitschrift für Analytische Chemie**, v. 111, p. 362-366, 2007.

ELIAS, C.; FERNANDES, E. A. N.; FRANÇA, E. J.; BACCHI, M. A. Seleção de epífitas acumuladoras de elementos químicos na Mata Atlântica. **Biota Neotropica**, v. 6, p. 1-9, 2006.

ELIAS, C.; FERNANDES, E. A. N.; FRANÇA, E. J.; BACCHI, M. A.; TAGLIAFERRO, F. S. Native bromeliads as biomonitors of airborne chemical elements in a Brazilian restinga forest. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 278, p. 423-427, 2008.

ELLISON, S. L. R.; WILLIAMS, A. **Quantifying uncertainty in analytical measurement**, 3^a ed. Guide Number 4, Teddington: Eurachem/CITAC, 2012. 141 p.

FALCIANI, R.; NOVARO, E.; MARCHESINI, M.; GUCCIARDI, M. Multi-element analysis of soil and sediment by ICP-MS after a microwave assisted digestion method. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 15, p. 561-565, 2000.

FERNÁNDEZ, Z. H.; ÁLVAREZ, J. R. E.; ÁLVAREZ, A. M.; GONZÁLEZ, I. P.; DOS SANTOS JÚNIOR, J. A.; MILAN, M. O.; PÉREZ, G. M.; BOMBUSE, D. L.; GONZÁLEZ, M. R.; TORRES, D. H.; MACIAS, N. A.; HERNÁNDEZ, N. B.; ÁLVAREZ, R. P. Multielement analysis of lichen samples using XRF methods. Comparison with ICP-AES and FAAS. **X-Ray Spectrometry**, v. 45, p. 77-84, 2016.

FERNÁNDEZ, Z. H.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; AMARAL, R. S.; ALVAREZ, J. R. E.; DA SILVA, E. B.; FRANÇA, E. J.; MENEZES, R. S. C.; DE FARIAS, E. E. G.; SANTOS, J. M. N. EDXRF as an alternative method for multielement analysis of tropical soils and sediments. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, p. 1-9, 2017.

FERNÁNDEZ, Z. H.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; AMARAL, R. S.; FRANÇA, E. J.; MENEZES, R. S. C.; BEZERRA, M. B. C.; COUTINHO, A. P.; ROJAS, L. A. V.; SANTOS, J. M. N.; BEZERRA, J. D.; ARAÚJO, E. E. N. Pernambuco Caatinga: relevance of soil chemical composition for biodiversity conservation. **Chemistry and Ecology**, v. 38, p. 108-121, 2022.

FERRARI, A. A.; FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A. Surface contamination effects on leaf chemical composition in the Atlantic Forest. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 270, p. 69-73, 2006.

FERREIRA, F. S. **Elementos químicos em ecossistemas: caracterização ambiental para restauração de áreas impactadas**. 2016. 100 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

FILIPIAK-SZOK, A.; KURZAWA, M.; SZŁYK, E. Determination of toxic metals by ICP-MS in Asiatic and European medicinal plants and dietary supplements. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 30, p. 54-58, 2015.

FONSECA F. Y. **Aplicabilidade do compartimento ecológico fauna em estudos de avaliação da qualidade ambiental**. 2010. 107 p. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FONSECA, C. R.; ANTONGIOVANNI, M.; MATSUMOTO, M.; BERNARD, E.; VENTICINQUE, E. M. Oportunidades de conservação na Caatinga. **Ciência e Cultura**. v.70, p. 44-51, 2018.

FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A.; TAGLIAFERRO, F. S. Pathway of rare-earth elements in a Brazilian forestry fragment. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 344, p. 21-26, 2002.

FRANÇA, E.J.; BACCHI, M.A.; DE NADAI FERNANDES, E.A.; GANDOLFI, S. Mata de Santa Genebra, SP, Brazil: Can mineral cycling in urban forestry fragment reveal anthropogenic activities? *In: BIOMONITORING OF ATMOSPHERIC POLLUTION WITH EMPHASIS ON TRACE ELEMENTS BIOMAP II*, 2003, Vienna. **IAEA TECDOC**, v. 1338, p. 308-316, 2003.

FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A.; SAIKI, M. Native trees as biomonitors of chemical elements in the biodiversity conservation of the Atlantic Forest. **Journal of Atmospheric Chemistry**, v. 49, p. 579-592, 2004.

FRANÇA, E. J. **A biomonitoração da Mata Atlântica na conservação da biodiversidade: Espécies arbóreas nativas acumuladoras de elementos químicos**. 2006. 362 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A.; RODRIGUES, R. R.; BODE, P.; SAIKI, M. Native plant bioaccumulation strategies: a baseline study for biomonitoring the Atlantic Forest. **International Journal of Environment and Health**, v. 4, p. 181-200, 2010.

FRANÇA, E. J.; CAMILLI, L.; FERNANDES, E. A. N.; ELIAS, C.; RODRIGUES, V.; CAVALCA, I.; FONSECA, F.; BARDINI JUNIOR, C. Atmospheric chemical element pollution in an urban water-associated environment. **International Journal of Environment and Health**, v. 5, p. 148-162, 2011.

FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A. N.; MIRANDA, M. V. F. E. S.; SANTOS, T. O.; CANTINHA, R. S. Cesium accumulation in native trees from the Brazilian Cerrado. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 310, p. 1123-1129, 2016.

FRÄNZLE, S.; MARKERT, B. The Biological System of the Elements (BSE). Part II: a theoretical model for establishing the essentiality of chemical elements. The application of stoichiometric network analysis to the biological system of the elements. **Science of the Total Environment**, v. 249, p. 223-241, 2000.

FRÄNZLE, S. **Chemical elements in plants and soil: Parameters controlling essentiality**. London: Springer Science & Business Media, 2009. 199 p.

GEI, M.; ROZENDAAL, D. M. A.; POORTER, L.; BONGERS, F.; SPRENT, J. I.; GARNER, M. D.; et al. Legume abundance along successional and rainfall gradients in Neotropical forests. **Nature Ecology and Evolution**, v. 2, p. 1104-1111, 2018.

GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA, A. L.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGÍNIO, J. F.; QUEIROZ, L. P.; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma da caatinga. In: DA SILVA, J. M. C. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: MMA-UFPE, 2004. p. 47-90.

GRANKINA, V. P.; SAVCHENKO, T. I.; CHANKINA, O. V.; KOVALSKAYA, G. A.; KUTZENOGII, K. P. Trace element composition of Ural licorice *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. (Fabaceae Family). **Contemporary Problems of Ecology**, v. 2, p. 396-399, 2009.

GUPTA, D.; CHATTERJEE, J. M.; GHOSH, R.; MITRA, A. K.; ROY, S.; SARKAR, M. Radioisotope-induced EDXRF investigation of elemental uptake in cauliflower grown at MSW-contaminated site. **X-Ray Spectrometry**, v. 39, p. 364-371, 2010.

HAUFF, S. N. Representatividade do Sistema Nacional de Unidades de Conservação na Caatinga. **PNUD-Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento PROJETO BRA/00/021: Sustentabilidade e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade**, Brasília, p. 1-54, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2022 – Panorama Região Nordeste**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/?utm_source=ibge&utm_medium=home&utm_campaign=portal Acesso em 03 nov. 2023.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION. **ISO 13528:2005 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons**. ISO, 2005. 66 p.

IVANOVA, J.; KORHAMMER, S.; DJINGOVA, R.; HEIDENREICH, H.; MARKERT, B. Determination of lanthanoids and some heavy and toxic elements in plant certified reference materials by inductively coupled plasma mass spectrometry. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 56, p. 3-12, 2001.

- JOSHI, G. C.; AGRAWAL, H. M.; MOHANTA, B.; SUDARSHAN, M.; SINHA, A. K. Elemental study of Nainital Lake water by EDXRF. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 251, p. 223-226. 2006.
- KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. **Trace elementos from soil to human**. 1ª ed. Berlin-Heidelberg-New York: Springer Science & Business Media, 2007. 561 p.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4ª ed. Boca Raton: CRC press, 2011. 512 p.
- KABATA-PENDIAS, A.; SZTEKE, B. **Trace elements in abiotic and biotic environments**. 1ª ed. Boca Raton: CRC press, 2015. 458 p.
- KANE, J. S. Fitness-for-purpose of reference material reference values in relation to traceability of measurement, as illustrated by USGS BCR-1, NIST SRM 610 and IAEA NBS28. **Geostandards Newsletter**, v. 26, p. 7-29, 2002.
- KARDEL, F.; WUYTS, K.; DE WAEL, K.; SAMSON, R. Biomonitoring of atmospheric particulate pollution via chemical composition and magnetic properties of roadside tree leaves. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 25994-26004, 2018.
- KAUER, F. **AAS Princípios e Instrumentação**. Customer Support Center Shimadzu Brasil, 32 p. 2008. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/317298792/AAS-Principios-e-Instrumentacao> Acesso em: 03 nov. 2023.
- KAVUN, V. Y.; SHULKIN, V. M.; KHRISTOFOROVA, N. K. Metal accumulation in mussels of the Kuril Islands, north-west Pacific Ocean. **Marine Environmental Research**, v. 53, p. 219-226. 2002.
- KNOECHELMANN, C. M.; OLIVEIRA, F. M. P.; SIQUEIRA, F. F. S.; WIRTH, R.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. Leaf-cutting ants negatively impact the regeneration of the Caatinga dry forest across abandoned pastures. **Biotropica**, v. 52, p. 686-696, 2020.
- KRUG, F. J.; NOBREGA, J. A.; OLIVEIRA, P. V. **Espectrômetro de absorção atômica Parte 1. Fundamentos e atomização com chama**. Apostila, Disciplina Pós-Graduação, ESALQ, Universidade de São Paulo, 2006. 25 p.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Ecologia e conservação da Caatinga: uma introdução ao desafio. *In*: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 3ª ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2008. p. XIII-XVI.
- LIRA, M. B. G. **Aplicabilidade da vegetação e solos de praças e parques para a monitoração de qualidade ambiental: elementos químicos tóxicos e radionuclídeos**. 2020. 178 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.
- MAĆKIEWICZ E.; PAWLACZYK, A.; SZYNKOWSKA, M. I. Trace elements in the environment – law, regulations, monitoring and biomonitoring methods. *In*: CHOJNACKA, K.; SAEID, A. **Recent Advances in Trace Elements**, Chichester: John Wiley & Sons, 2018. p. 61-104.

MAGALHÃES, M. R. L. **Concentrações naturais de elementos químicos da classe insecta do fragmento florestal de Mata Atlântica Reserva Charles Darwin**. 2015. 95 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MARGUÍ, E.; QUERALT, I.; CARVALHO, M. L.; HIDALGO, M. Comparison of EDXRF and ICP-OES after microwave digestion for element determination in plant specimens from an abandoned mining area. **Analytica Chimica Acta**, v. 549, p. 197-204, 2005.

MARKERT, B. Inorganic chemical investigations in the Forest Biosphere Reserve near Kalinin, USSR. I. Mosses and peat profiles as bioindicators for different chemical elements. **Vegetatio**, v. 95, p. 127-135, 1991.

MARKERT, B. **Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment**. Weinheim: VCH, 1993. 645 p.

MARKERT, B. The Biological System of the Elements (BSE) of Terrestrial Plants (glycophytes). **Science of the Total Environment**, v. 155, p. 221-228, 1994.

MARKERT, B. Sample preparation (cleaning, drying, homogenization) for trace element analysis in plant matrices. **The Science of the Total Environment**, v. 176, p. 45-61, 1995.

MARKERT, B. Distribution and biogeochemistry of inorganic chemicals in the environment. *In*: SCHÜÜRMAN, G.; MARKERT, B. **Ecotoxicology: Ecological fundamentals, chemical exposure, and biological effects**. New York: John Wiley & Sons; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1998. p. 165-222.

MARKERT, B. From biomonitoring to integrated observation of the environment - the multi-markered bioindication concept. **Ecological Chemistry and Engineering**, v. 15, p. 315-333, 2008.

MARKERT, B.; FRÄNZLE, S.; WÜNSCHMANN, S. The Biological System of the Elements. *In*: MARKERT, B.; FRÄNZLE, S.; WÜNSCHMANN, S. **Chemical Evolution: The Biological System of the Elements**. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 63-104.

MARKERT, B.; WÜNSCHMANN, S.; RINKLEBE, J.; FRÄNZLE, S.; AMMARI, T. Part I: The Biological System of the Chemical Elements (BSCE) and the role of Lithium for mental health care. **Bioactive Compounds in Health and Disease**, v. 1, p. 1-15, 2018.

MÉLO, J. T. B.; MELO, A. M. M. A.; CANTINHA, R. S.; SANTOS, M. L. O.; SANTOS, K. M. N.; FRANCA, E. J. Comparison between EDXRF and FAAS for Zn determination in terrestrial molluscs. *In*: International Nuclear Atlantic Conference - INAC, 2015, São Paulo. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Energia Nuclear - ABEN, 2015. Disponível em: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:47013756 Acesso em: 07 abr. 2023.

MÉLO, J. T. B. **Acumulação de elementos químicos por gastrópodes de manguezais da Costa Brasileira**. 2019. 111 p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

MERAMO, K.; OVASKAINEN, O.; BERNARD, E.; SILVA, C. R.; LAINE, V. N.; LILLEY, T. M. Contrasting effects of chronic anthropogenic disturbance on activity and species richness of insectivorous bats in Neotropical Dry Forest. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, p. 1-13, 2022.

MASSON, P.; DALIX, T. Comparison of open digestion methods for the determination of rare earth elements in plant samples by ICP-MS. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, p. 1866-1874, 2016.

MERTENS, J.; LUYSSAERT, S.; VERHEYEN, K. Use and abuse of trace metal concentrations in plant tissue for biomonitoring and phytoextraction. **Environmental Pollution**, v. 138, p. 1-4, 2005.

MORAES, R. M.; DELITTI, W. B. C.; VUONO, Y. S. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forests. **Brazilian Journal of Botany**, v. 22, p. 09-16, 1999.

MOURA, P. M.; ALTHOFF, T. D.; OLIVEIRA, R. A.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; MENEZES, R. S.; SAMPAIO, E. V. Carbon and nutrient fluxes through litterfall at four succession stages of Caatinga dry forest in Northeastern Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105, p. 25-38, 2016.

NASCIMENTO, A. F. **AAS aplicada à quantificação de elementos traços em farinhas de insetos utilizado como alimentos**. 2019. 51 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

NAVARRO, M. S.; ANDRADE, S.; ULBRICH, H.; GOMES, C. B.; GIRARDI, V. A. The direct determination of rare earth elements in basaltic and related rocks using ICP-MS: Testing the efficiency of microwave oven sample decomposition procedures. **Geostandards and Geoanalytical Research**, v. 32, p. 167-180, 2008.

NOGUEIRA, A.; BRITO, A. S. D.; COELHO, A. D. C. B.; VIEIRA, A. B.; CAVALCANTE, C.; LABUTO, G.; SANTOS, L. F. D.; BARROS, M. L. R.; LOURENÇO, R. D.; LORENÇATTO, R. **ICP-MS Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado**. 1ª ed. Iguatu-CE: Quipá Editora, 2023. 63 p.

OHTA, J.; NOZAKI, T.; SATO, H.; ASHIDA, K.; KATO, Y. A precise and accurate analytical method for determination of osmium isotope ratios at the 1–15 pg level by using a MC-ICP-MS equipped with sparging introduction and high-sensitivity discrete dynode-type ion-counting detectors. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 37, p. 1600-1610, 2022.

OLIVEIRA, R. A.; ALMEIDA, J. S.; MELO, W. F.; ANDRADE, A. B. A.; MELLO, W. F. Análise geoespacial do processo de desmatamento da Caatinga no município de Catolé do Rocha–PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, p. 239-244, 2015.

- PARVEZ, M. Phytoremediation assessment of *Euphorbia granulata* from 10 remote areas with different local climates and heavy metals composition. **Bioremediation Journal**, v. 24, p. 1-13, 2023.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 4, p. 439-473, 2007.
- PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, p. 437-457, 2009.
- PEREIRA, I. M. S.; AZEVEDO JÚNIOR, S. M.; OLIVEIRA, F. M. P.; SANTOS, L. D. N.; LAS-CASAS, F. M. G. The influence of chronic anthropogenic disturbance and precipitation on endemic birds in a Seasonally Dry Tropical Forest. **Journal of Arid Environments**, v. 210: 104917, 2023.
- PHILLIPS, D. J. H.; RAINBOW, P. S. **Biomonitoring of trace aquatic contaminants**. London: Chapman & Hall, 2013. 370 p.
- POUZAR, M.; ČERNOHORSKÝ, T.; KREJČOVÁ, A. Determination of metals in lubricating oils by X-ray fluorescence spectrometry. **Talanta**, v. 54, p. 829-835, 2001.
- PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 3ª ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2008. p. 3-74.
- PRABAKARAN, K.; LI, J.; ANANDKUMAR, A.; LENG, Z.; ZOU, C. B.; DU, D. Managing environmental contamination through phytoremediation by invasive plants: A review. **Ecological Engineering**, v. 138, p. 28-37, 2019.
- RAMOS, S. J.; DINALI, G. S.; OLIVEIRA, C.; MARTINS, G. C.; MOREIRA, C. G.; SIQUEIRA, J. O.; GUILHERME, L. R. G. Rare earth elements in the soil environment. **Current Pollution Reports**, v. 2, p. 28-50, 2016.
- REIMANN, C.; DE CARITAT, P. **Chemical elements in the environment: factsheets for the geochemist and environmental scientist**. Berlin-Heidelberg: Springer Science & Business Media, 1998. 403 p.
- RITO, K. F.; ARROY-RODRÍGUEZ, V.; QUEIROZ, R. T.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Precipitation mediates the effect of human disturbance on the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Ecology**, v. 105, p. 828-838, 2017.
- ROCHA, E. A.; DOMINGOS-MELO, A.; ZAPPI, D. C.; MACHADO, I. C. Reproductive biology of columnar cacti: are bats the only protagonists in the pollination of *Pilosocereus*, a typical chiropterophilous genus? **Folia Geobotanica**, v. 54, p. 239-256, 2020.
- SANTOS, A. B. **Estoques de nutrientes na biomassa acima do solo de uma floresta seca na Caatinga**. 2020. 73 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

SÁTIRO, L. N.; ROQUE, N. The family Euphorbiaceae on the sand dunes of the middle São Francisco River, Bahia State, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, p. 99-118, 2008.

SILVA FILHO, C. A. **Elementos terras raras na vegetação nativa do Estado de Pernambuco**. 2018. 102 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2018, 102p.

SILVA JUNIOR, E. D. **Levantamento do potencial geoturístico do Parque Nacional do Catimbau—Como subsídio para criação de um futuro geoparque**. 2013. 90p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer International Publishing, 2017. 429 p.

SILVA, A. C. S. **Dinâmica de nutrientes durante a regeneração de uma floresta de Caatinga após agricultura de subsistência**. 2020. 72 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**. 5ª ed. São Paulo: Bookman, 2002. 836p.

SOUSA, A. E. B. A.; LIMA, D. M.; LYRA-NEVES, R. M. Avifauna of the Catimbau National Park in the Brazilian state of Pernambuco, Brazil: species richness and spatio-temporal variation. **Brazilian Journal of Ornithology**, v. 20, p. 230-245, 2013a.

SOUSA, E. E.; PAIVA, J. D. S.; FRANÇA, E. J.; ALMEIDA, M. E. S.; CANTINHA, R. S.; HAZIN, C. A. Qualidade nas análises químicas de matrizes biológicas pela fluorescência de raios-X por dispersão de energia. *In*: International Nuclear Atlantic Conference - INAC, 2013, Recife. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Energia Nuclear - ABEN, 2013b. Disponível em: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45086063 Acesso em: 03 nov. 2023.

SOUZA, C.; OLIVEIRA, F. M. P.; RIBEIRO, E. M. S.; SILVA, C. H. F.; DURVAL, J. I. F.; LEAL, I. R. Extrafloral nectar secretion does not mediate ant predatory activity on *Pityrocarpa moniliformis* plants in a seasonally dry forest. **Acta Oecologica**, v. 114: 103806, 2022.

SPECHT, M. J.; SANTOS, B. A.; MARSHALL, N.; MELO, F. P. L.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; BALDAUF, C. Socioeconomic differences among resident, users and neighbour populations of a protected area in the Brazilian dry forest. **Journal of Environmental Management**. v. 232, p. 607-614, 2019.

STATSOFT. **Statistica for Windows**. [Computer program]. Versão 10.0. Tulsa: StatSoft, 2011.

TABARELLI, M.; LEAL, I. R.; SCARANO, F. R.; SILVA, J. M. C. The future of the Caatinga. *In*: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer International Publishing, 2017a. p. 461-474.

TABARELLI, M.; MELO, F. P. L.; ALVES, M. A.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. F.; SIQUEIRA-FILHO, J. A.; LEAL, I. R. Perturbação antrópica no Parque Nacional do Catimbau: estaria a Caatinga transformando-se em um ecossistema emergente? *In*: MANTOVANI, W.; MONTEIRO, R. F.; ANJOS, L.; CARIELLO, M.O. **Pesquisas em unidades de conservação no domínio da Caatinga: subsídios à gestão**. Fortaleza: Edições UFC, 2017b. p. 141-162.

TABARELLI, M.; LEAL, I. R.; SCARANO, F. R.; SILVA, J. M. C. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**. v. 70, p. 25-29, 2018.

TEIXEIRA, M. G.; VENTICINQUE, E. M.; LION, M. B.; PINTO, M. P. The Brazilian Caatinga protected areas: an extremely unbalanced conservation system. **Environmental Conservation**, v. 48, p. 287-294, 2021.

TOKALIOĞLU, Ş. Determination of trace elements in commonly consumed medicinal herbs by ICP-MS and multivariate analysis. **Food Chemistry**, v. 134, p. 2504-2508, 2012.

TOLOSA, I.; CASSI, R.; HUERTAS, D. A new marine sediment certified reference material (CRM) for the determination of persistent organic contaminants: IAEA-459. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 7347-7355, 2019.

TÜZEN, M. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry. **Microchemical Journal**, v. 74, p. 289-297, 2003.

TYLER, G. Rare earth elements in soil and plants systems - A review. **Plant and Soil**, v. 267, p. 191-206, 2004.

VIM – **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012. 94 p.

WAPPELHORST, O.; KÜHN, I.; OEHLMANN, J.; MARKERT, B. Deposition and disease: a moss monitoring project as an approach to ascertaining potential connections. **Science of the Total Environment**, v. 249, p. 243-256, 2000.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic Absorption Spectrometry**. 3^a ed. Weinheim: VCH, 1999. 964 p.

YAMASHITA, C. I.; SAIKI, M.; SERTIÉ, J. A. A. Elemental analysis of leaves and extracts of *Casearia* medicinal plants by instrumental neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 270, p. 181-186, 2006.

ZULIANI, D. Q.; ABREU, L. B.; CURI, N.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. Balanço geoquímico em uma microbacia hidrográfica sob plantio de eucalipto. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, p. 28-37, 2016.

**APÊNDICE A – LISTAGEM DAS ESPÉCIES COLETADAS NAS PARCELAS DO
PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU, PERNAMBUCO**

Nº	Família	Espécie	Total (n)
			Continua...
1	Amaranthaceae	<i>Alternanthera</i> sp.	1
2	Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	2
3	Anacardiaceae	<i>Schinopsis brasiliensis</i>	1
4	Anacardiaceae	<i>Spondias tuberosa</i>	2
5	Annonaceae	<i>Annona leptopetala</i>	14
6	Annonaceae	<i>Oxandra reticulata</i>	2
7	Apocynaceae	<i>Allamanda blanchetti</i>	3
8	Apocynaceae	<i>Aspidosperma</i> sp.	1
9	Apocynaceae	<i>Aspidosperma multiflorum</i>	3
10	Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	3
11	Asteraceae	<i>Moquiniastrum oligocephalum</i>	3
12	Bignoniaceae	<i>Anemopaegma laeve</i>	1
13	Bignoniaceae	<i>Bignoniaceae</i> sp.	3
14	Bignoniaceae	<i>Helicteres velutina</i>	7
15	Boraginaceae	<i>Cordia bullata</i> var. <i>globosa</i>	2
16	Boraginaceae	<i>Cordia curassavica</i>	1
17	Boraginaceae	<i>Cordia leucocephala</i>	2
18	Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	1
19	Boraginaceae	<i>Varronia</i> sp.	2
20	Boraginaceae	<i>Varronia globosa</i>	2
21	Burseraceae	<i>Commiphora leptophloeos</i>	11
22	Cannabaceae	<i>Celtis iguanaea</i>	1
23	Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i>	9
24	Capparaceae	<i>Neocalyptrocalyx longifolium</i>	17
25	Celastraceae	<i>Maytenus imbricata</i>	1
26	Celastraceae	<i>Monteverdia imbricata</i>	1
27	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum revolutum</i>	11
28	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum suberosum</i>	2
29	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum subrotundum</i>	2
30	Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus bahianus</i>	5
31	Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus obtusifolius</i>	1
32	Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus pubescens</i>	15
33	Euphorbiaceae	<i>Croton grewioides</i>	5
34	Euphorbiaceae	<i>Croton heliotropiifolius</i>	11
35	Euphorbiaceae	<i>Croton nepetifolius</i>	12
36	Euphorbiaceae	<i>Croton sonderianus</i>	1
37	Euphorbiaceae	<i>Croton tricolor</i>	9
38	Euphorbiaceae	<i>Ditaxis desertorum</i>	3

Nº	Família	Espécie	Total (n)
			Continua...
39	Euphorbiaceae	<i>Jatropha mollissima</i>	1
40	Euphorbiaceae	<i>Jatropha mutabilis</i>	22
41	Euphorbiaceae	<i>Jatropha ribifolia</i>	1
42	Euphorbiaceae	<i>Manihot</i> sp.	2
43	Euphorbiaceae	<i>Manihot carthagenensis</i>	1
44	Euphorbiaceae	<i>Manihot pseudoglaziovii</i>	3
45	Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulosum</i>	2
46	Fabaceae	<i>Aeschynomene marginata</i>	3
47	Fabaceae	<i>Amburana cearensis</i>	1
48	Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	2
49	Fabaceae	<i>Bauhinia acuruana</i>	11
50	Fabaceae	<i>Calliandra aeschynomenoideis</i>	4
51	Fabaceae	<i>Chamaecrista zygomorphoideis</i>	3
52	Fabaceae	<i>Chloroleucon foliolosum</i>	4
53	Fabaceae	<i>Dahlstedtia</i> sp.	3
54	Fabaceae	<i>Dahlstedtia araripensis</i>	4
55	Fabaceae	<i>Dalbergia cearensis</i>	8
56	Fabaceae	<i>Dioclea</i> sp.	1
57	Fabaceae	<i>Geoffroea spinosa</i>	1
58	Fabaceae	<i>Libidibia ferrea</i>	2
59	Fabaceae	<i>Mimosa cf. lewisii</i>	2
60	Fabaceae	<i>Mimosa ophthalmocentra</i>	2
61	Fabaceae	<i>Myroxylon peruiferum</i>	1
62	Fabaceae	<i>Peltogyne pauciflora</i>	17
63	Fabaceae	<i>Piptadenia stipulacea</i>	14
64	Fabaceae	<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	20
65	Fabaceae	<i>Poincianella microphylla</i>	20
66	Fabaceae	<i>Poincianella pyramidalis</i>	2
67	Fabaceae	<i>Senegalia</i> sp.	10
68	Fabaceae	<i>Senegalia bahiensis</i>	8
69	Fabaceae	<i>Senegalia piauiensis</i>	7
70	Fabaceae	<i>Senna</i> sp.	1
71	Fabaceae	<i>Senna acuruensis</i>	2
72	Fabaceae	<i>Senna cana</i>	4
73	Fabaceae	<i>Senna macranthera</i>	4
74	Fabaceae	<i>Senna rizzinii</i>	6
75	Fabaceae	<i>Senna splendida</i>	1
76	Fabaceae	<i>Senna trachypus</i>	2
77	Fabaceae	<i>Trischidium molle</i>	18
78	Lamiaceae	<i>Hyptis</i> sp.	1
79	Lamiaceae	<i>Hyptis suaveolens</i>	2
80	Lamiaceae	<i>Medusantha martiusii</i>	1

Nº	Família	Espécie	Total (n)
			Conclusão
81	Loganiaceae	<i>Strychnos rubiginosa</i>	2
82	Malpighiaceae	<i>Byrsonima gardneriana</i>	6
83	Malvaceae	<i>Waltheria brachypetala</i>	6
84	Moraceae	<i>Ficus</i> sp.	1
85	Myrtaceae	<i>Campomanesia eugenioides</i>	4
86	Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp.	4
87	Myrtaceae	<i>Eugenia brejoensis</i>	6
88	Myrtaceae	<i>Eugenia stictopetala</i>	3
89	Myrtaceae	<i>Myrcia</i> sp.	1
90	Myrtaceae	<i>Psidium brownianum</i>	5
91	Myrtaceae	<i>Psidium oligospermum</i>	5
92	Myrtaceae	<i>Psidium schenckianum</i>	3
93	Nyctaginaceae	<i>Guapira</i> sp.	1
94	Nyctaginaceae	<i>Guapira graciliflora</i>	10
95	Nyctaginaceae	<i>Guapira noxia</i>	4
96	Nyctaginaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	4
97	Polygonaceae	<i>Ruprechtia laxiflora</i>	2
98	Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i>	2
99	Rutaceae	<i>Balfourodendron molle</i>	2
100	Rutaceae	<i>Zanthoxylum stelligerum</i>	7
101	Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i>	2
102	Sapindaceae	<i>Allophylus quercifolius</i>	4
103	Sapotaceae	<i>Manilkara salzmannii</i>	1
104	Sapotaceae	<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	1
105	Simaroubaceae	<i>Simaba ferruginea</i>	1
106	Solanaceae	<i>Solanum</i> sp.	3
107	Solanaceae	<i>Solanum rhytidoandrum</i>	2
108	Turneraceae	<i>Turnera</i> sp.	3
109	Turneraceae	<i>Turnera cearensis</i>	2
110	Verbenaceae	<i>Lantana camara</i>	2
111	Verbenaceae	<i>Lippia</i> sp.	2
112	Verbenaceae	<i>Lippia alba</i>	1
113	Verbenaceae	<i>Lippia gracilis</i>	1
114	Verbenaceae	<i>Lippia grata</i>	4
Total			504

n = número de indivíduos amostrados

APÊNDICE B – CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS PARA PLANTAS DAS CAATINGAS: sem contaminação

Concentrações em mg/kg dos elementos químicos para o grupo de espécies sem contaminação por terra em folhas da vegetação das caatingas do Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco. Med = mediana; Max = Máxima; Min = Mínima; n = número de amostras; M = média; U% = incerteza analítica expandida (95%).

Espécie		Al	As	B	Ca	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Dy	Er	Eu	Continua...
<i>Aeschynomene marginata</i>	Med	291	0,0353	58,0	12094	0,0137	0,253	1580	0,0654	0,170	0,00452	0,00163	0,00111	
	Max	363	0,0390	84,6	17125	0,0182	0,347	2323	0,0654	0,203	0,00510	0,00187	0,00111	
	Min	218	0,0316	31,3	7062	0,00931	0,158	838	0,0654	0,136	0,00393	0,00140	0,00110	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
<i>Allamanda blanchetti</i>	Med	281	0,0569	73,3	6163	0,0420	0,584	12037	0,0800	0,173	0,00710	0,00468	0,00238	
	Max	489	0,0976	122	16361	0,0968	0,950	12257	0,0803	0,485	0,1828	0,178	0,0151	
	Min	112	0,0204	55,6	4102	0,0254	0,416	4512	0,0418	0,0763	0,00384	0,00091	0,00108	
	n	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Allophylus quercifolius</i>	Med	119	0,113	81,5	12570	0,267	0,375	14029	0,436	0,219	0,0127	0,00681	0,00509	
	Max	119	0,202	87,6	14157	0,517	0,450	15044	0,847	0,279	0,0147	0,00751	0,00590	
	Min	119	0,0241	75,5	10983	0,0174	0,299	13014	0,0263	0,159	0,0107	0,00612	0,00429	
	n	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Alternanthera sp.</i>	M	238		84,3	9561	0,0279	0,101	13567	0,0329	0,269	<0,0003	<0,0003	<0,0004	
	U%	22	18,2	20,1	2,7	18,5	11,5	1,8	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Amburana cearensis</i>	M	132	0,150	135	21116	0,0378	3,03	4006	0,0254	0,443	0,0678	0,0295	0,0189	
	U%	22	18,2	20,1	1,2	18,5	11,5	5,3	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Anacardium occidentale</i>	M	95,0	0,0248	39,0	8618	0,00944	0,153	796	0,0375	0,149	0,00159	<0,0003	<0,0004	
	U%	14,7	18,2	20,1	3,0	18,5	11,5	25,2	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Med	753	0,0444	99,1	15443	0,0625	0,184	4790	0,0462	0,345	0,00138	<0,0003	<0,0004	
	Max	1251	0,0633	131	20938	0,118	0,232	5755	0,0462	0,468	0,00236			
	Min	255	0,0256	66,9	9947	0,00665	0,136	3826	0,0462	0,221	0,00039			
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2		
<i>Annona leptopetala</i>	Med	257	0,0326	70,7	9154	0,0329	0,197	4229	0,0192	0,257	0,00415	0,00209	0,00112	
	Max	644	0,0819	111	18834	0,0839	0,290	6192	0,0398	1,01	0,0129	0,0121	0,00550	
	Min	91,8	0,0049	36,4	6273	0,00491	0,0700	3253	0,0135	0,129	0,00157	0,00047	0,00047	
	n	10	14	14	14	14	14	14	9	14	14	14	12	
<i>Aspidosperma multiflorum</i>	Med	213	0,0477	99,9	17807	0,0538	0,165	6538	0,0295	0,208	0,00354	0,00187	0,00095	
	Max	233	0,0491	107	26363	0,0805	0,175	6577	0,0295	0,235	0,00393	0,00234	0,00111	
	Min	192	0,0464	92,5	9252	0,0271	0,155	6499	0,0295	0,181	0,00315	0,00140	0,00079	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
<i>Aspidosperma sp.</i>	M	350	0,171	140	21520	0,0961	0,496	11136	0,0175	0,240	0,00713	0,00188	0,00048	
	U%	22	18,2	20,1	1,2	18,5	11,5	2,1	27	24,5	14,3	27,1	19,7	

Espécie		Al	As	B	Ca	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Dy	Er	Eu	Continua...
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Med	133	0,0680	75,5	25083	0,0202	0,484	9595	0,0549	0,240	0,00544	0,00231	0,00240	
	Max	167	0,0830	86,5	30849	0,0259	0,530	17590	0,0549	0,269	0,00675	0,00283	0,00301	
	Min	98,7	0,0530	57,4	21303	0,0129	0,386	9392	0,0549	0,184	0,00473	0,00187	0,00172	
	n	2	2	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3
<i>Balfourodendron molle</i>	Med	219	0,0483	88,6	8671	0,0470	0,219	1754	0,0948	0,214	0,00315	0,00117	0,00079	
	Max	219	0,0617	141	14037	0,0820	0,273	2896	0,0948	0,291	0,00315	0,00140	0,00111	
	Min	219	0,0349	36,2	3304	0,0120	0,164	611	0,0948	0,138	0,00314	0,00093	0,00047	
	n	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
<i>Bauhinia acuruana</i>	M	199	0,0347	40,2	3105	0,00485	0,656	2365	0,0645	0,104	0,00782	0,00371	0,00204	
	U%	14,7	18,2	20,1	8,2	18,5	11,5	8,7	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Byrsonima gardneriana</i>	Med	108	0,0610	51,9	9849	0,00757	0,134	8029	0,0215	0,241	0,00236	0,00070	0,00079	
	Max	108	0,0905	95,9	14482	0,0670	0,152	10216	0,0753	1,67	0,00476	0,00235	0,00239	
	Min	108	0,0268	26,0	7467	0,00310	0,0568	7770	0,0174	0,157	0,00118	0,00047	0,00047	
	n	1	5	5	5	5	5	5	3	5	5	4	5	
<i>Calliandra aeschynomenoides</i>	Med	595	0,0304	61,6	8458	0,0142	0,160	1727	0,0235	0,392	0,00431	0,00210	0,00126	
	Max	794	0,0324	75,6	9670	0,0190	0,207	1742	0,0274	0,599	0,00549	0,00280	0,00142	
	Min	395	0,0283	47,7	7245	0,00928	0,114	1712	0,0196	0,186	0,00314	0,00140	0,00110	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Campomanesia eugenioides</i>	Med	1622	0,104	62,2	6516	0,0522	0,403	4569	0,0163	0,378	0,00970	0,00446	0,00158	
	Max	1704	0,160	84,1	7103	0,206	0,703	5130	0,0163	0,681	0,0109	0,00556	0,00206	
	Min	1499	0,0163	46,7	5662	0,0436	0,321	2396	0,0163	0,148	0,00585	0,00232	0,00141	
	n	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4	4	4
<i>Casearia sylvestris</i>	M	200	0,0192	67,3	6338	0,0335	0,229	3728	<0,013	0,212	0,00396	0,00141	0,00175	
	U%	22	18,2	20,1	4,1	18,5	11,5	5,6	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Celtis iguanaea</i>	M	<49	0,0607	106	39154	<0,0007	0,0966	6087	<0,013	0,705	0,00039	<0,0003	<0,0004	
	U%	22	18,2	20,1	0,7	18,5	11,5	3,6	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Chamaecrista zygophylloides</i>	Med	255	0,0387	49,1	5657	0,0254	0,295	6188	<0,013	0,267	0,00354	0,00117	0,00204	
	Max	370	0,0427	52,9	6323	0,0371	0,414	6657		0,370	0,00356	0,00139	0,00361	
	Min	140	0,0348	45,4	4992	0,0136	0,176	5720		0,165	0,00351	0,00094	0,00048	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Chloroleucon foliolosum</i>	Med	96,5	0,0760	109	18129	0,0541	0,299	3375	0,0846	0,436	0,0151	0,0156	0,00411	
	Max	98,0	0,0860	134	27863	0,102	0,504	3375	0,138	0,511	0,0263	0,0285	0,00553	
	Min	95,0	0,0661	84,7	8395	0,00579	0,0946	3375	0,0314	0,361	0,00395	0,00281	0,00270	
	n	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
<i>Cnidocolus bahianus</i>	M	<49	0,0407	50,3	5061	0,0101	0,272	1362		0,181	0,00390	0,00139	0,00110	
	U%	22	18,2	20,1	5,1	18,5	11,5	14,9	27	24,5	14,3	27,1	19,7	

Espécie		Al	As	B	Ca	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Dy	Er	Eu	Continua...
<i>Commiphora leptophloeos</i>	Med	138	0,0510	68,2	14243	0,0142	0,310	6455	0,0238	0,324	0,00710	0,00422	0,00283	
	Max	161	0,107	119	19317	0,0497	1,18	11034	0,0762	0,400	0,0283	0,0149	0,00837	
	Min	105	0,0306	46,6	11971	0,00484	0,126	5059	0,0144	0,209	0,00390	0,00185	0,00141	
	n	3	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6
<i>Cordia bullata var. globosa</i>	M	366	0,0632	99,7	16596	0,170	0,901	9812	0,177	0,452	0,0142	0,00703	0,00238	
	U%	22	18,2	20,1	1,6	18,5	11,5	2,4	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Cordia curassavica</i>	M	<49	0,0724	61,0	11360	0,0280	0,204	9301	0,0681	0,115	0,00197	0,00094	0,00174	
	U%	22	18,2	20,1	2,3	18,5	11,5	2,4	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Cordia leucocephala</i>	Med	248	0,118	67,3	18144	0,502	2,92	6494	1,29	0,200	0,0641	0,0296	0,0160	
	Max	327	0,181	71,5	18370	0,621	4,41	7294	1,72	0,236	0,0880	0,0426	0,0221	
	Min	170	0,0547	63,1	17919	0,384	1,43	5695	0,86	0,165	0,0401	0,0167	0,00987	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Cordia trichotoma</i>	M	173	0,0238	62,1	20726	0,0702	0,4485	12839	0,0353	0,437	0,00979	0,00605	0,00173	
	U%	22	18,2	20,1	1,3	18,5	11,5	1,8	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Croton grewoides</i>	Med	905	0,0220	47,2	6607	0,0404	0,263	4513	0,0343	0,348	0,00532	0,00211	0,00111	
	Max	1026	0,0253	47,4	8421	0,0608	0,265	5752	0,0448	0,444	0,00590	0,00234	0,00142	
	Min	785	0,0187	47,0	4793	0,0200	0,261	3274	0,0237	0,251	0,00474	0,00188	0,00079	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Croton heliotropifolius</i>	Med	347	0,0644	64,5	13232	0,0694	0,266	13710	0,0318	0,273	0,00686	0,00328	0,00441	
	Max	534	0,144	83,6	17371	0,117	0,798	16837	0,155	0,531	0,0239	0,00930	0,00783	
	Min	136	0,0432	36,8	10045	0,0148	0,124	10148	0,0240	0,223	0,00118	0,00324	0,00079	
	n	4	5	5	5	5	5	5	4	5	4	3	4	
<i>Croton nepetifolius</i>	Med	296	0,0753	53,2	8005	0,0320	0,230	4032	0,0215	0,349	0,00472	0,00187	0,00112	
	Max	390	0,160	72,3	9021	0,0714	0,344	4650	0,0825	0,595	0,00670	0,00281	0,00238	
	Min	115	0,0272	35,0	6700	0,00933	0,146	3556	0,0174	0,166	0,00354	0,00139	0,00079	
	n	5	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6
<i>Croton sonderianus</i>	M	<49	0,0488	56,8	14850	0,405	0,9972	8248	0,173	0,163	0,0465	0,0216	0,0120	
	U%	22	18,2	20,1	1,8	18,5	11,5	2,7	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Croton tricolor</i>	Med	219	0,0915	73,3	11634	0,128	0,632	3109	0,131	0,175	0,0146	0,00701	0,00360	
	Max	287	0,124	88,0	13690	0,270	1,58	3857	0,189	0,198	0,0173	0,00702	0,00427	
	Min	151	0,0715	64,0	11578	0,0706	0,190	1943	0,054	0,128	0,0117	0,00509	0,00333	
	n	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Cynophalla flexuosa</i>	Med	256	0,0694	302	18353	0,0503	0,512	850	1,94	0,210	0,0152	0,0135	0,00564	
	Max	473	0,0966	514	22262	0,254	2,61	3622	14,5	0,366	0,162	0,129	0,0255	
	Min	144	0,0275	138	8207	0,0176	0,0978	510	0,182	0,0831	0,00039	0,00190	0,00235	
	n	9	9	9	9	9	9	6	9	9	8	6	5	

Espécie		Al	As	B	Ca	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Dy	Er	Eu	Continua...
<i>Dahlstedtia araripensis</i>	Med	228	0,0582	88,5	10186	0,0112	0,249	4236	0,0445	0,236	0,00313	0,00093	0,00048	
	Max	430	0,0680	89,6	11750	0,0332	0,281	4773	0,0445	0,338	0,00431	0,00186	0,00079	
	Min	162	0,0485	44,2	5541	0,00927	0,176	700	0,0445	0,219	0,00198	0,00047	0,00047	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
<i>Dahlstedtia sp.</i>	Med	97	0,0113	88,1	6479	0,0303	0,201	4979	0,0174	0,352	0,0136	0,00833	0,00188	
	Max	97	0,0181	119	7356	0,0523	0,294	6060	0,0194	0,376	0,0245	0,0153	0,00329	
	Min	97	0,0044	57,4	5603	0,00839	0,108	3897	0,0154	0,329	0,00274	0,00139	0,00047	
	n	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Dalbergia cearensis</i>	Med	259	0,0539	85,6	8727	0,0220	0,133	4941	0,0556	0,184	0,00417	0,00279	0,00175	
	Max	490	0,0764	145	10509	0,312	0,512	6033	0,150	0,398	0,00743	0,00378	0,00240	
	Min	103	0,0398	55,6	5700	0,00308	0,0703	2362	0,0282	0,106	0,00117	0,00046	0,00110	
	n	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4	3	2	
<i>Ditaxis desertorum</i>	Med	325	0,0625	77,0	14045	0,0110	0,220	8920	0,05726	0,219	0,00528	0,00231	0,00078	
	Max	434	0,0737	84,4	24155	0,0976	0,913	18616	0,07691	0,572	0,0113	0,00241	0,00141	
	Min	216	0,0482	40,2	13431	0,00527	0,204	7545	0,04281	0,212	0,00272	0,00092	0,00049	
	n	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Erythroxylum revolutum</i>	Med	180	0,0567	39,2	6983	0,0130	0,129	13935	0,0407	0,176	0,00236	0,00117	0,00063	
	Max	1317	0,120	56,9	11622	0,157	0,589	18152	0,0921	0,266	0,0224	0,00748	0,00649	
	Min	101	0,0105	34,2	4050	0,00309	0,0368	5500	0,0239	0,0740	0,00039	0,00046	0,00047	
	n	7	11	11	11	11	11	11	11	6	11	9	8	6
<i>Erythroxylum suberosum</i>	M	329	0,0144	80,5	4426	0,164	0,103	11606	<0,013	0,309	<0,0003	<0,0003	<0,0004	
	U%	22	18,2	20,1	5,8	18,5	11,5	2,0	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Erythroxylum subrotundum</i>	Med	550	0,0649	77,0	7236	0,0248	0,106	17850	0,0241	0,386	0,00117	<0,0003	<0,0004	
	Max	792	0,0938	77,7	10191	0,0422	0,133	18278	0,0327	0,619	0,00117			
	Min	308	0,0359	76,3	4281	0,00749	0,0789	17423	0,0155	0,153	0,00117			
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1		
<i>Eugenia brejoensis</i>	Med	177	0,0429	48,5	5145	0,0312	0,143	4617	<0,013	0,149	0,00157	0,00235	0,00129	
	Max	327	0,0826	65,2	8759	0,152	0,416	6530		0,222	0,0223	0,00772	0,00147	
	Min	131	0,0253	22,1	2424	0,0094	0,0681	3828		0,0769	0,00117	0,00047	0,00111	
	n	4	6	6	6	6	6	6		6	5	3	2	
<i>Eugenia sp.</i>	Med	185	0,0997	60,0	7682	0,125	0,231	5197	<0,013	0,290	0,00372	0,00305	0,00254	
	Max	210	0,146	78,1	15756	0,235	0,342	6377		0,531	0,0131	0,00517	0,00398	
	Min	170	0,0189	42,9	6081	0,00758	0,141	2414		0,0990	0,00200	0,00093	0,00110	
	n	3	4	4	4	3	4	4		4	4	2	2	

Espécie		Al	As	B	Ca	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Dy	Er	Eu	Continua...
<i>Oxandra reticulata</i>	M	261	0,0439	55,5	9035	0,0714	0,106	1056	0,0161	0,188	0,00157	0,00047	<0,0004	
	U%	14,7	18,2	20,1	2,9	18,5	11,5	19,2	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Peltogyne pauciflora</i>	Med	107	0,0390	47,5	9244	0,0416	0,132	1137	0,0414	0,220	0,00178	0,00116	0,00141	
	Max	222	0,0938	84,1	24468	0,378	1,26	1137	0,249	1,05	0,00818	0,00277	0,00430	
	Min	61,7	0,0100	21,9	4214	0,0101	0,0447	1137	0,0166	0,0898	0,00039	0,00046	0,00047	
	n	6	17	17	17	17	17	1	6	17	16	10	11	
<i>Piptadenia stipulacea</i>	Med	173	0,0599	43,7	8074	0,0192	0,0939	3962	0,0307	0,156	0,00119	0,00163	0,00080	
	Max	173	0,107	50,9	16892	0,0225	0,150	4897	0,0368	0,236	0,00470	0,00279	0,00173	
	Min	172	0,0591	26,9	7987	0,0138	0,0558	2413	0,0246	0,144	0,00118	0,00047	0,00079	
	n	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	Med	178	0,0491	38,4	5929	0,0075	0,126	8099	0,0171	0,159	0,00348	0,00231	0,00188	
	Max	335	0,0949	65,0	9123	0,0490	0,509	9127	0,270	0,715	0,00940	0,00560	0,00429	
	Min	139	0,0114	27,0	3146	0,00133	0,0552	5517	0,0136	0,0846	0,00117	0,00046	0,00047	
	n	4	9	9	9	9	9	9	5	9	9	8	8	
<i>Poincianella microphylla</i>	Med	<49	0,0481	29,8	9542	0,0280	0,275	1482	0,103	0,136	0,00592	0,00234	0,00143	
	Max		0,0486	66,6	10873	0,286	0,766	1631	0,193	0,399	0,0345	0,0135	0,00805	
	Min		0,0391	25,6	2395	0,0103	0,101	613	0,0131	0,0975	0,00159	0,00047	0,00080	
	n		3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	
<i>Poincianella pyramidalis</i>	M	152	0,138	40,7	7924	0,0901	1,41	1534	0,387	0,0733	0,0248	0,01028	0,00586	
	U%	14,7	18,2	20,1	1,6	18,5	11,5	16,6	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Psidium brownianum</i>	Med	332	0,0411	66,7	9977	0,0741	0,133	5248	0,277	0,0840	0,00256	0,00232	0,00976	
	Max	351	0,0646	85,1	13461	0,139	0,271	6390	0,535	0,327	0,00665	0,00325	0,0175	
	Min	168	0,0185	49,6	4859	0,0319	0,0782	4105	0,0176	0,0623	0,00078	0,00139	0,00204	
	n	5	5	5	5	5	5	2	2	5	4	2	2	
<i>Psidium oligospermum</i>	Med	187	0,0695	63,4	6317	0,0093	0,137	6855	0,0302	0,115	0,00353	0,00140	0,00079	
	Max	1794	0,107	100	14049	0,0681	0,187	8959	0,0821	0,275	0,00430	0,00186	0,00173	
	Min	49,0	0,0081	38,3	4356	0,00398	0,0673	5300	0,0195	0,0360	0,00118	0,00093	0,00047	
	n	4	5	5	5	5	5	5	3	5	4	3	3	
<i>Psidium schenckianum</i>	Med	162	0,0215	104	7878	0,0228	0,192	2614	0,0184	0,198	0,00396	0,00141	0,00080	
	Max	162	0,0258	149	8366	0,0273	0,192	4076	0,0213	0,219	0,00437	0,00189	0,00113	
	Min	162	0,0148	26,3	4113	0,0176	0,176	1152	0,0156	0,169	0,00240	0,00095	0,00080	
	n	1	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	
<i>Ruprechtia laxiflora</i>	Med	221	0,0461	72,4	15184	0,0592	0,255	4993	0,0195	0,178	0,00470	0,00093	0,00110	
	Max	295	0,0489	76,6	17358	0,0643	0,283	5910	0,0209	0,196	0,00507	0,00093	0,00110	
	Min	147	0,0434	68,2	13010	0,0541	0,226	4076	0,0182	0,159	0,00432	0,00093	0,00110	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	

Espécie		Al	As	B	Ca	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Dy	Er	Eu	Continua...
<i>Sapium glandulosum</i>	Med	163	0,0974	95,2	19635	0,0350	0,106	12340	0,0164	0,146	0,00236	0,00140	0,00143	
	Max	177	0,120	115	25494	0,0350	0,115	17602	0,0164	0,205	0,00275	0,00141	0,00207	
	Min	149	0,0746	76,0	13775	0,0350	0,0967	7079	0,0164	0,0869	0,00198	0,00140	0,00079	
	n	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	M	295	<0,003	65,0	8580	0,0917	0,169	3363	<0,013	0,278	0,00118	<0,0003	<0,0004	
	U%	22	18,2	20,1	3,0	18,5	11,5	6,2	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Senegalia bahiensis</i>	Med	266	0,0546	67,3	14539	0,0242	0,112	545	0,0182	0,227	0,00273	0,00139	0,00047	
	Max	275	0,0628	91,8	23421	0,0613	0,140	545	0,0197	0,402	0,00429	0,00185	0,00047	
	Min	212	0,0044	62,4	9787	0,0119	0,0229	545	0,0166	0,136	0,00273	0,00093	0,00047	
	n	3	4	4	4	4	4	1	2	4	3	3	3	3
<i>Senegalia piauihensis</i>	Med	156	0,0384	70,7	7390	0,0267	0,0787	2210	0,0715	0,121	0,00216	0,00093	0,00095	
	Max	267	0,0498	100	13406	0,0416	0,116	4704	0,841	0,783	0,00237	0,00094	0,00111	
	Min	113	0,0202	48,4	3859	0,00312	0,0480	1834	0,0552	0,0732	0,00196	0,00093	0,00079	
	n	4	4	4	4	4	4	4	3	4	2	2	2	2
<i>Senegalia sp.</i>	Med	170	0,114	161	16725	0,0306	0,119	4715	0,0885	0,204	0,00316	0,00187	0,00079	
	Max	295	0,179	419	25098	0,0793	0,350	5422	3,09	0,416	0,00743	0,00372	0,00269	
	Min	109	0,0410	31,2	4518	0,00132	0,0781	1287	0,0439	0,0860	0,00039	0,00094	0,00047	
	n	6	5	6	6	5	6	6	6	6	5	3	4	4
<i>Senna acuruensis</i>	M	310	0,109	41,5	17049	<0,0007	0,195	2925	0,0133	0,117	<0,0003	<0,0003	<0,0004	
	U%	14,7	18,2	20,1	1,9	18,5	11,5	5,4	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Senna cana</i>	Med	226	0,0435	52,3	3998	0,0085	0,383	1935	0,0344	0,337	0,00835	0,00281	0,00287	
	Max	247	0,113	53,3	5289	0,0129	0,715	2312	0,0511	0,730	0,00869	0,00378	0,00365	
	Min	206	0,0253	48,1	3218	0,0007	0,234	1476	0,0176	0,181	0,00541	0,00092	0,00208	
	n	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2
<i>Senna macranthera</i>	Med	201	0,0237	34,5	6948	0,0275	0,155	5353	0,0183	0,271	0,00220	0,00162	0,00109	
	Max	375	0,0442	50,7	9325	0,0790	0,231	7579	0,0188	0,447	0,00424	0,00229	0,00109	
	Min	121	0,0115	22,2	3210	0,0007	0,120	3997	0,0177	0,0996	0,00080	0,00095	0,00109	
	n	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	2	1	1
<i>Senna rizzinii</i>	Med	125	0,0539	58,6	12904	0,0241	0,192	8299	0,0336	0,259	0,00400	0,00143	0,00252	
	Max	338	0,0911	62,6	21520	0,0715	0,350	11136	0,0643	0,345	0,0110	0,00744	0,00425	
	Min	50,9	0,0146	39,1	7482	0,0007	0,0538	4418	0,0164	0,0923	0,00276	0,00047	0,00079	
	n	3	5	5	5	4	5	5	5	5	3	3	2	2
<i>Senna sp.</i>	M	676	0,0808	46,3	15815	0,0575	0,106	13485	0,0460	0,233	0,00350	0,00231	0,00141	
	U%	14,7	18,2	20,1	1,7	18,5	11,5	1,7	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Senna trachypus</i>	M	426	0,138	70,5	25034	0,00739	0,132	2358	<0,013	0,260	0,00347	0,00137	<0,0004	
	U%	14,7	18,2	20,1	1,1	18,5	11,5	8,8	27	24,5	14,3	27,1	19,7	

Espécie		Fe FAAS	Fe EDXRF	Gd	Ho	K	La	Lu	Mg	Mn	Mo	Nd	Ni	P	Continua...
<i>Aeschynomene marginata</i>	Med	126	240	0,0129	0,00083	6172	0,106	<0,00003	3672	750	0,0501	0,0428	0,541	1235	
	Max	193	368	0,0181	0,00083	7855	0,145		5460	983	0,0617	0,0475	0,851	1331	
	Min	59,8	112	0,00778	0,00083	4489	0,0674		1885	517	0,0386	0,0381	0,230	1139	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Allamanda blanchetti</i>	Med	80,5	94,2	0,0215	0,00259	9859	0,223	0,00747	3854	118	0,364	0,0778	0,474	1361	
	Max	88,0	97,6	0,0887	0,0517	24074	0,407	0,0137	4428	128	0,659	0,240	3,28	1565	
	Min	69,8	79,4	0,0121	0,00038	6033	0,183	0,00124	2486	82,6	0,0577	0,0589	0,369	1088	
	n	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3
<i>Alternanthera sp.</i>	M	100	90,6	0,00174	<0,0003	35406	0,0441	<0,00003	5470	219	0,036	0,0195	0,986	1435	
	U%	12	9,5	17	28,2	3,2	18,3	29	13,2	5,1	14,2	15,5	27,3	10,9	
<i>Allophylus quercifolius</i>	Med	78,7	93,1	0,0243	0,00347	13568	0,159	0,00156	4483	133	0,120	0,0923	0,327	1406	
	Max	91,6	99,8	0,0318	0,00478	14442	0,188	0,00283	5575	220	0,136	0,106	0,432	1698	
	Min	65,7	86,4	0,0167	0,00216	12695	0,131	0,00029	3390	45,8	0,104	0,0790	0,222	1114	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Amburana cearensis</i>	M	58,3	77,8	0,192	0,0122	9347	2,24	0,00124	3665	105	0,186	0,726	0,734	1372	
	U%	12	11	17	28,2	12,3	18,3	29	18,3	8,2	14,2	15,5	27,3	11,4	
<i>Anacardium occidentale</i>	M	62,9	88,9	0,0118	<0,0003	5339	0,0702	<0,00003	4745	229	0,284	0,0368	1,13	1391	
	U%	12	9,7	17	28,2	21,5	18,3	29	13,9	4,9	14,2	15,5	27,3	11,2	
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Med	65,1	90,0	0,00742	<0,0003	6071	0,0859	<0,00003	2937	218	0,114	0,0417	0,438	1190	
	Max	74,2	96,8	0,00849		7988	0,114		3682	295	0,166	0,0545	0,657	1316	
	Min	56,0	83,3	0,00636		4154	0,0579		2193	141	0,0616	0,0290	0,220	1064	
	n	2	2	2		2	2		2	2	2	2	2	2	2
<i>Annona leptopetala</i>	Med	63,4	69,7	0,00961	0,00083	8866	0,0853	0,00060	2296	46,9	0,200	0,0408	0,460	1295	
	Max	190	105	0,0135	0,00386	12554	0,138	0,00154	3295	186	0,775	0,0749	1,40	1907	
	Min	49,2	44,8	0,00457	0,00039	6929	0,0322	0,00028	1615	14,6	0,0507	0,0155	0,266	917	
	n	14	14	14	13	14	14	7	13	14	14	14	14	14	14
<i>Aspidosperma multiflorum</i>	Med	79,9	83,0	0,00779	0,00105	8986	0,0753	0,00060	7394	160	0,390	0,0378	0,288	1467	
	Max	86,8	92,6	0,00956	0,00127	10875	0,0764	0,00060	8037	169	0,488	0,0425	0,357	1485	
	Min	73,0	73,4	0,00602	0,00083	7097	0,0742	0,00060	6751	152	0,292	0,0331	0,218	1450	
	n	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
<i>Aspidosperma pyriformum</i>	Med	49,1	46,1	0,0165	0,00125	7503	0,175	0,00028	5828	142	0,186	0,0928	0,401	1381	
	Max	55,6	57,4	0,0203	0,00128	8281	0,260	0,00029	8125	163	0,346	0,114	0,842	1557	
	Min	37,7	25,9	0,0109	0,00083	4156	0,175	0,00028	5684	129	0,0989	0,0565	0,222	1155	
	n	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3
<i>Aspidosperma sp.</i>	M	120	72,8	0,0150	<0,0003	9087	0,223	<0,00003	2927	38,2	0,0892	0,102	0,370	1598	
	U%	12	11,5	17	28,2	12,6	18,3	29	23,0	16,7	14,2	15,5	27,3	9,8	

Espécie		Fe	Fe	Gd	Ho	K	La	Lu	Mg	Mn	Mo	Nd	Ni	P	Continua...
		FAAS	EDXRF												
<i>Balfourodendron molle</i>	Med	77,6	143	0,00991	0,00061	8392	0,0791	<0,00003	3359	402	0,428	0,0372	0,871	1672	
	Max	84,1	182	0,0103	0,00083	13017	0,0842		4086	675	0,607	0,0414	1,45	2030	
	Min	71,1	104	0,00956	0,00039	3766	0,0740		2633	130	0,248	0,0330	0,291	1314	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Bauhinia acuruana</i>	M	60,8	94,8	0,0166	0,00126	6077	0,346	0,00028	1844	111	0,147	0,118	0,490	995	
	U%	12	9,3	17	28,2	18,9	18,3	29	34,5	7,8	14,2	15,5	27,3	15,6	
<i>Byrsonima gardneriana</i>	Med	46,1	43,4	0,00525	0,00039	10146	0,0566	0,00061	2770	77,7	0,0212	0,0294	0,239	1105	
	Max	65,3	78,3	0,00856	0,00128	10863	0,0698	0,00061	3845	127	0,0446	0,0309	0,352	1356	
	Min	34,2	35,0	0,00423	0,00039	8123	0,0239	0,00061	2408	76,2	0,0189	0,0126	0,149	936	
	n	5	5	5	4	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5
<i>Calliandra aeschynomenoides</i>	Med	54,1	86,2	0,00989	0,00083	5094	0,0694	0,00028	2051	320	0,0242	0,0378	0,222	822	
	Max	56,8	90,2	0,0127	0,00083	5187	0,0899	0,00028	2085	381	0,0290	0,0519	0,224	923	
	Min	51,3	82,2	0,00705	0,00083	5002	0,0488	0,00028	2017	260	0,0194	0,0238	0,219	722	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Campomanesia eugenioides</i>	Med	68,8	82,4	0,0179	0,00171	7532	0,150	0,00029	2727	92,1	0,344	0,0731	0,572	1081	
	Max	79,4	91,0	0,0306	0,00215	9272	0,226	0,00060	3094	120	0,624	0,0783	0,799	1261	
	Min	48,0	57,1	0,0136	0,00082	5325	0,134	0,00028	2301	79,1	0,0760	0,0570	0,316	788	
	n	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
<i>Casearia sylvestris</i>	M	73,2	117	0,00890	0,00040	14825	0,0811	<0,00003	5108	417	0,542	0,0468	0,919	1222	
	U%	12	8	17	28,2	7,7	18,3	29	13,3	3,7	14,2	15,5	27,3	12,7	
<i>Celtis iguanaea</i>	M	91,3	77,8	0,00209	<0,0003	8603	0,0589	<0,00003	8212	222	0,343	0,0165	0,165	1869	
	U%	12	10,7	17	28,2	13,3	18,3	29	9	4,7	14,2	15,5	27,3	8,4	
<i>Chamaecrista zygophylloides</i>	Med	70,9	96,2	0,00937	0,00039	9667	0,0826	<0,00003	3462	207	0,0694	0,0440	0,208	1108	
	Max	73,4	98,7	0,0105	0,00040	10674	0,0894		3730	207	0,0828	0,0450	0,258	1205	
	Min	68,5	93,7	0,00820	0,00039	8661	0,0757		3193	206	0,0561	0,0429	0,157	1010	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Chloroleucon foliolosum</i>	Med	67,5	94,1	0,0174	0,00695	5962	0,112	0,00361	3869	310	0,134	0,0565	0,216	1000	
	Max	76,0	99,8	0,0262	0,0117	7338	0,178	0,00597	3939	349	0,250	0,0920	0,310	1123	
	Min	58,9	88,4	0,00853	0,00215	4586	0,0449	0,00124	3799	270	0,0182	0,0211	0,122	877	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Cnidocolus bahianus</i>	M	80,2	128	0,0102	0,00082	14969	0,0776		2472	372	0,102	0,0534	0,304	2509	
	U%	12	7,5	17	28,2	7,7	18,3	29	26,4	4,2	14,2	15,5	27,3	6,3	
<i>Commiphora leptophloeos</i>	Med	80,2	96,0	0,0153	0,00170	10151	0,154	0,00060	3737	168	0,103	0,0593	0,164	1459	
	Max	94,7	132	0,0461	0,00476	15087	0,668	0,00188	5830	192	0,172	0,282	0,449	1807	
	Min	51,9	68,9	0,00736	0,00039	7806	0,0556	0,00028	2142	112	0,0211	0,0291	0,074	1161	
	n	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6	6	6	6
<i>Cordia bullata var. globosa</i>	M	59,6	52,6	0,0260	0,00215	33445	0,459	<0,00003	3900	351	0,233	0,159	0,310	1571	
	U%	12	16	17	28,2	3,4	18,3	29	18,2	4	14,2	15,5	27,3	10	

Espécie		Fe	Fe	Gd	Ho	K	La	Lu	Mg	Mn	Mo	Nd	Ni	P	Continua...
		FAAS	EDXRF												
<i>Manihot</i> sp.	Med	90,0	116	0,00670	0,00039	11950	0,0694	<0,00003	3444	209	0,652	0,0375	0,179	2640	
	Max	96,2	130	0,00881	0,00039	12046	0,0791		3796	292	1,05	0,0405	0,180	3198	
	Min	83,8	101	0,00458	0,00039	11854	0,0597		3092	125	0,250	0,0345	0,178	2082	
	n	2	2	2	1	2	2		2	2	2	2	2	2	2
<i>Manilkara salzmannii</i>	M	65,6	91,3	0,0152	0,00127	3072	0,189	0,00028	5385	137	0,0648	0,0690	0,544	674	
	U%	12	10,1	17	28,2	37,3	18,3	29	12,4	7,5	14,2	15,5	27,3	23,0	
<i>Maytenus imbricata</i>	M	57,9	66,6	0,0110	0,00039	7196	0,0896	<0,00003	1189	189	0,0508	0,0462	0,764	612	
	U%	12	12,7	17	28,2	15,9	18,3	29	53,5	5,6	14,2	15,5	27,3	25,3	
<i>Medusantha martiusii</i>	M	52,8	54,2	0,00738	<0,0003	7805	0,0712	<0,00003	6640	157	0,288	0,0212	0,535	1892	
	U%	12	15,4	17	28,2	14,7	18,3	29	10,4	6,2	14,2	15,5	27,3	8,3	
<i>Mimosa ophthalmocentra</i>	M	48,9	85,2	0,0861	0,00606	10235	0,830	0,00060	3833	450	0,312	0,290	0,891	1547	
	U%	12	9,9	17	28,2	11,2	18,3	29	17,2	3,2	14,2	15,5	27,3	10,1	
<i>Monteverdia imbricata</i>	M	37,6	41,6	0,0177	<0,0003	4403	0,0802	<0,00003	2218	96,2	0,0462	0,0599	0,473	685	
	U%	12	19,6	17	28,2	26,1	18,3	29	29,4	8,5	14,2	15,5	27,3	22,6	
<i>Moquiniastrium oligocephalum</i>	Med	60,7	57,8	0,00841	0,00082	19751	0,0786	0,00059	2798	220	0,136	0,0404	0,504	848	
	Max	65,2	67,2	0,0106	0,00125	20032	0,117	0,00059	3246	227	0,330	0,0457	0,953	1036	
	Min	55,8	53,8	0,00139	0,00039	19020	0,0323	0,00059	2350	149	0,0278	0,0159	0,349	739	
	n	3	3	3	2	3	3	1	2	3	3	3	3	3	3
<i>Myrcia</i> sp.	M	43,4	40,2	0,00957	0,00127	16361	0,0436	0,00092	2085	153	0,101	0,0316	0,230	1266	
	U%	12	20,7	17	28,2	7,0	18,3	29	31,2	6,6	14,2	15,5	27,3	12,3	
<i>Myroxylon peruiferum</i>	M	68,3	78,7	0,0136	0,00041	9686	0,0627	<0,00003	2771	57,6	0,111	0,0370	0,389	1701	
	U%	12	10,8	17	28,2	11,9	18,3	29	23,5	12,3	14,2	15,5	27,3	9,2	
<i>Neocalyptocalyx longifolium</i>	Med	68,3	80,5	0,00993	0,00127	13455	0,139	0,00044	3372	125	0,728	0,0629	0,413	1113	
	Max	93,5	109	0,0378	0,00961	16322	0,345	0,00187	5185	433	7,76	0,183	2,51	1364	
	Min	32,2	24,1	0,00175	0,00039	10861	0,0377	0,00028	2353	52,6	0,0719	0,0174	0,207	897	
	n	11	11	11	9	11	11	6	11	11	11	11	11	11	11
<i>Oxandra reticulata</i>	M	53,4	67,4	0,00316	0,00039	20127	0,0448	<0,00003	2442	230	0,0848	0,0155	0,361	2140	
	U%	12	12,1	17	28,2	5,7	18,3	29	26,9	4,7	14,2	15,5	27,3	7,3	
<i>Peltogyne pauciflora</i>	Med	47,7	96,7	0,00459	0,00082	9469	0,0553	0,00044	3958	490	0,0493	0,0244	0,345	1343	
	Max	87,4	172	0,0271	0,00125	12876	0,759	0,00060	6343	1237	0,163	0,199	1,33	1834	
	Min	20,0	54,3	0,00068	0,00039	6252	0,0185	0,00029	2473	253	0,0137	0,00819	0,138	1098	
	n	17	17	17	9	17	17	2	17	17	17	17	17	17	17
<i>Piptadenia stipulacea</i>	Med	85,9	123	0,00496	0,00040	9903	0,0431	0,00091	2334	284	0,107	0,0148	0,381	1628	
	Max	90,1	128	0,00776	0,00170	10970	0,0601	0,00091	2706	289	0,178	0,0405	1,33	1878	
	Min	60,9	108	0,00425	0,00039	7022	0,0228	0,00091	1963	273	0,0202	0,0134	0,189	1425	
	n	3	3	3	3	3	3	1	2	3	3	3	3	3	3

Espécie		Fe FAAS	Fe EDXRF	Gd	Ho	K	La	Lu	Mg	Mn	Mo	Nd	Ni	P	Continua...
<i>Senegalia piauhiensis</i>	Med	75,3	131	0,00318	0,00039	11936	0,0312	0,00029	3042	625	0,0244	0,0160	0,764	1724	
	Max	101	166	0,00774	0,00040	13297	0,0510	0,00029	3591	794	0,0978	0,0234	1,26	2454	
	Min	53,1	116	0,00103	0,00039	8000	0,0214	0,00029	2237	274	0,0137	0,00819	0,171	1199	
	n	4	4	4	2	4	4	1	3	4	4	4	4	4	4
<i>Senegalia sp.</i>	Med	82,5	143	0,00709	0,00083	12525	0,0524	0,00028	4595	608	0,0408	0,0280	0,551	1545	
	Max	135	272	0,0198	0,00126	18622	0,0890	0,00028	6002	1237	0,0671	0,0619	1,09	2225	
	Min	39,0	74,6	0,00174	0,00040	8837	0,0316	0,00028	2801	235	0,0181	0,0155	0,136	1249	
	n	6	6	6	3	6	6	1	6	6	6	6	6	6	6
<i>Senna acuruensis</i>	M	71,1	127	0,00989	<0,0003	6796	0,0941	<0,00003	4774	325	0,154	0,0176	0,526	1721	
	U%	12	4,5	17	28,2	8,1	18,3	29	14,7	3,6	14,2	15,5	27,3	8,7	
<i>Senna cana</i>	Med	55,9	79,8	0,0223	0,00128	6024	0,174	0,00029	2181	75,1	0,124	0,0932	0,482	1039	
	Max	72,3	93,9	0,0421	0,00128	6432	0,409	0,00029	2691	106	0,280	0,124	1,54	1046	
	Min	54,1	75,7	0,0223	0,00127	4478	0,101	0,00029	1643	67,5	0,0883	0,0587	0,390	807	
	n	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3
<i>Senna macranthera</i>	Med	61,2	75,1	0,00824	0,00082	9808	0,0700	0,00059	2214	81,4	0,251	0,0334	0,390	1298	
	Max	79,9	105	0,0120	0,00124	12572	0,109	0,00059	3469	140	1,15	0,0510	1,31	1509	
	Min	53,9	59,0	0,00394	0,00040	8170	0,0600	0,00059	1676	53,4	0,116	0,0272	0,272	1118	
	n	4	4	4	2	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4
<i>Senna rizzinii</i>	Med	76,6	72,8	0,00780	0,00257	11521	0,0844	0,00280	1903	68,5	0,158	0,0393	0,327	1598	
	Max	92,2	103	0,0166	0,00474	15351	0,159	0,00280	2927	178	0,608	0,0877	0,562	1818	
	Min	41,1	49,4	0,00139	0,00040	6383	0,0237	0,00280	1697	38,2	0,0618	0,0121	0,177	1166	
	n	5	5	5	2	5	5	1	3	5	5	5	5	5	5
<i>Senna sp.</i>	M	72,6	74,7	0,00524	0,00169	9604	0,0478	0,00091	2982	136	0,0832	0,0276	0,170	1194	
	U%	12	11,6	17	28,2	12,0	18,3	29	22,9	7,2	14,2	15,5	27,3	13,0	
<i>Senna trachypus</i>	M	71,4	77,0	0,0108	0,00039	9669	0,0590	<0,00003	3525	208	0,0980	0,0338	0,194	1797	
	U%	12	10,4	17	28,2	11,9	18,3	29	19,0	4,5	14,2	15,5	27,3	8,7	
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	M	89,2	64,7	0,0620	0,00998	4690	1,49	0,00218	7952	154	2,95	0,327	0,427	991	
	U%	12	12,7	17	28,2	24,5	18,3	29	9,0	6,1	14,2	15,5	27,3	15,7	
<i>Simaba ferruginea</i>	M	68,9	89,8	0,0152	0,00126	4398	0,105	0,00028	2567	129	0,214	0,0566	0,943	639	
	U%	12	9,4	17	28,2	26,1	18,3	29	24,9	6,6	14,2	15,5	27,3	24,2	
<i>Solanum rhytidoandrum</i>	M	64,6	74,7	0,00708	0,00039	12609	0,0879	<0,00003	3744	126	0,276	0,0448	0,152	1397	
	U%	12	4,3	17	28,2	7,3	18,3	29	13,0	4,9	14,2	15,5	27,3	12,3	
<i>Solanum sp.</i>	M	64,3	65,9	0,00808	0,00082	14259	0,0812	0,00028	2212	126	0,138	0,0520	0,189	1252	
	U%	12	6,0	17	28,2	5,7	18,3	29	20,1	4,3	14,2	15,5	27,3	8,7	
<i>Trischidium molle</i>	Med	65,6	93,4	0,00953	0,00061	12171	0,0764	0,00029	2687	199	0,0901	0,0450	0,891	1587	
	Max	88,3	109	0,0286	0,00258	14689	0,189	0,00124	4977	325	0,997	0,113	1,74	1790	
	Min	61,7	81,7	0,00632	0,00039	8183	0,0403	0,00029	1768	81,4	0,0327	0,0214	0,257	1319	
	n	9	9	9	8	9	9	3	8	9	9	9	9	9	9

Espécie		Fe FAAS	Fe EDXRF	Gd	Ho	K	La	Lu	Mg	Mn	Mo	Nd	Ni	P	Continua...
<i>Varronia globosa</i>	M	89,4	70,1	0,0150	0,00260	24273	0,179	0,00061	5076	180	1,89	0,0705	0,635	2217	
	U%	12	12,0	17	28,2	4,7	18,3	29	14,2	5,7	14,2	15,5	27,3	7,1	
<i>Varronia sp.</i>	M	90,5	103	0,00390	<0,0003	21424	0,102	<0,00003	7110	335	0,0382	0,0325	0,205	1194	
	U%	12	4,1	17	28,2	9,7	18,3	29	10,1	2,5	14,2	15,5	27,3	10,0	
<i>Waltheria brachypetala</i>	Med	63,5	91,6	0,0148	0,00126	9240	0,166	0,00060	2176	154	0,0928	0,0832	0,334	1369	
	Max	67,0	95,2	0,0230	0,00812	11350	0,187	0,00215	2740	244	0,150	0,106	0,444	1508	
	Min	57,3	85,9	0,0124	0,00126	6040	0,105	0,00028	1644	128	0,0409	0,0675	0,295	1209	
	n	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<i>Ziziphus joazeiro</i>	Med	83,3	87,3	0,0279	0,00215	18704	0,700	0,00029	4485	270	3,35	0,209	0,451	1347	
	Max	84,6	93,3	0,0394	0,00215	19089	1,13	0,00029	4755	325	6,16	0,328	0,694	1542	
	Min	82,0	81,3	0,0164	0,00214	18320	0,268	0,00029	4215	215	0,54	0,0901	0,207	1152	
	n	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	

Espécie		Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Zn	Yb	Conclusão
<i>Balfourodendron molle</i>	Med	0,194	0,00806	3648	0,0328	0,00714	45,9	0,00039	0,0198	0,00036	0,0280	0,0829	30,2	0,00087	
	Max	0,336	0,00854	4450	0,0583	0,00733	64,2	0,00039	0,0201	0,00036	0,0431	0,0978	30,4	0,00105	
	Min	0,0531	0,00759	2847	0,00731	0,00694	27,6	0,00039	0,0195	0,00036	0,0129	0,0680	29,9	0,00069	
	n	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2
<i>Bauhinia acuruana</i>	M	0,434	0,0305	2249	0,0138	0,0180	23,6	0,00117	0,1701	0,00036	0,119	0,138	18,7	0,00248	
	U%	26,8	11,7	25,4	12,9	13,7	22,2	26,3	26	23,7	26	19,9	8,5	21,7	
<i>Byrsonima gardneriana</i>	Med	0,0729	0,00696	2317	0,00672	0,00612	52,2	0,00079	0,0196	0,00077	0,0358	0,0839	16,4	0,00068	
	Max	0,761	0,00753	3166	0,00916	0,00856	57,3	0,00119	0,0400	0,00077	0,0398	0,183	24,9	0,00142	
	Min	0,0343	0,00285	1934	0,00435	0,00424	46,4	0,00039	0,00816	0,00077	0,0055	0,0503	14,2	0,00033	
	n	5	5	5	5	5	5	5	2	5	1	5	5	5	5
<i>Calliandra aeschynomoides</i>	Med	0,348	0,00805	2210	0,0203	0,00905	27,1	0,00059	0,0309	0,00036	0,0311	0,0796	19,1	0,00141	
	Max	0,529	0,0107	2542	0,0321	0,0108	30,8	0,00078	0,0385	0,00036	0,0513	0,0930	19,9	0,00141	
	Min	0,167	0,00536	1879	0,00847	0,00731	23,4	0,00039	0,0233	0,00036	0,0110	0,0663	18,3	0,00141	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Campomanesia eugenioides</i>	Med	0,404	0,0163	4686	0,0248	0,0136	23,3	0,00118	0,0338	0,00036	0,0455	0,120	20,0	0,00269	
	Max	0,760	0,0200	4959	0,0343	0,0157	26,3	0,00197	0,0551	0,00076	0,866	0,309	28,4	0,00319	
	Min	0,0800	0,0132	3679	0,00674	0,0119	18,3	0,00078	0,0185	0,00036	0,0328	0,0687	16,1	0,00176	
	n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<i>Casearia sylvestris</i>	M	0,526	0,00955	2307	0,0342	0,00971	83,8	<0,0003	0,0241	<0,00003	0,0129	0,0834	29,9	0,00106	
	U%	26,8	11,7	24,7	12,9	13,7	6,8	26,3	26	23,7	26	19,9	7,2	21,7	
<i>Celtis iguanaea</i>	M	0,113	0,00315	3180	0,00374	0,00500	311	<0,0003	0,00592	<0,00003	0,00366	0,192	16,4		
	U%	26,8	11,7	17,9	12,9	13,7	2,1	26,3	26	23,7	26	19,9	8,9	21,7	
<i>Chamaecrista zygophylloides</i>	Med	0,320	0,00901	2396	0,0219	0,00810	50,9	<0,0003	0,0272	<0,00003	0,0124	0,0384	21,8	0,00069	
	Max	0,391	0,00910	2557	0,0313	0,00855	58,4		0,0318		0,0128	0,0596	24,2	0,00069	
	Min	0,248	0,00892	2235	0,0126	0,00766	43,3		0,0227		0,0120	0,0173	19,4	0,00068	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Chloroleucon foliolosum</i>	Med	0,0839	0,0138	2766	0,0124	0,0147	51,3	0,00451	0,0548	0,00476	0,0474	0,0808	14,2	0,00991	
	Max	0,108	0,0218	2973	0,0138	0,0212	70,0	0,00705	0,0607	0,00755	0,0486	0,0907	14,2	0,0173	
	Min	0,0602	0,00572	2560	0,0109	0,00813	32,6	0,00197	0,0489	0,00197	0,0461	0,0708	14,1	0,00251	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Cnidocolus bahianus</i>	M	0,326	0,0100	3676	0,00961	0,00957	42,4	0,00039	0,0227	<0,00003	0,00820	0,117	38,9	0,00104	
	U%	26,8	11,7	15,5	12,9	13,7	13,8	26,3	26	23,7	26	19,9	8,9	21,7	
<i>Commiphora leptophloeos</i>	Med	0,297	0,0140	3236	0,0103	0,0153	70,0	0,00137	0,0411	0,00096	0,0292	0,192	20,9	0,00303	
	Max	0,509	0,0566	4418	0,0144	0,0448	103	0,00391	0,347	0,00238	0,469	0,399	26,2	0,00683	
	Min	0,0838	0,00627	2364	0,00842	0,00918	48,4	0,00039	0,0194	0,00036	0,0119	0,0768	18,7	0,00140	
	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6
<i>Cordia bullata var. globosa</i>	M	0,133	0,0397	3423	0,00258	0,02480	68,6	0,00157	0,130	<0,00003	0,0792	0,401	40,3	0,00323	
	U%	26,8	11,7	16,7	12,9	13,7	8,1	26,3	26	23,7	26	19,9	5,9	21,7	

Espécie		Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Zn	Yb	Conclusão
<i>Cordia curassavica</i>	M	0,0928	0,00855	4605	0,00495	0,00695	88,3	0,00039	0,0622	0,00036	0,0506	0,133	29,4	0,00069	
	U%	26,8	11,7	12,4	12,9	13,7	5,9	26,3	26	23,7	26	19,9	6,0	21,7	
<i>Cordia leucocephala</i>	Med	0,304	0,130	2916	0,00550	0,102	73,6	0,0121	0,1247	0,00216	0,0803	0,260	41,3	0,0121	
	Max	0,367	0,190	2995	0,00842	0,141	85,4	0,0169	0,205	0,00277	0,125	0,338	43,9	0,0156	
	Min	0,242	0,0689	2837	0,00258	0,0635	61,8	0,00738	0,0442	0,00154	0,0359	0,183	38,6	0,00857	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Cordia trichotoma</i>	M	0,166	0,0167	3538	0,00669	0,0127	87,2	0,00117	0,0238	0,00036	0,0357	0,0929	23,2	0,00285	
	U%	26,8	11,7	16,1	12,9	13,7	6,3	26,3	26	23,7	26	19,9	7,6	21,7	
<i>Croton grewoides</i>	Med	0,247	0,0130	2516	0,0100	0,0122	44,5	0,00059	0,0311	0,00036	0,0350	0,162	29,3	0,00141	
	Max	0,253	0,0139	2970	0,0115	0,0139	56,9	0,00078	0,0317	0,00036	0,0581	0,189	33,1	0,00142	
	Min	0,240	0,0121	2062	0,00850	0,0105	32,1	0,00039	0,0305	0,00036	0,0119	0,134	25,6	0,00141	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
<i>Croton heliotropiifolius</i>	Med	0,151	0,0232	3228	0,00728	0,0218	58,6	0,00273	0,0358	0,00036	0,0164	0,170	18,9	0,00212	
	Max	0,360	0,113	3648	0,0227	0,0593	104	0,0147	0,0361	0,00076	0,0470	0,300	24,1	0,00393	
	Min	0,123	0,00568	2434	0,00260	0,00538	50,2	0,00079	0,0152	0,00036	0,00742	0,163	16,6	0,00178	
	n	5	5	5	5	5	5	4	5	3	5	5	5	5	3
<i>Croton nepetifolius</i>	Med	0,206	0,0115	2098	0,0112	0,0100	40,4	0,00039	0,0425	0,00036	0,0400	0,159	20,5	0,00123	
	Max	0,466	0,0166	2438	0,0240	0,0131	55,2	0,00080	0,0844	0,00037	0,0651	0,272	23,0	0,00178	
	Min	0,111	0,00697	1801	0,00732	0,00882	27,7	0,00039	0,0335	0,00036	0,0192	0,0778	17,5	0,00104	
	n	6	6	6	6	6	6	6	6	3	6	6	6	6	6
<i>Croton sonderianus</i>	M	0,140	0,0539	2360	0,00954	0,0689	54,5	0,00965	0,0504	0,00311	0,0416	0,0953	25,8	0,01066	
	U%	26,8	11,7	24,2	12,9	13,7	10,9	26,3	26	23,7	26	19,9	8,4	21,7	
<i>Croton tricolor</i>	Med	0,150	0,0352	2742	0,00724	0,0248	43,4	0,00196	0,0663	0,00076	0,0500	0,153	26,9	0,00322	
	Max	0,532	0,0728	3123	0,00910	0,0425	49,2	0,00275	0,317	0,00076	0,162	0,418	27,2	0,00359	
	Min	0,130	0,0207	2525	0,00495	0,0218	31,4	0,00194	0,0245	0,00075	0,0230	0,0827	22,2	0,00283	
	n	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3
<i>Cynophalla flexuosa</i>	Med	0,127	0,0207	17262	0,0091	0,0168	84,5	0,00399	0,0174	0,00158	0,0326	0,164	20,9	0,00840	
	Max	0,359	0,145	19352	0,0122	0,163	150	0,0271	0,0624	0,0148	0,259	0,426	32,8	0,0702	
	Min	0,0243	0,00349	12954	0,0002	0,00231	27,8	0,00194	0,00385	0,00036	0,00466	0,0810	15,2	0,00176	
	n	9	9	9	9	9	9	5	9	5	9	9	9	9	5
<i>Dahlstedtia araripensis</i>	Med	0,355	0,00818	2818	0,0215	0,00729	33,4	0,00039	0,0206	<0,00003	0,0128	0,0904	21,1	0,00068	
	Max	0,402	0,0133	2972	0,0306	0,00962	46,9	0,00039	0,0233		0,0211	0,137	21,2	0,00105	
	Min	0,325	0,00541	2465	0,0203	0,00465	19,1	0,00039	0,0131		0,0120	0,0762	14,2	0,00033	
	n	2	2	2	2	2	2	1	2		2	2	2	2	2
<i>Dahlstedtia sp.</i>	Med	0,254	0,0116	2762	0,0306	0,0140	26,4	0,00194	0,0156	0,00095	0,0250	0,0551	21,9	0,00445	
	Max	0,355	0,0185	3087	0,0533	0,0233	27,9	0,00349	0,0194	0,00154	0,0418	0,0551	24,5	0,00785	
	Min	0,153	0,00472	2437	0,00783	0,00461	24,9	0,00039	0,0119	0,00036	0,00823	0,0551	19,3	0,00104	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2

Espécie		Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Zn	Yb	Conclusão
<i>Dalbergia cearensis</i>	Med	0,139	0,00314	2527	0,00496	0,00344	27,4	0,00119	0,0114	0,00036	0,0301	0,0791	29,2	0,00104	
	Max	0,202	0,0223	3169	0,00979	0,0150	44,0	0,00119	0,0509	0,00036	0,0475	0,215	31,1	0,00216	
	Min	0,123	0,00285	2337	0,00256	0,00192	19,9	0,00119	0,0102	0,00036	0,00369	0,0133	18,1	0,00032	
	n	4	5	5	5	5	5	5	1	5	1	5	5	5	3
<i>Ditaxis desertorum</i>	Med	0,178	0,0108	5414	0,00606	0,0118	81,5	0,00039	0,0320	0,00037	0,0104	0,293	15,0	0,00068	
	Max	0,179	0,0150	9196	0,0149	0,0124	82,9	0,00081	0,0333	0,00037	0,0245	0,509	15,5	0,00183	
	Min	0,0437	0,0100	3593	0,00606	0,00840	46,8	0,00039	0,0242	0,00037	0,00545	0,196	12,2	0,00032	
	n	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3
<i>Erythroxylum revolutum</i>	Med	0,137	0,00507	2410	0,00964	0,00502	35,0	0,00079	0,0125	0,00056	0,0262	0,0747	18,5	0,00068	
	Max	0,377	0,0310	3868	0,0281	0,0383	43,6	0,00392	0,0296	0,00076	0,0542	0,207	26,2	0,00286	
	Min	0,0217	0,00030	2062	0,00495	0,00038	17,4	0,00039	0,00104	0,00035	0,00649	0,0228	14,8	0,00032	
	n	11	11	11	11	11	11	5	11	2	11	10	11	10	
<i>Erythroxylum suberosum</i>	M	0,102	0,00352	4245	0,0104	0,00311	26,2	<0,0003	0,0115	<0,00003	0,0483	0,0694	15,9	<0,00003	
	U%	26,8	11,7	13,4	12,9	13,7	19,8	26,3	26	23,7	26	19,9	9,6	21,7	
<i>Erythroxylum subrotundum</i>	Med	0,356	0,00236	4178	0,0238	0,00211	36,6	<0,0003	0,00537	<0,00003	0,0251	0,139	29,8	0,00032	
	Max	0,395	0,00314	5223	0,0251	0,00268	42,5		0,00698		0,0411	0,150	41,7	0,00032	
	Min	0,317	0,00158	3132	0,0226	0,00154	30,7		0,00376		0,00919	0,128	17,9	0,00032	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
<i>Eugenia brejoensis</i>	Med	0,163	0,00660	2069	0,0105	0,00517	39,0	0,00222	0,0185	0,00037	0,0145	0,0511	16,2	0,00106	
	Max	0,657	0,0333	3060	0,0383	0,0363	59,4	0,00405	0,0399	0,00037	0,0437	0,127	18,6	0,00333	
	Min	0,118	0,00287	1770	0,00817	0,00269	23,4	0,00039	0,0141	0,00037	0,00642	0,0184	15,7	0,00032	
	n	6	6	6	6	6	6	6	2	6	1	6	6	6	4
<i>Eugenia sp.</i>	Med	0,169	0,0103	1510	0,00994	0,00942	30,3	0,00118	0,0302	0,00036	0,0368	0,0934	15,6	0,00196	
	Max	0,724	0,0213	1854	0,0360	0,0252	35,4	0,00197	0,0423	0,00036	0,0558	0,163	16,7	0,00287	
	Min	0,0512	0,00693	1456	0,00080	0,00785	22,2	0,00039	0,0160	0,00036	0,0224	0,0740	15,2	0,00104	
	n	4	4	3	4	4	4	4	2	4	1	4	4	4	2
<i>Eugenia stictopetala</i>	Med	0,0238	0,00328	3341	0,00143	0,00339	41,7	<0,0003	0,00728	<0,00003	0,0195	0,247	27,9	<0,00003	
	Max	0,0238	0,00492	5202	0,00143	0,00399	42,4		0,0124		0,0218	0,252	40,5		
	Min	0,0238	0,00164	1480	0,00143	0,00279	40,9		0,00220		0,0171	0,241	15,3		
	n	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
<i>Ficus sp.</i>	M	0,112	0,00315	2452	0,00433	0,00461	166	<0,0003	0,00809	<0,00003	0,00458	0,286	19,9	<0,00003	
	U%	26,8	11,7	23,3	12,9	13,7	3,6	26,3	26	23,7	26	19,9	8,6	21,7	
<i>Guapira graciliflora</i>	Med	0,192	0,0132	4303	0,0121	0,0104	76,4	0,00079	0,0293	0,00036	0,0268	0,179	23,9	0,00142	
	Max	0,994	0,0413	4984	0,0861	0,0534	193	0,00615	0,0801	0,00153	0,0620	0,363	29,8	0,00777	
	Min	0,0862	0,00589	3441	0,00485	0,00741	24,4	0,00078	0,0142	0,00036	0,00462	0,0869	21,6	0,00103	
	n	8	8	8	8	8	8	8	5	8	5	8	8	8	6

Espécie		Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Zn	Yb	Conclusão
<i>Manihot</i> sp.	Med	0,389	0,00742	3550	0,0209	0,00693	43,9	<0,0003	0,0143	<0,00003	0,0124	0,243	46,4	0,00069	
	Max	0,468	0,00819	3869	0,0262	0,00807	47,4		0,0179		0,0147	0,304	60,7	0,00069	
	Min	0,310	0,00664	3232	0,0156	0,00578	40,3		0,0108		0,0101	0,182	32,0	0,00068	
	n	2	2	2	2	2	2		2		2	2	2	2	
<i>Manilkara salzmannii</i>	M	0,664	0,0158	3884	0,0316	0,0123	41,8	0,00078	0,0277	0,00036	0,0147	<0,010	9,0	0,00213	
	U%	26,8	11,7	14,7	12,9	13,7	13,7	26,3	26	23,7	26	19,9	18,9	21,7	
<i>Maytenus imbricata</i>	M	1,27	0,00981	2268	0,0352	0,00927	33,4	<0,0003	0,0278	<0,00003	0,0147	0,0791	16,0	0,00105	
	U%	26,8	11,7	25,1	12,9	13,7	15,7	26,3	26	23,7	26	19,9	9,4	21,7	
<i>Medusantha martiusii</i>	M	0,185	0,00377	2467	0,0132	0,00268	77,7	<0,0003	0,0059	<0,00003	0,00274	0,138	29,9	<0,00003	
	U%	26,8	11,7	23,1	12,9	13,7	7,1	26,3	26	23,7	26	19,9	6,8	21,7	
<i>Mimosa ophthalmocentra</i>	M	0,165	0,0703	2081	0,00552	0,0470	55,7	0,00625	0,0233	0,00116	0,0311	0,0577	25,7	0,00574	
	U%	26,8	11,7	27,4	12,9	13,7	9,2	26,3	26	23,7	26	19,9	7,0	21,7	
<i>Monteverdia imbricata</i>	M	0,148	0,00989	4011	0,00577	0,0109	48,0	<0,0003	0,0136	<0,00003	0,0230	0,215	26,8	<0,00003	
	U%	26,8	11,7	14,2	12,9	13,7	11,1	26,3	26	23,7	26	19,9	9,3	21,7	
<i>Moquiniastrum oligocephalum</i>	Med	0,281	0,0100	2184	0,0180	0,00955	17,2	0,00078	0,0269	0,00075	0,0164	0,0689	24,5	0,00122	
	Max	0,465	0,0101	2467	0,0243	0,00966	27,5	0,00116	0,0654	0,00075	0,0552	0,0969	26,3	0,00175	
	Min	0,147	0,00222	1960	0,00851	0,00154	12,1	0,00039	0,0103	0,00075	0,00369	0,0435	17,7	0,00069	
	n	3	3	3	3	3	3	2	3	1	3	3	3	2	
<i>Myrcia</i> sp.	M	0,151	0,0139	2067	0,0133	0,0124	34,3	0,00118	0,0229	0,00076	0,0239	0,189	17,7	0,00141	
	U%	26,8	11,7	27,6	12,9	13,7	15,9	26,3	26	23,7	26	19,9	9,6	21,7	
<i>Myroxylon peruiferum</i>	M	0,206	0,00757	4091	0,0132	0,00963	49,1	0,00041	0,0175	<0,00003	0,00764	0,162	28,1	0,00109	
	U%	26,8	11,7	13,9	12,9	13,7	10,7	26,3	26	23,7	26	19,9	6,9	21,7	
<i>Neocalyptrocalyx longifolium</i>	Med	0,206	0,0144	8137	0,00956	0,00991	18,0	0,00118	0,0363	0,00036	0,0359	0,104	32,0	0,00212	
	Max	0,841	0,0378	9756	0,0265	0,0306	23,6	0,00433	0,170	0,00277	0,266	0,251	59,4	0,0189	
	Min	0,0368	0,00286	5592	0,00615	0,00232	13,4	0,00039	0,00978	0,00036	0,00920	0,0662	22,4	0,00033	
	n	11	11	11	11	11	11	8	11	7	11	11	11	10	
<i>Oxandra reticulata</i>	M	0,156	0,00285	2941	0,0115	0,00308	35,1	<0,0003	0,0119	<0,00003	0,0147	0,0971	24,7	0,00069	
	U%	26,8	11,7	19,4	12,9	13,7	14,4	26,3	26	23,7	26	19,9	7,0	21,7	
<i>Peltogyne pauciflora</i>	Med	0,234	0,00475	2329	0,0103	0,00425	29,3	0,00039	0,0156	0,00036	0,0136	0,0761	21,5	0,00068	
	Max	0,859	0,0557	2655	0,0424	0,0252	78,0	0,00116	0,428	0,00076	0,227	0,298	37,4	0,00176	
	Min	0,0396	0,00096	1791	0,00434	0,00116	20,0	0,00039	0,00214	0,00035	0,00263	0,0277	15,1	0,00032	
	n	17	17	17	17	17	17	6	17	4	17	17	17	13	
<i>Piptadenia stipulacea</i>	Med	0,0568	0,00349	5259	0,00556	0,00465	51,6	0,00156	0,0175	0,00116	0,0268	0,0686	18,6	0,00033	
	Max	0,141	0,00851	6689	0,0410	0,00923	52,7	0,00156	0,0206	0,00116	0,0433	0,457	28,0	0,00213	
	Min	0,0389	0,00254	4687	0,00496	0,00348	29,4	0,00156	0,00870	0,00116	0,0165	0,0452	17,9	0,00033	
	n	3	3	3	3	3	3	1	3	1	3	3	3	3	

Espécie		Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Zn	Yb	Conclusão
<i>Pityrocarpa moniliformis</i>	Med	0,265	0,00621	3218	0,00893	0,00796	28,9	0,00078	0,0243	0,00036	0,0361	0,103	19,7	0,00103	
	Max	0,869	0,0224	3729	0,0547	0,0223	50,1	0,00313	0,152	0,00076	0,124	0,209	23,6	0,00286	
	Min	0,0270	0,00252	2438	0,00492	0,00307	19,3	0,00038	0,0130	0,00035	0,0147	0,0240	17,5	0,00032	
	n	9	9	9	9	9	9	9	5	9	4	9	9	9	9
<i>Poincianella microphylla</i>	Med	0,175	0,0143	1991	0,00848	0,0136	26,3	0,00372	0,0399	0,00076	0,0467	0,110	17,8	0,00178	
	Max	0,462	0,0401	2496	0,0353	0,0509	27,7	0,00625	0,0407	0,00116	0,0575	0,420	20,1	0,00574	
	Min	0,0812	0,00447	1862	0,00739	0,00506	13,4	0,00118	0,0286	0,00036	0,0157	0,0649	16,1	0,00033	
	n	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3
<i>Poincianella pyramidalis</i>	M	0,154	0,0643	1935	0,00673	0,0448	26,8	0,00314	0,0627	<0,00003	0,0579	0,274	20,7	0,00358	
	U%	26,8	11,7	22,6	12,9	13,7	12,4	26,3	26	23,7	26	19,9	7,4	21,7	
<i>Psidium brownianum</i>	Med	0,0842	0,00769	1510	0,00725	0,00742	40,7	0,00097	0,0167	0,00036	0,0320	0,149	15,5	0,00140	
	Max	0,769	0,0142	3139	0,0362	0,0131	41,4	0,00117	0,0461	0,00036	0,0371	0,257	17,9	0,00176	
	Min	0,0317	0,00320	1461	0,00260	0,00233	26,2	0,00078	0,00931	0,00036	0,0270	0,0748	14,6	0,00104	
	n	5	5	3	5	5	5	5	2	5	2	5	5	5	2
<i>Psidium oligospermum</i>	Med	0,121	0,00691	1652	0,00612	0,00805	25,5	0,00039	0,0162	<0,00003	0,0385	0,154	15,7	0,00086	
	Max	0,271	0,00849	2066	0,0167	0,00925	48,4	0,00039	0,0487		0,0566	0,171	16,7	0,00140	
	Min	0,0434	0,00309	1507	0,00251	0,00346	18,2	0,00039	0,00920		0,00730	0,0635	14,5	0,00032	
	n	4	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	4
<i>Psidium schenckianum</i>	Med	0,238	0,00924	1589	0,0139	0,00817	54,8	0,00040	0,0214	<0,00003	0,0213	0,125	15,2	0,00106	
	Max	0,295	0,00958	2593	0,0158	0,00857	78,6	0,00040	0,0351		0,0636	0,141	16,1	0,00106	
	Min	0,0596	0,00708	1431	0,00986	0,00668	33,0	0,00039	0,0155		0,00925	0,0605	14,8	0,00070	
	n	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3
<i>Ruprechtia laxiflora</i>	Med	0,194	0,0121	2473	0,00817	0,0117	41,6	<0,0003	0,0303	<0,00003	0,0210	0,363	19,3	0,00068	
	Max	0,298	0,0130	2547	0,0109	0,0122	52,8		0,0304		0,0211	0,428	20,2	0,00068	
	Min	0,0899	0,0113	2399	0,00549	0,0112	30,4		0,0302		0,0209	0,298	18,4	0,00068	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
<i>Sapium glandulosum</i>	Med	0,169	0,00539	4839	0,0130	0,00618	98,0	0,00059	0,0185	0,00056	0,0235	0,167	26,0	0,00105	
	Max	0,288	0,00569	6419	0,0192	0,00620	101	0,00079	0,0217	0,00076	0,0341	0,198	26,9	0,00105	
	Min	0,0485	0,00508	3259	0,00675	0,00617	95,0	0,00039	0,0153	0,00036	0,0128	0,135	25,0	0,00105	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Schinopsis brasiliensis</i>	M	0,0858	0,00600	1867	0,0144	0,00462	76,0	<0,0003	0,0168	<0,00003	0,0404	0,128	17,1	<0,00003	
	U%	26,8	11,7	30,5	12,9	13,7	7,1	26,3	26	23,7	26	19,9	8,8	21,7	
<i>Senna</i> sp.	M	0,219	0,00595	4084	0,0166	0,00611	111	0,00116	0,0113	0,00115	0,0182	0,209	18,8	0,00175	
	U%	26,8	11,7	14,0	12,9	13,7	5,2	26,3	26	23,7	26	19,9	8,9	21,7	
<i>Senna acuruensis</i>	M	0,167	0,00284	3484	0,00552	0,00192	125	<0,0003	0,00484	<0,00003	0,0037	0,115	19,5	<0,00003	
	U%	26,8	11,7	12,5	12,9	13,7	7,3	26,3	26	23,7	26	19,9	8,3	21,7	

Espécie		Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Zn	Yb	Conclusão
<i>Senna cana</i>	Med	0,581	0,0202	1645	0,0107	0,0184	36,6	0,00138	0,0551	0,00036	0,0195	0,104	18,9	0,00214	
	Max	0,667	0,0314	1758	0,0782	0,0248	39,7	0,00157	0,2550	0,00036	0,190	0,113	26,9	0,00289	
	Min	0,322	0,0112	1532	0,00972	0,0118	26,2	0,00119	0,0310	0,00036	0,00903	0,0506	15,5	0,00032	
	n	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	
<i>Senna macranthera</i>	Med	0,261	0,00643	4060	0,0151	0,00532	47,8	0,00115	0,0224	0,00074	0,0156	0,120	18,6	0,00122	
	Max	0,348	0,0118	4693	0,0234	0,00908	57,4	0,00115	0,0277	0,00074	0,0458	0,226	19,1	0,00174	
	Min	0,0957	0,00584	3540	0,00804	0,00508	27,5	0,00115	0,0173	0,00074	0,00848	0,0609	17,8	0,00070	
	n	4	4	4	4	4	4	1	4	1	4	4	4	4	2
<i>Senna rizzinii</i>	Med	0,126	0,00824	4179	0,00925	0,00812	63,1	0,00234	0,0260	0,00354	0,0230	0,254	18,8	0,00107	
	Max	0,414	0,0205	4650	0,0238	0,0192	204	0,00429	0,0753	0,00354	0,0442	0,360	34,2	0,00572	
	Min	0,110	0,00126	2733	0,00491	0,00153	56,1	0,00040	0,00428	0,00354	0,00183	0,152	16,7	0,00033	
	n	4	5	5	5	5	5	2	5	1	5	5	5	5	3
<i>Senna trachypus</i>	M	0,244	0,00682	3086	0,0141	0,00680	66,4	0,00038	0,0170	<0,00003	0,00990	0,225	17,8	0,00103	
	U%	26,8	11,7	18,5	12,9	13,7	7,5	26,3	26	23,7	26	19,9	7,9	21,7	
<i>Senegalia bahiensis</i>	Med	0,205	0,00565	3088	0,00872	0,00574	65,2	0,00039	0,0189	0,00036	0,0205	0,160	24,7	0,00068	
	Max	0,352	0,00785	3199	0,0225	0,00842	75,0	0,00039	0,0205	0,00036	0,0325	0,293	25,9	0,00140	
	Min	0,0260	0,00030	2434	0,00259	0,00038	36,3	0,00039	0,0145	0,00036	0,0118	0,122	24,1	0,00068	
	n	4	4	4	4	4	4	3	3	1	4	4	4	4	3
<i>Senegalia piauhiensis</i>	Med	0,0857	0,00302	10927	0,00731	0,00365	35,6	0,00039	0,0119	0,00036	0,0408	0,0821	21,8	0,00087	
	Max	0,191	0,00535	15224	0,00917	0,00581	77,3	0,00039	0,0207	0,00036	0,0482	0,134	23,5	0,00104	
	Min	0,0359	0,00158	5089	0,00493	0,00192	25,0	0,00039	0,00592	0,00036	0,0321	0,0462	17,6	0,00069	
	n	4	4	4	4	4	4	1	4	1	4	4	4	4	2
<i>Senegalia sp.</i>	Med	0,204	0,00568	6402	0,0067	0,00618	55,7	0,00039	0,0147	0,00036	0,0170	0,193	19,4	0,00105	
	Max	0,885	0,0123	17058	0,0181	0,0131	116	0,00078	0,0227	0,00036	0,0348	0,499	37,2	0,00248	
	Min	0,0415	0,00253	2557	0,00375	0,00192	43,2	0,00039	0,00539	0,00036	0,00552	0,0168	15,6	0,00032	
	n	5	6	6	5	6	6	3	6	2	6	5	6	6	4
<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	M	0,514	0,0877	5352	0,0108	0,0470	104	0,00547	0,0418	0,00395	0,0825	0,175	26,4	0,0187	
	U%	26,8	11,7	10,7	12,9	13,7	5,3	26,3	26	23,7	26	19,9	9,1	21,7	
<i>Simaba ferruginea</i>	M	0,548	0,0123	2108	0,0321	0,0297	77,4	0,00078	0,0348	0,00036	0,0147	0,135	14,1	0,00213	
	U%	26,8	11,7	27,0	12,9	13,7	6,8	26,3	26	23,7	26	19,9	9,5	21,7	
<i>Solanum rhytidoandrum</i>	M	0,165	0,00950	2728	0,00970	0,00812	28,8	0,00039	0,0338	<0,00003	0,0239	0,145	24,8	0,00105	
	U%	26,8	11,7	18,5	12,9	13,7	8,9	26,3	26	23,7	26	19,9	9,5	21,7	
<i>Solanum sp.</i>	M	0,141	0,0104	2713	0,00726	0,00997	29,5	0,00078	0,0189	0,00036	0,0192	0,139	30,8	0,00140	
	U%	26,8	11,7	16,9	12,9	13,7	11,4	26,3	26	23,7	26	19,9	7,3	21,7	
<i>Trischidium molle</i>	Med	0,263	0,00917	2740	0,0172	0,00887	23,0	0,00039	0,0234	0,00036	0,0238	0,156	25,1	0,00141	
	Max	0,591	0,0236	3202	0,0457	0,0230	65,6	0,00235	0,0549	0,00156	0,0353	0,346	37,6	0,00322	
	Min	0,105	0,00349	2367	0,00550	0,00309	18,5	0,00039	0,00814	0,00036	0,00461	0,0237	20,6	0,00068	
	n	9	9	9	9	9	9	8	9	4	9	9	9	9	8

Espécie		Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Zn	Yb	Conclusão
<i>Varronia globosa</i>	M	0,138	0,0166	3635	0,00558	0,0136	99,7	0,00158	0,0373	0,00077	0,0584	0,144	39,4	0,00507	
	U%	26,8	11,7	15,7	12,9	13,7	5,7	26,3	26	23,7	26	19,9	5,9	21,7	
<i>Varronia sp.</i>	M	0,268	0,00669	4490	0,0169	0,00466	50,2	<0,0003	0,0268	<0,00003	0,00740	0,0592	22,3	<0,00003	
	U%	26,8	11,7	16,3	12,9	13,7	9,6	26,3	26	23,7	26	19,9	6,1	21,7	
<i>Waltheria brachypetala</i>	Med	0,524	0,0185	2155	0,0253	0,0153	16,8	0,00117	0,0514	0,00075	0,0262	0,147	24,7	0,00249	
	Max	0,677	0,0227	2162	0,0274	0,0194	21,3	0,00385	0,0568	0,00350	0,0447	0,260	26,8	0,0167	
	Min	0,152	0,0133	2023	0,0114	0,0127	14,3	0,00078	0,0337	0,00036	0,0220	0,107	20,9	0,00176	
	n	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Ziziphus joazeiro</i>	Med	0,318	0,0537	4840	0,00793	0,0273	63,8	0,00137	0,183	0,00076	0,115	0,242	18,0	0,00522	
	Max	0,419	0,0851	5194	0,00974	0,0382	70,6	0,00157	0,333	0,00076	0,171	0,334	18,5	0,00684	
	Min	0,217	0,0223	4486	0,00613	0,0163	56,9	0,00118	0,0323	0,00076	0,0600	0,151	17,5	0,00360	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2

APÊNDICE C – CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS PARA PLANTAS DAS CAATINGAS: com contaminação

Concentrações em mg/kg dos elementos químicos para espécies eliminadas e não aparecem no grupo de amostras sem contaminação. Estes resultados para estas espécies podem estar com contaminação por terra. Med = mediana; Max = Máxima; Min = Mínima; n = número de amostras; M = média; U% = incerteza analítica expandida (95%).

Espécie		Al	As	B	Ca	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Dy	Er	Eu	Continua...
<i>Anemopaegma laeve</i>	M	963	0,137	36,05	15203	0,0377	0,276	1509	0,0193	0,360	0,0102	0,00560	0,00205	
	U%	22	18,2	20,1	1,7	18,5	11,5	14	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Bignoniaceae sp.</i>	Med	194	0,0676	56,61	8536	0,103	0,508	4086	0,0295	0,331	0,0138	0,00364	0,00390	
	Max	234	0,0905	83,95	17131	0,144	1,04	6522	0,0298	0,340	0,0222	0,00973	0,00549	
	Min	160	0,00644	55,51	7553	0,0286	0,414	2897	0,0292	0,204	0,00592	0,00141	0,00231	
	n	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	2
<i>Cnidoscolus obtusifolius</i>	M	368	0,105	73,85	19667	0,00753	0,524	5698	0,0401	0,305	0,00982	0,00653	0,00363	
	U%	22	18,2	20,1	1,3	18,5	11,5	3,8	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Cnidoscolus pubescens</i>	Med	320	0,0738	67,93	17316	0,0121	0,656	4842	0,0378	0,328	0,0145	0,00790	0,00338	
	Max	1080	0,189	137,2	24797	0,149	4,54	16512	0,439	0,717	0,0774	0,0382	0,0213	
	Min	137	0,0244	43,7	11729	0,0049	0,172	3861	0,0140	0,122	0,00275	0,000933	0,00174	
	n	14	15	15	15	15	15	15	15	12	15	15	15	15
<i>Dioclea sp.</i>	M	238,0	0,0528	66,9	8185	0,0604	0,415	1193	0,0207	0,426	0,0133	0,00696	0,00236	
	U%	22	18,2	20,1	3,1	18,5	11,5	17	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Geoffroea spinosa</i>	M	304,2	<0,003	77,6	6871	0,0210	0,392	3385	0,0255	0,236	0,0095	0,00423	0,00175	
	U%	22	18,2	20,1	3,7	18,5	11,5	6,1	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Guapira sp.</i>	M	303,9	0,0296	64,4	9146	<0,0007	0,765	17954	0,0592	0,250	0,0147	0,00389	0,00905	
	U%	22	18,2	20,1	1,4	18,5	11,5	2,8	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Jatropha mollissima</i>	M	130,3	0,0468	58,3	18578	0,0939	1,13	10981	0,113	0,352	0,0276	0,0173	0,00556	
	U%	22	18,2	20,1	1,5	18,5	11,5	2	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Jatropha ribifolia</i>	M	301,0	0,0611	37,6	13437	0,0250	3,17	8054	0,698	0,463	0,0647	0,0291	0,0161	
	U%	22	18,2	20,1	1,9	18,5	11,5	3	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Lantana camara</i>	Med	453,7	0,0333	58,6	12172	0,0272	0,426	5049	0,0479	0,201	0,00771	0,00469	0,00334	
	Max	453,7	0,0376	59,8	17587	0,0272	0,477	6830	0,0783	0,269	0,0111	0,00798	0,00461	
	Min	453,7	0,0290	57,4	6756	0,0272	0,374	3268	0,0175	0,133	0,00435	0,00141	0,00207	
	n	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Lippia alba</i>	M	159,0	0,226	83,4	10944	0,0388	0,370	8353	0,0356	0,212	0,00869	0,00328	0,00111	
	U%	22	18,2	20,1	2,4	18,5	11,5	2,6	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Lippia gracilis</i>	M	286,2	0,0683	61,9	8825	0,0128	0,444	8131	0,0519	0,212	0,0086	0,00557	0,00267	
	U%	22	18,2	20,1	2,9	18,5	11,5	2,7	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Mimosa cf. lewisii</i>	Med	312,6	0,0496	75,0	4681	0,0115	0,679	5395	0,0844	0,293	0,00684	0,00255	0,00204	
	Max	312,6	0,0612	89,5	5367	0,0119	0,892	7700	0,0844	0,318	0,00741	0,00278	0,00235	
	Min	312,6	0,0380	60,5	3995	0,0110	0,466	3090	0,0844	0,268	0,00627	0,00233	0,00173	
	n	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2

Espécie		Al	As	B	Ca	Cd	Ce	Cl	Co	Cr	Dy	Er	Eu	Continua...
<i>Senna splendida</i>	M	390	0,122	49,2	6912	0,0566	2,62	9932	4,72	0,187	0,0459	0,0291	0,00735	
	U%	22	18,2	20,1	3,7	18,5	11,5	2,3	27	24,5	14,3	27,1	19,7	
<i>Spondias tuberosa</i>	Med	301	0,124	102,5	15739	0,00449	1,16	3075	0,0407	0,272	0,0212	0,0106	0,00560	
	Max	308	0,153	111,9	18986	0,00678	1,23	3149	0,0653	0,402	0,0257	0,0124	0,00790	
	Min	294	0,0942	93,2	12492	0,00220	1,09	3002	0,0161	0,143	0,0168	0,00881	0,00330	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Strychnos rubiginosa</i>	Med	635	0,0523	141,0	11837	0,0303	0,493	303	0,0147	0,278	0,0128	0,00578	0,00313	
	Max	735	0,0672	180,2	16500	0,0496	0,631	305	0,0147	0,341	0,0167	0,00693	0,00329	
	Min	536	0,0374	101,9	7174	0,0110	0,356	300	0,0147	0,215	0,00896	0,00463	0,00297	
	n	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
<i>Turnera cearensis</i>	Med	335	0,0538	58,8	6683	0,0721	0,351	6802	0,0299	0,524	0,00532	0,00140	0,00205	
	Max	341	0,0865	62,9	7303	0,125	0,430	7507	0,0388	0,854	0,00553	0,00186	0,00205	
	Min	330	0,0211	54,8	6063	0,0190	0,273	6098	0,0210	0,194	0,0051	0,000938	0,00205	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
<i>Turnera sp.</i>	Med	419	0,0115	65,7	10557	0,0778	0,332	5887	0,0611	0,254	0,00521	0,00147	<0,0004	
	Max	1198	0,0141	135,1	23298	0,0981	0,455	6639	0,0915	0,325	0,00742	0,00147		
	Min	293	0,0088	39,9	7362	0,0647	0,281	5356	0,0307	0,209	0,00467	0,00147		
	n	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	1	
<i>Zanthoxylum stelligerum</i>	Med	333	0,0846	90,5	10521	0,0240	0,286	611	0,0456	0,197	0,00545	0,00234	0,00111	
	Max	496	0,121	157,5	17772	0,0640	0,766	611	0,105	0,367	0,0148	0,00649	0,00361	
	Min	97,1	0,0650	45,1	3716	0,00395	0,185	611	0,0261	0,151	0,00475	0,00094	0,00048	
	n	7	7	7	7	6	7	1	5	7	7	7	7	7

Espécie		Fe FAAS	Fe EDXRF	Gd	Ho	K	La	Lu	Mg	Mn	Mo	Nd	Ni	P	Continua...
<i>Anemopaegma laeve</i>	M	107	165	0,0273	0,00258	6975	0,106	0,00123	1723	265	0,110	0,0676	1,03	1639	
	U%	12	5,6	17	28,2	16,5	18,3	29	37,5	4,3	14,2	15,5	27,3	9,5	
<i>Bignoniaceae sp.</i>	Med	118	162	0,0479	0,00343	9179	0,198	<0,00003	3965	268	0,130	0,147	0,487	1237	
	Max	179	341	0,0515	0,00343	16265	0,434		5036	308	0,182	0,280	0,574	1320	
	Min	97,6	162	0,0121	0,00343	4248	0,187		3553	213	0,0574	0,0800	0,347	956	
	n	3	3	3	1	3	3		3	3	3	3	3	3	
<i>Cnidoscopus obtusifolius</i>	M	171	228	0,0166	0,00432	16014	0,271	0,00218	3612	322	0,0641	0,103	0,324	1534	
	U%	12	4,6	17	28,2	7,2	18,3	29	18,9	4,4	14,2	15,5	27,3	10,2	
<i>Cnidoscopus pubescens</i>	Med	116	171	0,0223	0,00257	15121	0,239	0,00060	3373	328	0,144	0,0996	0,220	2000	
	Max	256	348	0,160	0,0144	24345	2,21	0,00092	4629	633	0,901	0,882	0,619	3147	
	Min	66,8	111	0,00777	0,00039	12937	0,0787	0,00028	1944	194	0,0380	0,0344	0,106	1395	
	n	15	15	15	15	15	15	15	12	15	15	15	15	15	15
<i>Dioclea sp.</i>	M	85,1	114	0,0197	0,00213	18400	0,138	0,00028	2342	295	0,148	0,0980	0,410	1629	
	U%	12	8,3	17	28,2	6,2	18,3	29	28,1	4,8	14,2	15,5	27,3	9,6	
<i>Geoffroea spinosa</i>	M	125	119	0,0157	0,00128	8915	0,176	0,00029	5016	206	0,0885	0,0982	0,488	967	
	U%	12	7,6	17	28,2	12,9	18,3	29	13,4	5,3	14,2	15,5	27,3	16	
<i>Guapira sp.</i>	M	179	227	0,0380	0,00041	22858	0,256	<0,00003	8774	329	0,0495	0,100	0,577	1838	
	U%	12	4,5	17	28,2	5	18,3	29	8,6	4,1	14,2	15,5	27,3	8,5	
<i>Jatropha mollissima</i>	M	116	145	0,0403	0,00653	13642	0,420	0,00092	5715	163	4,27	0,165	0,210	2505	
	U%	12	6,3	17	28,2	8,4	18,3	29	12,5	6,2	14,2	15,5	27,3	6,3	
<i>Jatropha ribifolia</i>	M	89,8	166	0,177	0,0125	22405	2,08	0,00122	6111	928	0,509	0,652	3,82	2116	
	U%	12	5,8	17	28,2	5,1	18,3	29	11,8	2,3	14,2	15,5	27,3	7,4	
<i>Lantana camara</i>	Med	88,8	191	0,0151	0,00281	11202	0,216	0,00283	3292	603	0,0804	0,0915	0,293	1499	
	Max	92,5	208	0,0189	0,00479	11498	0,244	0,00283	3892	1075	0,0897	0,104	0,466	1865	
	Min	85,2	174	0,0114	0,00084	10906	0,188	0,00283	2692	131	0,0710	0,0787	0,120	1134	
	n	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
<i>Lippia alba</i>	M	126	177	0,0239	0,00127	4335	0,191	0,00029	4888	109	0,304	0,0830	0,328	1197	
	U%	12	5,4	17	28,2	26,5	18,3	29	13,8	8,2	14,2	15,5	27,3	13	
<i>Lippia gracilis</i>	M	87,2	128	0,0148	0,00343	12104	0,226	0,00186	3763	246	0,114	0,0865	0,439	1265	
	U%	12	6,9	17	28,2	9,5	18,3	29	17,8	4,6	14,2	15,5	27,3	12,3	
<i>Mimosa cf. lewisii</i>	Med	81,3	132	0,0219	0,00083	5688	0,143	<0,00003	3191	217	0,154	0,0767	0,545	836	
	Max	83,0	140	0,0251	0,00083	6364	0,151		3252	235	0,224	0,0863	0,939	919	
	Min	79,6	125	0,0186	0,00082	5012	0,135		3130	199	0,0844	0,0671	0,150	752	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Senna splendida</i>	M	84,6	125	0,0759	0,0099	19249	1,38	0,00059	2553	446	0,175	0,463	1,94	969	
	U%	12	7,2	17	28,2	6	18,3	29	26,1	3,3	14,2	15,5	27,3	16	

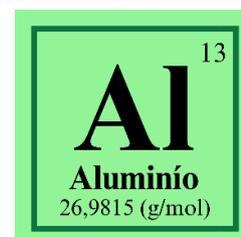
Espécie		Fe FAAS	Fe EDXRF	Gd	Ho	K	La	Lu	Mg	Mn	Mo	Nd	Ni	P	Continua...
<i>Spondias tuberosa</i>	Med	111	141	0,0426	0,00304	8808	0,583	0,00029	2637	126	0,538	0,255	0,448	1458	
	Max	116	141	0,0503	0,00396	9269	0,664	0,00029	2873	128	0,624	0,295	0,465	1577	
	Min	105	140	0,0349	0,00212	8347	0,503	0,00029	2402	123	0,452	0,214	0,431	1339	
	n	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
<i>Strychnos rubiginosa</i>	Med	104	170	0,0357	0,00255	4824	0,217	0,00091	2744	269	0,222	0,119	0,195	848	
	Max	136	216	0,0548	0,00255	5281	0,272	0,00122	2749	326	0,376	0,151	0,226	903	
	Min	71,3	123	0,0165	0,00255	4367	0,162	0,00059	2738	213	0,0675	0,0873	0,164	793	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Turnera cearensis</i>	Med	113	161	0,0140	0,00083	10879	0,164	0,00028	5288	283	0,187	0,0709	0,507	1062	
	Max	133	183	0,0159	0,00083	11077	0,197	0,00028	5531	288	0,215	0,0863	0,569	1219	
	Min	92,5	140	0,0121	0,00083	10681	0,131	0,00028	5045	278	0,159	0,0555	0,444	905	
	n	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
<i>Turnera sp.</i>	Med	94,8	149	0,0217	<0,00003	12789	0,144	<0,00003	3315	382	0,0741	0,0813	0,671	1216	
	Max	142	235	0,0264		17938	0,178		4085	613	0,182	0,0831	1,14	1300	
	Min	80,6	130	0,0214		9310	0,119		2445	243	0,0471	0,0750	0,139	1166	
	n	3	3	3		3	3		3	3	3	3	3	3	3
<i>Zanthoxylum stelligerum</i>	Med	85,4	173	0,0136	0,00084	9622	0,136	0,00029	2797	203	0,0622	0,0670	0,389	1357	
	Max	190	298	0,0300	0,00256	16701	0,341	0,00060	4432	730	0,125	0,193	0,812	1887	
	Min	64,1	122	0,00924	0,00082	6607	0,0881	0,00028	2159	95,2	0,0489	0,0467	0,216	1015	
	n	7	7	7	5	7	7	7	4	7	7	7	7	7	7

Espécie		Pb	Pr	S	Sb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Zn	Yb	Conclusão
<i>Senna splendida</i>	M	0,278	0,115	4761	0,00606	0,0608	31,3	0,00737	0,204	0,00194	0,178	0,390	19,0	0,0121	
	U%	26,8	11,7	12,0	12,9	13,7	16,5	26,3	26	23,7	26	19,9	8,6	21,7	
<i>Spondias tuberosa</i>	Med	0,464	0,0565	2764	0,0212	0,0411	71,2	0,00277	0,0679	0,00077	0,0409	0,469	17,6	0,00544	
	Max	0,690	0,0625	2949	0,0322	0,0480	102	0,00359	0,0708	0,00077	0,0547	0,504	18,9	0,00660	
	Min	0,239	0,0505	2579	0,0102	0,0341	40,6	0,00194	0,0649	0,00077	0,0271	0,434	16,2	0,00427	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
<i>Strychnos rubiginosa</i>	Med	0,308	0,0258	2361	0,0137	0,0241	35,3	0,00252	0,0782	0,00115	0,0432	0,247	15,5	0,00426	
	Max	0,443	0,0322	2526	0,0154	0,0309	37	0,00271	0,0916	0,00154	0,0601	0,372	17,4	0,00497	
	Min	0,174	0,0194	2195	0,0119	0,0172	33,5	0,00233	0,0647	0,00075	0,0263	0,121	13,5	0,00355	
	n	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Turnera cearensis</i>	Med	0,207	0,0163	2404	0,0124	0,0141	41,7	0,00078	0,0829	0,00036	0,0566	0,186	29,0	0,00105	
	Max	0,265	0,0197	2584	0,0157	0,0144	45,9	0,00078	0,0995	0,00036	0,0578	0,189	34,4	0,00141	
	Min	0,149	0,0129	2224	0,00908	0,0139	37,5	0,00078	0,0662	0,00036	0,0554	0,183	23,5	0,00069	
	n	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2
<i>Turnera sp.</i>	Med	0,362	0,0158	2659	0,00262	0,0138	42,9	<0,0003	0,0416	<0,00003	0,0234	0,342	19,4	0,00072	
	Max	0,929	0,0163	2857	0,00891	0,0138	78,6		0,0559		0,0555	0,403	32,1	0,00072	
	Min	0,152	0,0135	2003	0,00196	0,0134	24,6		0,0286		0,0144	0,291	19,4	0,00072	
	n	3	3	3	3	3	3		3		3	3	3	3	1
<i>Zanthoxylum stelligerum</i>	Med	0,303	0,0150	2917	0,00857	0,0136	73,4	0,00079	0,0493	0,00036	0,0360	0,257	19,6	0,00178	
	Max	0,646	0,0415	4138	0,0312	0,0337	99,6	0,00272	0,0904	0,00075	0,0620	0,478	27,2	0,00463	
	Min	0,138	0,00985	2702	0,00618	0,00930	22,1	0,00039	0,0333	0,00036	0,0139	0,0346	15,2	0,00069	
	n	7	7	7	7	7	7	5	7	4	7	7	7	7	7

APÊNDICE D – GUIA DE ELEMENTOS QUÍMICOS PARA PLANTAS DAS CAATINGAS

Modelo de guia informativo das características química, essencialidade e valores de referência dos elementos químicos e informações sobre as plantas das caatingas com potencial acumulativo de elementos químicos. Guia completo será publicado em formato de livro.

Al – Alumínio



Características químicas:

- Tóxico para plantas, peixes e para a saúde humana;
- Elemento metálico mais abundante na crosta terrestre (0,45 a 10% nas rochas);
- O Al móvel em solos ácidos pode ser absorvido rapidamente pelas plantas e criar problemas de estresse químico, interferindo na divisão celular;
- A toxicidade do Al nas plantas reflete em várias interações com a absorção de nutrientes como P, Ca, Mg, K e N;
- Nas plantas, a toxicidade de Al é frequentemente manifestada como uma deficiência de P, induzindo também a deficiência de Ca e diminuindo o teor de Mg;

Importância:

- A função fisiológica do Al nas plantas não é clara;
- Baixos níveis de Al podem ter um efeito benéfico no crescimento das plantas, especialmente em espécies tolerantes ao Al;
- Pequenas quantidades de Al podem ativar algumas enzimas desidrogenases;

Valores de referência:

	Markert (1998)	Kabata-Pendias (2011)
Al (mg/kg)	90-530	100-1000

Planta acumuladora de Al nas caatingas:



Campomanesia eugenioides (Myrtaceae)

Nomes populares: Guabiroba-míuda, Guabiroba, Guabirobeira ou Guabiraba-branca.

Origem/endemismo: Nativa e endêmica do Brasil (Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica).

Faixa de concentração de Al (mg/kg):

- Mínimo: 1500
- Máximo: 1700

Características: Árvore ou arbusto com até 5 metros de altura. Folhas simples opostas dísticas, obovadas (forma de ovo), cartáceas (como cartolina) e com ápice acuminadas (com ponta longa e fina), superfície lisa as vezes revoluta. Flores actinomorfas, brancas e pentâmeras. Os frutos são bagas, globosas e vermelhas quando maduras, frutifica entre os meses de dezembro a janeiro. Sementes pequenas ($\pm 0,38$ cm).