



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

TESE DE DOUTORADO

**TRANSFERÊNCIA QUÍMICA NA CADEIA SOLO - MANDIOCA -
CABELO HUMANO NA REGIÃO DE CAXIUANÃ (ESTADO DO PARÁ) E
SUA IMPORTÂNCIA AMBIENTAL**

Tese apresentada por:

MARCILÉIA SILVA DO CARMO

**BELÉM
2008**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Carmo, Mariléia Silva

C287t Transferência química na cadeia solo-mandioca-cabelo humano na região de Caxiuanã (Estado do Pará) e sua importância ambiental/ Mariléia Silva do Carmo – 2008

238 f. : il.

Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

Orientador, Marcondes Lima da Costa, Co-orientador Dirse Clara Kern.

1. Solo. 2. Terra Preta. 3. Fertilidade. 4. Mandioca. 5. Mineralograma. 6. Fator de Transferência. I. Universidade Federal do Pará. II.Costa, Marcondes Lima da, Orient. III. Kern, Dirse Clara, Co-orient. IV. Título.

CDD 20º ed.: 631.422



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**TRANSFERÊNCIA QUÍMICA NA CADEIA SOLO - MANDIOCA
- CABELO HUMANO NA REGIÃO DE CAXIUANÃ (ESTADO
DO PARÁ) E SUA IMPORTÂNCIA AMBIENTAL**

TESE APRESENTADA POR

MARCILÉIA SILVA DO CARMO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **02/ 05/ 2008**

Co-orientadora: **Dra. Dirse Clara Kern**

Comitê de Tese:

MARCONDES LIMA DA COSTA – (Orientador)

CARLOS ERNESTO GONCALVES R. SCHAEFER

WENCESLAU GERALDES TEIXEIRA

MARIA DE LOURDES PINHEIRO RUIVO

VANDA PORPINO LEMOS

Belém

*À Deus por tudo de maravilhoso que faz por mim.
Aos meus pais Jucy Carmo e Sebastiana Carmo
A minha irmã Suely Andrade
À minha avó Beliza Silva, mulher guerreira de muita fé.
Para sempre com amor, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará através do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica pela oportunidade concedida e no uso dos Laboratórios de Difração de raios X, Sedimentologia e Microscopia Eletrônica de Varredura.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, pelo acompanhamento em todas as etapas desta pesquisa com excelente orientação, e principalmente pela oportunidade e crescimento profissional, muito obrigada.

A Dra. Dirse Clara Kern (MPEG) pela co-orientação, incentivo e a amizade que contribuiu muito para a realização desta pesquisa, muito obrigada.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa- CNPq pelo apoio financeiro através da bolsa de doutorado, taxa de bancada e dos Projetos:

SelenMerAs I- “Geoquímica do Selênio, Mercúrio, Arsênio e outros metais (Cd, Pb, U) de Impacto Ambiental em Sedimentos Quaternários da Amazônia Brasileira” Proc. 476874/01-7 (NV)-CNPq/Universal;

Geosedintama- “Geoquímica de sedimentos e solos atuais como parâmetros de avaliação da ação do intemperismo tropical na Amazônia: Importância” Proc. 471109/03-7 CNPq/Universal.

Ao apoio financeiro do MPEG (Museu Paraense Emílio Goeldi) através do Projeto: “Transferência de elementos químicos na cadeia solo-vegetal-homem na região de Caxiuanã” Edital 1/2004 de Apoio à Pesquisa na Estação Científica Ferreira Penna MCT- Museu Paraense Emílio Goeldi.

Ao Instituto Evandro Chagas pelo uso dos laboratórios para análises de Hg, As e Se.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi pelo uso dos laboratórios de análises de fertilidade de solo.

Ao Prof. Dr. Norbert Miekeley pelo apoio nas análises de cabelo na PUC-Rio.

À todos da Estação Científica Ferreira Penna em especial ao Cuca, Geomaque, Conceição, Martinho e Mó com a fabulosa ajuda em campo.

À família do Sr. Martinho e Conceição, em Caxiuanã, pela contribuição nas pesquisas de campo o qual sem eles não seria possível a realização desta pesquisa.

Aos amigos Jucilene Costa, Mário, Alciney Costa, Patrícia Pereira, Bruno Carneiro e Edivan Oliveira pela fabulosa ajuda em campo e momentos de descontração.

A todos do Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada, Patrícia, Socorro, Henrique, Luiza, Alciney, Berrêdo, Rêgo, Luiza, Mariane, Marlis, Risete, Kika, Gilberto, Thaís e Ecilene, pelos momentos agradáveis durante todos esses anos.

RESUMO

A região de Caxiuanã, localizada no estado do Pará, se destaca pela ocorrência de vários sítios com solos tipo Terra Preta Amazônica (TPA). São solos caracterizados pela cor preta, pela presença de fragmentos cerâmicos e pelas concentrações elevadas de Ca, Mg, Mn, P, Zn e C, quando comparados com os solos amazônicos. São solos férteis, utilizados para agricultura de subsistência, principalmente a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Com o objetivo de conhecer as características físicas, químicas, mineralógicas e de fertilidade destes solos e as inter-relações entre estes e os solos adjacentes (AD), cultivados ou não com mandioca, bem como a capacidade de adsorção de seus nutrientes e possíveis metais potencialmente tóxicos pela mandioca e sua transferência para o corpo humano através da análise do cabelo (mineralograma) desenvolveu-se o presente trabalho. Para tal foram selecionados sítios com TPA com e sem roçado de mandioca (TPA/CR e TPA/SR) e solos adjacentes aos mesmos também com roçado ou sem roçado de mandioca (AD/CR e AD/SR). Nos sítios com TPA e sem TPA foram coletadas amostras de solos e de mandioca incluindo as raízes (tubérculos), folhas e tucupi. Amostras de cabelo humano foram coletadas dos ribeirinhos que consomem a mandioca dos roçados estudados, denominados aqui de família TPA para aqueles dos roçados em TPA e família AD para aqueles em roçados em AD. As amostras de solo foram submetidas à análise granulométrica por via úmida, mineralógica por difração de raios X, e química por ICP-MS (elementos maiores, menores e traços) além da análise de sua fertilidade. Nas amostras de mandioca (raízes e folhas) foram determinados por ICP-MS os macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S), micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Co, B, Cu, Mo e Ni), não nutrientes e os elementos tóxicos (Pb, Cd, Ce, Sn, Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Al, Na, Hg, Se e As). Nas amostras de cabelo foram determinados também por ICP-MS os elementos essenciais (S, Ca, Zn, Mg, Cu, Se, Sr, Mn, B, I, Cr, V, Co e Mo), adicionais (P, Fe, Na e K) e tóxicos (Pb, Bi, Al, Ba, Hg, Ni, Sn, Sb, As, Cd, Ag, U e Th), que caracterizam o mineralograma, e que correspondem em grande parte aos elementos analisados nos solos e mandioca. A mineralogia dos solos está representada principalmente por quartzo, caulinita e hematita + goethita, e acessórios como anatásio, muscovita/ illita e zircão. Desta forma são constituídos principalmente por SiO_2 e Al_2O_3 , além de Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O e Zr. A tendência à diminuição dos teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 e o aumento de SiO_2 e Perda ao Fogo dos horizontes B em direção aos horizontes A estão plenamente compatíveis com a evolução clássica dos solos sob clima tropical com cobertura de floresta tropical. As TPAs aqui estudadas apresentam perfil pedológico similar às demais TPAs da região

com conteúdo de C orgânico alto e similar às demais TPAs nos horizontes A. As concentrações de Ca, Mg, Mn, Zn e P totais são relativamente altas quando comparadas aos solos em geral da Amazônia, uma das grandes distinções entre solo tipo TPA e a própria área adjacente, e comparáveis aos solos TPA de Caxiuanã e de outras regiões da Amazônia. No entanto os teores de P disponíveis são mais baixos, creditados ao uso continuado da TPA para agricultura de roçado. Portanto é provável que o uso da TPA para agricultura tipo roçado esteja progressivamente exaurindo as suas reservas de nutrientes, como era de se esperar, porém de forma menos intensa do que os solos comuns da Amazônia. As análises químicas da mandioca mostram que os macronutrientes e micronutrientes se concentram principalmente nas folhas, com suas concentrações praticamente independentes do solo em que foi cultivada, TPA ou AD. Na raiz (película, casca e polpa) as concentrações desses elementos, que são mais baixas do que nas folhas, se concentram preferencialmente na película. Os elementos não nutrientes e tóxicos presentes na mandioca, ao contrário dos nutrientes, se concentram preferencialmente nas películas, seguidos por folhas, casca e polpa. A polpa, que é a parte da mandioca consumida na dieta humana, é, portanto a mais pobre nos macro e micronutrientes, bem como nos elementos não nutrientes e tóxicos. O tucupi, a fase líquida, apresenta baixas concentrações dos elementos analisados (nutrientes, não nutrientes e tóxicos), enquanto o seu extrato sólido é formado especialmente de C, K, Mg, P e Ca, além de Na, como oxalatos e fosfatos. O fator de transferência (FT) dos solos para mandioca cultivada tanto em TPA como em AD foi elevado para os macronutrientes (K, Ca, Mg e P), principalmente nas folhas, e médio para micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Co, Mo e Ni) sendo maior na mandioca cultivada na AD devido ao menor conteúdo desses elementos nos solos AD e também pelo fato de que a mandioca subtrai do solo apenas o necessário para sua função fisiológica básica. Desta forma se torna evidente porque a TPA, muito mais rica em nutrientes, é mais adequada para a agricultura, empregada para o cultivo continuado de mandioca. O mineralograma do cabelo das famílias pesquisadas de Caxiuanã mostra que a variância das concentrações dos elementos essenciais e adicionais é maior na família TPA do que na AD, enquanto que suas concentrações médias se equiparam nas duas famílias. Por outro lado os elementos tóxicos estão em concentrações relativamente mais elevadas na família AD, principalmente, Pb e Al. Os elementos essenciais e adicionais estão abaixo dos valores normais de referência enquanto que os tóxicos apenas os elementos Al, Pb, Sb e Ba, que estão acima da faixa dos valores normais. As concentrações dos elementos essenciais e adicionais são

cumulativas com a idade. Fe, Al e Bi por sua vez estão mais concentrados nas crianças, suscetíveis, portanto a elementos tóxicos (Al e Bi). Segundo o sexo, os elementos essenciais, adicionais e tóxicos concentram-se preferencialmente no sexo feminino. Quanto ao hábito de fumar os fumantes se destacam pelas concentrações mais baixas dos elementos essenciais e adicionais, principalmente, Mg, Zn, Ca, Sr, Se, Co e P, e altas dos elementos tóxicos Ni, Pb, Sb e As. Isto sugere que o hábito de fumar possivelmente inibe a absorção da maioria dos elementos essenciais a formação capilar. Entre várias crianças foram encontradas concentrações elevadas de Ni, Pb, Sb e As, devido à possível convivência com fumantes, sendo considerados fumantes passivos. Entre as associações geoquímicas identificadas Hg-Sb-Ag-Zn-Bi-Pb-Se-Cd reflete os indivíduos com hábito de fumar. Os dados obtidos neste trabalho e a sua discussão mostram que os solos TPA são de fato férteis e os solos adjacentes (AD) são relativamente muito pobres e por serem mais ricos em nutrientes os solos TPA permitem o cultivo continuado de mandioca que subtrai do solo apenas o necessário para sua função fisiológica. A polpa da mandioca, parte mais consumida pelo homem, pobre em macro e micronutrientes, contribui para a dieta pobre da população ribeirinha de Caxiuanã. A composição química da mandioca não mostrou dependência com o tipo de solo, se TPA ou AD. A composição química do cabelo (mineralograma) da população de Caxiuanã alimentando-se de mandioca cultivada em TPA e AD confirma a dieta alimentar pobre. O mineralograma mostra também que o principal fator externo de contaminação é o fumo, e talvez os utensílios de cozinha feitos de alumínio. O mineralograma assim se apresenta como uma valiosa ferramenta para se avaliar impactos ambientais relativos à saúde humana. Portanto, os problemas relacionados à saúde humana na região de Caxiuanã são devidos à pobre dieta alimentar e ao hábito de fumar, pois os seus solos não apresentam evidências de impactos antrópicos e nem de anomalias geogênicas.

Palavras-Chave: Solo. Terra Preta. Fertilidade. Mandioca. Mineralograma. Fator de Transferência

ABSTRACT

In the area of Caxiuanã, State of Pará, stands out the occurrence of several sites with soils type Amazon Dark Earth (TPA). They are dark soils characterized by the presence of ceramic fragments and high concentrations of Ca, Mg, Mn, P, Zn and C, when compared with other soils of Amazonia. They are fertile soils used for subsistence agriculture, mainly the cassava (*Manihot esculenta* Crantz). In attempt to know the physical, chemical, mineralogical and fertility characteristics of these soils and the interrelations between these and the adjacent areas (AD), cultivated or not with cassava, as well as the capacity of adsorption of nutrients and possible potentially toxic metals by the cassava and the transfer to the human body using hair analysis (mineralogram) the present work was developed. Aiming these results, sites were selected with TPA with and without cassava *roçado* (TPA/CR and TPA/SR) and adjacent areas also with or without cassava *roçado* (AD/CR and AD/SR). Samples of soils and cassava including the roots (tubers), leaves and *tucupi* were collected in the ranches with AD and without AD. Samples of human hair were collected of the riverine population that consumes the cassava of the studied *roçados*, here denominated: TPA family, those who live in TPA/CR areas; and AD family, those who live in AD/CR areas. The soil samples were submitted to grain size (humid-via), mineralogical (XRD), and chemical (ICP-MS of major, minor and trace elements) besides the fertility analysis. In the cassava samples (roots and leaves) the macronutrients (P, K, Ca, Mg, S), micronutrients (Fe, Mn, Zn, Co, B, Cu, Mo and Ni), non-nutrients and the toxic elements (Pb, Cd, Ce, Sn, Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Al, Na, Hg, Se and As) were determinate by ICP-MS. In hair samples, the essential (S, Ca, Zn, Mg, Cu, Se, Sr, Mn, B, I, Cr, V, Co and Mo), additional (P, Fe, Na and K) and toxic elements (Pb, Bi, Al, Ba, Hg, Ni, Sn, Sb, As, Cd, Ag, U and Th) were also determinate by ICP-MS, what characterize the mineralogram, and correspond to most of elements analyzed in the soils and cassava. The soils are mainly composed by quartz, kaolinite and hematite + goethite, and accessories as anatase, muscovite / illite and zircon. This way they are constituted mainly by SiO₂ and Al₂O₃, besides Fe₂O₃, TiO₂, K₂O and Zr. The tendency to the decrease of Al₂O₃ and Fe₂O₃ concentrations and the increase of SiO₂ concentrations and lots of ignition from B-horizons to A-horizons is really according to the classic evolution of the soils under tropical climate with tropical forest covering. The studied ADEs present pedologic profile similar to other TPAs with high contents of organic carbon and to other TPAs in A-horizons. The

concentrations of total Ca, Mg, Mn, Zn and P are relatively high when compared to the Amazonian soils, one of the great distinctions among TPA soil and the adjacent area, and compared to the TPA soils of Caxiuanã and other areas of Amazonia. However, the available P contents are lower, due to the continuous use of TPA in agriculture of *roçado*. Therefore, as expected, it is probable that the use of TPA in agriculture of *roçado* is progressively exhausting the nutrient reserves, but in less intensity than the common soils of Amazonia. The chemical analyses of the cassava show that the macronutrients and micronutrients are mainly concentrated in the leaves, and the concentrations do not depend on the soil in which it was cultivated, TPA or AD. In the root (pellicle, skin and pulp) with lower contents than in the leaves, the analyzed elements are mainly concentrated in the pellicle. The non-nutrient and toxic elements found in the cassava are mainly concentrated in the pellicles, followed by the leaves, skin and pulp. The pulp - the part of the cassava used in the human diet - therefore is impoverished in macro and micronutrients, as well as in non-nutrient and toxic elements. The *tucupi* - the liquid phase - presents low concentrations of the analyzed elements (nutrients, non-nutrients and toxic), while the solid extract is especially composed by C, K, Mg, P and Ca, besides Na, as oxalates and phosphates. The transfer factor (TF) from the soils to the cassava cultivated in TPA and AD areas was elevated in relation to macronutrients (K, Ca, Mg and P), mainly in the leaves, and medium to micronutrients (Fe, Mn, Zn, Co, Mo and Ni) being higher in the cassava cultivated in AD areas due to the lower content of those elements in AD soils and also to the fact that the cassava absorbs only the substances necessary to the basic physiologic function. This way, it's evident why TPA, much enriched in nutrients, is more appropriate for the agriculture in continuous cultivation of cassava. The hair mineralogram of the researched families of Caxiuanã shows that the variance of the concentrations of the essential and additional elements is higher in TPA than in AD family, while the average concentrations were similar in the two families. On the other hand, the concentrations of toxic elements are relatively higher in the AD family, mainly Pb and Al. The essential and additional elements contents are below the reference values while the toxic elements Al, Pb, Sb and Ba, are above the range of normal values. The concentrations of the essential and additional elements are cumulative with the age. The concentrations of Fe, Al and Bi are higher in the children, therefore susceptible to toxic elements (Al and Bi). According to the sex, the essential, additional and toxic elements are more concentrate in women. The concentrations of essential and additional elements, mainly Mg, Zn, Ca, Sr, Se, Co and P are

lower, and of toxic elements Ni, Pb, Sb and As are higher in smokers. This suggests that the habit of smoking possibly inhibits the absorption of most of the elements essential to the capillary formation. Probably due to the possible coexistence with smokers, high concentrations of Ni, Pb, Sb and As were found in among several children, being considered passive smokers. Among the identified geochemical associations, Hg-Sb-Ag-Zn-Bi-Pb-Se-Cd association reflects the smokers. The obtained data of this work and its discussion show that the TPA soils are in fact fertile and the adjacent areas (AD) are relatively impoverished, and the TPA soils enriched in nutrients allow the continuous cultivation of cassava that absorbs from the soil only the necessary for its physiologic function. The pulp of the cassava leaves - more consumed by the man, impoverished in macro and micronutrients - contributes to the poor diet of the riverine population of Caxiuanã. The chemical composition of the cassava didn't show dependence with the soil type (TPA or AD). The chemical composition of the hair of the population of Caxiuanã that feed on cassava cultivated in TPA and AD areas confirms the poor alimentary diet. The mineralogram also shows that the principal external factor of contamination is the tobacco, and perhaps the kitchen aluminum utensils. So the mineralogram is used as a valuable tool to evaluate environmental impacts related to the human health. Therefore, the problems related to the human health in the area of Caxiuanã are in part due to the poor alimentary diet and the habit of smoking, because the soils don't present evidences of anthropic impacts neither of geogenic anomalies.

Key words: Soil. Dark earth. Fertility. Cassava. Mineralogram. Transfer Factor

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Localização da região de Caxiuanã no estado do Pará.....	36
Figura 2-	Mapa de distribuição de sítios com Terra Preta Amazônica (TPA) na região de Caxiuanã.....	37
Figura 3-	Corte transversal da mandioca.....	45
Figura 4-	Localização da região de Caxiuanã e das áreas de TPA e respectivas áreas adjacentes.....	50
Figura 5-	Procedimentos para delimitação da área de TPA, com a imagem mostrando fixação do ponto zero (P ₀) e a partida das transversais.....	51
Figura 6-	Localização dos pontos de coleta de solo nas transversais e nas trincheiras no sítio Raimundo com TPA sem roçado e sua área adjacente sem roçado, no sítio Conceição com TPA com roçado e sua área adjacente com roçado (roçado Martinho).....	52
Figura 7-	Coleta do horizonte A do solo (0- 30 cm) nas transversais utilizando o trado holandês.....	53
Figura 8-	Coleta de mandioca em roçados sobre TPA (sítio Conceição) e em sua área adjacente (Roçado Martinho), na região de Caxiuanã.....	54
Figura 9-	Processo de produção de farinha de mandioca extraída do solo sem TPA (AD/CR).....	55
Figura 10-	Família do Sr. Conceição residente na região de Caxiuanã.....	56
Figura 11-	Vista da propriedade do Senhor Conceição na região de Caxiuanã.....	57
Figura 12-	Família do Sr. Martinho. a) filhos b) Sr. Martinho c) Sra. Cecília esposa do Sr. Martinho.....	58
Figura 13-	Vista da propriedade do Sr. Martinho na região de Caxiuanã.....	59
Figura 14-	Imagem mostrando a entrevista realizada durante a coleta do tecido capilar do Sr. Martinho.....	60
Figura 15-	Questionário epidemiológico aplicado durante a entrevista com os indivíduos para a coleta de tecido capilar.....	61
Figura 16-	Imagem da região occipital de um ribeirinho após a coleta de cabelo.....	62

Figura 17-	Espectrômetro de absorção atômica marca HG- 3500 <i>modelo</i> K.K SANSSO S.S com gerador de vapor frio do Instituto Evandro Chagas, em Belém-PA empregado na análise de Hg.....	65
Figura 18-	Espectrômetro de absorção atômica marca Varian 220-VGA77 com gerador de hidretos do Instituto Evandro Chagas, em Belém-PA, empregado nas análises de As e Se.....	66
Figura 19-	Fluxograma de preparação das amostras de mandioca (folhas e raízes). PL: película; C: casca; P: polpa.....	68
Figura 20-	Raízes descascadas de mandioca, com a obtenção da casca e da parte carnosa.	68
Figura 21-	Fotografia mostrando a preparação das amostras de mandioca. a) ralação da parte carnosa e obtenção da polpa e secagem sobre bancada ao lado das películas e as cascas. b) secagem das folhas de mandioca.....	69
Figura 22-	Amostras de partes da mandioca: a) polpa pulverizada; b) casca pulverizada; c) película cortada e d) folha pulverizada.....	70
Figura 23-	Imagem do liofilizador Freezezone 6 N/S (Labconco) do Museu Paraense Emílio Goeldi.....	71
Figura 24-	Espessura da Terra Preta (indicada pelo tom escuro) no sítio Raimundo sem roçado (TPA/SR) segundo as direções norte-sul (N-S), leste-oeste (E-W), sudeste-noroeste (SE-NW) e sudoeste-nordeste (SW-NE).....	74
Figura 25-	Perfil de solo no sítio Raimundo com horizonte A antropogênico (tipo TPA) sem roçado (TPA/SR) e fragmentos cerâmicos na superfície do solo. As linhas pontilhadas delimitam os horizontes de solo.....	75
Figura 26-	Perfil de solo na área adjacente ao sítio Raimundo sem horizonte A antropogênico e sem roçado (AD/SR) com fragmentos de carvão (manchas negras nos horizontes nos horizontes A e AB). As linhas pontilhadas delimitam os horizontes de solo.....	76
Figura 27-	Perfil de solo no sítio Conceição com horizonte A antropogênico com roçado e a distribuição das frações granulométricas em cada horizonte (TPA/CR). As linhas pontilhadas delimitam os horizontes de solo.....	77

Figura 28-	Perfil de solo na área adjacente ao sítio Conceição sem horizonte A antropogênico e com roçado (AD/CR – Roçado Martinho). As linhas pontilhadas delimitam os horizontes de solo.....	78
Figura 29-	Distribuição granulométrica, através do diagrama de Shepard, nos principais horizontes de solos (A ₁ , A ₂ , AB, BA, B ₁ e B ₂) no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	79
Figura 30-	Distribuição granulométrica, através do diagrama de Shepard, nos principais horizontes de solos (A, AB, BA, B ₁ , B ₂ e B ₃) na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR).....	79
Figura 31-	Distribuição granulométrica, através do diagrama de Shepard, nos principais horizontes de solos (A ₁ , A ₂ , AB, BA, B ₁ e B ₂) no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).....	80
Figura 32-	Distribuição granulométrica, através do diagrama de Shepard, nos principais horizontes de solos (A, AB, BA, B ₁ , B ₂ e B ₃) na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR - Roçado Martinho).....	80
Figura 33-	Difratogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais identificados no perfil de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR): quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (Ill) e muscovita (Ms).....	82
Figura 34-	Difratogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais de argila em lâmina orientada identificados no perfil de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR): caulinita (Kln); illita (Ill). OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.....	83
Figura 35-	Difratogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais identificados no perfil de solo da área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR): quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (Ill) e muscovita (Ms).....	84
Figura 36-	Difratogramas de raios-x mostrando a distribuição dos minerais de argila identificados no perfil de solo da área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR): caulinita (Kln); illita (Ill). OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.....	85

Figura 37-	Difratogramas de raios-x mostrando a distribuição dos minerais identificados no perfil de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR): quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (Ill) e muscovita (Ms).....	86
Figura 38-	Difratogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais de argila identificados no perfil de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR): caulinita (Kln); illita (Ill). OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.....	87
Figura 39-	Difratogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais identificados no perfil de solo da área adjacente ao sitio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho): quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (Ill) e muscovita (Ms).....	88
Figura 40-	Difratogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais de argila identificados no perfil de solo da área adjacente ao sitio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho): caulinita (Kln); illita (Ill). OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.....	89
Figura 41-	Distribuição das concentrações dos principais minerais e matéria orgânica ao longo nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR), área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho).....	90
Figura 42-	Variação das concentrações dos elementos maiores e menores nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR). A área cinza corresponde ao domínio de TPA.....	92
Figura 43-	Variação das concentrações dos elementos maiores e menores nos perfis de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e a área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio de TPA.....	93

Figura 44-	Distribuição dos elementos maiores e menores nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) normalizados com suas respectivas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR).....	94
Figura 45-	Variação das concentrações dos elementos-traço nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e a área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR).....	96
Figura 46-	Variação das concentrações dos elementos-traço nos perfis de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho).....	97
Figura 47-	Distribuição dos elementos-traço nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) normalizados com suas respectivas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR).....	98
Figura 48-	Variação das concentrações dos elementos terras raras nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR).....	103
Figura 49-	Variação das concentrações dos elementos terras raras nos perfis de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho).....	104
Figura 50-	Distribuição dos elementos terras raras nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) normalizados com suas respectivas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR).....	105
Figura 51-	Variação das concentrações de As, Se e Hg totais nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho).....	107

Figura 52-	Distribuição dos elementos Hg, Se e As nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) normalizados com suas respectivas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR).....	108
Figura 53-	Variação das concentrações de As e Hg trocáveis nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao horizonte TPA.....	110
Figura 54-	Distribuição dos valores de pH em água e KCl nos perfis de solo no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio TPA.....	112
Figura 55-	Distribuição dos teores trocáveis de K, Na, Ca, Mg e Al e H + Al (acidez potencial) nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR), na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio TPA.....	113
Figura 56-	Distribuição dos micronutrientes Zn, Mn, Fe e P disponíveis nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR), na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio TPA.....	115
Figura 57-	Distribuição dos teores de carbono orgânico nos perfis de solo no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR), na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio TPA.....	116

Figura 58-	Correlação entre os conteúdos trocáveis de Ca, Mg, Mn e P com o C orgânico nos solos com TPA sem roçado (sítio Raimundo-TPA/SR) e com TPA com roçado (sítio Conceição-TPA/CR).....	118
Figura 59-	Correlações entre os conteúdos trocáveis K, Na, Ca, Mg, Al, P, Mn, Zn, Fe e o C orgânico com as frações granulométricas (areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila) no solo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	119
Figura 60-	Correlações entre os conteúdos trocáveis K, Na, Ca, Mg, Al, P, Mn, Zn, Fe e o C orgânico com as frações granulométricas (areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila) no solo com TPA com roçado (TPA/CR).....	120
Figura 61-	Distribuição dos elementos maiores (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , K ₂ O, CaO, P ₂ O ₅ , MgO, MnO e Na ₂ O no horizonte A das transversais N-S e L-W no Sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).....	123
Figura 62-	Distribuição dos óxidos dos elementos maiores e menores (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , K ₂ O, CaO, P ₂ O ₅ , MgO, MnO e Na ₂ O no horizonte A das transversais N-S e L-W na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).....	124
Figura 63-	Distribuição dos elementos-traço Zr, Ba, Hf, Y, Sr, Th, Ni, Zn, U, Pb, Sn, Rb e Cu (mg.kg ⁻¹) ao longo das transversais no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).....	126
Figura 64-	Distribuição dos elementos-traço Cr, V, Nb, Ga, Co, W, Ta, Sc, Mo, Ge, Sb, Cs e Tl (mg.kg ⁻¹) ao longo das transversais no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).....	127
Figura 65-	Distribuição dos elementos-traço Zr, Ba, Hf, Y, Sr, Th, Ni, Zn, U, Pb, Sn, Rb e Cu (mg.kg ⁻¹) ao longo das transversais na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).....	128
Figura 66-	Distribuição dos elementos-traço Cr, V, Nb, Ga, Co, W, Ta, Sc, Mo, Ge, Sb, Cs e Tl (mg.kg ⁻¹) ao longo das transversais na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).....	129
Figura 67-	Distribuição dos elementos terras raras (mg.kg ⁻¹) ao longo das transversais no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).....	131

Figura 68-	Distribuição dos elementos terras raras (mg.kg^{-1}) ao longo das transversais na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).....	132
Figura 69-	Distribuição areal dos teores de arsênio total no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	134
Figura 70-	Distribuição areal dos teores de Se total no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e sua área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).....	135
Figura 71-	Distribuição areal dos teores de Hg total no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	136
Figura 72-	Distribuição areal dos teores de Hg trocável no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e sua área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).....	137
Figura 73-	Distribuição areal dos valores de pH (H_2O) nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	139
Figura 74-	Distribuição areal dos valores de Fe trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	140
Figura 75-	Distribuição areal dos valores de Al trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	141
Figura 76-	Distribuição areal dos valores de K trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	144

Figura 77-	Distribuição areal dos valores de Na trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	145
Figura 78-	Distribuição areal dos valores de Ca trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	146
Figura 79-	Distribuição areal dos valores de Mg trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	147
Figura 80-	Distribuição areal dos valores de carbono orgânico nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	148
Figura 81-	Distribuição areal dos valores de nitrogênio (N) nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	149
Figura 82-	Distribuição areal dos valores de P disponível nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	150
Figura 83-	Distribuição areal dos valores de Zn trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	151

Figura 84-	Distribuição areal dos valores de Mn trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).....	152
Figura 85-	Distribuição das concentrações médias dos macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) nas folhas e tubérculo (polpa, casca e película) de mandioca e as concentrações trocáveis e totais desses elementos no solo com TPA e AD.....	154
Figura 86-	Distribuição das concentrações médias dos micronutrientes (Co, Mo, Ni, Zn, Cu, B, Fe e Mn) nas folhas e tubérculo (polpa, casca e película) de mandioca e as concentrações trocáveis e totais desses elementos no solo com TPA e AD.....	155
Figura 87-	Distribuição das concentrações médias dos elementos Pb, Cd, Ce, Sn, Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Al, Na, Hg, Se e As nas folhas e tubérculo (polpa, casca e película) de mandioca e a concentração desses elementos no solo com TPA e AD.....	158
Figura 88-	Distribuição das concentrações médias dos elementos Ca, Mg, K, Zn, Cr, Al, As, V, Ba e Ti no tucupi da mandioca cultivada em TPA e AD, e dos sólidos totais dissolvidos (STD), pH e condutividade elétrica.....	159
Figura 89-	Extrato sólido de tucupi obtido por liofilização.....	160
Figura 90-	Análise química semiquantitativa obtida por MEV/SED do extrato sólido do tucupi indicando a presença de principalmente de C, O, K, Ca, P e Mg.....	162
Figura 91-	Análise química semiquantitativa obtida por MEV/SED do extrato sólido do tucupi indicando a presença de principalmente de C, O, Ca, P, K e Mg.....	163
Figura 92-	Distribuição dos Fatores de Transferência (FT) para os macronutrientes e micronutrientes na mandioca (película, casca, polpa e folha).....	166
Figura 93-	Distribuição dos Fatores de Transferência (FT) para os elementos K, P, Fe, Al, Mg, Na, Ca, Hg e Mn na mandioca (película, casca, polpa e folha).....	167
Figura 94-	Distribuição das concentrações mínimas (Min), máximas (Max), variação de 25 a 75% e valor médio dos elementos essenciais, adicionais e tóxicos no tecido capilar dos indivíduos das famílias TPA e AD, comparados com os valores normais e de referência (os valores de referência dos elementos tóxicos estão todos abaixo do limite de detecção).....	170

Figura 95-	Concentrações dos elementos essenciais e adicionais em crianças (N= 14) e adultos (N = 10), destacando os fumantes, em Caxiuanã.....	173
Figura 96-	Concentrações dos elementos tóxicos em crianças (N= 14) e adultos (N = 10), destacando os fumantes em Caxiuanã.....	174
Figura 97-	Correlações significativas (95%) entre os elementos essenciais (Ca, Mg e Mn) do tecido capilar dos indivíduos da família TPA e a idade.....	177
Figura 98-	Correlações significativas (95%) entre elementos essenciais (Ca, Mg e Mn), adicionais (P e Fe) e tóxicos (Al e Hg) do tecido capilar dos indivíduos da família AD (N = 9) e a idade.....	178
Figura 99-	Análise fatorial (componente principal) das concentrações dos elementos essenciais, adicionais e tóxicos em cabelo das famílias de Caxiuanã.....	179
Figura 100-	Dendrograma obtido a partir da composição química do cabelo de todos os indivíduos investigados em Caxiuanã, mostrando uma nítida população representada pelo domínio de indivíduos do sexo feminino e uma segunda mais dispersa por indivíduos masculinos. f: feminino; m: masculino; vermelho: indivíduos fumantes.....	180
Figura 101-	Correlações significativas (95%) entre Pb-As, Pb-Sb, Pb-Ni, Sb-As, Sb-Ni e Ni-As do tecido capilar dos indivíduos de Caxiuanã, (idade).....	182
Figura 102-	Teores médios dos elementos essenciais e adicionais em cabelo de indivíduos fumantes e não fumantes de Caxiuanã.....	183
Figura 103-	Teores médios dos elementos tóxicos em cabelo de indivíduos fumantes e não fumantes de Caxiuanã.....	184
Figura 104-	Correlação entre as concentrações de Hg com Se e com a razão Hg/Se em cabelo de indivíduos de Caxiuanã, família TPA e família AD (Argissolo).....	185
Figura 105-	Distribuição das concentrações médias de Hg total em cabelo em várias regiões do Brasil, incluindo a área deste trabalho, Caxiuanã.....	186
Figura 106-	Dendrograma de correlações Pearson para os elementos essenciais (em negro), adicionais (em azul) e tóxicos (em vermelho) em cabelo das famílias de Caxiuanã e principais associações químicas interpretadas.....	187

Figura 107-	Correlação entre as concentrações de S e I em cabelo de indivíduos de Caxiuanã segundo idade. Os números sombreados representam a idade dos fumantes. f: feminino; m: masculino.....	188
Figura 108-	Correlação entre concentrações Mg-Sr, Mg-Mn, Ca-Mg e Ca-Sr em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.....	190
Figura 109-	Correlação entre as concentrações Mg-Co, Mg-Cu, Cu-Mn e Mn-Co em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.....	191
Figura 110-	Correlação entre as concentrações Cu-Ni, Cr-Ni, Mo-Ni e Cr-Mo em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.....	192
Figura 111-	Correlação entre as concentrações Sr-Ba, Sr-Co, Cr-As e Ca-P em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.....	193
Figura 112-	Correlação entre as concentrações Sr-Mn, Mo-As, Sr-As e Mn-As em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.....	194
Figura 113-	Correlação entre as concentrações Ba-As em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.....	195
Figura 114-	Correlação entre as concentrações Al-U, Fe-V, Fe-U e Fe-Al em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.....	196
Figura 115-	Correlação entre Zn-Bi e Sb-Se em cabelo de indivíduos de Caxiuanã.....	198
Figura 116-	Distribuição dos Fatores de Transferência (FT) para os elementos tóxicos e essenciais no tecido capilar dos indivíduos das famílias TPA e AD.....	200
Figura 117-	A dependência da TPA com os solos adjacentes (AD).....	202
Figura 118-	A composição química da mandioca mostra independência com a química do solo.....	203
Figura 119-	O mineralograma do cabelo discrimina faixa etária, sexo e hábito de fumar.....	204

Figura 120- Cadeia: solo – mandioca - homem (cabelo)..... 205

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1-	Valores médios dos parâmetros de fertilidade em solos com TPA e sem TPA...	42
Tabela 2-	Elementos, métodos, equipamentos e laboratórios empregados nas análises químicas dos solos.....	64
Tabela 3-	Parâmetros, métodos, equipamentos e laboratórios empregados nas análises de fertilidade dos solos.....	66
Tabela 4-	Concentrações médias (%) dos elementos maiores nos horizontes A nos perfis de solos com TPA em Caxiuanã comparados com Latossolos da Amazônia e com a média da crosta terrestre superior (CTS).....	91
Tabela 5-	Concentrações dos elementos-traço (mg.kg^{-1}) nos horizontes nos perfis, comparados com Latossolo Amarelo da Amazônia e a crosta terrestre superior.....	99
Tabela 6-	Concentrações dos elementos terras raras nos horizontes nos perfis, comparados com a média nos Latossolo Amarelo e na crosta terrestre superior.....	102
Tabela 7-	Concentração química média de As, Se e Hg ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) totais horizontes A de solos com TPA e área adjacente (AD) na região de Caxiuanã.....	107
Tabela 8-	Valores médios dos parâmetros físico-químicos de solos dos horizontes A nos perfis de solo com TPA, áreas adjacentes (AD) e Latossolo Amarelo em Caxiuanã e outras regiões.....	114
Tabela 9-	Concentrações médias dos macro e micronutrientes em película e polpa de mandioca neste estudo e na literatura.....	156
Tabela 10-	Concentrações médias dos micro e macronutrientes em folhas de mandioca e outras plantas.....	156
Tabela 11-	Composição química do tucupi extraído da mandioca cultivada em TPA e AD, bem como dos seus extratos liofilizados, comparados com os dados de outros trabalhos.....	164
Tabela 12-	Dados estatísticos sobre a população humana entrevistada através do questionário epidemiológico.....	168

Tabela 13- Concentrações médias de elementos essenciais, adicionais e tóxicos em cabelo de indivíduos de Caxiuanã comparados com os valores de outras regiões.....	176
--	-----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	32
1.1	OBJETIVOS.....	34
2	ÁREA DE ESTUDO	35
2.1	REGIÃO DE CAXIUANÃ.....	35
2.1.1	A população e a agricultura familiar	38
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	40
3.1	TERRA PRETA AMAZÔNICA.....	40
3.1.1	Classificação dos solos tipo Terra Preta Amazônica	43
3.2	MANDIOCA (<i>MANIHOT ESCULENTA</i> CRANTZ).....	44
3.3	MINERALOGRAMA DO CABELO.....	46
4	MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.1	MATERIAIS.....	48
4.2	MÉTODOS DE CAMPO.....	48
4.2.1	Coleta de solos	48
4.2.2	Coleta de mandioca	53
4.2.3	Coleta de tecido capilar	55
4.2.3.1	Família Conceição (TPA).....	55
4.2.3.2	Família Martinho (Latossolo).....	57
4.3	MÉTODOS DE LABORATÓRIO.....	62
4.3.1	Preparação das amostras	62
4.3.1.1	Análise granulométrica.....	63
4.3.1.2	Análise mineralógica.....	63
4.3.1.3	Análises químicas.....	63
4.3.1.4	Análise de fertilidade.....	66
4.3.1.5	Classificação dos solos.....	67
4.3.2	Preparação e análises químicas da mandioca	67
4.3.2.1	Tucupi.....	70
4.3.3	Análises químicas do tecido capilar	72
4.4	FATOR DE TRANSFERÊNCIA (FT).....	72

4.5	TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	73
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.1	PERFIS DE SOLO.....	74
5.1.1	Características físicas e morfológicas	74
5.1.2	Análise granulométrica	78
5.1.3	Características mineralógicas	81
5.1.4	Composição química nos perfis de solo	90
5.1.4.1	Elementos maiores e menores.....	90
5.1.4.2	Elementos-traço.....	95
5.1.4.3	Elementos terras raras (ETRs).....	101
5.1.4.4	Arsênio, selênio e mercúrio.....	105
5.1.4.5	Parâmetros de fertilidade.....	110
5.1.4.6	Posição taxonômica dos solos estudados.....	121
5.2	VARIAÇÕES AREAIS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DA FERTILIDADE DO HORIZONTE “A” E CONTRIBUIÇÃO ANTRÓPICA.....	122
5.2.1	Distribuição Areal dos Elementos	122
5.2.1.1	Elementos maiores e menores.....	122
5.2.1.2	Elementos-traço.....	125
5.2.1.3	Elementos terras raras.....	130
5.2.1.4	Arsênio, selênio e mercúrio (totais e trocáveis).....	133
5.2.1.5	Parâmetros de fertilidade.....	137
5.3	MANDIOCA.....	153
5.3.1	Mandioca cultivada em TPA e área adjacente (AD)	153
5.3.1.1	Elementos essenciais (macro e micronutrientes).....	153
5.3.1.2	Outros elementos (não nutrientes e tóxicos).....	157
5.3.2	Composição química do tucupi	159
5.3.2.1	Fase líquida do tucupi.....	159
5.3.2.2	Extrato sólido do tucupi.....	160
5.4	FATOR DE TRANSFERÊNCIA (FT): MANDIOCA/ SOLO.....	165
5.4.1	Relativo à concentração total dos elementos	165
5.4.2	Relativo à concentração disponível dos elementos	167

5.5	MINERALOGRAMA DO CABELO.....	168
5.5.1	Fator faixa etária	171
5.5.2	Fator sexo	179
5.5.3	Fator fumo	181
5.5.4	A inter-relação mercúrio e selênio	184
5.5.5	Associações químicas no tecido capilar e sua importância ambiental	186
5.5.6	Fator de Transferência: tecido capilar/mandioca	199
5.5.7	Considerações sobre o mineralograma	201
6	CONCLUSÕES	202
	REFERÊNCIAS	206
	ANEXOS	221
	ANEXO A- Características granulométricas nos perfis de solo.....	222
	ANEXO B- Composição mineralógica nos perfis de solo.....	223
	ANEXO C- Concentração dos elementos maiores (%) nos horizontes nos perfis de solo.....	224
	ANEXO D- Concentração dos elementos As, Se e Hg totais e trocáveis ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) nos horizontes nos perfis de solo	225
	ANEXO E- Valores dos índices de fertilidade nos perfis de solo	226
	ANEXO F- Matriz de correlação de alguns índices de fertilidade com a granulometria (AG=areia grossa; AM=areia média; AF=areia fina) nos perfis de solo com TPA sem e com roçado (TPA/SR= sítio Raimundo; TPA/CR= sítio Conceição).....	227
	ANEXO G- Matriz de correlação de alguns índices de fertilidade com a granulometria (AG=areia grossa; AM=areia média; AF=areia fina) nos perfis de solo Argissolo sem e com roçado (AD/SR= área adjacente ao sítio Raimundo; AD/CR= roçado Martinho).....	228
	ANEXO H- Concentrações dos elementos maiores (%) dos horizontes A dos solos do Sítio Conceição e roçado Martinho.....	229
	ANEXO I- Composição química dos elementos traços (mg.kg^{-1}) dos horizontes A dos solos do Sítio Conceição e roçado Martinho.....	230

ANEXO J- Composição química dos elementos terras raras (mg.kg^{-1}) dos horizontes A dos solos do Sítio Conceição e do roçado Martinho.....	231
ANEXO K- Concentração de As, Se e Hg totais e trocáveis no sítios Conceição e sua área adjacente e no sítio Raimundo.....	232
ANEXO L- Valores médios dos índices de fertilidade nos horizontes A das transversais nos Sítios Raimundo e Conceição e no roçado Martinho.....	233
ANEXO M- Concentrações médias dos elementos essenciais (macro e micronutrientes) contidas nas películas (PL), cascas (C), polpas (P, folhas (F), fase líquida e extrato sólido do tucupi da mandioca cultivada em solo com TPA e na área adjacente (Argissolo), sendo o extrato sólido o valor recalculado.....	234
ANEXO N - Concentrações médias dos elementos traços e tóxicos contidas nas películas, cascas, polpas e folhas da mandioca cultivada em solo com TPA e em área adjacente (Argissolo).....	235
ANEXO O- Matriz de correlação não paramétrica inter-elementos do cabelo dos doadores em Caxiuanã.....	236
ANEXO P- Concentrações dos elementos essenciais, adicionais e tóxicos e suas médias ($\mu\text{g.g}^{-1}$) em cabelo de pessoas (N=24) das famílias TPA e AD em Caxiuanã.....	237
ANEXO Q- Concentrações médias dos elementos tóxicos e essenciais no cabelo indivíduos humanos de Caxiuanã.....	238

1 INTRODUÇÃO

A transferência de elementos químicos no sistema solo-planta tem sido foco de muitas investigações, principalmente para compreender o processo que envolve a absorção de elementos-traço pelas plantas cultivadas, o que pode introduzir metais tóxicos na cadeia alimentar.

A absorção de metais pelas plantas, a partir do solo, se faz fundamentalmente através das raízes ou através das folhas. Essa absorção é dependente da espécie, sensibilidade da planta ao metal absorvido, concentração do metal no solo, além das propriedades físico-químicas do solo, bem como de outros fatores, tais como, clima, mobilidade do elemento, etc. As plantas concentram metais nas suas partes reprodutivas (nozes, frutas, sementes, e tubérculos) e estas são as porções normalmente consumidas pelo homem (MALAVOLTA, 1980).

Na Amazônia ocorrem solos tipo Terra Preta Amazônica (TPA) que são ricos em Ca, P, Mg, Zn e C, sendo solos bastante férteis, de cor escura e possuem fragmentos cerâmicos e artefatos líticos. Esses solos são bem marcantes nas regiões de Caxiuanã, Oriximiná e Quatipuru (KERN, 1988; KERN; KÄMPF, 1989; KERN, 1996; COSTA; KERN, 1999).

Há um grande número de estudos sobre TPA, no entanto são restritos os que quantificam os metais pesados Hg, As e Se, e relacionam a possível migração desses metais para cultivares. Restritos também são os estudos envolvendo a avaliação de espécies cultivadas em TPA, sob o ponto de vista de sua composição e nutrição. Segundo Lehmann et al (2003) muitas espécies cultivadas em TPA já foram catalogadas e identificadas, porém não foram ainda analisadas quanto à sua composição química.

Investigações desenvolvidas por Costa e Kern (1999) e Gurjão (2003) em alguns sítios arqueológicos com TPA na região de Caxiuanã-PA, encontraram teores de metais pesados, como o Hg na faixa de 49 a 208 ppb, concentrações essas acima da média mundial em solo (100 ppb Hg) e dentro da faixa encontrada na Bacia do Tapajós (90-210 ppb). Entretanto, nessa bacia já ocorreram atividades garimpeiras de ouro (ROULET et al., 1998), enquanto que a região de Caxiuanã se encontra parcialmente preservada da ação antrópica moderna, onde a garimpagem nunca foi praticada. Também chamou a atenção o fato de que na população de Caxiuanã foram

encontrados valores relativamente elevados de Hg em cabelo, de 0,61 a 45,59 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e valor médio de 8,58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (SANTOS et al., 2002).

Essas áreas de solos férteis com TPA fazem com que a população, a exemplo de Caxiuanã, utilize-a para cultivo de subsistência, como a mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) que é consumida de várias formas (farinha, tucupi, beiju etc). O cultivo é praticado em pequenos roçados localizados distante das residências. Entre as variedades cultivadas destacam-se, segundo a denominação local: jaçanã, pai lourenço, peixe-boi (maior incidência), helena, açai-açu e pretinha (SILVEIRA et al., 1997; LISBOA et al., 2002).

Durante a produção de farinha na região de Caxiuanã, a parte que não é consumida (resíduo) é descartada no local, assim como, o suco que é extraído da mandioca, o chamado tucupi ou manipueira, é utilizado para matar formigas. Desta forma, os referidos resíduos, apresentam importante contribuição no aumento dos teores de alguns elementos químicos na TPA e, conseqüentemente, na fertilidade do solo (KERN, 1996; SILVEIRA et al., 1997).

Muitos trabalhos foram realizados para avaliar a concentração de metais pesados que o homem absorveu através da alimentação. A exemplo o trabalho realizado pelo Instituto Evandro Chagas- IEC (2000) referente à análise de Hg em cabelo dos ribeirinhos nas comunidades de Caxiuanã, Laranjal e Pedreira na região de Caxiuanã, revelando índice de contaminação de Hg incompatível com a conservação da região. Num total de 217 pessoas examinadas 61,75% apresentaram teor $> 6 \mu\text{g}/\text{g}$ (Limite de Tolerância Biológica-LTB). O teor médio foi de 8,6 μg Hg/g com variação de 0,6 a 45,6 μg Hg/g (LISBOA, 2002; MASCARENHAS et al., 2002).

A absorção de Hg pelo homem ribeirinho na região Amazônica, através do consumo de peixe em regiões impactadas com extração garimpeira de ouro, tem sido demonstrada por Malm et al. (1995); Taylor (1995); Brabo et al. (1999); Babi et al. (2000); Boischio; Cernichiari; Henshel (2000); Maurice-Bourgoin et al. (2000); Palheta; Pinheiro et al. (2000a); Pinheiro et al. (2000b); Santos et al. (2000), entre outros. Mesmo em regiões como Caxiuanã, desprovida de impactos ambientais, o Instituto Evandro Chagas (SANTOS et al., 2000) detectou quantidades anômalas de Hg no tecido capilar de sua população ribeirinha.

1.1 OBJETIVOS

Tendo em vista as condições ambientais de Caxiuanã, historicamente não afetada por atividades antropogênicas impactantes, com ampla distribuição de solos tipo TPA cultivados com mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e a identificação de valores anômalos de Hg pelo Instituto Evandro Chagas (SANTOS et al, 2000) o presente trabalho teve como objetivos a caracterização física, química, de fertilidade destes solos e dos adjacentes aos mesmos (AD), a avaliação da capacidade de adsorção de seus nutrientes e possíveis metais potencialmente tóxicos através da cultivar mandioca e a transferência de metais para o corpo humano via cabelo. Finalmente avaliar os possíveis impactos ambientais, aos que a população ribeirinha tenha sido exposta, e suas conseqüências gerais para a saúde desta população.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 REGIÃO DE CAXIUANÃ

A Floresta Nacional de Caxiuanã, parcialmente preservada da ação antrópica moderna, está situada na Amazônia Oriental a cerca de 400 km da cidade de Belém, capital do Pará. Nesta região, ocorrem vários sítios com solos tipo Terra Preta Amazônica (TPA) localizados preferencialmente às margens da baía de Caxiuanã, rios, igarapés e furos. Os solos com TPA apresentam concentrações elevadas de Ca, Mg, Mn, P, Zn e C, quando comparados com solos amazônicos, e são considerados agronomicamente férteis (KERN, 1988; KERN; KÄMPF, 1989; KERN, 1996). Nestes solos, desenvolve-se agricultura de subsistência, principalmente a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), uma atividade que pode ter sido herdada dos povos pré-históricos horticultores, que se desenvolveram na Amazônia há mais de 4000 anos antes do presente (ROOSEVELT, 1991) e que continua atualmente.

A Floresta Nacional de Caxiuanã (Flona-Caxiuanã), (Figura 1), foi criada pelo Decreto nº 239 de 28 de novembro de 1961 (LISBOA, 1997) e está situada na porção ocidental do Estado do Pará, nos Municípios de Portel e Melgaço, a oeste de Belém. Possui uma área de 330.000 há, delimitada pelas coordenadas 51°20' e 52°00' W e latitudes 01°36' e 02°08' S. Na Flona-Caxiuanã está instalada a Estação Científica Ferreira Pena (ECFPn), que ocupa 10% da área da Flona-Caxiuanã, criada pelo Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), que apóia projetos de pesquisas científicas multidisciplinares, desenvolvidas por pesquisadores do próprio Museu e de outras instituições nacionais e instituições estrangeiras.

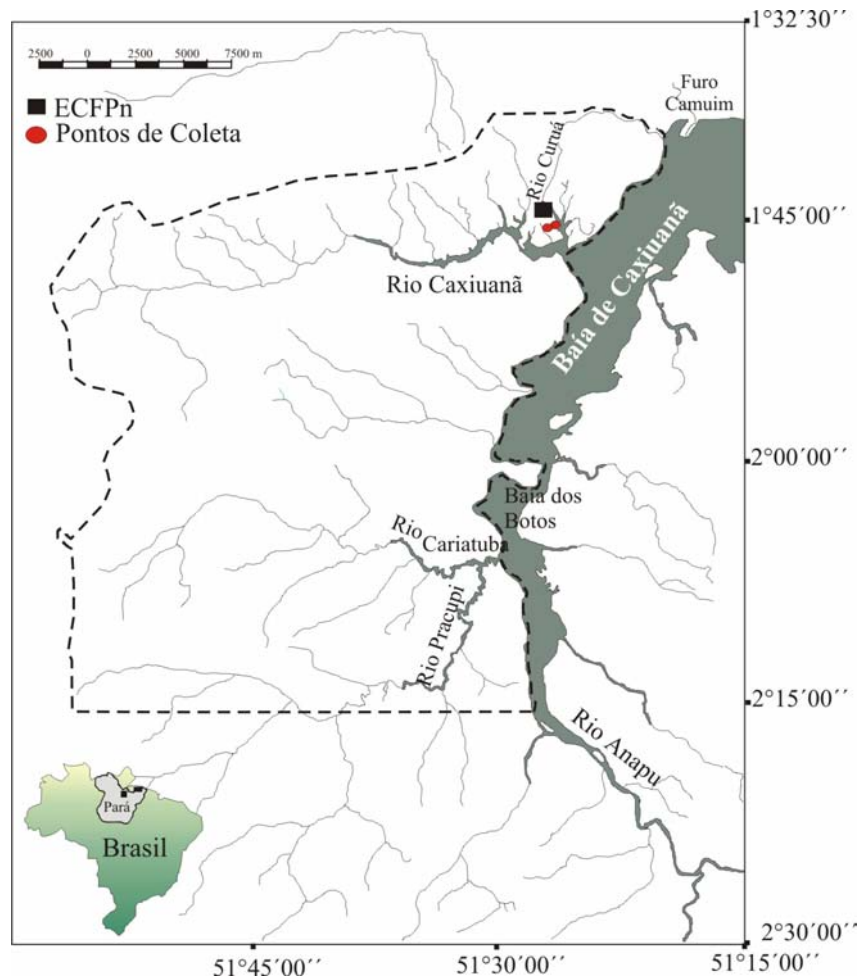


Figura 1 - Localização da região de Caxiuanã no estado do Pará

O acesso à região é realizado a partir da cidade de Belém, através de barcos e navios ou avião, até a cidade de Breves. A viagem de Breves à Caxiuanã é feita apenas por meio fluvial, em barcos ou voadeiras, pertencentes ao MPEG.

Em Caxiuanã, já foram registrados, até o momento, 27 sítios arqueológicos com TPA, (SILVEIRA; KERN; QUARESMA, 2002), (Figura 2).

Segundo Costa et al. (2002) a região de Caxiuanã é formada por sedimentos cretáceos da Formação Alter do Chão, lateritizados e truncados ao nível do horizonte pálido caulínico, constituindo tanto o relevo mais acidentado, com morros ondulados e quase-platôs, bem como as áreas baixas. Essas áreas, normalmente estão parcialmente cobertas por sedimentos areno-argilosos amarelos, que poderiam ser comparados à Formação Barreiras.

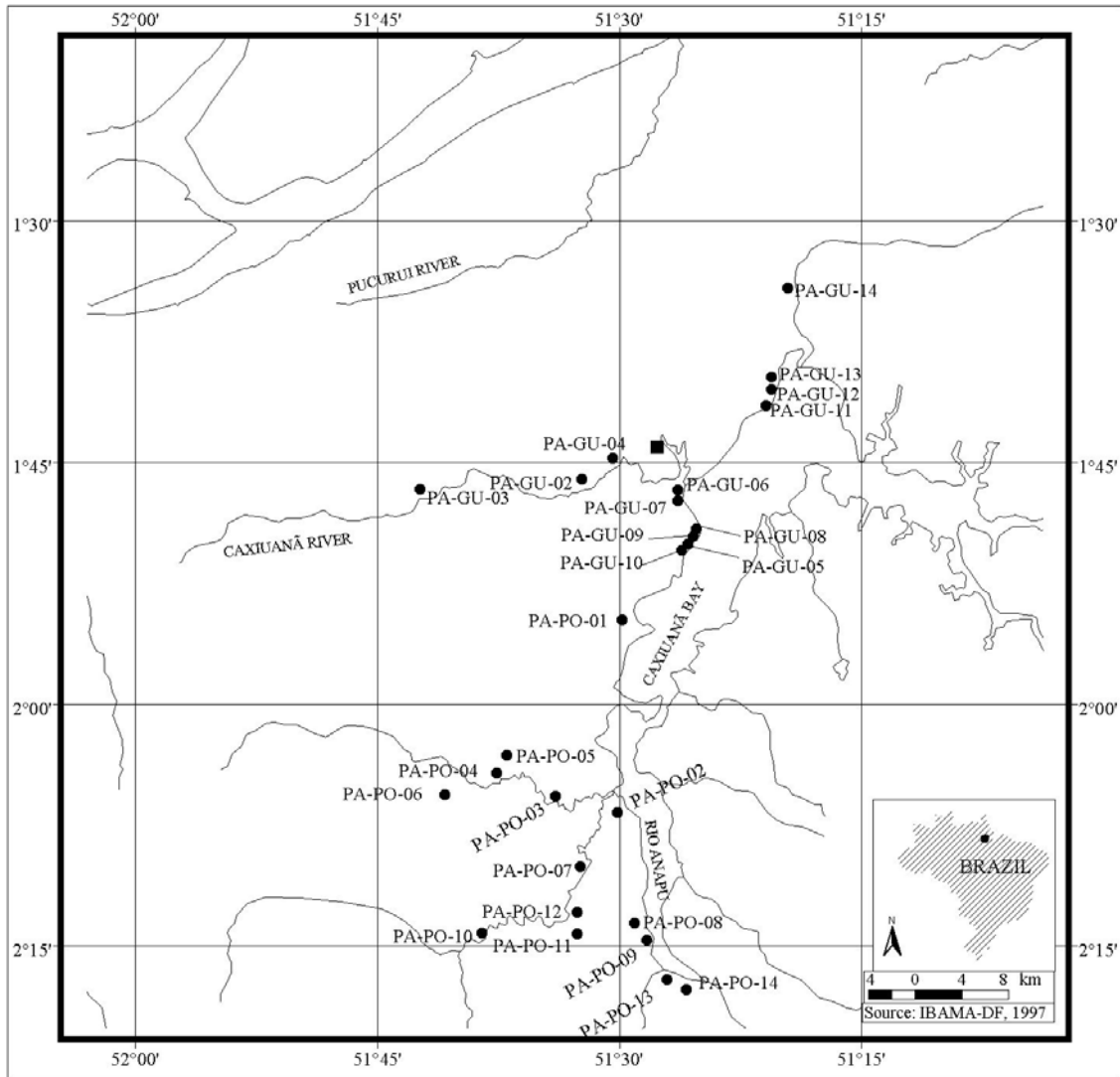


Figura 2 - Mapa de distribuição de sítios com Terra Preta Amazônica (TPA) na região de Caxiuana (KERN et al., 2003).

A baía de Caxiuana, comportando-se como um grande lago de água doce, representa o represamento neotectônico do rio Anapu em altitude próxima do nível do mar, e, conseqüentemente, influenciada por este, em fase de transgressão. São vários lagos resultantes do represamento natural das drenagens, sendo Caxiuana a maior expressão, instalada nos últimos 10.000 anos (KERN; COSTA, 1997b; COSTA et al., 2002).

Costa (2002) caracterizou e classificou os solos da ECFPn em Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo, Plintossolo, Alissolo Crômico, Gleissolo Háplico e Neossolo Flúvico. Os Argissolos são caracterizados pelo horizonte B textural, alta relação textural B/A (acima de 1,5) e

podem ser eutrófico ou distrófico. Os Argissolos Amarelos possuem características químicas e mineralógicas semelhantes aos Latossolos Amarelos. Os Plintossolos Argilúvicos plínticos (FTbd) estão localizados em terra firme, próximo às margens da baía de Caxiuanã, em algumas áreas de Argissolos, subjacentes a sítios de TPA, conhecidos também como solos TPA.

Quanto aos Gleissolos Háplicos Tb distróficos alumínicos (GXbd), são solos recentes de cores cinzas que variam do escuro ao claro e são pobres quimicamente. Encontram-se em áreas de savana na parte leste da ECFPn (COSTA, 2002).

Os solos Alissolos Crômicos argilúvicos plínticos (ACtd) são constituídos de material mineral com horizonte B textural com plintita. Estes solos estão presentes na parte sudeste da ECFPn. O Neossolo Flúvico Tb distrófico típico (RUBd), caracterizado em Caxiuanã, apresenta apenas o horizonte A de cor brunada e textura siltosa (COSTA et al., 2005).

Os solos TPA (Terra Preta Amazônica) apresentam horizonte A antropogênico com fragmentos cerâmicos e/ou artefatos líticos, e, por conta de sua alta fertilidade, são utilizados pela população local para agricultura.

2.1.1 A população e a agricultura familiar

A região de Caxiuanã apresenta baixa densidade populacional representada por ribeirinhos, que são descendentes de colonos portugueses e índios. Atualmente, são 46 famílias na região, a grande maioria (62%) é constituída de jovens na faixa de 1 a 19 anos (COSTA; KERN, 1999; LISBOA; SILVA, 2001; SILVEIRA; KERN; QUARESMA, 2002).

As moradias da população de Caxiuanã estão representadas por casas de madeira cobertas com palha, basicamente com três cômodos (sala, cozinha e quarto), estão localizadas às margens de um rio e não possuem energia elétrica. À noite, a iluminação é feita com lamparinas à óleo diesel. Em 2000, foi instalado o sistema fotovoltaicos nas escolas, nas casas dos ribeirinhos, das comunidades de Caxiuanã, Pedreira e Laranjal e na base física ECFPn. A água consumida pelos ribeirinhos é retirada do rio ou poços tipo amazonas que são construídos pelos próprios ribeirinhos.

As atividades das famílias baseiam-se nos afazeres domésticos, realizados pelas mulheres. Os roçados, a pesca, a caça e o fabrico da farinha, são conduzidos pelos homens e pelas mulheres (às vezes com auxílio dos filhos), (SILVEIRA; KERN; QUARESMA, 2002).

A atividade mais importante para a comunidade de Caxiuanã é a agricultura familiar que tem como principal produto a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), representando junto com o açaí (*Euterpe oleracea*) as principais fontes de energia. As atividades consideradas secundárias são a caça e a pesca, depois vem a coleta de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*), (LISBOA, 2002).

Atualmente, Caxiuanã conta com 72 roças familiares, com dimensões entre 345 a 12.000 m² e essas dimensões nem sempre estão relacionadas à produção. As roças são basicamente para subsistências das famílias. Entre as variedades de mandioca que são cultivadas destacam-se, segundo a denominação local: jaçanã, pai lourenço, peixe-boi (maior incidência), helena, açaí-açu e pretinha (SILVEIRA et al., 1997; LISBOA et al., 2002).

Os roçados são localizados distante das residências e o acesso é feito principalmente com canoas. O preparo das roças é realizado no verão através de derrubada de arbustos e árvores seguidos da queima no local. Posteriormente, é efetuado o processo da *coivara* (resíduos não queimados que são novamente incinerados), e o plantio é realizado no início do inverno (LISBOA et al., 2002).

A colheita da mandioca é realizada a partir de 6 (seis) meses após o plantio e cada arbusto produz em torno de 1 a 5 kg de mandioca, sendo que uma família coleta cerca de 200 kg de mandioca.

Durante a produção de farinha, na região de Caxiuanã, a parte que não é consumida (resíduo) é descartada no local, assim como, o suco que é extraído da mandioca (denominado de tucupi) é utilizado para matar formigas. Desta forma, os referidos resíduos apresentam importante contribuição no aumento dos teores de alguns elementos químicos na TPA, e, conseqüentemente, para a fertilidade do solo (KERN, 1996; SILVEIRA et al., 1997).

A dieta baseada em mandioca é suplementada parcialmente com outras fontes ricas em proteínas (carne e peixe). A caça é uma atividade pouco praticada na região de Caxiuanã devido à escassez de animais de médio e grande porte, prevalecendo a pesca.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TERRA PRETA AMAZÔNICA

Os solos tipo Terra Preta Amazônica (TPA) ocorrem principalmente na Amazônia em território brasileiro, como em parte na Colômbia, na Venezuela, Peru, Equador e Guiana (EDEN et al., 1984).

O primeiro viajante a registrar as Terras Pretas foi o geólogo canadense Charles F. Hartt em 1865, durante uma expedição no Amazonas. Em 1874, ele divulgou sobre “black soils” próximo de Santarém e Tapajós, e mais em detalhes em 1885. Em 1879, Herbert Smith, colega de Hartt, disse que a extensão de Terra Preta ao longo do Amazonas era quase contínua. Lá encontrou famílias que cultivavam tabaco e cana-de-açúcar naqueles solos (MYERS et al., 2003).

O primeiro a mapear as Terras Pretas foi o antropólogo Curt Nimuendajú em 1923-1926 nas áreas leste e oeste de Santarém. Ele foi aparentemente o primeiro a identificar um enorme sítio de Terra Preta sobre o qual se assenta a cidade de Santarém no estado do Pará. Em 1944, o alemão Friedrich Katzer descreveu características físicas das Terras Pretas na região de Santarém (MYERS et al., 2003).

Os trabalhos sobre a TPA se intensificaram quando foi identificada a sua elevada fertilidade. Esta fertilidade era atribuída então a eventos geológicos, cinzas vulcânicas, decomposição de rochas vulcânicas, de sedimentos depositados nos fundos de lagos extintos (FARIA, 1946; CUNHA FRANCO, 1962; FALESI, 1972, 1974), ou pela incorporação intencional de nutrientes no solo “*plaggen epipedon*” através de práticas de manejo (RANZANI, 1962; ANDRADE, 1986). As TPAs cobrem cerca de 6.000 a 18.000 km² da Bacia Amazônica (SOMBROEK et al., 2003).

Atualmente, a hipótese mais aceita para a formação desses solos é que teriam sido locais de antigos assentamentos indígenas, que com o acúmulo de resíduos de origem animal e vegetal, com o abandono dos sítios e atuação da pedogênese tropical, foi se formando o horizonte de características antrópicas, rico em nutrientes. Essa hipótese foi comprovada por evidências arqueológicas e pedológicas por Kern (1996); Kern; Costa (1997a, b, 2001); Lima et al. (2002); Kämpf et al. (2003); Kern et al. (2004). Solos com TPA se formaram principalmente entre 4500 e

2000 anos AP, se estendendo até o período pré-colombiano (ROOSEVELT, 1991; LEHMANN et al., 2003).

As áreas de TPAs são encontradas geralmente sobre solos como Latossolos, Argissolos, Espodossolos, Nitossolos e Plintossolos Pétricos, sendo mais freqüente nos dois primeiros que representam cerca de 70% dos solos da Amazônia (KERN; KÄMPF, 1989; KÄMPF et al., 2003). Sua ocorrência não se restringe apenas às áreas próximas aos rios, mas podem ocorrer em terra firme com grande elevação (NIMUENDAJU, 1948; GLASER et al., 2001), com extensão variando de um hectare, em áreas de terra firme, até centenas de hectares, em faixas estreitas ao longo de barrancos de rios (KÄMPF et al., 2003, LIMA et al. 2004).

Alguns autores (ARAÚJO, 1983; SIMÕES; ARAÚJO, 1987) associam os castanhais com sítios arqueológicos em áreas de TPA, indicadores de áreas manejadas no passado. As castanhas eram uma fonte de alimento muito valorizado pelas populações indígenas e caboclas e ainda continua sendo.

Os pesquisadores Sombroek (1966) e Morán (1990) observaram a preferência de agricultores amazônicos pela mata de cipó na escolha de áreas para preparar roças. As matas de cipó não se associam a nenhum tipo de solo, mas ocorrem com maior freqüência em áreas de Terra Preta e terras roxas eutróficas. Balée (1989) encontrou em amostras de solo em terras pretas de índio associadas às matas de cipó, 31,8 meq/100 g de P (9848 mg/kg), indicativo de prolongada ocupação humana.

A maioria dos ribeirinhos, na Amazônia Central, reconhece a terra preta, mas não a têm como um produto antropogênico. Alguns sabem distinguir a terra preta da terra comum, normalmente Latossolos (área adjacente), através da cor e textura. Quanto maior o conteúdo de argila, melhor a qualidade da TPA, fato este confirmado por Kämpf et al. (2003). Mas a diferença principal entre a TPA e a área adjacente é a fertilidade, que é mais elevada na primeira, constatada por German (2003).

Os solos tipo TPA apresentam horizonte A antrópico, com média de 40 a 50 cm de profundidade, podendo atingir até 2 m, textura arenosa a argilosa, cor preta a bruno acinzentado muito escuro, devido ao acúmulo de material orgânico. Apresentam fragmentos cerâmicos e artefatos líticos, valores elevados de pH, Zn, Mn, P disponível, Ca, capacidade de troca de cátions (CTC), índice de saturação por base (V), por isso, considerados solos bastante férteis (KERN, 1988). Esta alta fertilidade é a propriedade mais notável das TPAs, já identificada por Sombroek

(1966), Smith (1980), Kern; Kämpf (1989) e outros. Esta propriedade faz com que os ribeirinhos amazônicos utilizem esses solos para cultivo de subsistência, como a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Os residentes de Caxiuanã utilizam a TPA para cultivo, há aproximadamente 28 anos sem nenhuma adição de nutrientes (adubo) e esta ainda continua fértil. As áreas de TPA podem ser abandonadas depois de alguns meses de cultivo, porém, não por causa de problemas de fertilidade do solo, mas pela dificuldade em controlar as ervas daninhas e plantas invasivas que são mais abundantes em solos com TPA (MADARI; BENITES; CUNHA, 2003).

Embora a fertilidade mais elevada se traduza em melhores rendimentos de colheita em TPA do que nas áreas adjacentes, estes rendimentos podem depender das espécies de cultivares devido à exigência de água e nutrientes diferentes. Por exemplo, as bananas são exigentes em K e os legumes em P, podendo ser limitado seu rendimento. Segundo Smith (1980), Lehmann et al. (2003) e Germann (2003), certas colheitas como banana e mandioca não são produtivas em TPA; a mandioca, por exemplo, cresce mais devagar em TPA do que em áreas adjacentes, com crescimento de 50 % superior.

Madari; Benites; Cunha (2003) compararam os solos com TPA e sem TPA, reunindo dados obtidos de vários pesquisadores, onde se comprova a alta fertilidade das TPAs. A tabela 1 mostra esta comparação, principalmente quanto ao teor de Ca, P, C_{orgânico}, CTC e V.

Tabela 1 – Valores médios dos parâmetros de fertilidade em solos com TPA e sem TPA.

	pH H ₂ O	C _{orgânico} mg.kg ⁻¹	V %	CTC -----	Ca + Mg cmol.kg ⁻¹	Al ³⁺ -----	Ca/Mg	P (disponível) mg.kg ⁻¹
Solos com TPA ^a								
Média	5,4	30	49	13	6,8	0,4	5,6	158
Solos sem TPA ^b								
Média	4,5	17	20	8,0	1,3	1,7	nd	3

^a dados obtidos de Ranzani; Kinjo; Freire (1962); Falesi (1972); Smith (1980); Kern; Kämpf (1989); Pabst (1991); Kern; Costa (1997a), ^b EMBRAPA (1999a)

As altas concentrações de P e Ca disponíveis e as baixas concentrações de H⁺ e Al³⁺ fazem com que as plantas desenvolvam-se melhor em terra preta (FALCÃO; COMERFORD; LEHMANN, 2003).

A absorção de P depende também da capacidade do solo em liberar este nutriente, ou seja, os solos argilosos possuem maior capacidade de reter P na superfície, assim quanto menor o teor de argila maior o P disponível no solo (MARTINAZZO, 2006).

Segundo Martinazzo (2006), com a elevação do pH ($> 5,5$) aumenta as cargas negativas que contribui para a CTC e, conseqüentemente, para a saturação por bases.

Kern et al. (1996), estudando a geoquímica de TPA em sítios arqueológicos em Quatipuru, Pará, verificaram concentrações de P trocável de 700 mg.kg^{-1} (32% de P total) em TPA, enquanto que nas AD o valor foi de 5 mg.kg^{-1} . Estes dados são apoiados pela pesquisa mais extensa de TPA na Amazônia, onde TPA com 1375 mg.kg^{-1} de P trocável (Mehlich-1) foi encontrada no município de Itaituba, Pará, (FALCÃO, COMERFORD, LEHMANN, 2003).

De acordo Woods; Mccann (1999) a elevada concentração de material orgânico no solo deve-se principalmente à queima de vegetais (folhas, galhos, etc.) muitas vezes utilizados como prática de manejo do solo de TPA, que contribui para a formação de carvão vegetal e cinza, que são ricos em nutrientes. Mccann; Woods; Meyer (2001) e Glaser et al. (2001) ratificaram que a persistência da matéria orgânica deve-se justamente a esses resíduos de combustão incompleta (carvão vegetal e as cinzas). Porém existem sítios com TPA que praticamente não possuem carvão (KERN, 2007, informação verbal).

3.1.1 Classificação dos Solos tipo Terra Preta Amazônica

Segundo Kämpf et al. (2003), o crescimento de pesquisas sobre terra preta e a diversidade deste solo, gera muitas informações que necessitam de ordenação para identificar e classificar tipos de terra preta, terra mulata e outros solos antrópicos antigos. Assim, Kämpf et al. (2003) propuseram uma Legenda para a Classificação de solos Antrópicos (LCA) antigos, que utiliza um único horizonte de referência, o chamado *arqueo-antropodogênico*. Esta legenda, ao contrário dos sistemas formais de classificação como o SiBCS (EMBRAPA, 1999b) e o *Soil Taxonomy*, prioriza os horizontes A e B.

A LCA ainda está em fase experimental, mas futuramente será adequada para uma distinção satisfatória da variedade de solos antrópicos antigos, com o aperfeiçoamento através dos próprios usuários desta legenda (KÄMPF et al., 2003).

3.2 MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA* CRANTZ)

A maioria das plantas contém baixa concentração de Se nas folhas ($< 25 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) e raramente excedem $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ mesmo que cresçam em solos ricos em Se (ELLIS; SALT, 2003).

Os elementos considerados essenciais para a nutrição das plantas são os macronutrientes C, O, H, N, P, K, Ca, Mg e S e os micronutrientes Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B e Cl.

O deslocamento dos elementos na planta varia segundo a sua mobilidade. O Pb, por exemplo, tende a permanecer fixo na raiz (GARCIA, 1997).

Vários fatores influenciam a absorção e concentração de um elemento na planta, tais como: elementos trocáveis e totais no solo, pH do solo, matéria orgânica do solo, textura do solo, espécie de planta, a condição climática e a sua própria disponibilidade (JUNG; THORNTON; CHON, 2002; KABATA-PENDIAS, 2004).

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), da família da *Euphorbiaceae*, nativa do continente americano, é um arbusto de 2 a 3 m de altura, planta perene e lenhosa com grande capacidade de produção de carboidratos (farinha), tendo como importância fundamental a sua utilização na dieta alimentar básica de 500 a 700 milhões de pessoas no mundo tropical, notadamente aquelas de menor poder aquisitivo (CAMARÃO et al., 1993; SILVA, 2001).

A mandioca é considerada brava ou venenosa devido à presença de um glicosídeo cianogênico denominado de linamarina ($\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{O}_6\text{N}$) que, em contato com ácidos e sucos digestivos, se hidroliza resultando na formação do HCN, que possui um efeito altamente tóxico (CAMARÃO et al., 1993). Quanto mais nova for a planta, maior o teor de linamarina. Sua composição química depende de vários fatores, tais como, a espécie cultivada, idade da planta, tipo de solo e clima.

A anatomia da raiz (Figura 3) é constituída, no centro, por fibras e polpa onde se encontra a maior parte do amido e, na periferia, encontra-se o córtex constituído de capas superpostas de tecidos (película e casca carnosa).

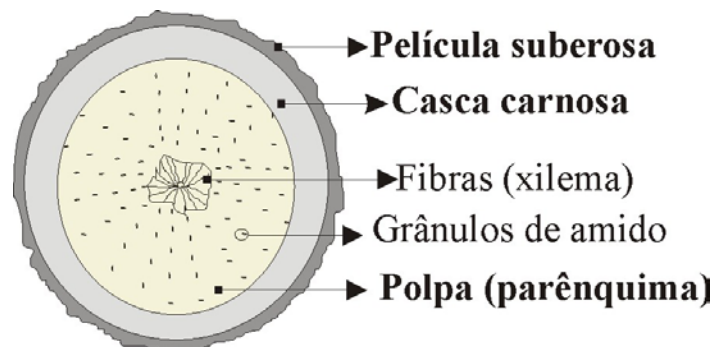


Figura 3 - Corte transversal da mandioca (CORRÊA, 1987)

Durante a transformação da raiz de mandioca em farinha é obtido o tucupi (nome indígena brasileiro dado ao extrato líquido das raízes de mandioca também conhecido como manipueira) que apresenta aspecto leitoso e contém goma (polvilho), glicose, proteínas, sais minerais, ácido cianídrico e derivados cianogênicos, substâncias orgânicas diversas e pode ser substituído do vinagre, já que possui grande proporção de ácido acético (MARINHO; ARKCOLL, 1981). Foi identificado, por Ponte; Torres; Franco (1979), como um excelente nematicida e recentemente por Ponte; Santos (1997), como um inseticida. Em Caxiuanã, ele é utilizado há muito tempo, pelos ribeirinhos, como inseticida contra formigas e saúvas ou é simplesmente descartado (LISBOA et al. 2002; SILVEIRA; KERN; QUARESMA, 2002).

O descarte do tucupi no solo provoca aumento significativo na concentração de K trocável, alterando o equilíbrio do solo (FIORETTO, 2000). Kern et al. (1999) verificaram que os resíduos orgânicos (folhas de palmeira, cascas de mandioca, conchas, ossos e etc.) descartados pelos moradores e ribeirinhos de Caxiuanã são responsáveis pelo aumento dos teores dos elementos químicos na TPA, principalmente em relação ao Zn e Mn.

As folhas de mandioca são utilizadas no preparo da maniçoba (comida típica amazônica) e atualmente o pó dessas folhas (uma pitada) vem sendo usado como ingrediente de “multimisturas” na merenda escolar, no combate à desnutrição de crianças (CORRÊA, 1987; CORRÊA et al., 2002).

O modo de aproveitamento dessas folhas consiste na extração de proteínas que se baseia na moagem das folhas em um triturador obtendo assim, o suco e o resíduo fibroso, e a partir do suco temos um concentrado protéico utilizando uma extração parcial (precipitação ácida ou por calor) ou exaustiva (coagulação alcalina). Cereda; Vilpoux (2003) informam que as folhas desidratadas

não são adequadas para a alimentação humana, devido ao alto teor de fibras no produto, devem ser apenas recomendadas para animais poligástricos, capazes de digerir as fibras.

Segundo Ternes (2002) o solo ideal para o plantio da mandioca deve ser leve, profundo e facilmente drenável. A mandioca é conhecida como a planta esgotante do solo porque extrai nutrientes em grandes quantidades, principalmente, o K, N, P, Ca e Mg, sendo difícil conservar a fertilidade do solo. Entretanto, a mandioca é uma planta que se adapta a solos com alta acidez e à alta saturação de alumínio, tem uma capacidade de produzir safras impressionantes em ambientes oligotróficos do trópico úmido, e se converteu em uma planta pantropical (MORÁN, 1990). Os elementos K e P são móveis na planta, ao contrário do Ca que faz parte da estrutura celular e é importante para o seu crescimento. A mandioca também é capaz de acumular e tolerar altas concentrações de elementos tóxicos como o Al e Mn.

Segundo Germann (2003), as plantas cultivadas, em Terra Preta, crescem bastante, porém quando começam a frutificar, elas produzem pouco ou não produzem, visto que, quanto mais pobre o solo, maior energia as plantas têm que utilizar para obter nutrientes, desenvolvendo mais raízes.

A maioria dos ribeirinhos possui uma ou mais roças. As roças variam em tamanho de 0,2 a 3,0 ha. Várias variedades de mandiocas são intercultivadas em um único roçado. O tubérculo também tolera uma estação seca longa e pode produzir em arenoso para terras argilosas. Com exceção de algum dano por roedores, como paca, e formigas de exército, são conhecidas poucas doenças que causam perdas de tubérculo. Assim, esta colheita versátil pode ser elevada em terreno diverso e regimes climáticos dentro da Amazona Mediana. Os rendimentos de farinha variam entre 1.500-6.500 kg de farinha / ha de mandioca processada, dependendo da estrutura da terra e seus nutrientes (HIRAOKA et al., 2003).

3.3 MINERALOGRAMA DO CABELO

O uso do tecido capilar como indicador celular de elementos químicos na biomonitoração das exposições ambientais é bastante usado, devido à facilidade de obtenção e conservação das amostras. Este pode concentrar níveis altos de alguns elementos, como o Hg, em relação, por

exemplo, ao sangue, e obter informações não somente da exposição atual do homem, mas também de episódios passados.

Um fio de cabelo de 11 cm de comprimento representa no primeiro centímetro, próximo a raiz, a eventual exposição em dez anos, visto que o cabelo humano cresce aproximadamente 20 cm/ano. A análise de elementos químicos em cabelo, principalmente os traços, é usada tanto para avaliar a exposição do indivíduo à determinada droga como também para verificar seu estado nutricional (AZEVEDO, 2003).

A relação Hg-Se tem sido reportada por muitos trabalhos a fim de neutralizar a toxidez e a bioacumulação do Hg no organismo. Osman et al. (1998) constataram que o Se pode diminuir os efeitos provocados por elementos tóxicos como o Hg e o Pb.

O Se é um elemento essencial ao organismo, dentro de uma faixa de concentração, podendo ser prejudicial quando em excesso ou em pequenas quantidades e pode ter uma atividade anticancerígena, para certos tipos de câncer, principalmente o câncer de pulmão e próstata.

Os níveis de Cd e Pb, no cabelo, são excelentes indicadores de carga orgânica, sendo a absorção de Cd reduzida pelo Zn, Ca e Se. Níveis de 4 a 8 ppm de Cd no tecido capilar podem estar associados à hipertensão e sua toxicidade pode causar hipotensão. Os fumantes ajudam a elevar a absorção de Cd.

Quanto ao As, sua forma inorgânica tem uma afinidade especial com o cabelo e outros tecidos ricos em queratina. Poucos trabalhos são encontrados nessa área (MANDAL; SUZUKI, 2002). Mandal; Suzuki (2002) e Mandal et al. (2004) estimaram que a faixa normal de As em cabelo é de 0,08 a 0,25 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, portanto 1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de As em cabelo já é considerado excesso e esse é o limite recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Gebel¹ et al. (1998 apud Santos et al., 2003) determinaram As em cabelo de habitantes alemães e encontraram média de 0,069 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Pereira et al. (2002) determinaram teores de As em cabelo de pessoas residentes em Belém, onde constataram que 50% apresentaram níveis de As abaixo do limite de detecção e os outros 50% acima do recomendado pela OMS (1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

As análises de cabelo humano nos permitem determinar uma possível intoxicação por metal ou uma deficiência/ excesso de um nutriente, devido à exposição do homem ao meio ambiente com contaminação ambiental, alimentação inadequada e até mesmo sua exposição a ambientes naturais com anomalias geoquímicas de metais pesados.

¹ GEBEL, T.W. et al. Human biomonitoring of arsenic and antimony in case of an elevated geogenic exposure. **Environ Health Perspect**, v. 106, n. 1, p. 33-9, 1998.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Os materiais e amostras analisados neste estudo foram coletados em sítios arqueológicos com TPA (Terra Preta Amazônica) com e sem cultivo de mandioca e em suas áreas adjacentes, na região de Caxiuanã. Estes sítios são conhecidos como Raimundo (sem roçado de mandioca, TPA/SR) e Conceição (com roçado, TPA/CR), além das áreas adjacentes ao sítio Raimundo denominado de AD/SR e adjacente ao sítio Conceição chamado de roçado Martinho (AD/CR).

O sítio Raimundo está localizado a 170 m da margem esquerda do Igarapé Curuá (coordenadas: 01°45'36.0" S e 51° 26'34.3" W), distando cerca de 3 km da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn). O sítio Conceição (coordenadas: 01°45'24.2" S e 051° 26'13.0" W) localiza-se a 150 m do Igarapé Curuá, acima do sítio Raimundo. O roçado Martinho está localizado às margens do Igarapé Curuá (coordenadas: 01°45'23.9" S e 051°26'19.2" W), (Figura 4).

4.2 MÉTODOS DE CAMPO

4.2.1 Coleta de solos

Partindo de um ponto (P_0) dentro de cada sítio e roçado (geralmente onde o solo era mais escuro no caso de TPA e no centro do roçado) foram efetuadas 4 transversais com auxílio de trena e bússola: norte-sul (N-S), leste-oeste (E-W), noroeste-sudeste (NW-SE), nordeste-sudoeste (NE-SW), para a delimitação da área de TPA e para auxiliar na coleta de mandioca (Figura 5).

No sítio Raimundo e sua área adjacente, assim como, no sítio Conceição e no roçado Martinho foram escavadas 4 trincheiras. Antes da coleta do solo, foi feita a descrição nos perfis utilizando-se o método proposto por Lemos; Santos (1996) que consiste na determinação da profundidade, cor, textura, consistência, estrutura, transição, presença de raízes e outras observações, com a finalidade de auxiliar a classificação dos solos. Apenas a cor foi determinada

através da comparação com as cores da *Munsell Soil Color Charts* (Munsell Color Company, 2000).

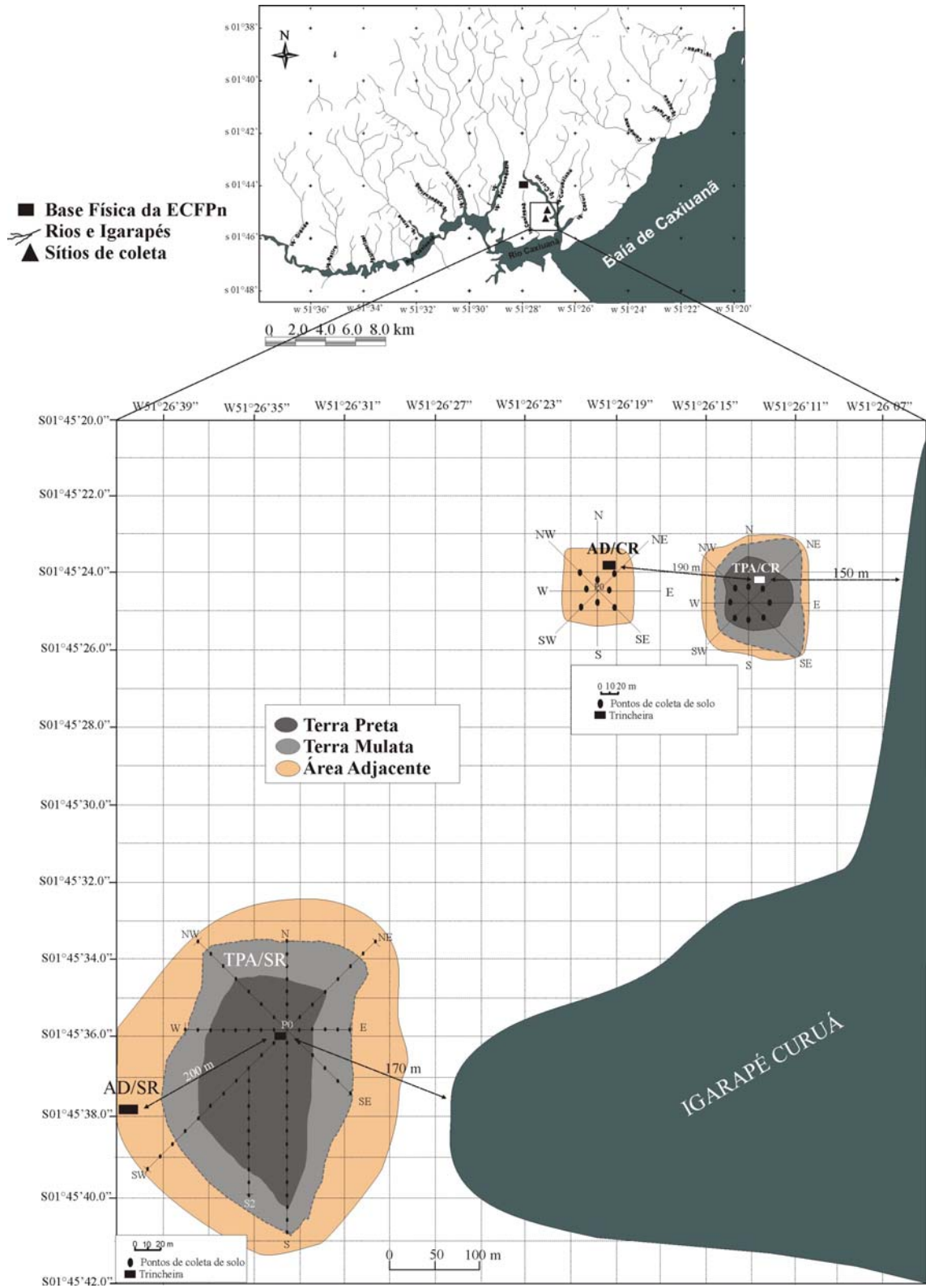


Figura 4 - Localização da região de Caxiuanã e das áreas de TPA e respectivas áreas adjacentes.



Figura 5 – Procedimentos para delimitação da área de TPA, com a imagem mostrando fixação do ponto zero (P_0) e a partida das transversais.

As amostras de solo (cada uma com cerca de 2 kg) foram coletadas nas 4 trincheiras e nas transversais. Nas trincheiras, as amostras foram coletadas em cada horizonte de solo, 6 amostras por trincheiras, totalizando 24 amostras de solo. Nas transversais a coleta ficou restrita ao horizonte A (os primeiros 30 cm) com auxílio de tradagem, em um espaçamento de 10 m nos roçados e, procurando concentrá-la às proximidades dos arbustos de mandioca (Figuras 6 e 7). No sítio Raimundo, foram 70 amostras de solo coletadas; no sítio Conceição e sua área adjacente, foram coletadas 8 amostras em cada. Todas as amostras foram embaladas em sacos plásticos, mantidas sob ventilação até serem transportadas ao laboratório.

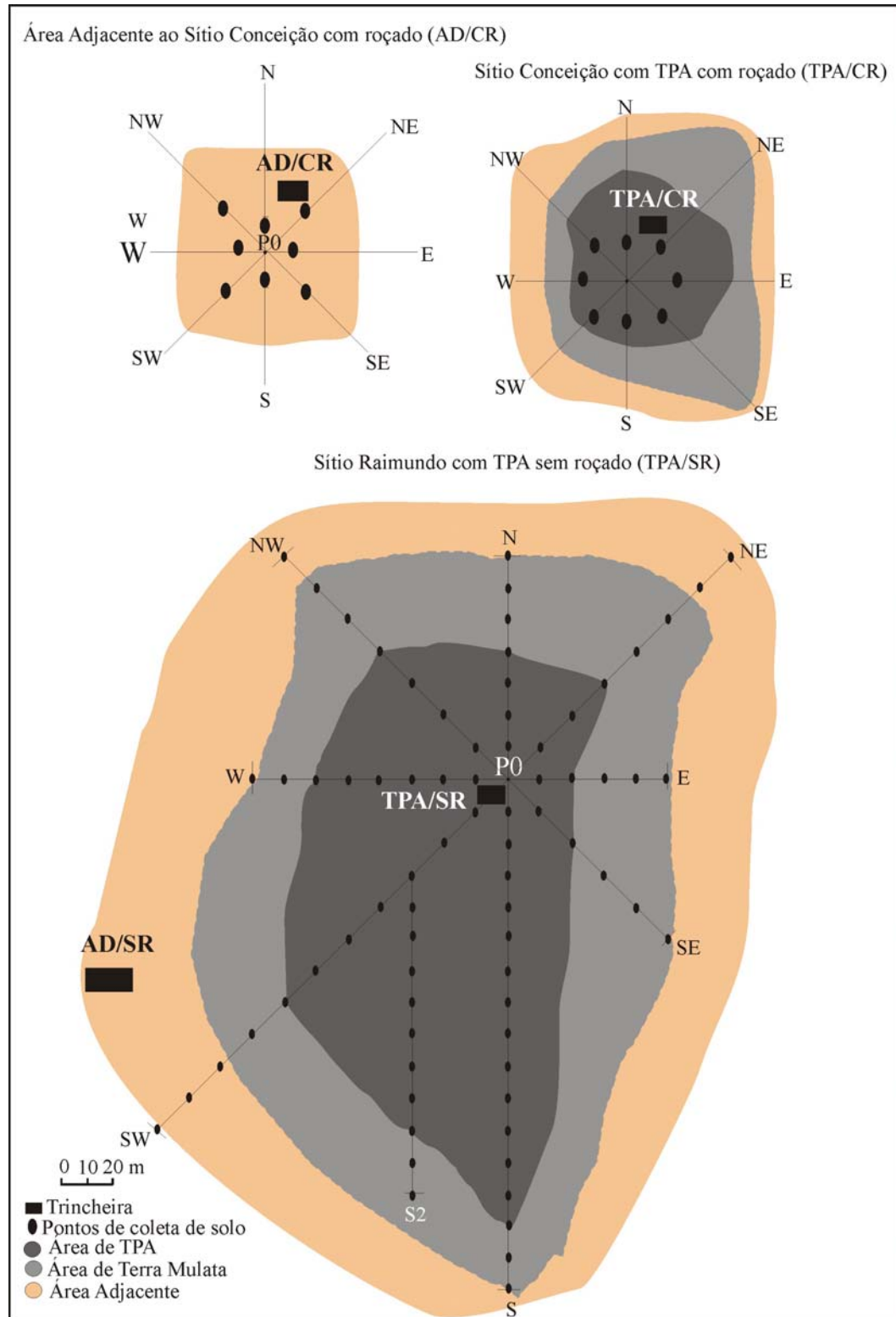


Figura 6 – Localização dos pontos de coleta de solo nas transversais e nas trincheiras no sítio Raimundo com TPA sem roçado e sua área adjacente sem roçado, no sítio Conceição com TPA com roçado e sua área adjacente com roçado (roçado Martinho).



Figura 7 - Coleta do horizonte A do solo (0- 30 cm) nas transversais utilizando o trado holandês.

4.2.2 Coleta de mandioca

Foram coletados os arbustos completos (da raiz às folhas) de mandioca nas transversais, partindo de um ponto central (P_0) no sítio Conceição e no roçado Martinho como mostra a figura 8. A amostragem foi realizada de acordo com EMBRAPA (1999a), que consiste em coletar os arbustos de mandioca em várias parcelas do roçado, evitando aqueles com folhas danificadas ou com pragas.

Os tubérculos ou raízes foram separados e acondicionados em sacos plásticos, com pequenas perfurações e as folhas em sacos de papel e transportados para o laboratório.

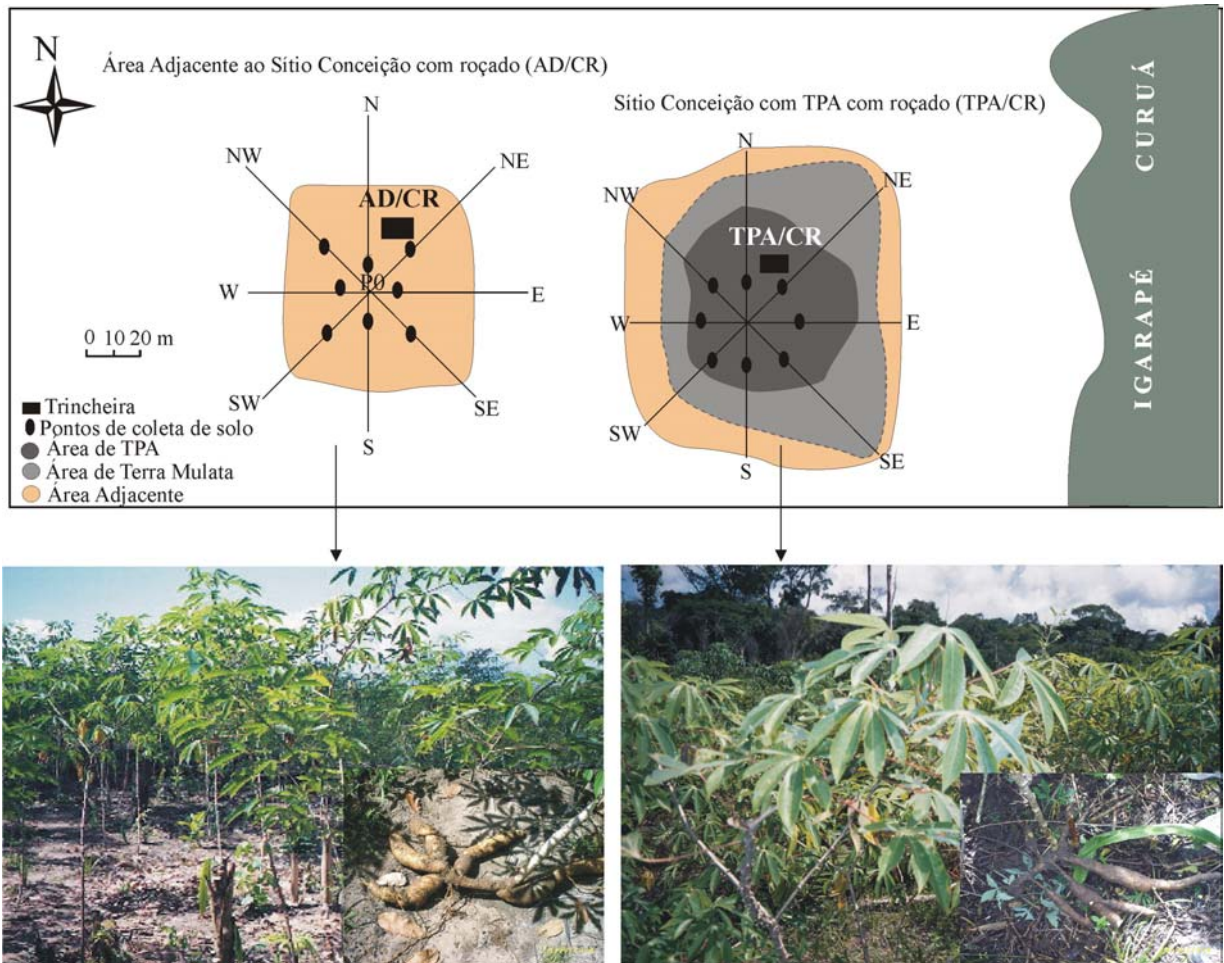


Figura 8 - Coleta de mandioca em roçados sobre TPA (sítio Conceição) e em sua área adjacente (Roçado Martinho), na região de Caxiuanã.

Durante os trabalhos de campo, se acompanhou o processo de produção de farinha conduzido pela Família Martinho, (Figura 9). Nesta oportunidade, foram coletados 2 L de tucupi, também conhecido como manipueira (fase líquida obtida durante a prensagem da massa ralada a partir dos tubérculos para produção de fabricação da farinha), da mandioca cultivada em solo sem TPA. Também foram coletados 3 L de tucupi de mandioca cultivada em TPA.

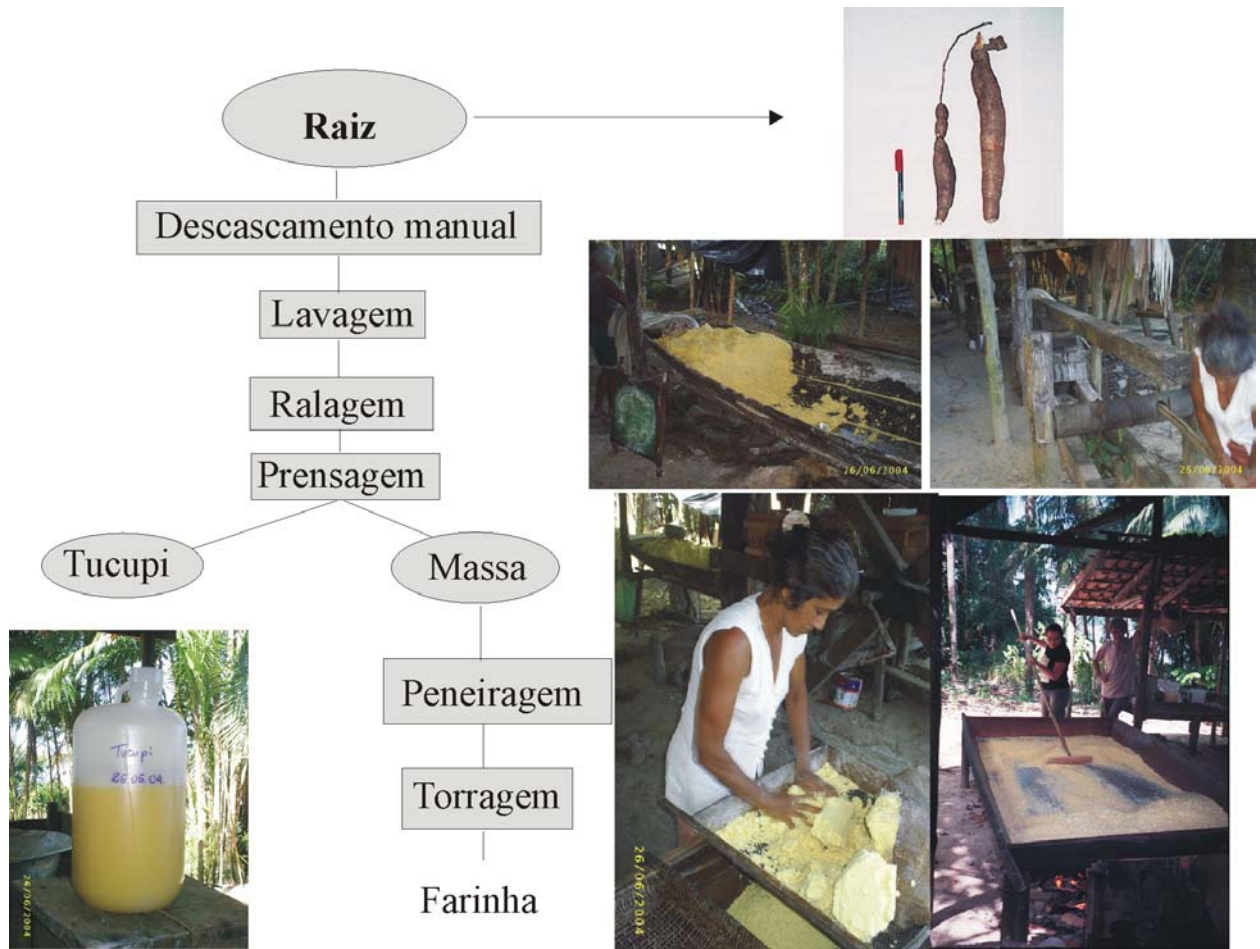


Figura 9 - Processo de produção de farinha de mandioca extraída do solo sem TPA (AD/CR).

4.2.3 Coleta de tecido capilar

4.2.3.1 Família Conceição (TPA)

A família do Sr. Conceição conta com 15 pessoas: 8 homens e 7 mulheres, sendo 6 adultos e 9 crianças (Figura 10). Sua propriedade também fica às margens do rio Curuá, próximo à casa do Sr. Martinho (Figura 11). Esta família cultiva mandioca em TPA, assim chamada de família TPA.



Figura 10 - Família do Sr. Conceição residente na região de Caxiuana.



Figura 11 – Vista da propriedade do Senhor Conceição na região de Caxiuanã.

4.2.3.2 Família Martinho (AD)

Esta família é constituída de 9 pessoas: 3 homens e 6 mulheres, sendo 4 adultos e 5 crianças (Figura 12). Sua propriedade fica às margens do rio Curuá próximo a Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn), (Figura 13). Esta família cultiva mandioca em área adjacente (AD), chamada de família AD.



Figura 12 – Família do Sr. Martinho: a) filhos b) Sr. Martinho c) Sra. Cecília esposa do Sr. Martinho

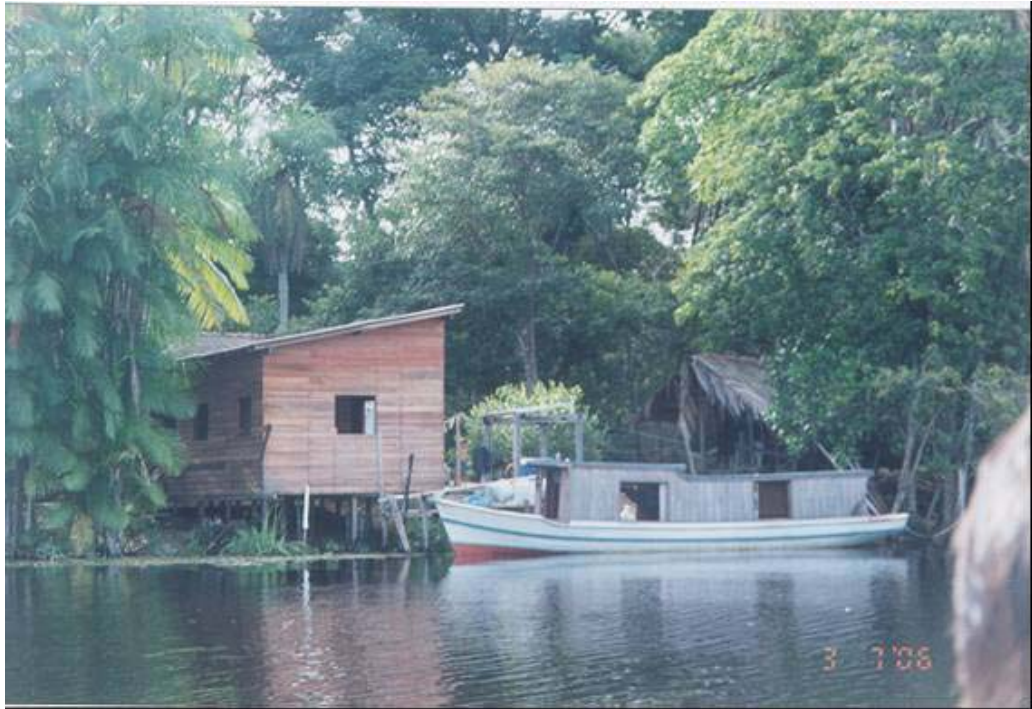


Figura 13 – Vista da propriedade do Sr. Martinho na região de Caxiuanã.

As 24 pessoas das duas famílias por serem residentes permanentes da região de estudo e por cultivarem e consumirem mandioca em solo com TPA e sem TPA foram submetidas à coleta do tecido capilar. Antes da coleta do tecido capilar, todas elas foram entrevistadas (Figura 14), sendo que, no caso das crianças, foram ouvidos os seus pais, com auxílio de um questionário epidemiológico elaborado pelo Instituto Evandro Chagas - FUNASA (Figura 15) e adaptado para a região. Este questionário inclui informações pessoais (idade, sexo, cor do cabelo e se colore) e seus hábitos alimentares (consumo de peixe, farinha ou outro derivado de mandioca). Também foram levantadas informações sobre os costumes de cada um, tais como, fumar, consumo de bebida alcoólica, seus históricos médicos e profissionais e outras informações pessoais para auxiliar na interpretação dos dados que constam do questionário.



Figura 14 – Imagem mostrando a entrevista realizada durante a coleta do tecido capilar do Sr. Martinho.

MS/FUNAS A- INSTITUTO EVANDRO CHAGAS
SEÇÃO DE MEIO AMBIENTE

Número de Identificação: _____ Data: ___/___/2004

Coleta de Cabelo

1. Nome: _____ 2. Sexo: M F
 3. Idade: _____ anos 4. Data do Nascimento: ___/___/___ 5. Naturalidade: _____
 6. Filiação (menor de 15 anos) pai: _____ mãe: _____
 7. Endereço: _____ 8. Tempo de moradia: _____
 9. Morava antes: _____
 10. Estado Civil: solteiro casado ou amasiado viúvo separado/divorciado
 11. Número de filhos: _____M _____F
 12. Quantos dias na semana você costuma comer derivados da mandioca (farinha, beiju, tucupi, etc.)? _____
 13. Quantas vezes por dia come derivados da mandioca (farinha, beiju, tucupi, etc.)? _____
 14. Consome castanha do Pará? S N
 15. Além dos derivados da mandioca, quais os alimentos consumidos com frequência?
 feijão arroz macarrão carne frango caça legumes peixe verduras frutas
 leite
 16. Consome bebida alcoólica? S N 17. Durante qt tempo? _____
 18. Você fuma? S N 19. Quanto tempo? _____ 20. Quantos cigarros por dia? _____
 21. Você pinta o cabelo? S N 22. Tem obturação metálica? S N Quantas? _____
 23. Qual a sua ocupação principal? _____ 24. Há quantos anos trabalha? _____
 25. Teve outra atividade? S N 26. Qual? _____
 27. Trabalhou em garimpo? S N Período? _____
 28. Você teve algum problema de saúde no último mês? S N 29. Qual o problema? _____
 30. Fez Tratamento? S N 31. Qual tratamento? _____
 32. Você já teve alguma doença listada abaixo?

S/N	Doença	Data	S/N	Doença	Data
	Tuberculose			Malária	
	Hanseníase			Leishmaniose	
	Sarampo			Hepatite	

33. Já fez exame para mercúrio? S N

DADOS REPRODUTIVOS E DO NASCIMENTO:

34. (Somente Mulheres) N° de abortos espontâneos: _____

35. (Somente Crianças) Dados do Nascimento parto: normal prematuro N° de meses: _____

Figura 15 - Questionário epidemiológico aplicado durante a entrevista com os indivíduos para a coleta de tecido capilar.

A coleta de cabelo seguiu as normas recomendadas pelo *Hair Analysis Standardization Board* (PASSWATER; CRANTON, 1983). Para tal, se empregou uma tesoura de aço inoxidável (esterilizada) para retirada do cabelo a uma distância de 1 cm do couro cabeludo da região occipital (Figura 16) que corresponde ao crescimento do cabelo no período do 7° ao 21° dia.



Figura 16 – Imagem da região occipital de um ribeirinho após a coleta de cabelo

4.3 MÉTODOS DE LABORATÓRIO

4.3.1 Preparação das amostras

Inicialmente, as amostras de solos de cada horizonte, aproximadamente 2 kg, foram secas em temperatura ambiente e homogeneizadas. Do total foi separada uma alíquota de duzentos gramas (200 g) para análise granulométrica; de 1000 g para análises mineralógicas e químicas, que foram inicialmente desagregadas, trituradas e pulverizadas $< 0,0625$ mm; 800 g foram apenas desagregadas e passadas em peneira com malha < 2 mm para obter a terra fina seca ao ar (TFSA) e submetidas à análise de fertilidade.

4.3.1.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada no laboratório de sedimentologia do Centro de Geociências-UFPA, que consistiu de separação e quantificação das frações areia grossa, média e fina, silte e argila, segundo o método da EMBRAPA (1997).

4.3.1.2 Análise mineralógica

A identificação dos minerais em amostra total foi efetuada por difração de raios x no laboratório de difração de raios-x do Centro de Geociências da UFPA, utilizando difratômetro Philips, modelo PW 1050 e sistema de controle PW 3710. Previamente, as amostras foram secas e pulverizadas em gral de ágata para análise da amostra total. Para a caracterização dos argilominerais, utilizou-se a técnica de preparação de lâminas orientadas, glicoladas e aquecidas. Para a identificação das fases minerais, compararam-se os picos encontrados com aqueles do banco de dados do *International Center for Diffraction Data* (ICDD) através do software X'PERT.

4.3.1.3 Análises químicas

As análises químicas (elementos maiores e traços) de amostra total dos solos foram realizadas no laboratório ACTLABS no Canadá, através de fusão com metaborato/tetraborato de lítio e solubilização ácida e determinação por ICP/MS, segundo o método Code 4LITHO (ACTLABS Group Website, 2004). Por outro, lado as determinações de Hg, As e Se foram conduzidas nos laboratórios da Lakefield Geosol Ltda e de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas (IEC), (Tabela 2).

A análise de Hg envolveu a digestão das amostras (solo, tecido capilar e mandioca), segundo os procedimentos de Akagi; Nishimura (1990), com uma mistura de $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$, H_2SO_4 e H_2O a uma temperatura de 230°C / 20 minutos através da determinação por espectrometria de Absorção Atômica - Vapor Frio da marca HG-3500 *modelo* K.K SANSO S.S do IEC, (Figura 17). O limite de detecção foi 1 ng de Hg (massa absoluta). Hg também foi determinado no laboratório da Lakefield Geosol, também através de geração de vapor frio conjugada com absorção atômica, que permite alcançar o limite de detecção de 0,05 ppm.

Tabela 2 – Elementos, métodos, equipamentos e laboratórios empregados nas análises químicas dos solos.

Elementos	Métodos	Equipamentos	Laboratórios
Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, MgO, MnO, Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 e Perda ao fogo	Fusão com tetraborato/ metaborato de lítio	ICP-MS	Actlabs-Canadá
Sc, Be, V, Ba, Sr, Y, Zr, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Nb, Mo, Ag, In, Sn, Sb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th e U	Fusão com tetraborato/ metaborato de lítio	ICP-MS	Actlabs-Canadá
Hg^{2+}	Geração de vapor frio	EAA-VF/ HG- 3500	IEC e Lakefield Geosol
Se e As	Geração de hidretos	EAA-GH Varian AA220Z	IEC e Lakefield Geosol

Os elementos As e Se foram analisados nas amostras de solo, tecido capilar e mandioca no laboratório do IEC utilizando geração de hidretos conjugado com absorção atômica (Figura 18). O As foi determinado partindo da digestão das amostras em uma mistura de $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ em temperatura de 95°C / 50 minutos e adição de H_2O , HCl uréia e KI para redução do As (V) a As

(III). Enquanto, para o Se as amostras foram digeridas com HNO_3 a $150\text{ }^\circ\text{C}$ / 45 minutos e posteriormente adição de HCl para reduzir Se (VI) a Se (IV).

O As também foi determinado pelos laboratórios da Lakefield Geosol através da mesma técnica empregada no IEC, com limite de detecção de 1 ppm.

Para a determinação de Hg, As e Se trocáveis nos solos se empregou o método de Chao (1984), que utiliza como extrator o NH_4Ac a $\text{pH} = 7,0$.



Figura 17 – Espectrômetro de absorção atômica marca HG- 3500 *modelo* K.K SANSO S.S com gerador de vapor frio do Instituto Evandro Chagas, em Belém-PA empregado na análise de Hg.



Figura 18 – Espectrômetro de absorção atômica marca Varian 220-VGA77 com gerador de hidretos do Instituto Evandro Chagas, em Belém-PA, empregado nas análises de As e Se.

4.3.1.4 Análise de fertilidade

A análise de fertilidade realizada, de acordo com EMBRAPA (1997; 1999a), foi conduzida nos laboratórios de Solos do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Solos da EMBRAPA Amazônia Oriental e Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros, métodos, equipamentos e laboratórios empregados nas análises de fertilidade dos solos.

Parâmetros	Métodos	Equipamentos	Laboratórios
C orgânico	Walkley-Black	Titulômetro	MPEG, EMBRAPA e UFLA
P disponível	Extrator Mehlich-1	Fotocolorímetro	
Na ⁺ e K ⁺ trocáveis		Espectrofotômetro de chama 400 Corning	
Micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn)		EAA	
Ca ²⁺ e Mg ²⁺ trocáveis	Extrator KCl 1N	EAA	
Al ³⁺ trocável		Titulômetro	
H ⁺ +Al ³⁺	Extrator acetato de cálcio 0,5M a pH 7,0	Titulômetro	
pH-H ₂ O	1:2,5	Potenciômetro	
pH-KCl 1N	1:2,5	Potenciômetro	

EAA – Espectrômetro de absorção atômica; MPEG-Museu Paraense Emílio Goeldi

A soma de bases (**SB**), a capacidade de troca de cátions (**CTC**), o índice de saturação por base (**V**), o índice de saturação por alumínio trocável (**m**) e o nitrogênio total (**N total**) foram calculados de acordo com a EMBRAPA (1999) com base nas seguintes fórmulas:

$$\mathbf{SB} = \mathbf{Ca}^{2+} + \mathbf{Mg}^{2+} + \mathbf{K}^{+} + \mathbf{Na}^{+}$$

$$CTC = SB + H^+ + Al^{3+}$$

V = índice de saturação por base= 100 (SB/CTC)

m = índice de saturação por alumínio trocável= 100 ($Al^{3+}/SB + Al^{3+}$)

N_{total} = $MO \cdot 0,05$, visto que a matéria orgânica é $MO = C_{orgânico} \cdot 1,724$

O pH do solo foi determinado em água e KCl, com a finalidade de obter a diferença $pH_{H_2O} - pH_{KCl}$ e, por conseguinte, as cargas do solo (ΔpH).

4.3.1.5 Classificação dos solos

Os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 1999) e com a proposta de Classificação de Solos Antrópicos de Kämpf et al. (2003).

4.3.2 Preparação e análises químicas da mandioca

As amostras da mandioca foram lavadas (raízes e folhas) com água deionizada (Figura 19), as raízes descascadas, e suas cascas separadas em películas suberosas (PL) e cascas (C). A parte carnosa, rica em amido, foi ralada em raladores de plástico com a obtenção de material pastoso, denominado aqui de polpa (P). As amostras de películas (PL), cascas (C) e as polpas (P), bem como as folhas (FL) foram secas sobre bancada à temperatura de 22 °C (Figuras 20 e 21). As películas, cascas e folhas, depois de secas, foram pulverizadas em gral de porcelana e preservadas a 4 °C, (Figura 22).

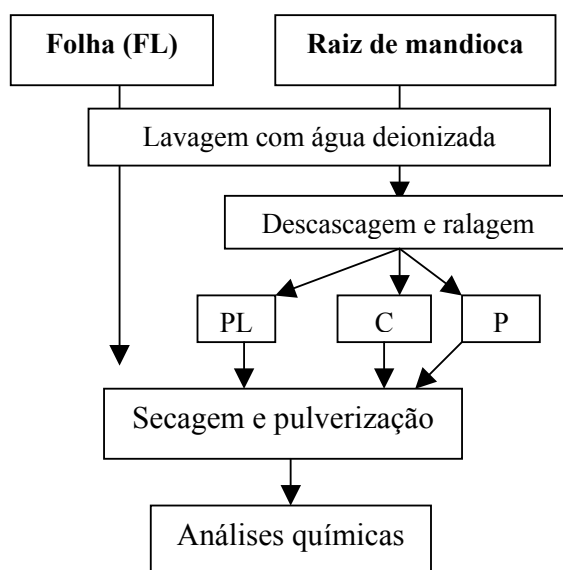


Figura 19 - Fluxograma de preparação das amostras de mandioca (folhas e raízes). PL: película; C: casca; P: polpa.



Figura 20 - Raízes descascadas de mandioca, com a obtenção da casca e da parte carnosa.

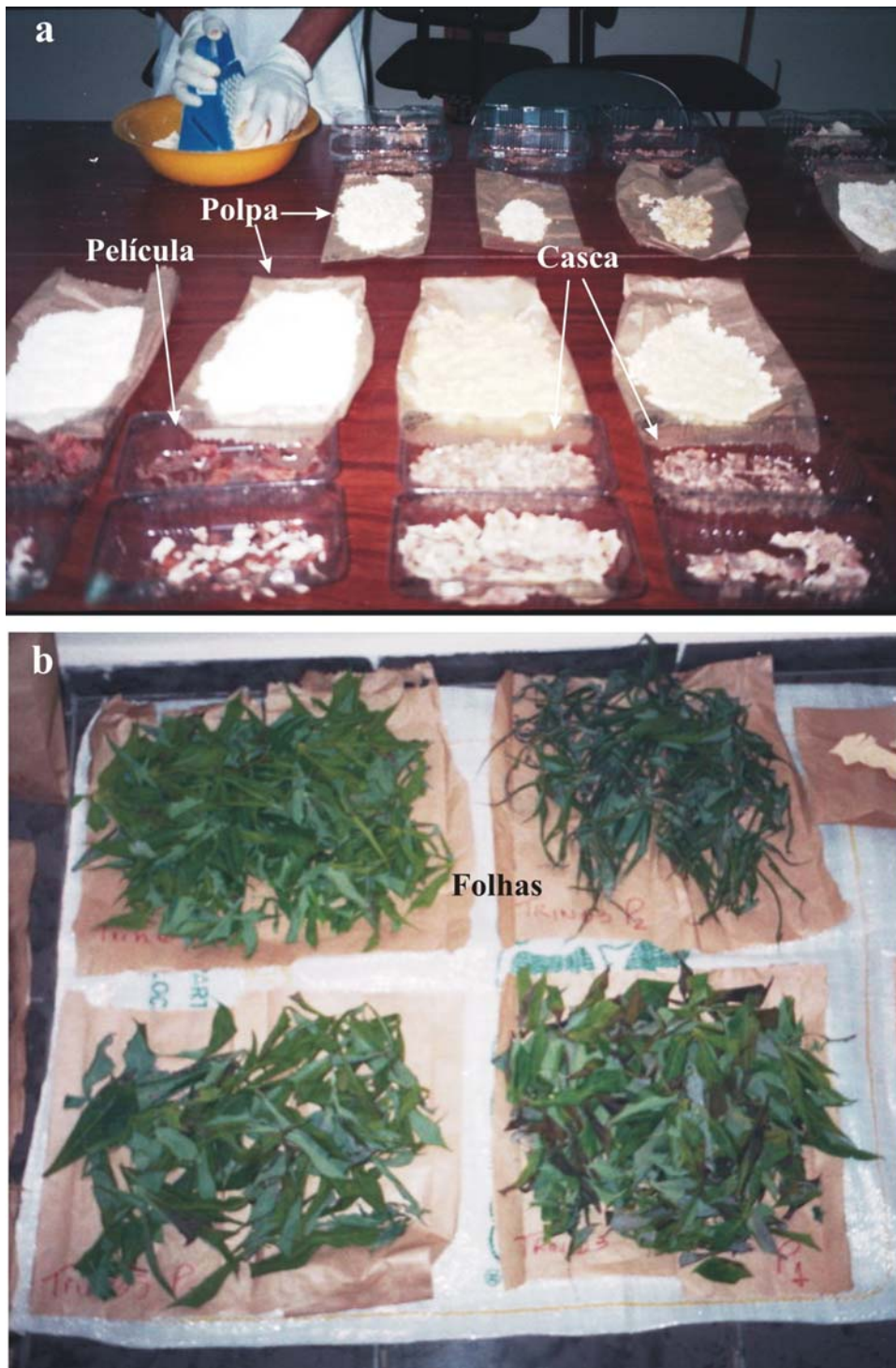


Figura 21 - Fotografia mostrando a preparação das amostras de mandioca. a) ralação da parte carnosa e obtenção da polpa e secagem sobre bancada ao lado das películas e as cascas. b) secagem das folhas de mandioca.



Figura 22 - Amostras de partes da mandioca: a) polpa pulverizada; b) casca pulverizada; c) película cortada e d) folha pulverizada.

Nas amostras de mandioca foram determinados As, Se, Hg, Pb, Fe, S, Al, Ca, Mg, Na, K, P, Mo, Ti, B, Tl, Co, Ni, Ba, Cu, Sc, Cs, Mn, Nb, Sr, Cd, Sb, Rb, Y, Zn, Ag, U, Th, Bi, V, La, Cr, W, Te, Ga, Ge, Hf, Sn, Ta, Zr, Ce, In, Re, Be, Li e Au por ICP-MS nos laboratórios do Acme no Canadá. O mercúrio foi ainda determinado no laboratório de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas (IEC) por espectrometria de absorção atômica - vapor frio (EAA-VF).

4.3.2.1 Tucupi

As amostras de tucupi foram liofilizadas para a separação do material em suspensão (extrato sólido do tucupi) e do líquido (fase líquida do tucupi). Empregou-se o liofilizador

modelo Freezone 6 N/S (Labconco) pertencente ao MPEG (Figura 23). Antes e depois da liofilização do tucupi foram determinados: pH, temperatura, condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD), através do potenciômetro Hanna, modelo HI991300.

Na fase líquida do tucupi foram determinados os ânions PO_4^{3-} , NH_3 , Br_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^- , com auxílio de um espectrofotômetro HACH 2000 e Fe, Ca, Mg, Zn, Na, K, Mn por espectrometria de absorção atômica no Centro de Geociências. Esses elementos também foram analisados, para fim de comparação, juntamente com os elementos As, Se, Hg, V, Ba, Al, Sn, Cr, Cu, Pb, Ti, Co, Sr, Ni, Sb, Be, Ag, Tl, Li e Cd, no Laboratório de ICP-MS e ICP-AES da PUC-Rio, por ICP-MS no modo quantitativo, seguindo a metodologia 200.8 da Environmental Protection Agency (EPA, 1991). O equipamento usado foi o ELAN 6000 da Perkin Elmer/Sciex.



Figura 23 – Imagem do liofilizador Freezone 6 N/S (Labconco) do Museu Paraense Emílio Goeldi.

No extrato sólido do tucupi foram determinados os elementos empregados para as demais partes da mandioca (As, Se, Hg, Pb, Fe, S, Al, Ca, Mg, Na, K, P, Mo, Ti, B, Tl, Co, Ni, Ba, Cu, Sc, Cs, Mn, Nb, Sr, Cd, Sb, Rb, Y, Zn, Ag, U, Th, Bi, V, La, Cr, W, Te, Ga, Ge, Hf, Sn, Ta, Zr, Ce, In, Re, Be, Li e Au) por ICP-MS nos laboratórios do Acme no Canadá.

4.3.3 Análises químicas do tecido capilar

As amostras foram seccionadas em segmentos tão pequenos quanto possíveis e lavadas com acetona e água bidestilada. Após a lavagem as amostras foram secadas à temperatura de 20°C.

Nas amostras de tecido capilar foram determinados Hg pelo método rotineiro do laboratório do Instituto Evandro Chagas (IEC) em Belém, conforme os procedimentos de Akagi e Nishimura (1990) usando padrão de referência GBW 07601 certificado, bem como Al, Bi, As, Pb, U, Sn, Cd, Sb, Ni, Ag, Ba, Th, Hg, Se, Cu, K, S, Mg, P, Mn, Fe, Cr, Na, B, Co, Ca, V, Sr, I, Mo e Zn, no Laboratório de ICP-MS e ICP-AES da PUC-Rio, por ICP-MS (equipamento Perkin-Elmer Sciex ELANTM 5000^a). Este método foi descrito por Miekeley et al. (1998; 2001).

4.4 FATOR DE TRANSFERÊNCIA (FT)

Neste trabalho, a transferência química no sistema solo-mandioca-homem não foi medida diretamente, mas deduzida através do fator de transferência (FT) de Kabata-Pendias; Pendias (1992). O fator de transferência (FT) é a razão entre a concentração de um elemento no tecido da planta e a sua concentração no solo (planta/solo), e do cabelo e na planta (cabelo/planta). Este fator permite classificar os elementos em: ligeiramente disponíveis (FT < 0,001); acumulação leve (FT 0,001-0,01); acumulação média (FT 0,01-1,0) e acumulados intensivamente (FT 1-10), (ALLOWAY, 2005). Para o cálculo de FT, utilizou-se a concentração do elemento em cada parte da mandioca (película, casca, polpa e folha) e os valores totais e trocáveis contidos no solo sob o cultivar mandioca, e as concentrações dos elementos no tecido capilar e na parte comestível da mandioca (polpa e folha).

4.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os dados obtidos neste trabalho foram interpretados estatisticamente com ajuda dos softwares Statistic 5.0, Excel 2003 e Origin 6.1. As concentrações dos elementos maiores, elementos-traços e terras raras nos perfis de solo com TPA (TPA/SR e TPA/CR) foram normalizados com as concentrações dos mesmos nos perfis de suas respectivas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR), visto que as ADs são os substratos para a formação das TPAs. No tratamento dos dados do mineralograma foi utilizado *software Statistic* para avaliar a relação entre as concentrações dos elementos com idade, sexo e inter-elementos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PERFIS DE SOLO

5.1.1 Características físicas e morfológicas

O sítio Raimundo é cultivado há 40 anos pela família do Sr. Raimundo, e, por ocasião do presente trabalho, apresentava arbustos de mandioca e mata secundária pioneira (capoeira baixa). A sua área de TPA com 1,26 ha tem forma ligeiramente elipsoidal e alongada norte-sul (figura 4). Costa (2003) encontrou em 88 sondagens, neste sítio, 68 fragmentos cerâmicos, cujo horizonte antropogênico não ultrapassou os 25 cm e é mais homogêneo na direção sudoeste a nordeste (Figura 24). Na superfície do terreno os fragmentos cerâmicos são freqüentes e dispersos.

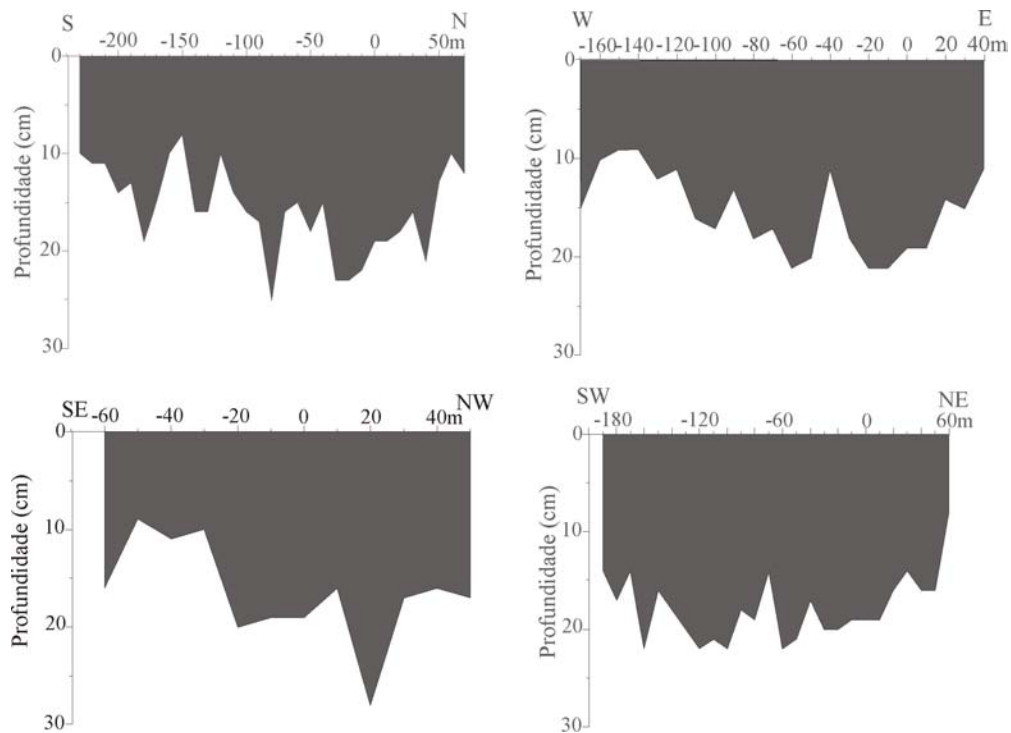


Figura 24 – Espessura da Terra Preta (indicada pelo tom escuro) no sítio Raimundo sem roçado (TPA/SR), segundo as direções norte-sul (N-S), leste-oeste (E-W), sudeste-noroeste (SE-NW) e sudoeste-nordeste (SW-NE), (COSTA, 2003).

O perfil do solo analisado neste sítio sem roçado (TPA/SR) alcança 143+ cm de profundidade e apresenta um horizonte A com espessura de 21 cm e cor preta (10Y R2/1), alguns fragmentos cerâmicos e raízes. Os horizontes de transição AB e BA ocupam o intervalo de profundidade entre 21 a 61 cm e suas cores variam de cinza muito escuro (10Y R3/1) a marrom escuro amarelado (10YR4/6) e no horizonte BA verificaram-se fragmentos de carvão. Os horizontes B textural se estendem de 61 a 143+ cm e mostram cor marrom amarelado (10Y R5/6) a marrom forte (7,5Y R5/6), (Figura 25).

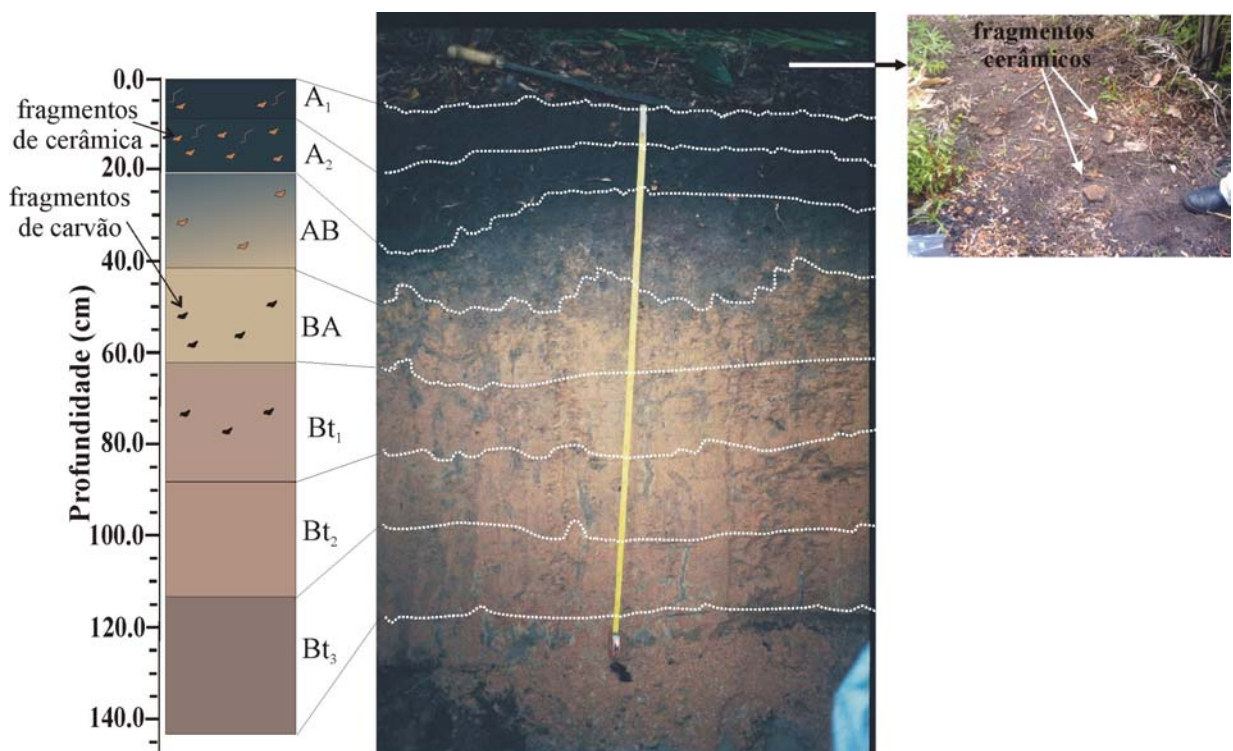


Figura 25 - Perfil de solo no sítio Raimundo com horizonte A antropogênico (tipo TPA) sem roçado (TPA/SR) e fragmentos cerâmicos na superfície do solo. As linhas pontilhadas delimitam os horizontes de solo.

A área adjacente ao sítio Raimundo (AD/SR), com perfil de solo escavado até 143+ cm de profundidade, apresenta horizonte A nos primeiros 14 cm com cor marrom escura (10Y R3/3) e rico em fragmentos de carvão. Os horizontes de transição AB e BA se estendem de 14 a 63 cm de profundidade e apresentam cor marrom (10Y R4/3) e marrom amarelado (10Y R5/6),

respectivamente. O horizonte AB contém alguns fragmentos de carvão. Os horizontes B textural se estendem de 63 a 143+ cm de profundidade. O horizonte Bt₁ tem cor marrom amarelado (10Y R5/8) e os horizontes Bt₂ e Bt₃ são amarelos amarronzados (10Y R6/8), (Figura 26).

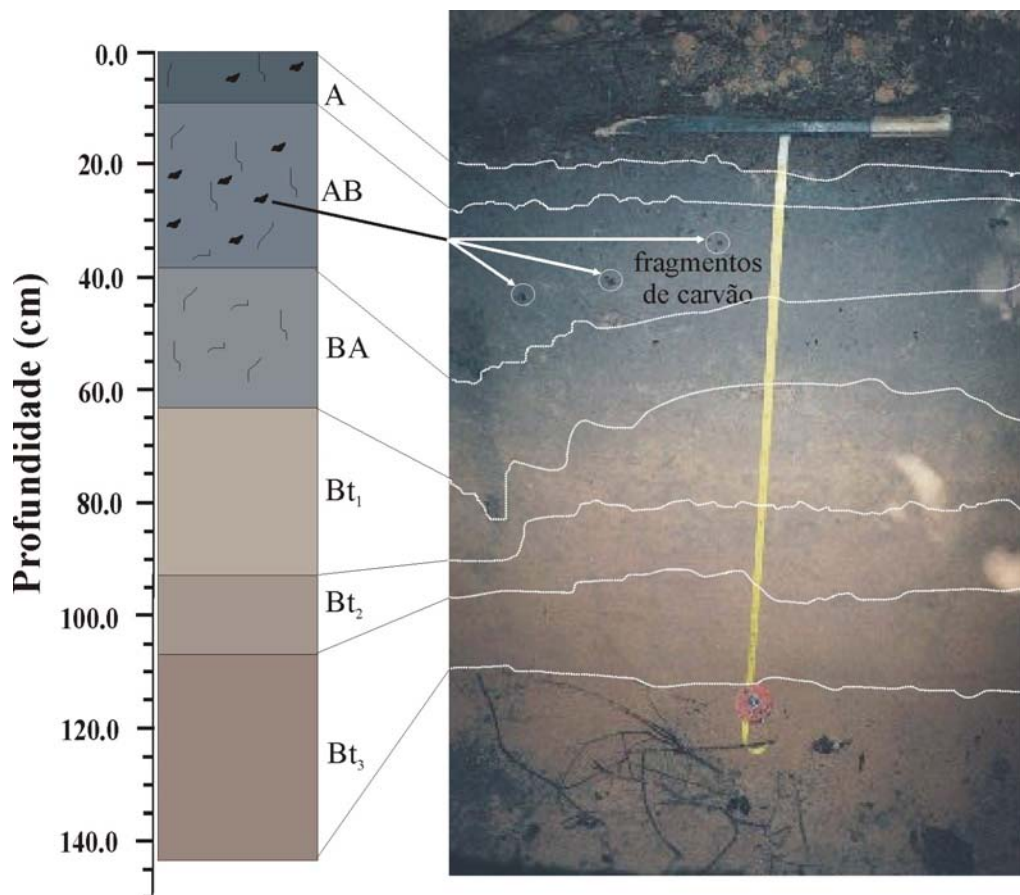


Figura 26 - Perfil de solo na área adjacente ao sítio Raimundo sem horizonte A antropogênico e sem roçado (AD/SR) com fragmentos de carvão (manchas negras nos horizontes nos horizontes A e AB). As linhas pontilhadas delimitam os horizontes de solo.

O sítio Conceição tipo TPA conta com um roçado de mandioca (TPA/CR) e sua área de TPA é de 0,6 ha (Figura 4). O perfil de solo escavado atingiu uma profundidade de 129+ cm, com horizontes A antrópicos nos primeiros 18 cm, de cor preta (10Y R2/1) e com fragmentos cerâmicos e raízes (Figura 27). Os horizontes AB e BA se estendem de 18 a 89 cm, com cor

marrom muito escura (10Y R2/2) a marrom amarelado (10Y R5/8). Os horizontes B textural se estendem a partir de 89 a 129+ cm de cor marrom amarelado (10Y R4/6).

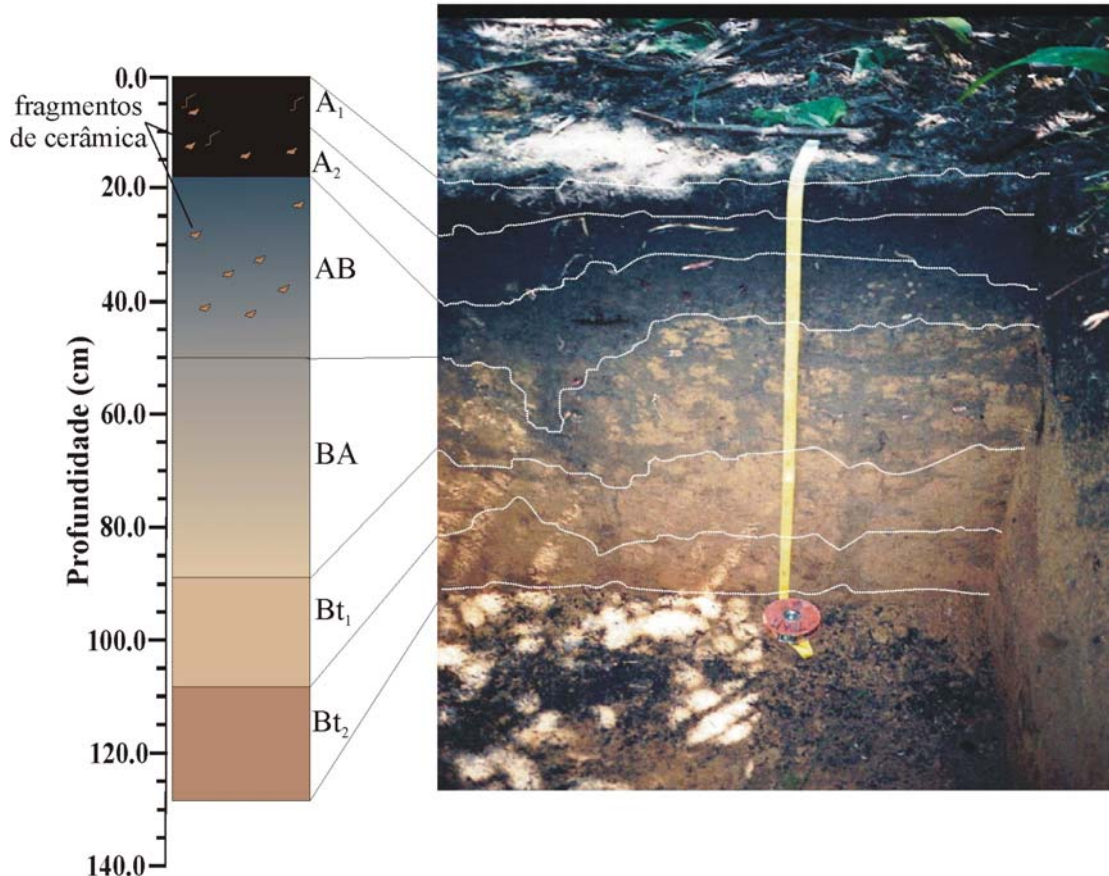


Figura 27 - Perfil de solo no sítio Conceição com horizonte A antropogênico com roçado e a distribuição das frações granulométricas em cada horizonte (TPA/CR). As linhas pontilhadas delimitam os horizontes de solo.

A área adjacente ao sítio Conceição (AD/CR – roçado Martinho) apresenta um perfil de solo com 117+ cm de profundidade. Os primeiros 9 cm de horizonte A contém fragmentos de carvão e tem cor marrom acinzentado muito escuro (10Y R3/2), (Figura 28). Os horizontes de transição AB e BA se estendem de 9 a 45 cm com cor marrom escuro (10Y R3/3) a marrom amarelado escuro (10Y R4/4). Os horizontes B textural se estendem de 45 a 117+ cm, cor marrom amarelado (10Y R5/8).

Em termos gerais os perfis de solo TPA se assemelham entre si e se distinguem da AD quanto à maior profundidade ou espessura dos horizontes A e pela textura mais arenosa.

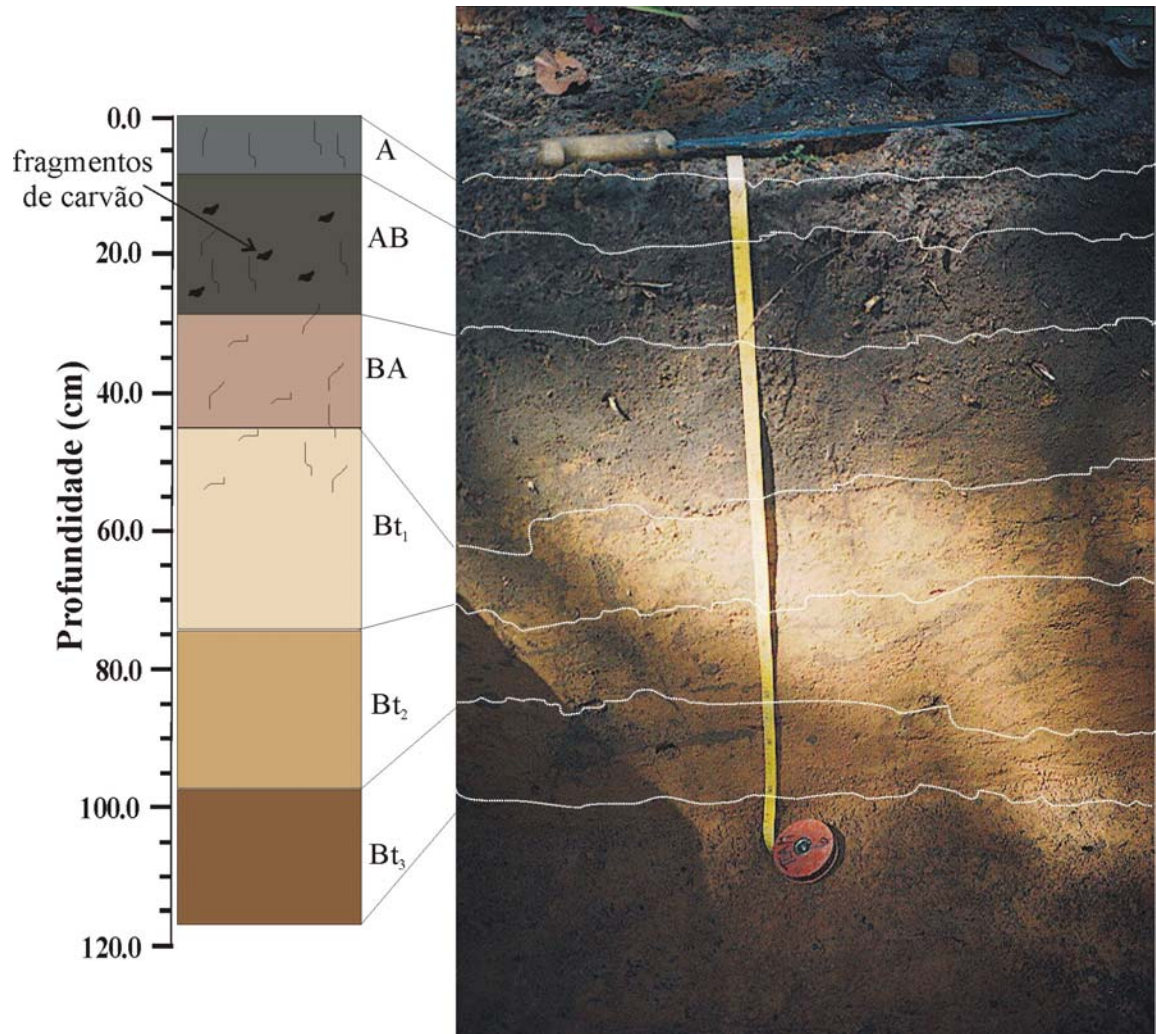


Figura 28 - Perfil de solo na área adjacente ao sítio Conceição sem horizonte A antropogênico e com roçado (AD/CR – Roçado Martinho). As linhas pontilhadas delimitam os horizontes de solo.

5.1.2 Análise granulométrica

O solo nos horizontes A do sítio Raimundo com TPA e sem roçado (TPA/SR) apresenta granulometria areia siltica, a areia siltico-argilosa até argila-arenosa nos horizontes B (Figura 29).

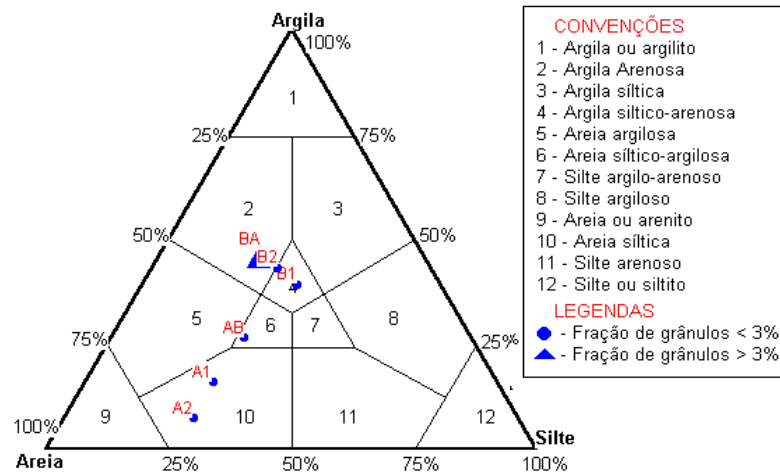


Figura 29 – Distribuição granulométrica, através do diagrama de Shepard, nos principais horizontes de solos (A₁, A₂, AB, BA, B₁ e B₂) no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

O solo na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR) apresenta granulometria areia siltica no horizonte A, enquanto os horizontes B areia argilosa (Figura 30).

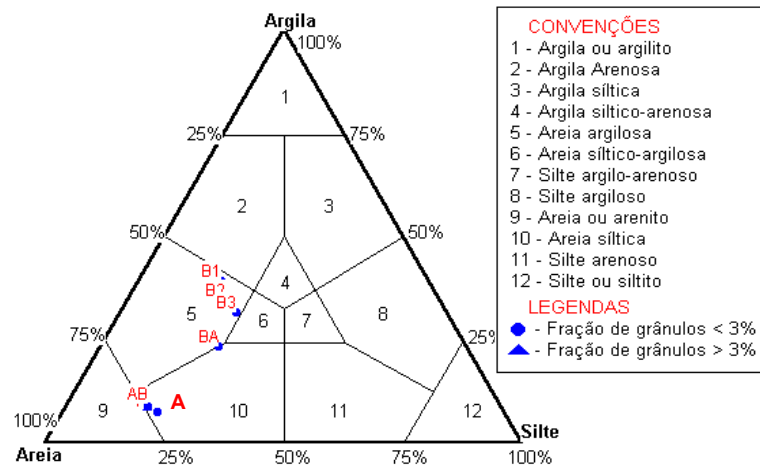


Figura 30 – Distribuição granulométrica, através do diagrama de Shepard, nos principais horizontes de solos (A, AB, BA, B₁, B₂ e B₃) na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR).

No sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) o solo nos horizontes A apresenta granulometria areia a areia siltica, enquanto nos horizontes B varia de areia siltica a argilosa (Figura 31).

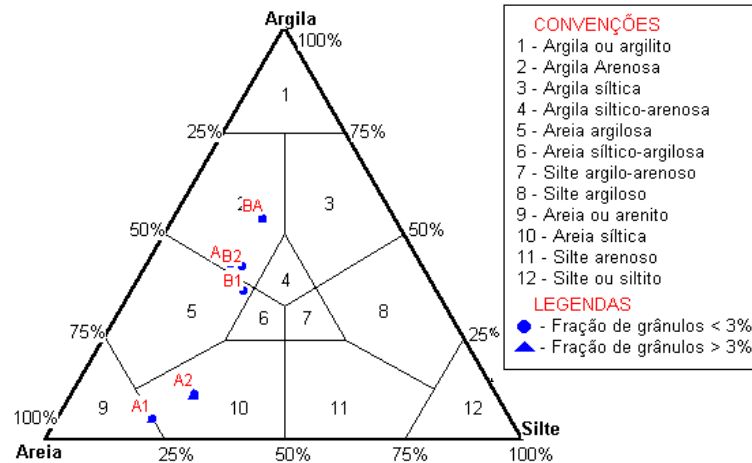


Figura 31 – Distribuição granulométrica, através do diagrama de Shepard, nos principais horizontes de solos (A₁, A₂, AB, BA, B₁ e B₂) no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).

A granulometria do solo do horizonte A na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR) é predominantemente areia, com aumento da profundidade, nos horizontes B, varia de areia siltica a argila arenosa (Figura 32).

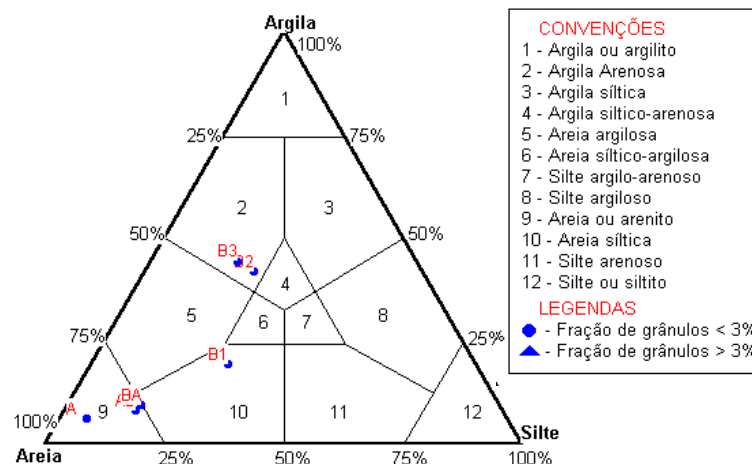


Figura 32 – Distribuição granulométrica, através do diagrama de Shepard, nos principais horizontes de solos (A, AB, BA, B₁, B₂ e B₃) na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR - Roçado Martinho).

Em todos os perfis de solo, domina a fração areia fina sobre a areia grossa, ao contrário do que foi observado por Kern (1996) no sítio Manduquinha em Caxiuana.

Os solos com TPA apresentam granulometria variável de arenosa a argilosa com conteúdos médios de areia total, silte e argila de 282, 235 e 315 g.kg⁻¹, respectivamente, enquanto os solos adjacentes de 381, 192 e 223 g.kg⁻¹. A fração areia predomina nos horizontes A em todos os perfis, e diminui com a profundidade, ou seja, dentro da normalidade dos solos em geral. Os solos nos sítios com roçados são mais arenosos do que aqueles sem roçado.

5.1.3 Características mineralógicas

A mineralogia em todos os perfis de solos está representada por quartzo, caulinita e goethita e/ou hematita, os dominantes; anatásio, muscovita e illita como acessórios a raros (Figuras 33, 35, 37 e 39), equivalente à mineralogia encontrada por Kern (1996), Gurjão (2003), Ruivo et al. (2006) em solos com TPA nas regiões de Caxiuanã, Santarém,/Belterra, Juruti/Tabatinga e Manaus e Kronberg et al. (1979) em solos da região Amazônia. Caulinita e illita foram confirmados através de lâminas orientadas, glicoladas e aquecidas (figuras 34, 36, 38 e 40).

As figuras 33 a 40 mostram que quartzo e anatásio concentram-se preferencialmente nos horizontes A, enquanto caulinita e hematita nos horizontes B textural. Os perfis não mostram contrastes mineralógicos entre si. Os dados quantitativos obtidos por cálculos estequiométricos confirmam as observações difratométricas, ressaltando os valores crescentes de quartzo e anatásio para o topo dos perfis e de caulinita e hematita + goethita para a base (horizontes B textural), (Figura 41). A caulinita corresponde em geral a mais de 50 % em peso, variando de 30 a 83 %, enquanto o quartzo varia de 4 a 48 % e hematita + goethita de 3 a 6 %.

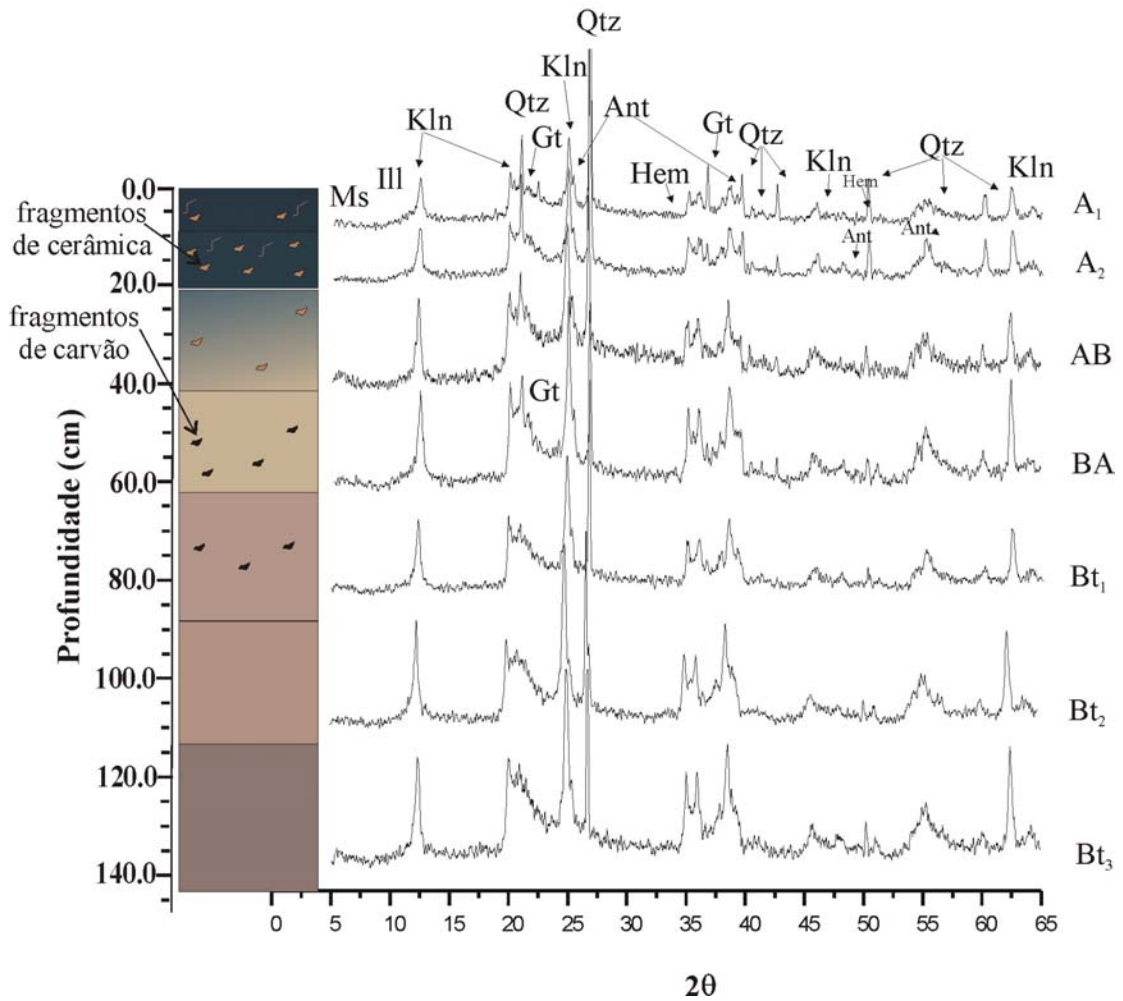


Figura 33 – Difractogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais identificados no perfil de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR): quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (Ill) e muscovita (Ms).

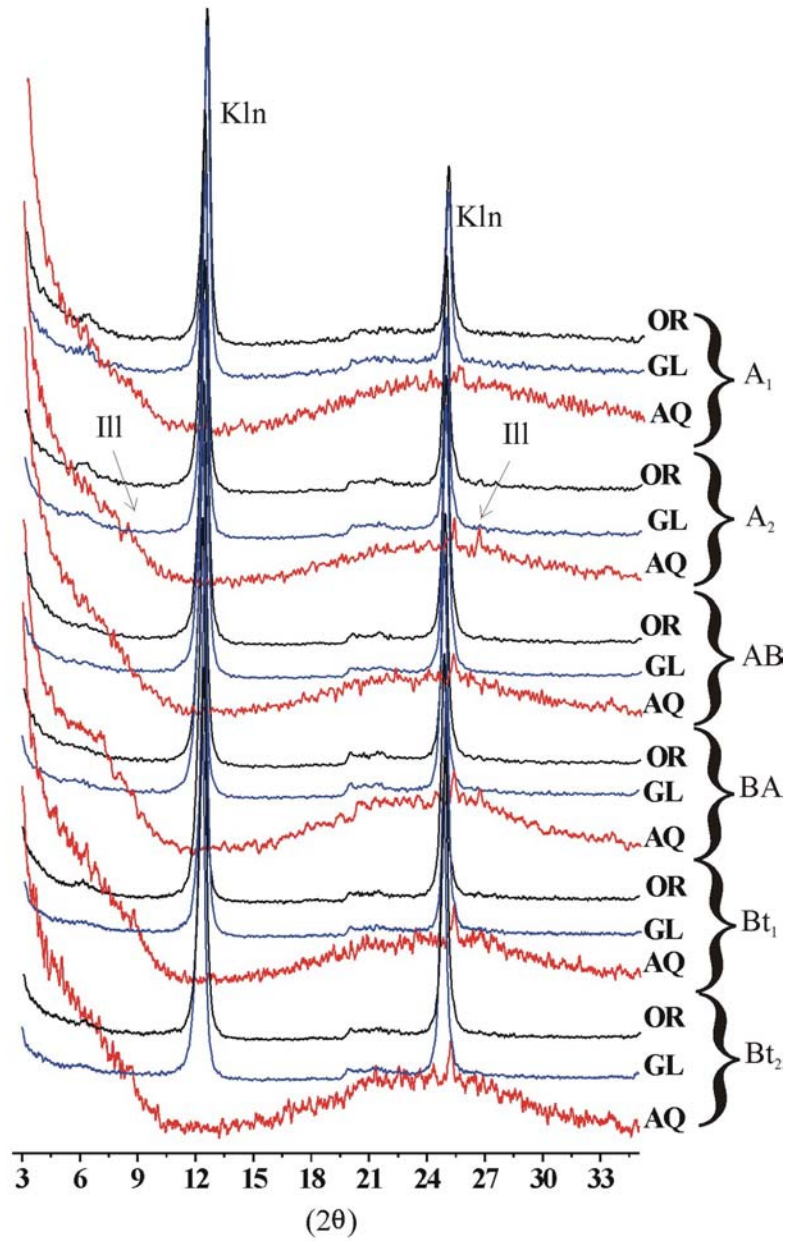


Figura 34 - Difractogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais de argila em lâmina orientada identificados no perfil de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR): caulinita (Kln); illita (Ill). OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.

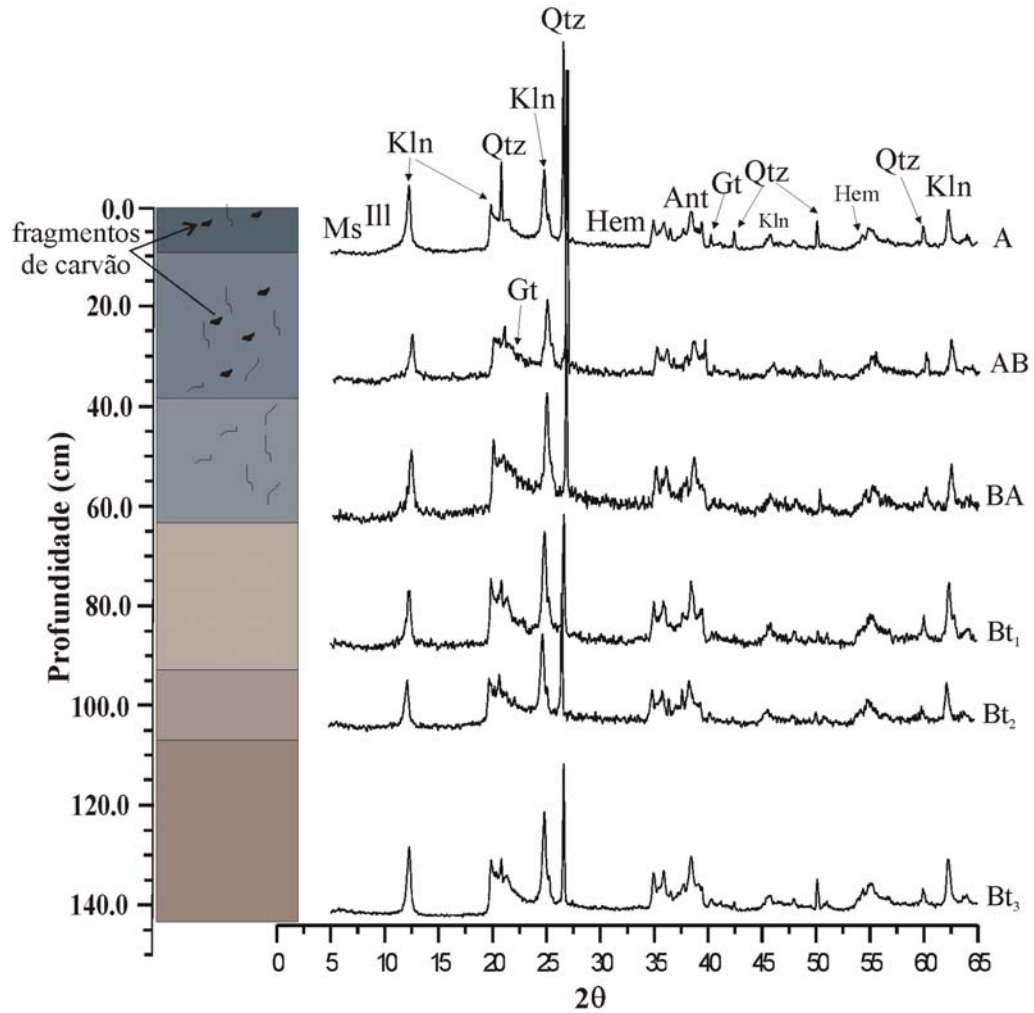


Figura 35 - Difratoformas de raios x mostrando a distribuição dos minerais identificados no perfil de solo da área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR): quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (Ill) e muscovita (Ms).

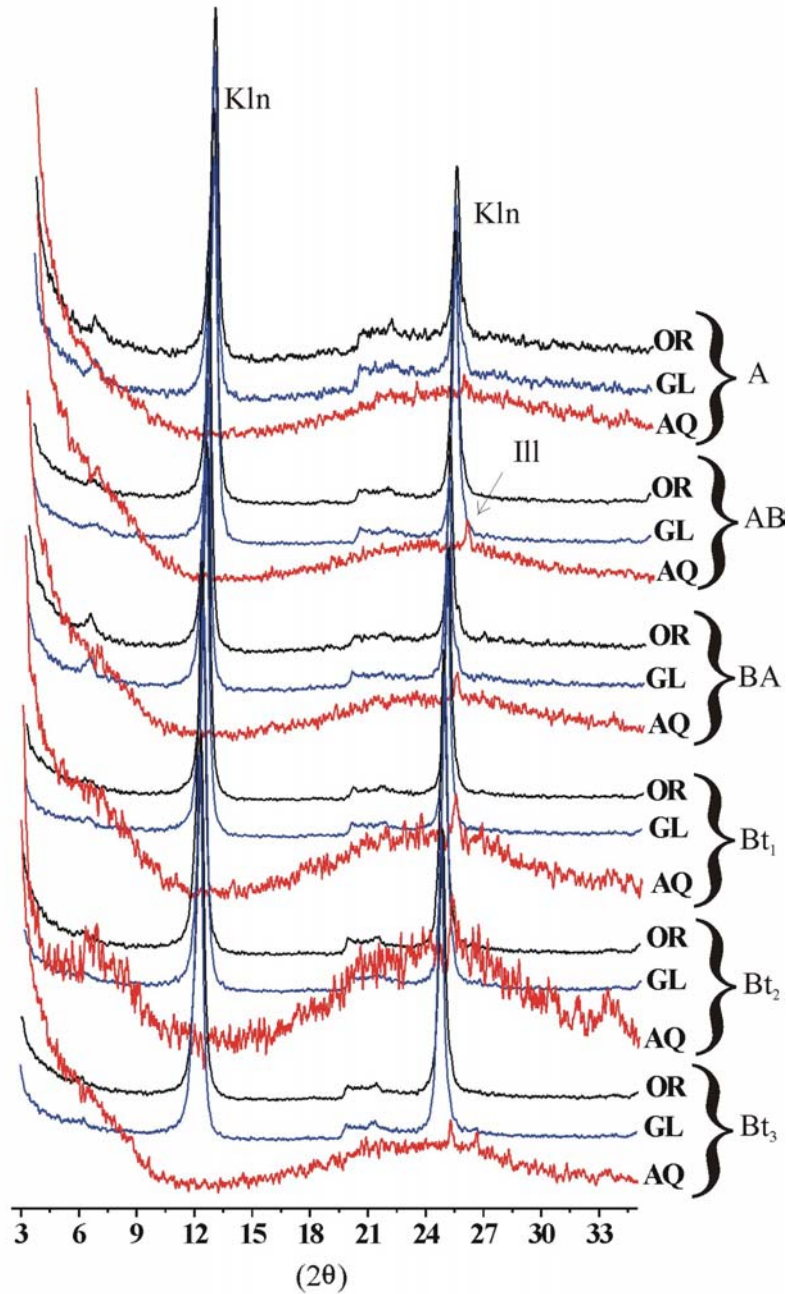


Figura 36 - Difractogramas de raios-x mostrando a distribuição dos minerais de argila identificados no perfil de solo da área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR): caulinita (Kln); illita (Ill). OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.

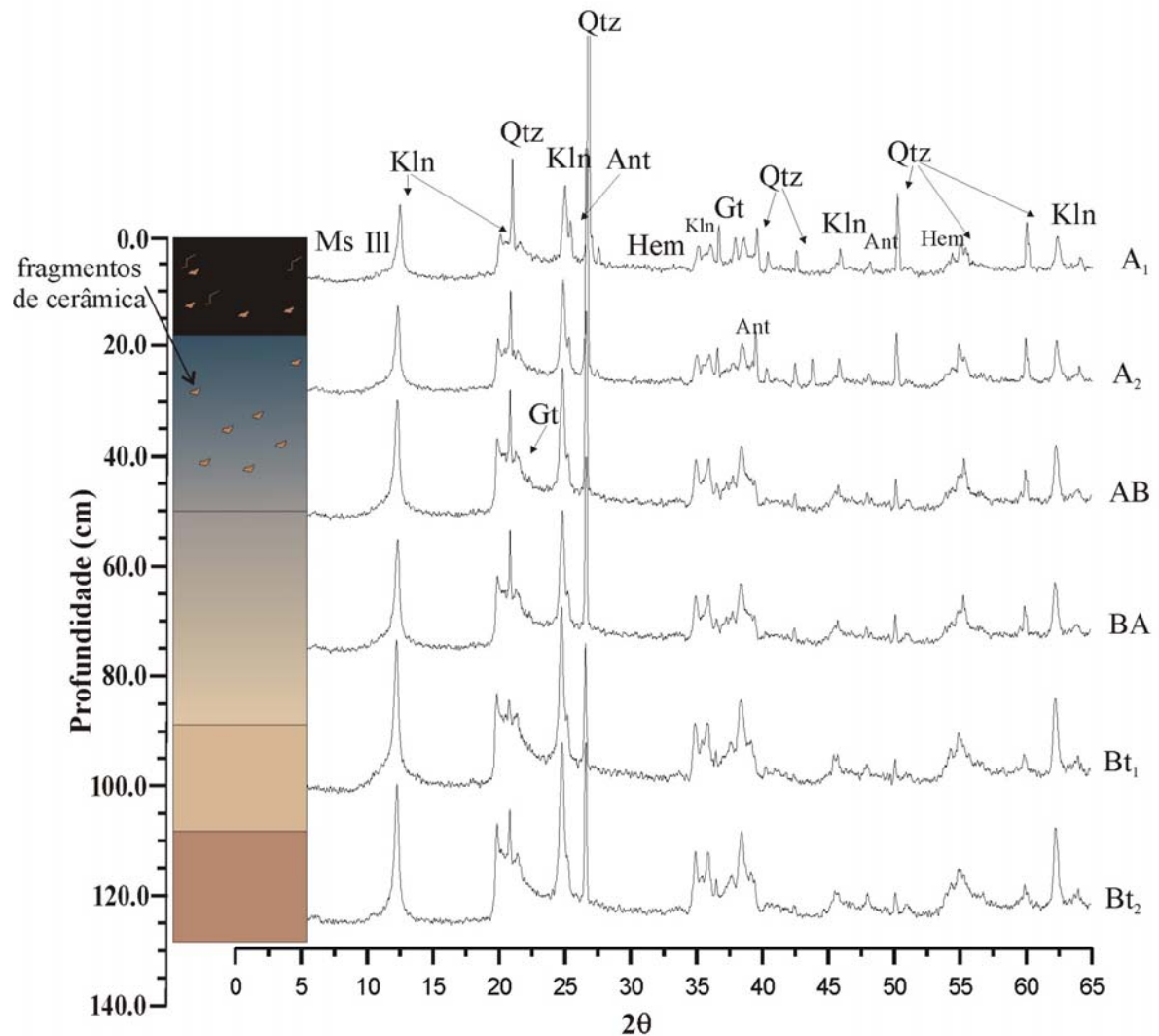


Figura 37 - Difratogramas de raios-x mostrando a distribuição dos minerais identificados no perfil de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR): quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (Ill) e muscovita (Ms).

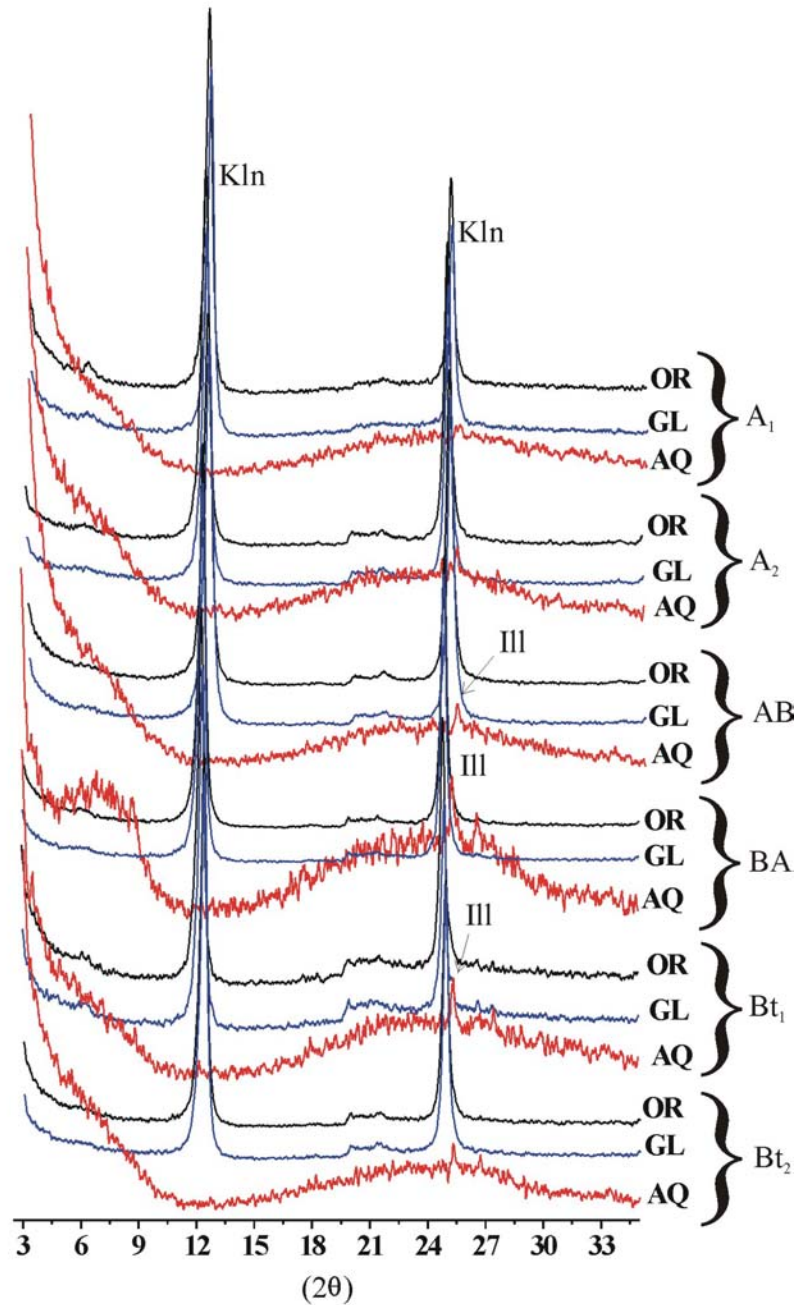


Figura 38 - Difractogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais de argila identificados no perfil de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR): caulinita (Kln); illita (Ill). OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.

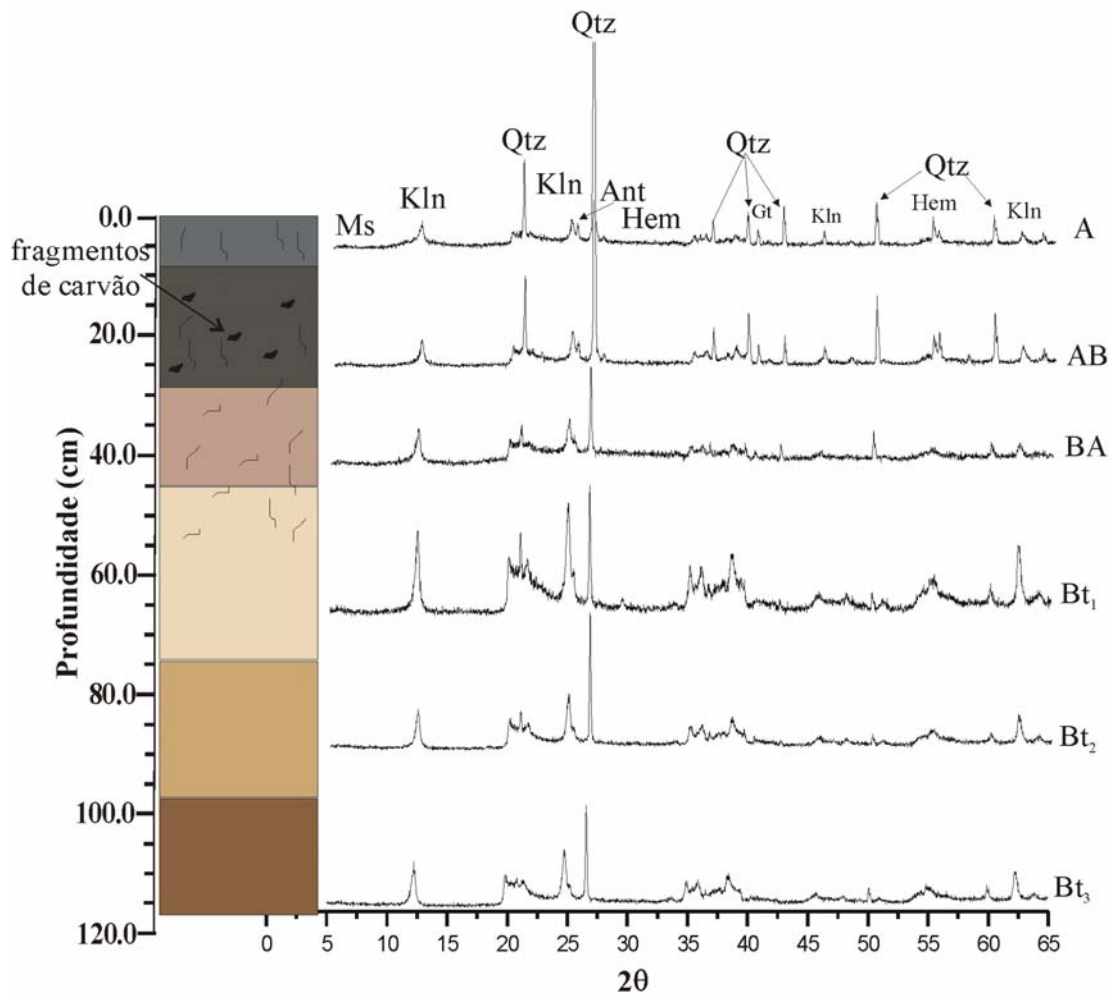


Figura 39 - Difractogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais identificados no perfil de solo da área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho): quartzo (Qtz); caulinita (Kln); hematita (Hem); goethita (Gt); anatásio (Ant); illita (Ill) e muscovita (Ms).

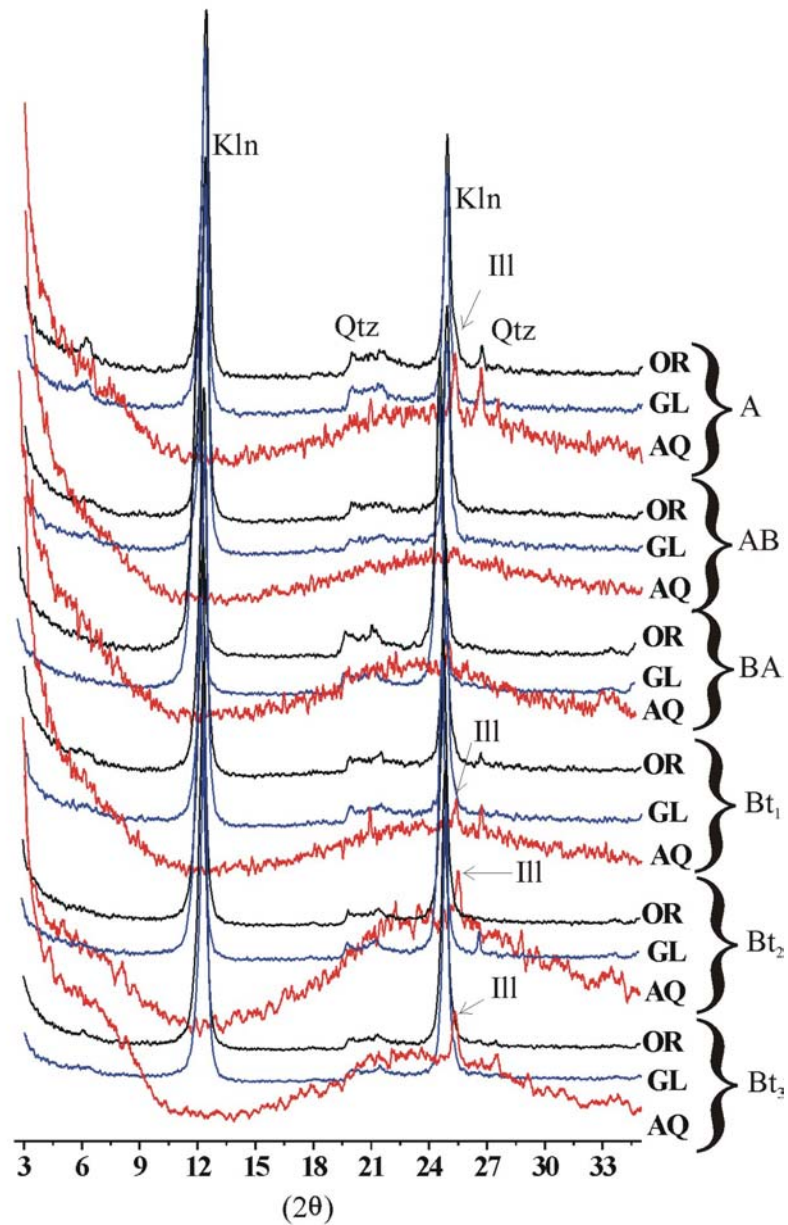


Figura 40 - Difrátogramas de raios x mostrando a distribuição dos minerais de argila identificados no perfil de solo da área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho): caulinita (Kln); illita (Ill). OR: orientada; GL: glicolada; AQ: aquecida.

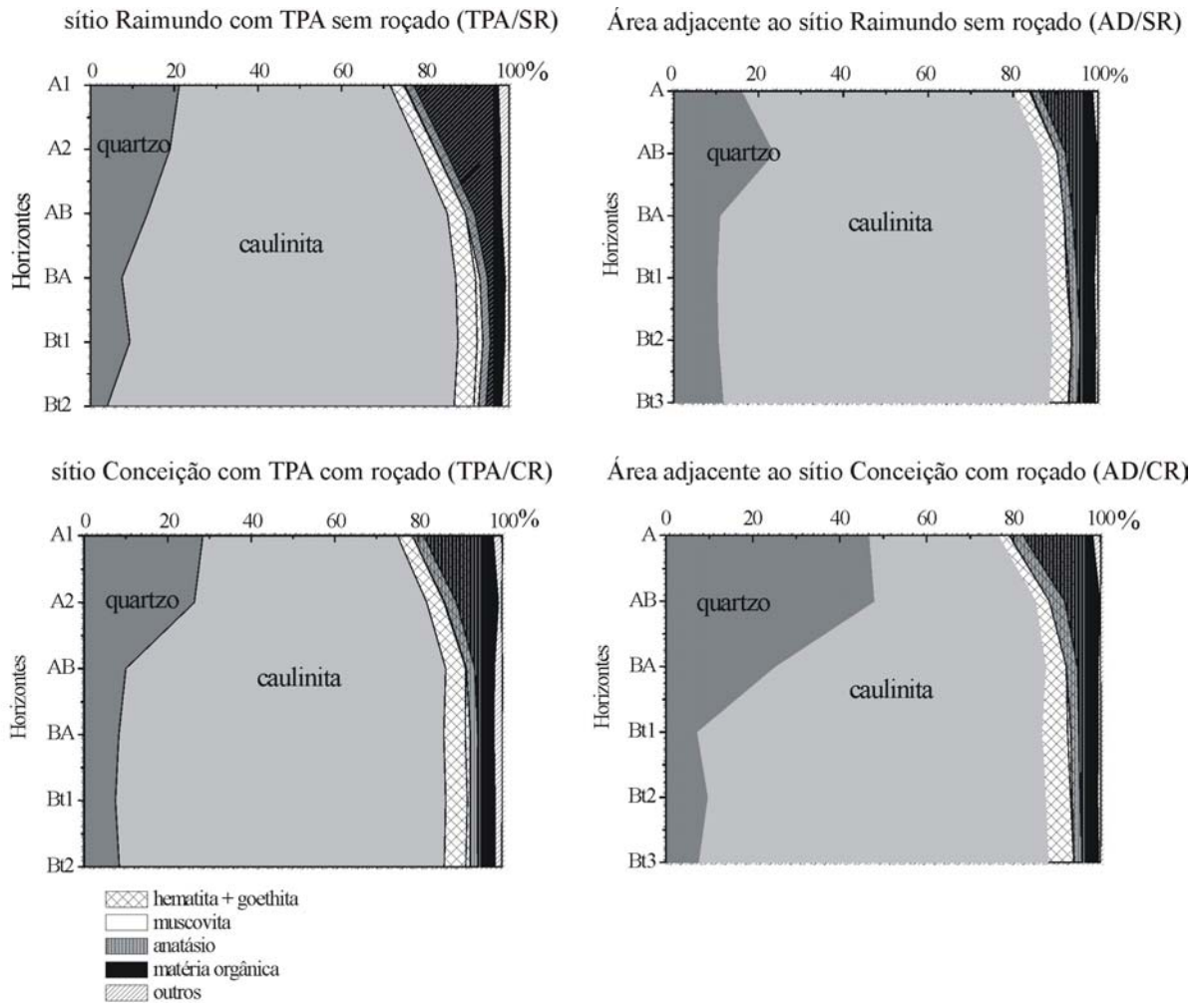


Figura 41 - Distribuição das concentrações dos principais minerais e matéria orgânica ao longo nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR), área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho).

5.1.4 Composição química nos perfis de solo

5.1.4.1 Elementos maiores e menores

Os solos são compostos principalmente de SiO_2 e Al_2O_3 , além de Fe_2O_3 e TiO_2 . As concentrações médias de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 em solos com TPA foram, respectivamente, 46,6 %, 27,8 %, 4,4 % e 2,1 %, enquanto os solos nas áreas adjacentes exibem concentrações médias de 50,2 %, 26,6 %, 4,6 % e 2,3%. Esses resultados mostram que os dois sítios com TPA aqui estudados (TPA/SR e TPA/CR) são quimicamente semelhantes entre si, mas divergem em termos de concentração química de outros sítios com TPA em Caxiuanã (Tabela 4), principalmente quanto ao conteúdo de SiO_2 e Al_2O_3 (Figura 43). Os sítios TPA/SR e TPA/CR são mais pobres em SiO_2 e, conseqüentemente, mais ricos em Al_2O_3 , ou seja, pobres em quartzo e ricos em caulinita, porém o teor de P_2O_5 é similar aos outros sítios. Os valores médios de SiO_2 (53 %) e Al_2O_3 (19 %), nas áreas adjacentes, estão acima da média encontrada por Vieira; Santos (1987) em Latossolos Amarelos distróficos da Amazônia. Os teores de MnO encontrados nas TPA deste estudo são elevados comparados à outras TPAs na região de Caxiuanã (Tabela 4).

Tabela 4 - Concentrações médias (%) dos elementos maiores nos horizontes A nos perfis de solos com TPA em Caxiuanã comparados com Latossolos da Amazônia e com a média da crosta terrestre superior (CTS).

Sítios em Caxiuanã	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
Sítio Raimundo TPA/SR	45,9	21,8	3,5	2,2	0,1	0,16	0,74	0,10	0,02	0,18
Área Adjacente (AD/SR)	46,0	25,4	3,9	2,1	0,01	0,05	<0,01	0,09	0,04	0,07
Sítio Conceição TPA/CR	51,2	20,2	3,8	2,7	0,04	0,14	0,45	0,08	0,02	0,13
Área Adjacente (AD/CR)	60,5	11,8	2,6	3,1	0,04	0,1	0,25	0,07	0,01	0,08
Sítio Ilha de Terra com TPA ^{a, b}	74,6	7,6	2,0	0,8	na	na	na	na	na	na
Sítio Manduquinha Norte com TPA ^c	65,0	12,6	3,3	1,3	0,02	0,4	0,9	0,3	0,1	0,09
Sítio Manduquinha Sul com TPA ^c	74,9	5,83	2,4	1,1	0,03	0,02	0,5	0,1	0,2	0,1
Sítio Mina II com TPA ^c	78,0	6,34	1,4	1,76	na	na	na	0,04	na	na
Sítio Ponta Alegre com TPA ^c	na	na	2,5	na	na	na	na	0,2	na	0,2
Outras regiões										
Sítio da Matriz com TPA (Quatipuru-PA) ^{c, d}	na	na	na	na	0,04	0,06	0,2	0,01	0,1	0,5
TPA (Santarém-PA) ^e	4,47	4,11	1,32	na	na	na	na	na	na	0,27
Terra Preta com roçado (Manacapuru-AM) ^f	16,1	13,7	5,6	na	na	na	na	na	na	na
Latossolos Amarelos distróficos (LAd) ^g	17,8	17,4	8,3	na	na	na	na	na	na	na
Latossolos Amarelos ^h	36,7	20,6	18,8	1,97	0,11	0,02	0,003	0,006	0,03	0,15
Latossolos Amarelos ⁱ	68,66	17,26	5,36	0,73	-	-	-	-	-	-
Crosta Terrestre Superior	64,9	14,6	4,4	0,52	0,07	2,24	4,12	3,46	3,45	0,15

^a Gurjão (2003); ^b Meireles (2004); ^c Kern (1996); ^d Kern et al. (2002); na = não analisado; ^e Sombroek (1966); ^f Vieira (1988); ^g LAd = Latossolo Amarelo distrófico (VIEIRA; SANTOS, 1987); ^h Horizonte A perfil de solo Norte de Marabá região Amazônica (KRONBERG et al., 1979); ⁱ Latossolo Amarelo perfil de solo Mosqueiro (Horbe, 1995); CTS = Crosta Terrestre Superior (WEDEPOHL, 1995).

A distribuição dos elementos químicos nos perfis de solos com TPA e suas áreas adjacentes mostram padrões muito distintos entre si, principalmente em termos de concentrações absolutas, marcadamente para MnO , MgO , CaO , K_2O , Na_2O e P_2O_5 , relativamente concentrados nos solos TPA, especialmente nos horizontes A_1 e A_2 tanto para o sítio Raimundo como para o sítio Conceição (Figuras 42 e 43). Estas são, portanto, as grandes distinções entre solo tipo TPA e a própria área adjacente. As tendências à diminuição dos teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 e aumento de SiO_2 e Perda ao Fogo em direção aos horizontes A está plenamente compatível com a evolução clássica dos latossolos sob clima tropical com cobertura de floresta tropical (SOMBROEK, 1966).

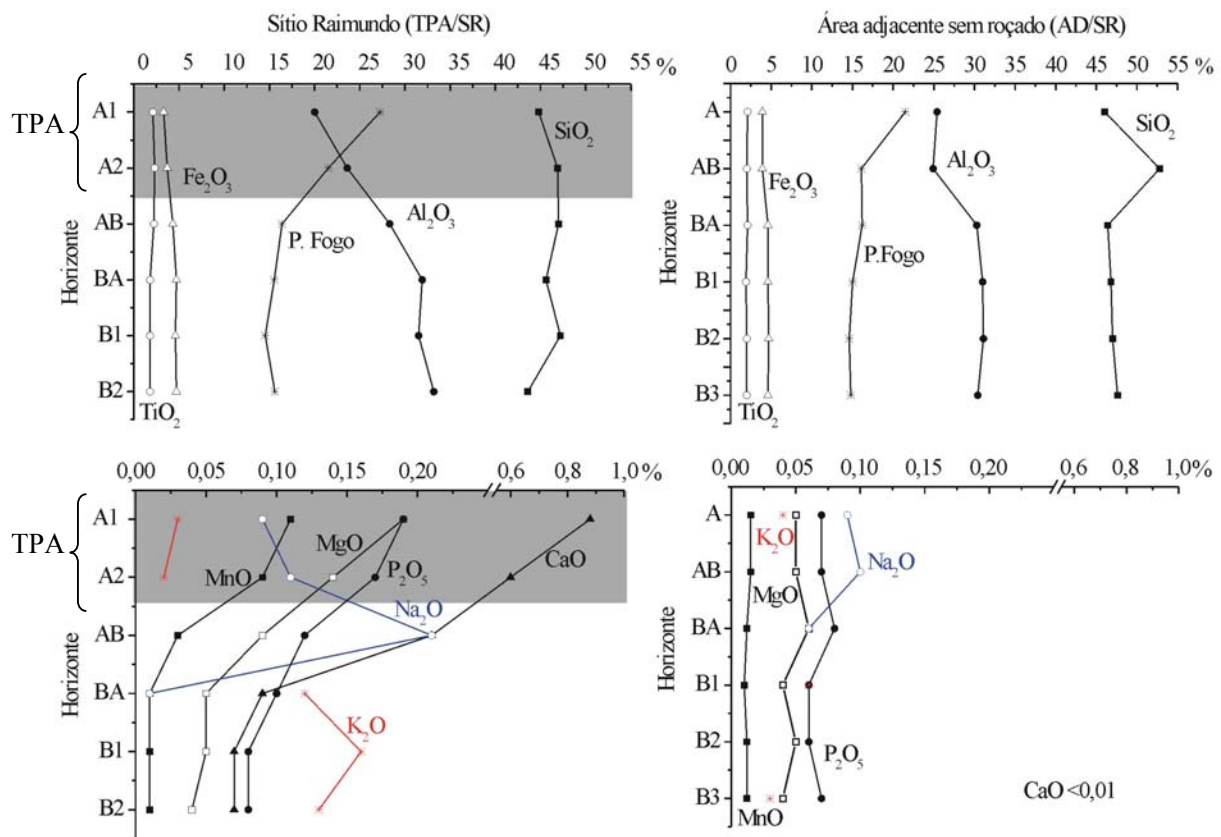


Figura 42 – Variação das concentrações dos elementos maiores e menores nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR). A área cinza corresponde ao domínio de TPA.

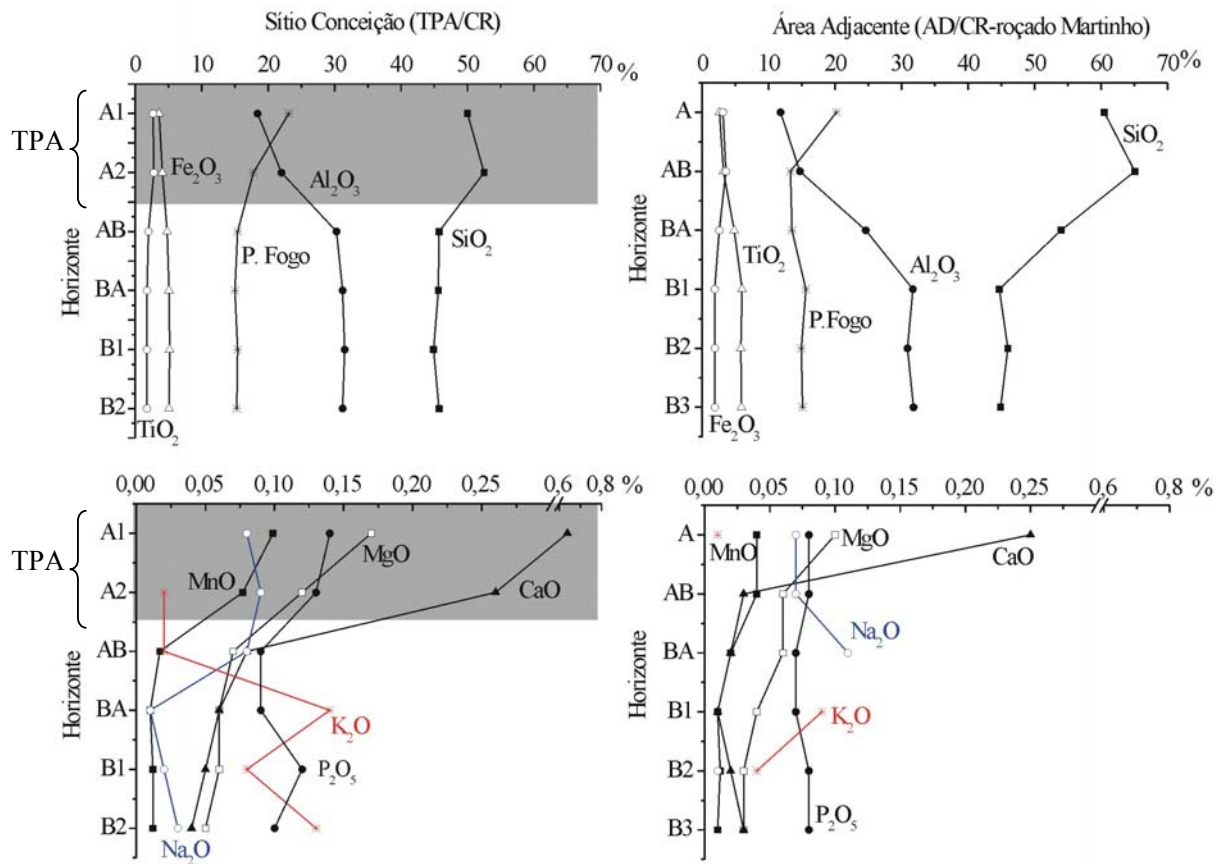


Figura 43 - Variação das concentrações dos elementos maiores e menores nos perfis de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e a área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio de TPA.

A normalização dos perfis de TPA (TPA/SR e TPA/CR) com seus respectivos perfis nas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR), admitindo que estes formam o substrato para a formação das TPA, mostra que K_2O e Na_2O se enriquecem principalmente nos horizontes B, enquanto MgO , CaO , MnO e P_2O_5 se enriquecem nos horizontes A (Figura 44) esses elementos estão relacionados aos resíduos de origem animal e vegetal (BRITO; VENDRAME; BRITO, 2005; RIBEIRO, 2006). No perfil TPA/SR não foi possível normalizar os valores de CaO , pois suas concentrações encontram-se abaixo do limite de detecção na AD/SR. Portanto, os Argissolos receberam a contribuição de materiais ricos em Mg, Ca, Mn e P ao longo de sua transformação para TPA.

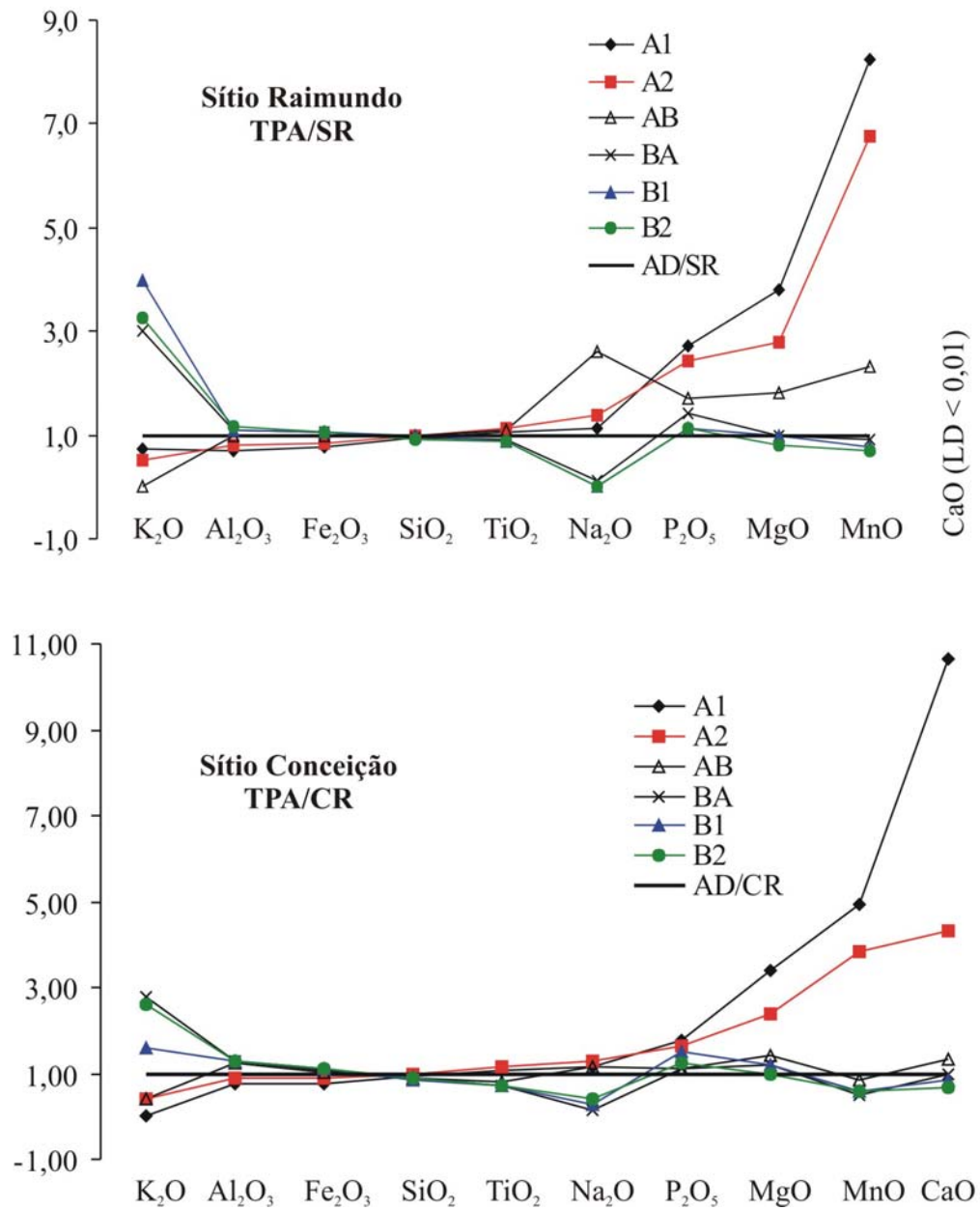


Figura 44 - Distribuição dos elementos maiores e menores nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) normalizados com suas respectivas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR).

5.1.4.2 Elementos-traço

Os elementos-traço, nos perfis de solos estudados, mostram padrão de distribuição de seus teores semelhantes entre os solos tipo TPA e solos AD (Figuras 45 e 46), com distinções apenas nos teores de alguns destes elementos, como Ba, Sr e Rb, mais elevados na TPA. Os horizontes A, independentemente se TPA ou AD, caracterizam-se pelo enriquecimento em Ag, Sc, Th, Y, Hf, (Nb), Ta e Zr. Sr, Ba e Rb se enriquecem apenas nos horizontes A da TPA. Os maiores fatores de enriquecimento são apresentados pelo Zr, seguido por Hf, Nb (em parte), Ba, Sr e Rb na TPA. O grande enriquecimento Zr, bem como Hf e Nb (Figura 47) corresponde ao acúmulo residual do zircão, mineral portador destes elementos, e mesmo de Th, Sc e Y, observado na fração pesada (CASTELO, 2006). Ba, Sr e Rb respondem pela abundância de matéria orgânica e ainda pelos fragmentos cerâmicos ricos em fósforos, por vezes fragmentos de conchas (carbonato de cálcio). Em relação aos demais solos de Caxiuanã, destacam-se as altas concentrações de Zr, Hf e Y, a exemplo do sítio Manduquinha (KERN, 1996), (Tabela 5). Por outro lado Ga, V, Cr, Sn, Co, Sb e (Pb) se empobrecem dos horizontes B para os horizontes A (Figuras 45 e 46). O maior empobrecimento relativo está apresentado por Cr e V, independentemente se TPA ou AD. Cr e V, além de Ga, Co e Sb, representam a decomposição dos óxi-hidróxidos de Fe (hematita e goethita) presentes nos horizontes B e quase ausentes nos horizontes A, parcialmente decompostos pela matéria orgânica, em grande quantidade. Excetuando os elevados valores de Zr e os Ba e Sr, os teores e o padrão de sua distribuição nos perfis de solos estudados se equivalem à maioria dos Latossolos já investigados na Amazônia, a exemplo de Horbe (1995). Os elementos-traço Cu, Zn, In, Tl e Bi encontram-se em geral em concentrações abaixo do limite de detecção em todos os perfis.

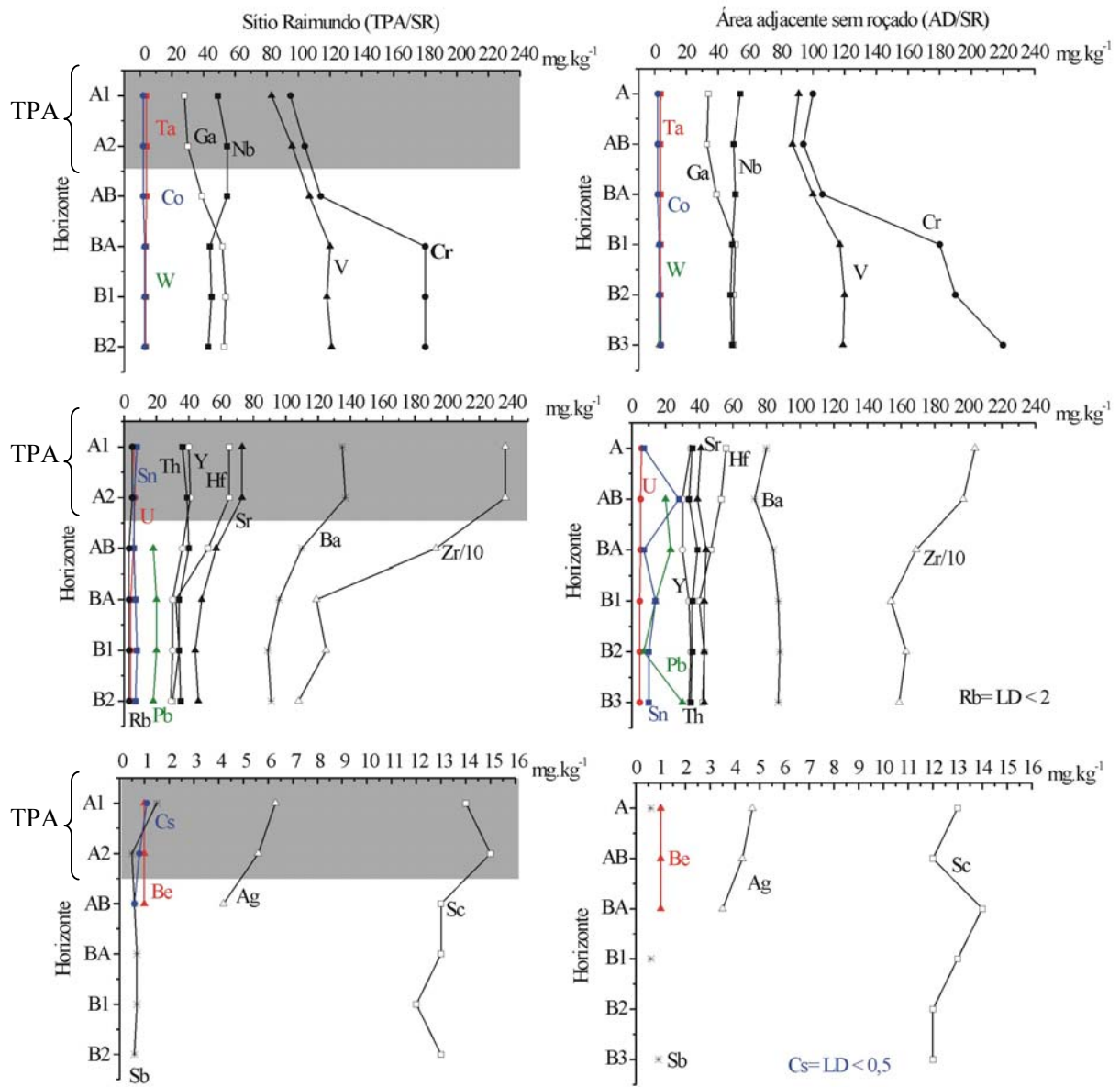


Figura 45 - Variação das concentrações dos elementos-traço nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e a área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR).

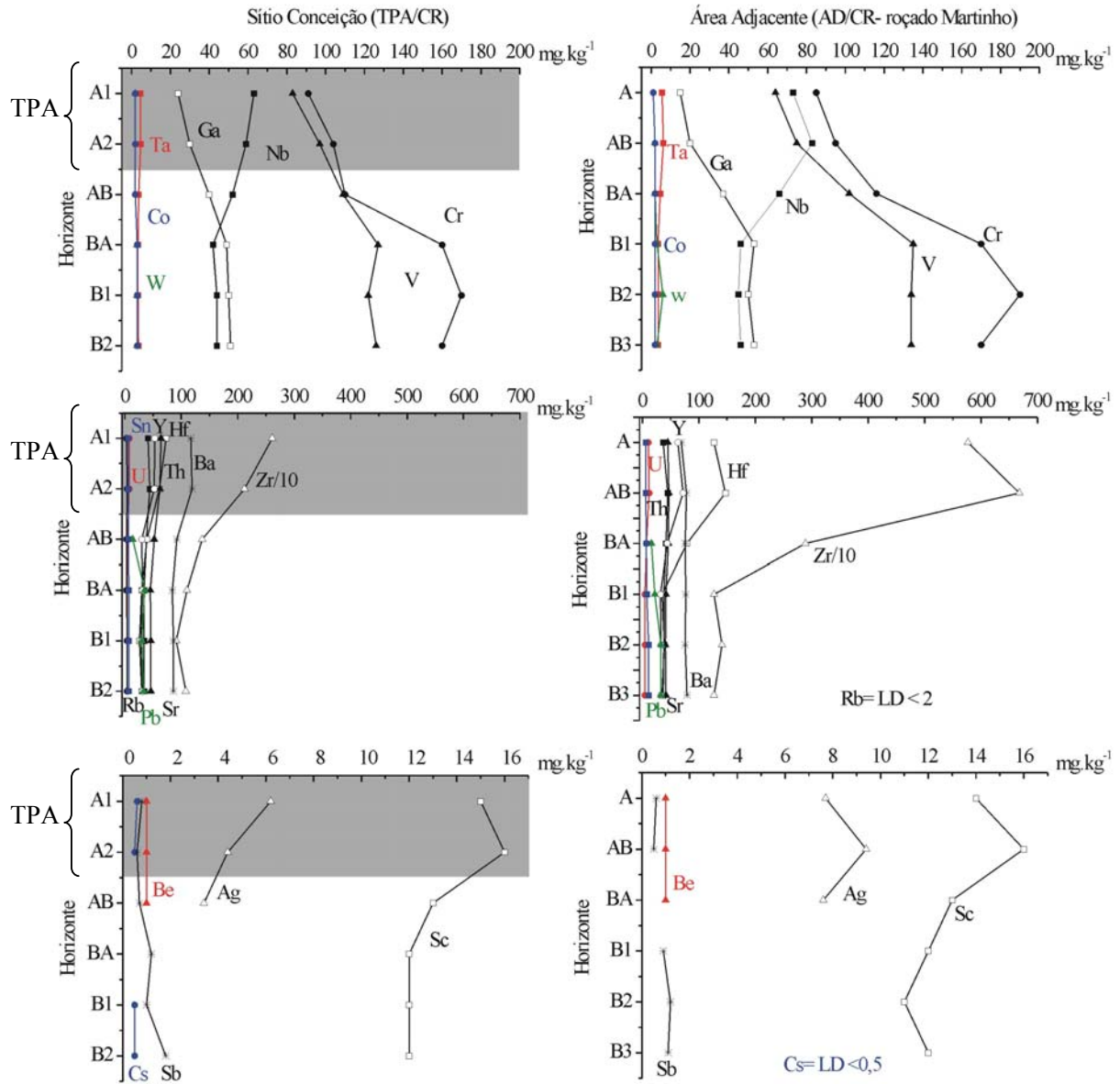


Figura 46 - Variação das concentrações dos elementos-traço nos perfis de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho).

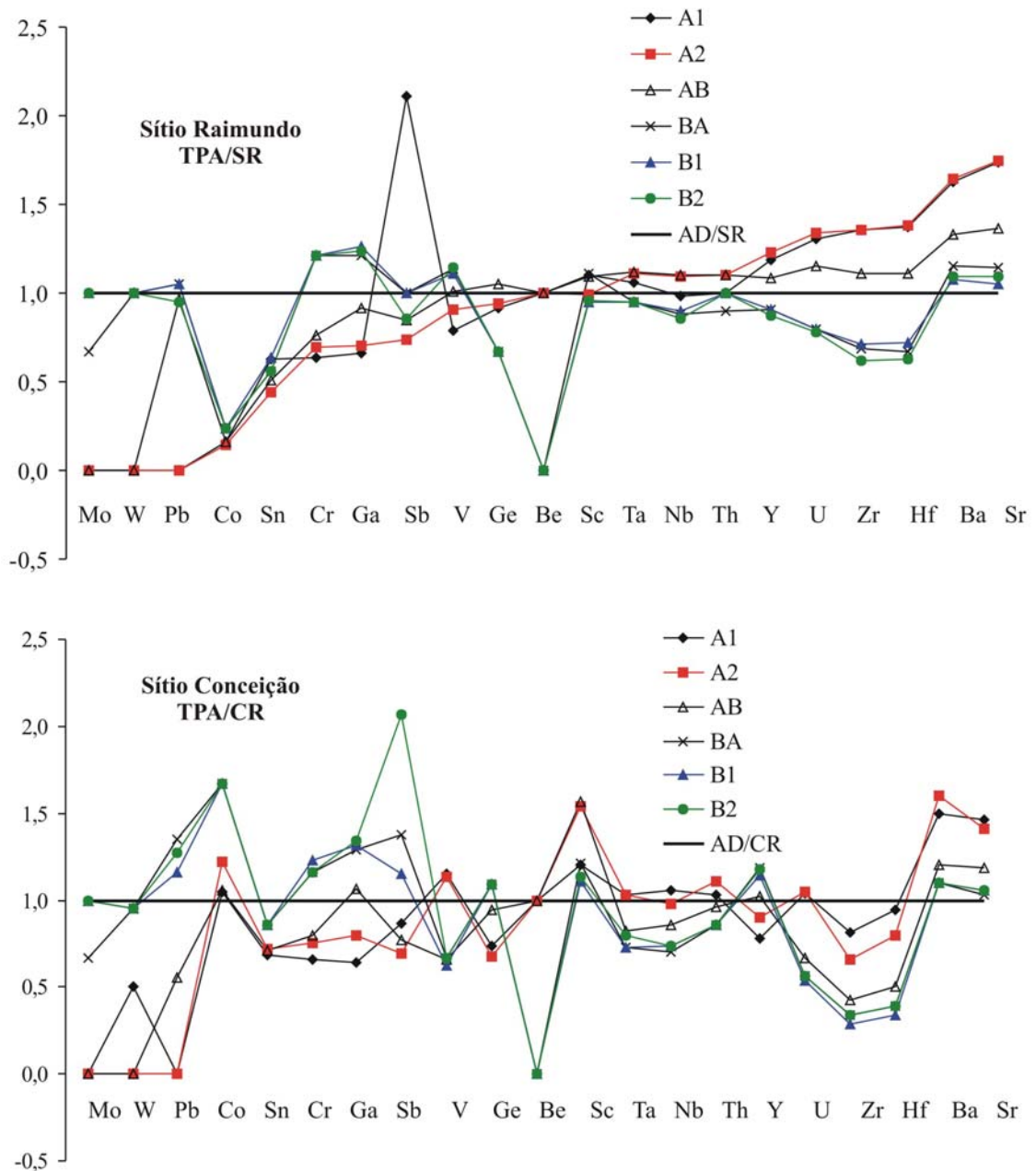


Figura 47 – Distribuição dos elementos-traço nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) normalizados com suas respectivas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR). As concentrações de Mo, W, Pb e Be estão próximas ao limite de detecção.

Tabela 5- Concentrações dos elementos-traço (mg.kg⁻¹) nos horizontes nos perfis, comparados com Latossolo Amarelo da Amazônia e a crosta terrestre superior.

continuação															
mg.kg ⁻¹															
horizonte	Sc	Be	V	Ba	Sr	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb
Sítio Raimundo com Terra Preta Arqueológica sem roçado (TPA/SR)															
A ₁	14	1	83	135	73	40	2360	95	2	<20	19	<30	28	1	5
A ₂	15	1	96	137	73	41	2360	104	2	<20	13	<30	30	1	5
AB	13	1	107	110	57	36	1930	114	2	<20	<10	<30	39	2	3
BA	13	<1	120	96	48	30	1192	180	3	<20	<10	<30	52	1	3
Bt ₁	12	<1	118	89	44	30	1248	180	3	<20	<10	<30	54	1	3
Bt ₂	13	<1	121	91	46	29	1083	180	3	<20	<10	<30	53	1	3
Área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR)															
A ₁	13	1	91	80	41	35	2040	100	2	<20	<10	<30	34	2	<2
AB	12	1	87	73	39	30	1970	94	2	<20	<10	<30	33	1	<2
BA	14	1	100	84	44	30	1690	106	2	<20	<10	<30	39	2	<2
Bt ₁	13	<1	117	87	43	34	1536	180	3	<20	<10	<30	51	1	<2
Bt ₂	12	<1	120	88	43	35	1630	190	3	<20	<10	<30	50	<1	<2
Bt ₃	12	<1	119	87	43	34	1593	220	4	50	<10	<30	50	2	<2
Sítio Conceição com Terra Preta Arqueológica com roçado (TPA/CR)															
A ₁	15	1	83	117	64	53	2610	91	2	<20	<10	<30	24	1	3
A ₂	16	1	97	119	62	52	2120	104	2	<20	<10	<30	30	1	4
AB	13	1	109	92	52	30	1370	110	2	<20	<10	<30	40	2	3
BA	12	<1	127	84	45	31	1098	160	3	60	<10	<30	49	2	3
Bt ₁	12	<1	122	86	46	29	914	170	3	60	<10	<30	50	2	4
Bt ₂	12	<1	126	86	46	31	1077	160	3	30	<10	<30	51	2	4
Área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho)															
A	14	1	64	69	45	63	5770	85	1	<20	<10	<30	15	<1	<2
AB	16	1	75	78	47	72	6680	95	2	<20	<10	<30	20	<1	<2
BA	13	1	102	76	46	44	2890	116	2	<20	<10	<30	37	1	<2
Bt ₁	12	<1	135	77	42	32	1270	170	2	40	<10	<30	53	2	<2
Bt ₂	11	<1	134	76	41	33	1409	190	2	30	<10	<30	50	2	<2
Bt ₃	12	<1	134	79	42	33	1269	170	2	40	<10	<30	53	2	<2
TPA ^a	12,0	na	112	127	65	32,0	1135	47	11,0	-	5,6	-	27,0	na	na
TPA ^b	6,7	na	64	175	55	22,0	516	10	2,0	-	15,0	-	<LD	na	na
LA ^c	30,0	na	400	200	100	60,0	300	20	20,0	-	20,0	-	30,0	2,0	20
LA ^d	16	-	138	-	-	66	800	62	-	-	11	-	22	-	-
CTS ^e	7,0	3,1	53	668	316	20,7	237	35	11,6	-	14,3	-	14,0	1,4	110

															conclusão
															mg.kg ⁻¹
horizonte	Nb	Mo	Ag	In	Sn	Sb	Cs	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Sítio Raimundo com Terra Preta Arqueológica sem roçado (TPA/SR)															
A ₁	49	<2	6,3	<0,2	8	1,5	1,1	65	3,9	<1	<0,1	<5	<0,4	36	6,5
A ₂	55	<2	5,6	<0,2	6	0,5	0,8	65	4,1	<1	<0,1	<5	<0,4	39	6,7
AB	55	<2	4,2	<0,2	6	0,6	0,6	52	4,1	<1	<0,1	18	<0,4	40	5,8
BA	44	2	<0,5	<0,2	7	0,7	<0,5	32	3,5	3	<0,1	20	<0,4	34	4,0
Bt ₁	45	3	<0,5	<0,2	8	0,7	<0,5	34	3,5	3	<0,1	20	<0,4	34	4,0
Bt ₂	43	3	<0,5	<0,2	7	0,6	<0,5	30	3,5	3	<0,1	18	<0,4	35	3,9
Área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR)															
A ₁	54	<2	4,7	<0,2	7	0,6	<0,5	56	3,9	<1	<0,1	<5	<0,4	36	5,7
AB	50	<2	4,3	<0,2	28	<0,5	<0,5	53	3,5	<1	<0,1	20	<0,4	34	5,2
BA	51	<2	3,5	<0,2	7	<0,5	<0,5	47	3,7	<1	<0,1	23	<0,4	39	5,2
Bt ₁	49	3	<0,5	<0,2	14	0,6	<0,5	40	3,7	3	<0,1	14	<0,4	36	4,6
Bt ₂	48	3	<0,5	<0,2	10	<0,5	<0,5	43	3,8	3	<0,1	7	<0,4	36	4,6
Bt ₃	49	3	<0,5	<0,2	10	0,9	<0,5	42	3,8	3	<0,1	30	<0,4	35	4,6
Sítio Conceição com Terra Preta Arqueológica com roçado (TPA/CR)															
A ₁	63	<2	6,2	<0,2	6	0,8	0,6	73	4,6	2	<0,1	<5	<0,4	41	7,5
A ₂	59	<2	4,4	<0,2	6	0,6	0,5	61	4,7	<1	<0,1	<5	<0,4	44	7,6
AB	52	<2	3,4	<0,2	6	0,7	<0,5	39	3,7	<1	<0,1	14	<0,4	38	4,8
BA	42	2	<0,5	<0,2	7	1,2	<0,5	30	3,3	3	<0,1	35	<0,4	34	4,1
Bt ₁	44	3	<0,5	<0,2	7	1,0	0,5	26	3,3	3	<0,1	30	<0,4	34	3,9
Bt ₂	44	3	<0,5	<0,2	7	1,8	0,5	30	3,6	3	<0,1	33	<0,4	34	4,1
Área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho)															
A	73	<2	7,7	<0,2	6	0,6	<0,5	127	5,6	<1	<0,1	<5	<0,4	37	10,5
AB	83	<2	9,4	<0,2	6	0,5	<0,5	147	6,3	2	<0,1	<5	<0,4	45	11,9
BA	66	<2	7,6	<0,2	7	<0,5	<0,5	79	4,6	2	<0,1	16	<0,4	42	7,3
Bt ₁	46	3	<0,5	<0,2	8	0,9	<0,5	35	3,5	3	<0,1	22	<0,4	38	4,4
Bt ₂	45	3	<0,5	<0,2	11	1,2	<0,5	39	3,6	6	<0,1	33	<0,4	38	4,7
Bt ₃	46	3	<0,5	<0,2	11	1,1	<0,5	35	3,5	3	<0,1	33	<0,4	37	4,5
TPA ^a	31,0	-	na	-	na	na	na	na	na	na	-	-	-	na	na
TPA ^b	9,7	-	na	-	na	na	na	na	na	na	-	-	-	na	na
LA ^c	70,0	-	0,5	-	30	2,0	50,0	50,0	na	na	-	-	-	20,0	20,0
LA ^d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CTS ^e	26,0	-	0,05	-	2,5	0,31	5,8	5,8	1,5	1,4	-	-	-	10,3	2,5

^a Sítio Manduquinha com TPA-Caxiuanã (KERN, 1996); ^b Sítio Mina II com TPA-Caxiuanã (KERN, 1996); ^c Horizonte A perfil de Latossolo Norte de Marabá região Amazônica (KRONBERG et al., 1979); ^d LA: Latossolo Amarelo- perfil de solo Mosqueiro (HORBE, 1995); ^e CTS = crosta terrestre superior (WEDEPOHL, 1995); na= não analisado.

5.1.4.3 Elementos terras raras (ETRs)

As concentrações dos elementos terras raras leves (ETRL) (Tabela 6) e dos terras raras pesados (ETRP), tanto nos perfis de solos TPA quanto nos perfis AD, são mais elevadas do que a média crustal e os latossolos da Amazônia descritos por Horbe (1995). Essas concentrações reforçam a maior abundância de zircão nestes solos, como já mostrado anteriormente. Quando normalizados aos solos adjacentes (AD) observa-se um nítido enriquecimento em ETRP (Figura 48) nos horizontes A e AB e nítido empobrecimento nos horizontes B nos solos com TPA. Isto sugere a possível presença de duas fases minerais nos perfis de solo TPA estudados: uma concentradora de ETRL, o zircão, que normalmente concentra-se nestes elementos e uma de ETRP, não identificada, mas relacionada com TPA (Figura 49), que se distingue pela maior concentração de matéria orgânica e pela presença de fragmentos cerâmicos que além de quartzo, minerais de argila, podem conter fosfatos (COSTA et al., 2004a, b). Este aspecto se torna mais evidente na distribuição dos teores de ETR no perfil, em que os ETRP se concentram nos horizontes A e AB especialmente nos perfis com TPA, portanto ricos em matéria orgânica e fragmentos cerâmicos, enquanto os ETRL se empobrecem (Figura 49).

Tabela 6 - Concentrações dos elementos terras raras nos horizontes nos perfis, comparados com a média no Latossolo Amarelo e na crosta terrestre superior.

Horiz	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
mg.kg ⁻¹														
Sítio Raimundo com Terra Preta Arqueológica sem roçado (TPA/SR)														
A ₁	58	86	8,64	27,3	4,7	1,00	4,2	0,9	6,5	1,4	4,8	0,9	6,3	1,1
A ₂	67	99	9,81	30,8	5,3	1,11	4,8	1,0	7,1	1,6	5,2	0,9	6,7	1,1
AB	74	109	10,7	33,3	5,4	1,10	4,6	0,9	6,4	1,4	4,5	0,8	5,7	0,9
BA	72	110	9,94	28,9	4,6	0,9	3,6	0,7	4,5	0,9	3,1	0,55	3,8	0,6
Bt ₁	71	111	9,74	28,8	4,6	0,91	3,5	0,7	4,7	1,0	3,2	0,58	4,0	0,62
Bt ₂	74	114	9,92	29,3	4,6	0,89	3,7	0,7	4,6	0,9	3,0	0,53	3,6	0,58
Área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR)														
A ₁	66	102	9,9	30,8	5,0	1,0	4,3	0,9	6,1	1,3	4,3	0,8	5,7	1,0
AB	61	95	9,1	28,1	4,5	0,9	3,9	0,8	5,4	1,2	3,8	0,7	4,9	0,8
BA	72	113	10,8	33,7	5,3	1,0	4,2	0,8	5,6	1,2	3,9	0,7	5,0	0,8
Bt ₁	72	116	10,5	31,5	5,0	1,0	4,0	0,8	5,0	1,0	3,5	0,6	4,4	0,7
Bt ₂	71	117	10,5	31,0	5,1	1,0	4,0	0,8	5,3	1,1	3,6	0,7	4,6	0,7
Bt ₃	72	116	10,5	31,1	5,0	1,0	3,9	0,8	5,1	1,1	3,5	0,6	4,5	0,7
Sítio Conceição com Terra Preta Arqueológica com roçado (TPA/CR)														
A ₁	68	103	10,2	32,6	5,6	1,2	5,7	1,3	9,0	1,9	6,4	1,13	8,4	1,37
A ₂	77	117	11,4	36,1	6,5	1,3	6,0	1,3	9,0	1,9	6,4	1,11	8,0	1,33
AB	81	125	11,6	35,6	5,4	1,1	4,3	0,9	5,6	1,2	3,9	0,66	4,9	0,79
BA	75	115	10,8	30,7	4,7	1,0	3,7	0,7	4,6	1,0	3,4	0,57	3,9	0,61
Bt ₁	77	119	11,2	32	4,9	1,0	4	0,8	4,6	1,0	3,3	0,54	3,8	0,59
Bt ₂	77	118	11,1	31,8	4,9	1,0	3,9	0,7	4,6	1,0	3,4	0,57	4,0	0,61
Área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR- roçado Martinho)														
A	51	77	8,1	26,9	5,3	1,2	5,9	1,4	10,3	2,3	7,9	1,4	10,6	1,9
AB	61	90	9,6	31,3	6,0	1,3	6,8	1,5	11,7	2,6	9,2	1,7	12,4	2,1
BA	66	103	10,1	32,7	5,6	1,2	5,0	1,1	7,4	1,6	5,4	1,0	7,3	1,2
Bt ₁	70	109	10,7	31,2	5,0	1,0	4,0	0,7	4,6	1,0	3,4	0,6	4,0	0,6
Bt ₂	69	107	10,6	31,0	5,0	1,0	4,2	0,8	4,9	1,1	3,7	0,6	4,3	0,7
Bt ₃	69	106	10,5	31,2	4,9	1,0	4,1	0,8	4,8	1,0	3,5	0,6	4,2	0,7
LA ^a	26,33	50,32	-	18,25	3,77	0,60	2,9	-	3,88	0,92	3,20	-	3,27	0,48
CTS ^b	32,3	65,7	6,3	25,9	4,7	0,95	2,8	0,5	2,9	0,6	2,1	0,3	1,5	0,27

^a LA: Latossolo Amarelo- perfil de solo Mosqueiro (HORBE, 1995); ^bCTS: crosta terrestre superior (WEDEPOHL, 1995); na = não analisado.

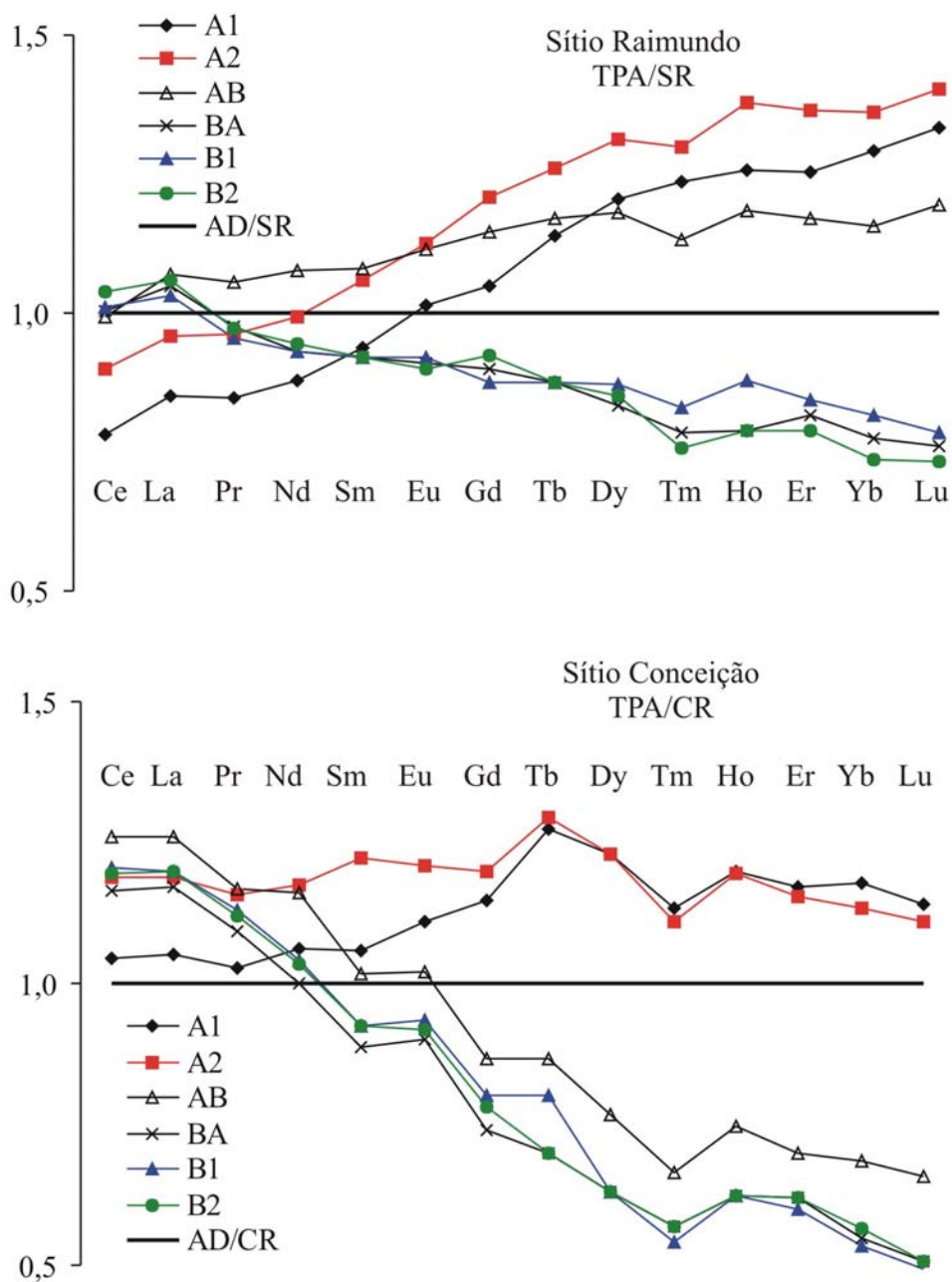


Figura 48 – Distribuição dos elementos terras raras nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) normalizados com suas respectivas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR).

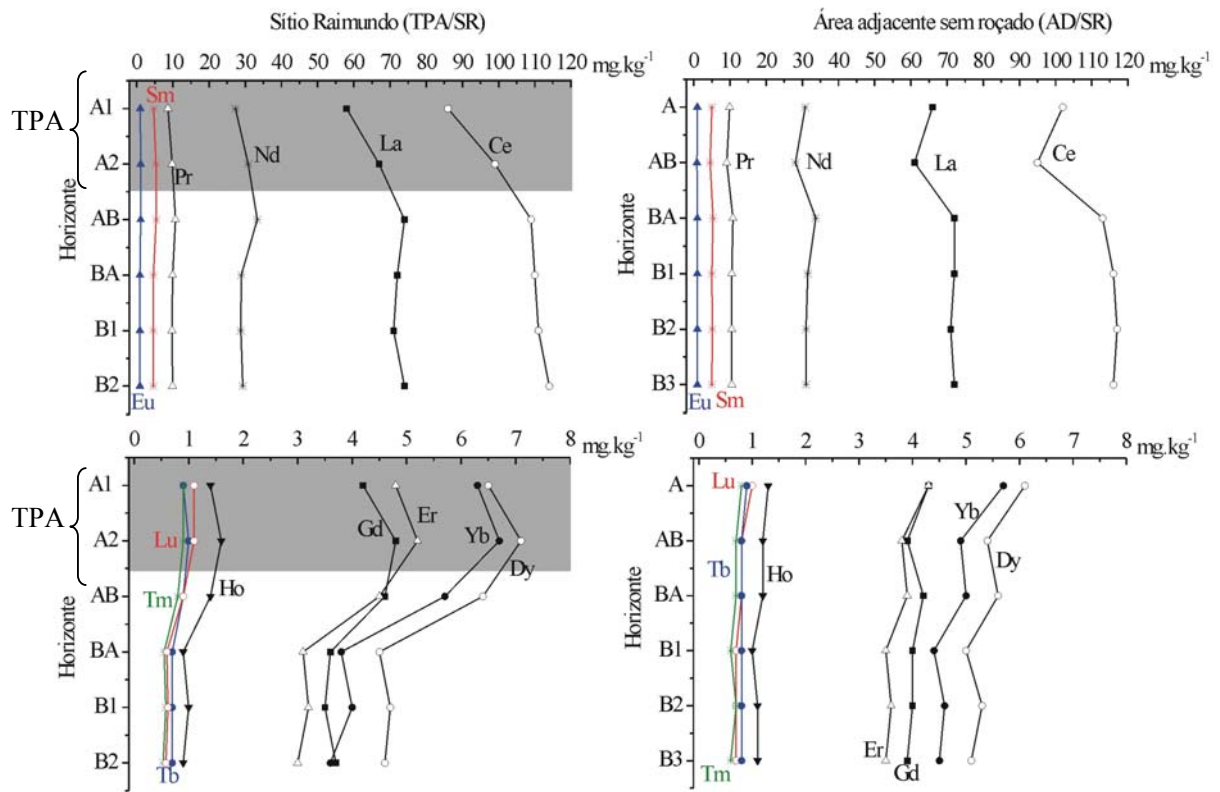


Figura 49 - Variação das concentrações dos elementos terras raras nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR).

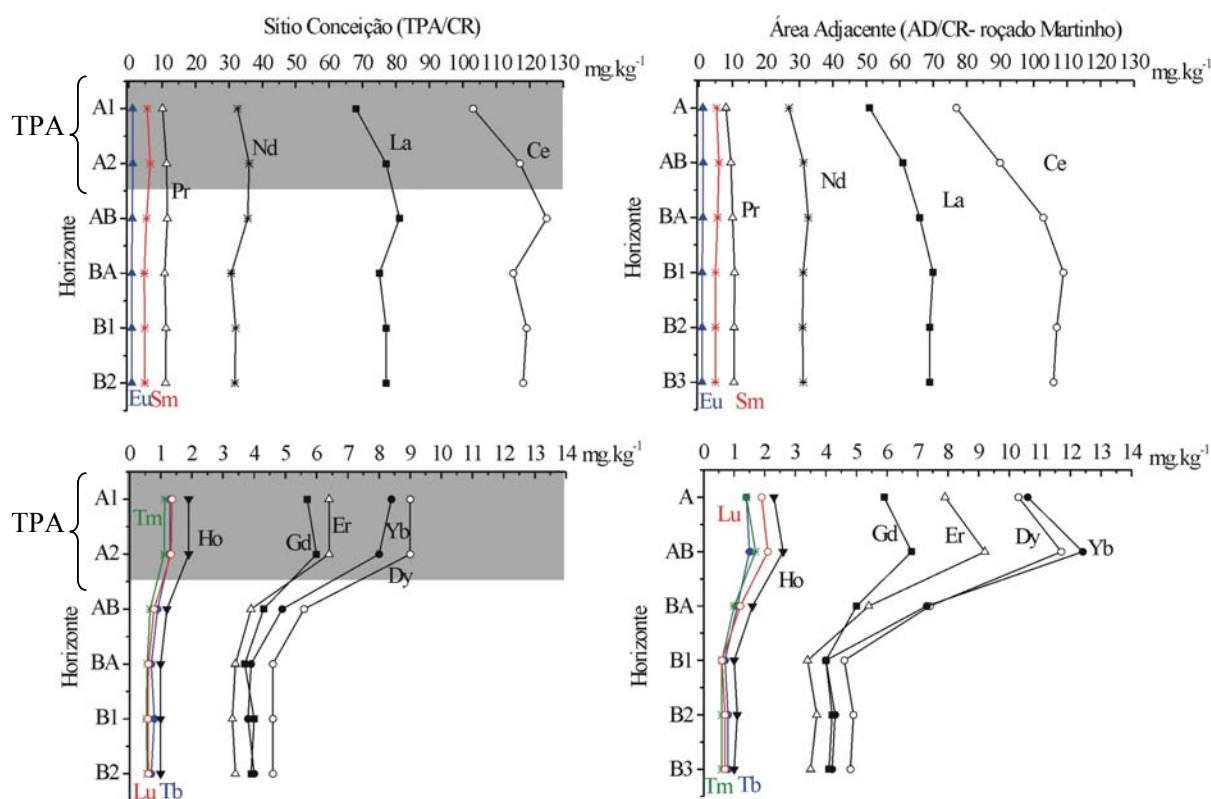


Figura 50 - Variação das concentrações dos elementos terras raras nos perfis de solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho).

5.1.4.4 Arsênio, selênio e mercúrio

Estes elementos, especialmente o mercúrio, constituem-se num dos principais focos deste estudo, por isso, são aqui tratados separadamente. O arsênio é destacadamente o mais abundante, enquanto selênio e mercúrio estão em teores muito baixos na mesma ordem de grandeza tanto nas TPAs quanto nos solos adjacentes. O conteúdo de arsênio total nos perfis de solo com TPA variou de 360 a 5660 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ e na área adjacente (AD) de 840 a 2380 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, sendo que as concentrações mais elevadas se encontram nos horizontes de transição (AB, BA) da TPA e no horizonte Bt_2 dos solos adjacentes (Figura 51), ou seja, os seus valores aumentam com a profundidade do perfil de solo. Os valores de arsênio nos horizontes A da TPA sem roçado são

mais elevados do que na TPA com roçado, estão compatíveis com os valores encontrados por Kern (1996) e Gurjão (2003) em TPAs da mesma região. Além disso, esses valores são superiores aos encontrados nos solos adjacentes bem como em vários Latossolos da Amazônia (Tabela 7).

Os teores de selênio total nos perfis de solo com TPA variam de 100 a 500 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, com maior conteúdo nos solos sem roçado (TPA/SR), da mesma forma que o arsênio. Seus valores também diminuem com a profundidade (Figura 51). A média de selênio total nos horizontes A com TPA e AD foi de 300 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Figura 51), inferior aos teores de 500 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ de Se no horizonte A de Latossolo na região Amazônica encontrados por Kronberg et al. (1979).

As concentrações de Hg total nas TPAs variam de 187 a 267 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Figura 51), aumentando com a profundidade, distintas daquelas encontradas por Kern (1996) e Gurjão (2003) em outros sítios de Caxiuanã. Nas áreas adjacentes os valores de Hg estão na mesma ordem de grandeza da TPA, variando de 199 a 289 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Portanto os solos TPA (Tabela 7) estão ligeiramente acima do *background* de Hg em solos não contaminados que é de 150 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (AZEVEDO, 2003).

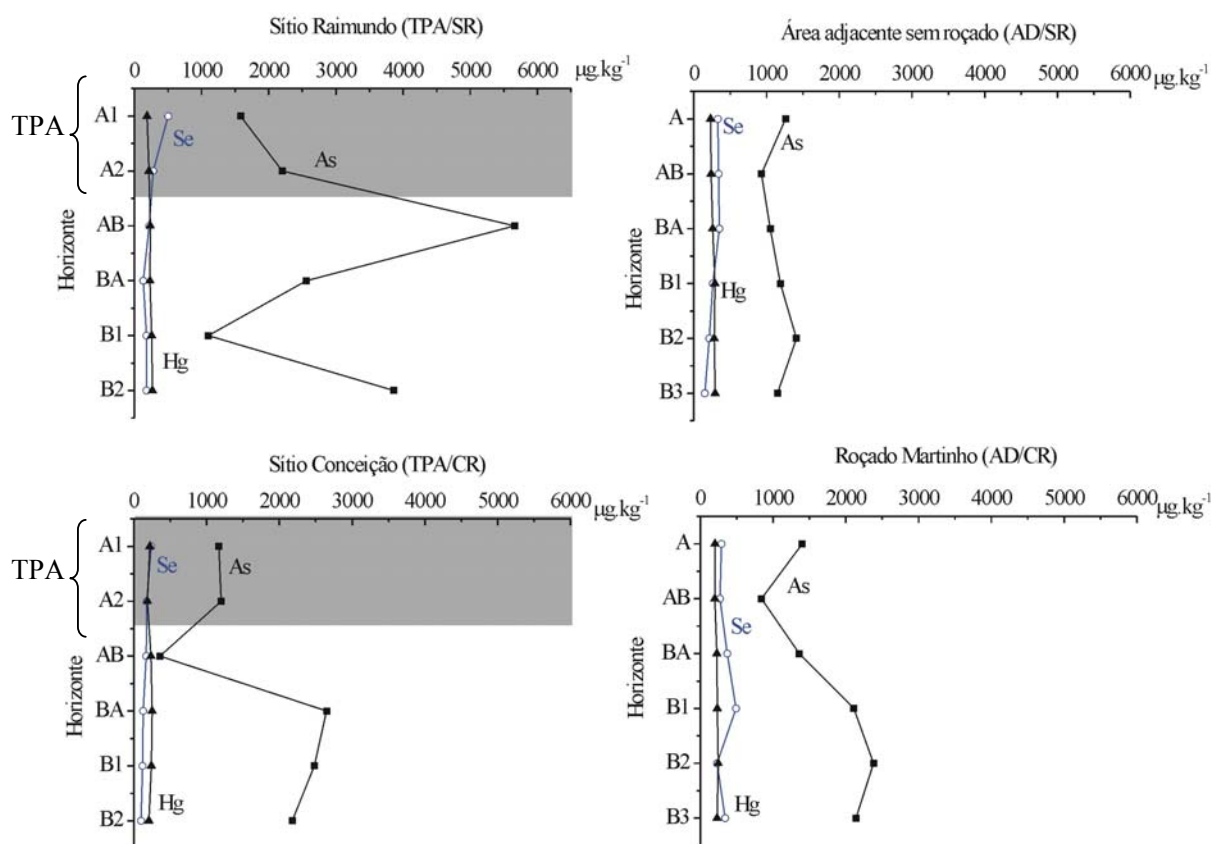


Figura 51 - Variação das concentrações de As, Se e Hg totais nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho).

Tabela 7 – Concentração química média de As, Se e Hg ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) totais horizontes A de solos com TPA e área adjacente (AD) na região de Caxiuanã.

$\mu\text{g.kg}^{-1}$	Este trabalho				(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	TPA/SR	TPA/CR	AD/SR	AD/CR	TPA	TPA	TPA	TPA	TPA	AD
As total	1890	1190	1260	1400	2320	2500	1500	1000	na	3000
Se total	390	210	330	290	na	na	na	na	na	<LD
Hg total	202	204	230	203	55	100	105	65	na	121

na= não analisado; (a) Gurjão (2003) -Caxiuanã Ilha de Terra; (b) Kern (1996)- Caxiuanã Manduquinha Norte; (c) Kern (1996)- Caxiuanã Manduquinha Sul; (d) Kern (1996)- Caxiuanã Mina II; (e) Kern (1996)- Caxiuanã Ponta Alegre; (f) média na AD do Manduquinha (KERN, 1996).

A normalização dos elementos Hg, Se e As nos perfis com TPA (TPA/SR e TPA/CR) com suas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR) mostra que, dentre os três elementos analisados, o As apresenta a maior dispersão, enquanto o Hg a menor, e tende a concentrar-se no horizonte B, enquanto Se no horizonte A e As nos horizontes B (Figura 52). Isso demonstra a capacidade de adsorção do Hg com a camada rica em matéria orgânica e o As com sua capacidade de fácil lixiviação.

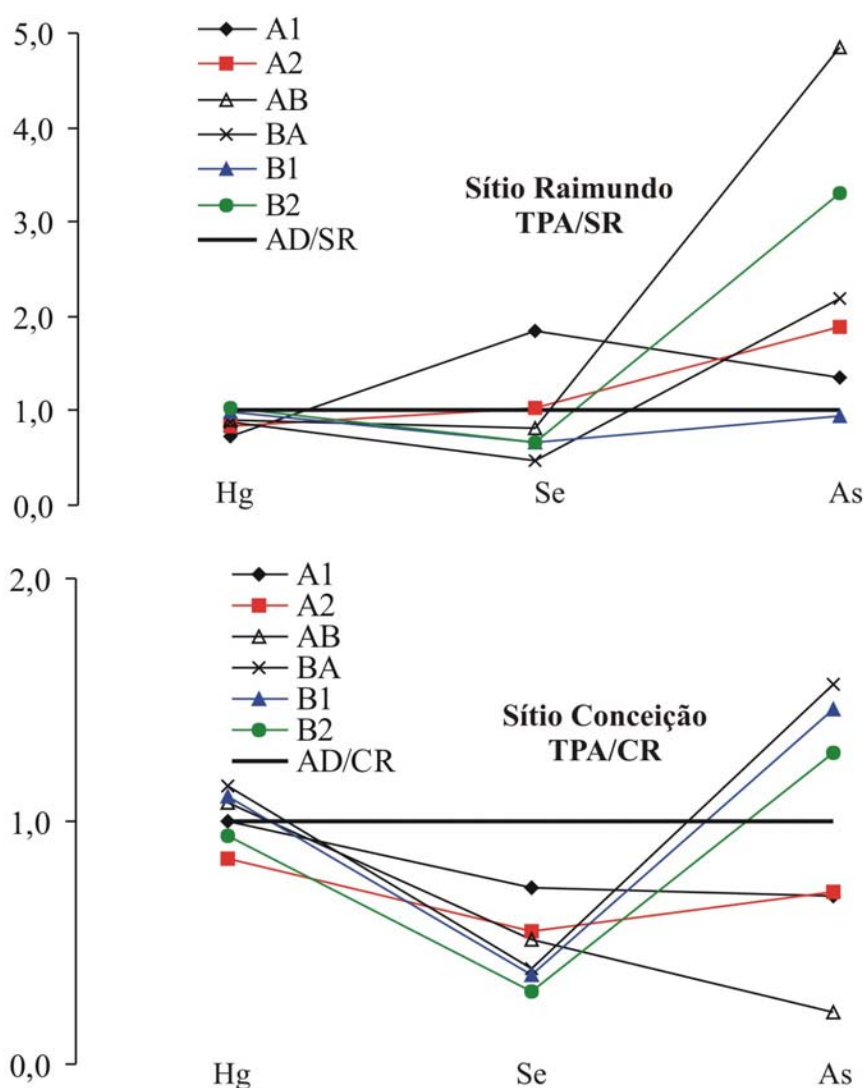


Figura 52 – Distribuição dos elementos Hg, Se e As nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) normalizados com suas respectivas áreas adjacentes (AD/SR e AD/CR)

Quanto ao conteúdo trocável destes elementos o Se apresentou concentrações, em todos os perfis, abaixo do limite de detecção ($< 0,3$), o que sugere uma possível transferência do solo para planta. O As trocável apresentou concentrações média de 37 e 38 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e sua área adjacente (AD/SR), respectivamente. As concentrações trocáveis de As são maiores nos horizontes A, principalmente com TPA, aumentando ainda mais a sua disponibilidade às plantas. No sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e sua área adjacente (AD/CR), as concentrações de As trocáveis estão abaixo do limite de detecção (Figura 53), o que também sugere possível exaustão.

A distribuição do Hg trocável nos perfis de solo mostra que a concentração aumenta com a profundidade, ou seja, sua disponibilidade aumenta com a profundidade (Figura 53). A média de Hg trocável é menor nas TPAs ($4,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$) do que nas áreas adjacentes ($5,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Em outros sítios de TPA da região de Caxiuanã Gurjão (2003) verificou que o conteúdo de Hg trocável é menor que o limite de detecção ($< 0,002$) tanto em solos com TPA como em AD e determinou que o Hg encontra-se adsorvido nos óxi-hidróxidos de Fe.

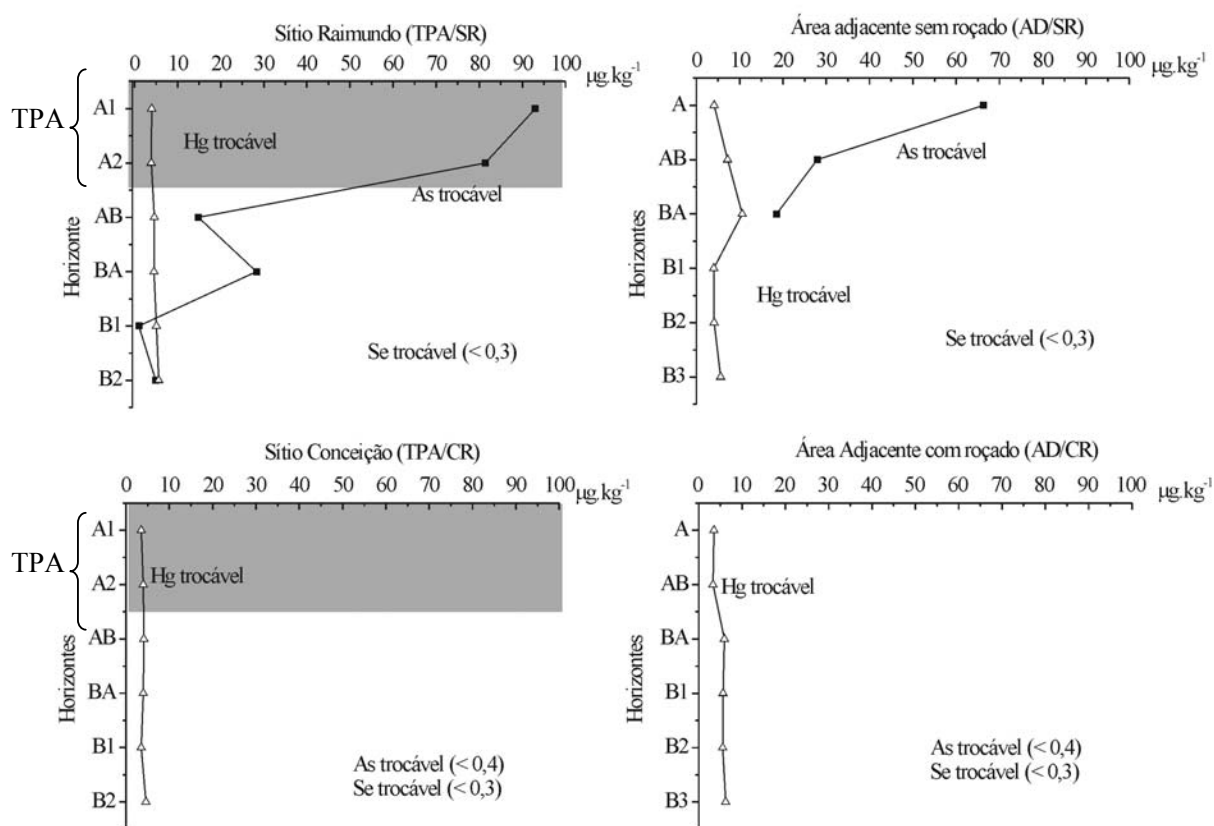


Figura 53 - Variação das concentrações de As e Hg trocáveis nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao horizonte TPA

5.1.4.5 Parâmetros de fertilidade

Entre os índices de fertilidade nos perfis de solos o micronutriente cobre é o único que exhibe teores abaixo do limite de detecção (< 0,01 ppm).

O pH dos solos em KCl (média 4,3) foi menor do que em H₂O (média 5,0), portanto ΔpH negativo, confirmando as cargas negativas no solo, ou seja, a presença de argilominerais e matéria orgânica que podem adsorver maior quantidade de cátions, quando disponíveis (Figura 54). Como os minerais de argila determinados nas TPA são principalmente do grupo da caulinita,

com baixa capacidade de troca iônica, as cargas negativas devem estar relacionadas preponderantemente à matéria orgânica, abundante nestes solos.

Os solos nas áreas adjacentes (AD) são relativamente mais ácidos (pH de 3,81 a 4,28) que os solos com TPA (pH de 4,22 a 6,27). Portanto, a TPA está dentro da faixa de pH favorável para o bom desenvolvimento das plantas, que é de 5,5 a 7,0. Além disso, o pH baixo eleva as concentrações de íons que são tóxicos para as plantas (Fe^{2+} , Al^{3+} e H^+), (MALAVOLTA, 1980).

Verifica-se que quanto maior o pH maior a saturação por base no solo (V), principalmente nos perfis de solo AD.

Os teores de Ca em todos os perfis de solo estão na faixa de 2 a 10 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, valores mais altos do que o Mg (0,4 a 2,7 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$), K (0,004 a 0,16 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$) e o Na (0,01 a 0,019 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$) (Figura 56), tanto nos solos com TPA como nos solos das áreas adjacentes (Tabela 9). Nos horizontes A com TPA em Caxiuanã os teores médios mais elevados de Ca, Mg e P alcançaram 12,8 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, 2,25 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ e 937 $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ (KERN, 1996; MEIRELES, 2004), (Tabela 8). Esses valores mostram que os dois sítios com TPA aqui pesquisados são quimicamente semelhantes entre si, mas divergem da composição de outros sítios com TPA em Caxiuanã e outras regiões (Tabela 8).

O K encontra-se em níveis muito baixos, possivelmente denunciando o uso contínuo dos solos da área, da mesma forma que o P disponível (1 a 24 $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$), que embora o total seja bastante alto (máximo de 0,19 % de P_2O_5) o disponível está muito baixo (1 a 24 ppm) para TPA, creditado ao seu uso continuado para agricultura de roçado (Figura 55 e 56). Este fato é observado quando se compara os teores de P, Ca e K disponíveis em solos com TPA, sem e com o roçado de mandioca, sítio Raimundo e Conceição, respectivamente. O valor de pH também está associado ao P disponível, onde valores abaixo de 5,5 denunciam a redução na disponibilidade de fósforo, (TOMÉ JR, 1997).

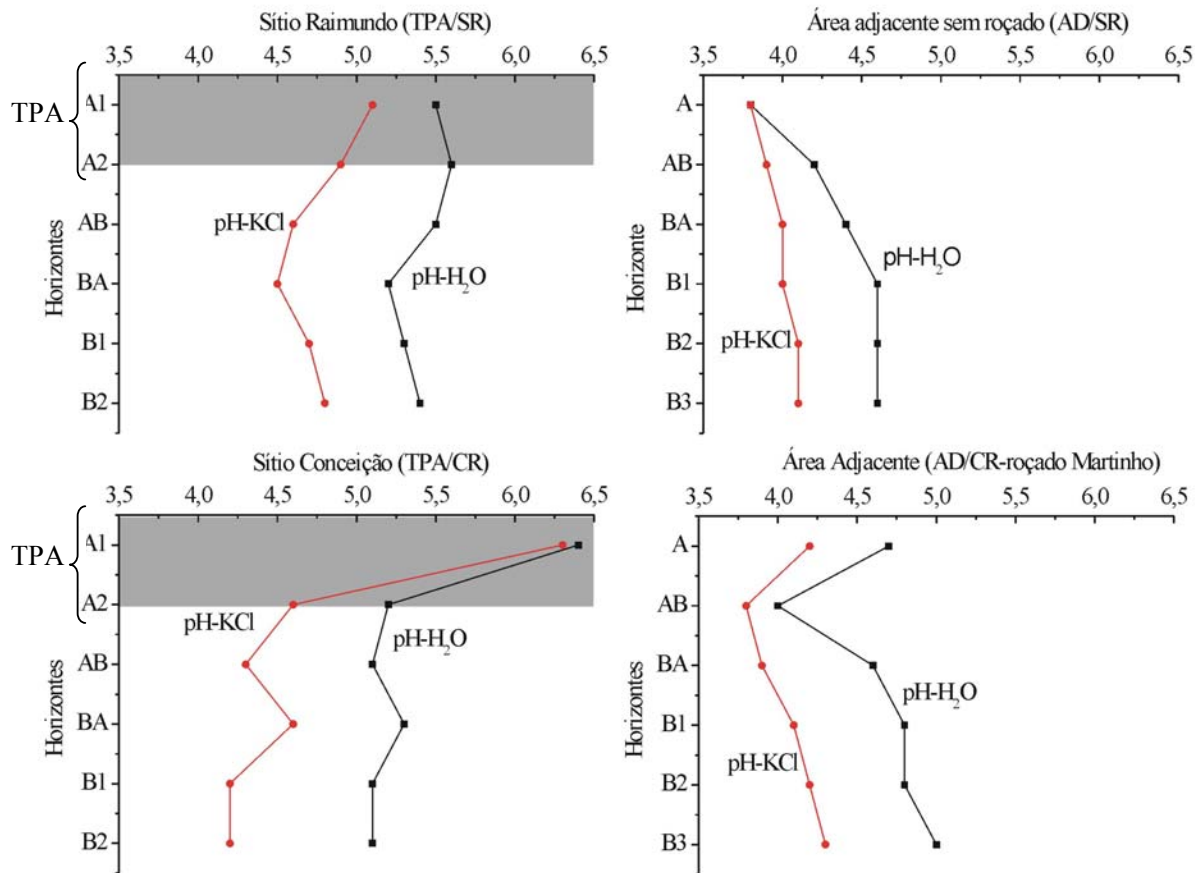


Figura 54 – Distribuição dos valores de pH em água e KCl nos perfis de solo no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) e na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio TPA.

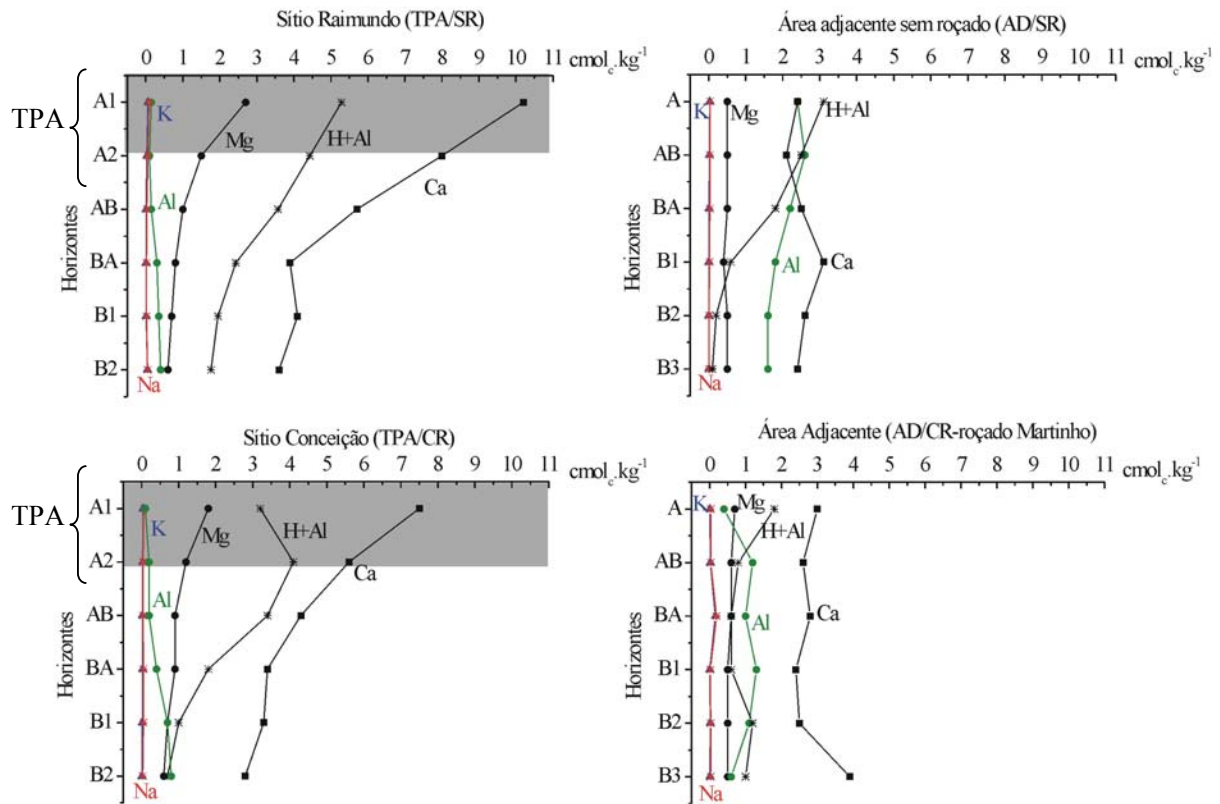


Figura 55 – Distribuição dos teores trocáveis de K, Na, Ca, Mg e Al e H + Al (acidez potencial) nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR), na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio TPA.

A capacidade de troca de cátions dos solos varia de 4,2 a 18,3 cmol.kg^{-1} nas TPAs e de 3,0 a 6,1 cmol.kg^{-1} nas áreas adjacentes. A soma de bases (SB) é maior nas TPAs (média 9,75 cmol.kg^{-1}) do que nas ADs (média 3,3 cmol.kg^{-1}), o que ressalta o maior conteúdo de cátions nas TPA, como já demonstrado anteriormente, indicando sua maior fertilidade.

O teor da saturação por bases nos solos mostra que os sítios Raimundo ($V = 70\%$) e Conceição ($V = 69\%$) com TPA apresentam $V > 50\%$, ou seja, são solos considerados eutróficos (férteis) enquanto que as áreas adjacentes a estes sítios apenas AD/CR ($V = 68\%$) é eutrófico, já o AD/SR é distrófico (pouco fértil com $V = 49\%$), (Tabela 8).

Segundo Tomé Jr (1997), o valor recomendado do índice de saturação por base (V) para o cultivo de mandioca é 50%, logo o sítio Conceição com TPA e sua área adjacente são compatíveis para o plantio de mandioca.

Tabela 8 – Valores médios dos parâmetros físico-químicos de solos dos horizontes A nos perfis de solo com TPA, áreas adjacentes (AD) e Latossolo Amarelo em Caxiuanã e outras regiões.

	Este trabalho				(a,b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
	TPA/SR	AD/SR	TPA/CR	AD/CR	TPA	TPA	AD	TPA	TPA	TPA	LA
pH (H ₂ O)	5,6	3,8	5,8	4,7	4,9	5,3	4,3	5,5	5,5	5,6	4,7
pH (KCl)	5,0	3,8	5,5	4,2	4,07	na	na	na	na	4,7	4,0
ΔpH	-0,6	0	-0,3	-0,5	-0,9	na	na	na	na	-0,9	-0,7
K _{troc.}	0,05	0,03	0,04	0,01	na	0,35	0,21	0,15	0,4	0,05	0,02
Na _{troc.}	0,08	0,04	0,05	0,03	na	na	na	na	na	0,04	0,01
Ca _{troc.}	9,1	2,4	6,6	3,0	2,8	5,27	0,5	12,8	12,7	8,0	0,06
Mg _{troc.}	2,1	0,5	1,5	0,7	0,5	1,6	0,4	0,7	2,25	1,0	0,02
Al ³⁺	0,2	2,4	0,2	0,4	na	0,37	2,05	0,0	0,0	0,2	0,3
CTC	16,2	6,1	11,8	5,5	na	15,0	11,6	18,9	18,2	17,4	4,6
H ⁺ + Al ³⁺	4,9	3,1	3,7	1,8	na	7,8	10,5	5,3	2,85	8,2	2,2
(SB)	11,3	3,0	8,2	3,7	na	7,3	1,05	13,6	15,4	9,2	0,2
% (V)	70	49	69	68	na	47	9,0	72	84	52	2,5
(m)	1	45	2	9	na	na	na	na	na	2	53,5
C _{orgânico}	53,16	24,39	32,19	15,24	31,0	32,0	28,0	23,0	25,0	19,43	7,0
M _{orgânica}	91,65	42,05	55,50	26,27	53,44	55,17	48,27	39,65	43,10	33,43	12,07
N	4,58	2,10	2,77	1,31	na	na	na	na	na	1,23	0,5
P _{disponível}	9	4	15	5	104	885	6	848	937	93	1,0
Mn	193	2	160	19	308	84	39	na	na	na	na
Zn	3	<0,05	2	<0,05	42	4	5	na	na	na	na
Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	14	na	na	na	na	na	na
Fe	14	254	30	63	na	na	1	na	na	na	na

na = não analisado; (a) Gurjão (2003) - Caxiuanã Ilha de Terra; (b) Meireles (2004)- Caxiuanã Ilha de Terra; (c) Kern (1996)- Caxiuanã Manduquinha Norte; (d) média na AD do Manduquinha (kern, 1996); (e) Kern (1996)- Caxiuanã Mina II; (f) Kern (1996)- Caxiuanã Ponta Alegre; (g) Vieira (1988)-TPA com cultivo de mandioca, milho e hortaliças-Manacapuru-AM; (h) Vieira; Santos (1987)-Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia

A saturação de alumínio (m) varia de 1 a 19 % nas TPAs, enquanto nas ADs de 9 a 50%. Esta saturação quando alcança valor maior que 25% indica que os solos são impróprios para o cultivo. Os solos da área adjacente do sítio Raimundo sem roçado, com saturação de 45 % são, portanto, impróprios para o cultivo. A toxidez de alumínio, em parte, se reflete negativamente na absorção de fósforo, já que o alumínio disponível tende a capturar o P e Ca também disponíveis, formando um complexo fosfato de alumínio, impossível de ser absorvido pela planta.

A acidez potencial (H⁺+Al³⁺) apresenta maiores valores em solos mais ricos em matéria orgânica, ou seja, nos horizontes A nos perfis, e são mais elevadas nas TPAs (Tabela 8).

Os micronutrientes Mn, Zn e Fe (Figura 56) tendem a diminuir suas concentrações com a profundidade, e as concentrações de Mn e Zn em TPA são mais elevadas do que na AD. Kern (1996) concluiu que esses dois micronutrientes, juntamente com outros elementos, estão tipicamente associados aos sítios arqueológicos com TPA na Amazônia, devendo estar relacionados à atividade humana pretérita. O Fe exibe comportamento diferente, estando mais concentrado em AD do que na TPA, devido ao maior teor de hematita + goethita nas áreas adjacentes.

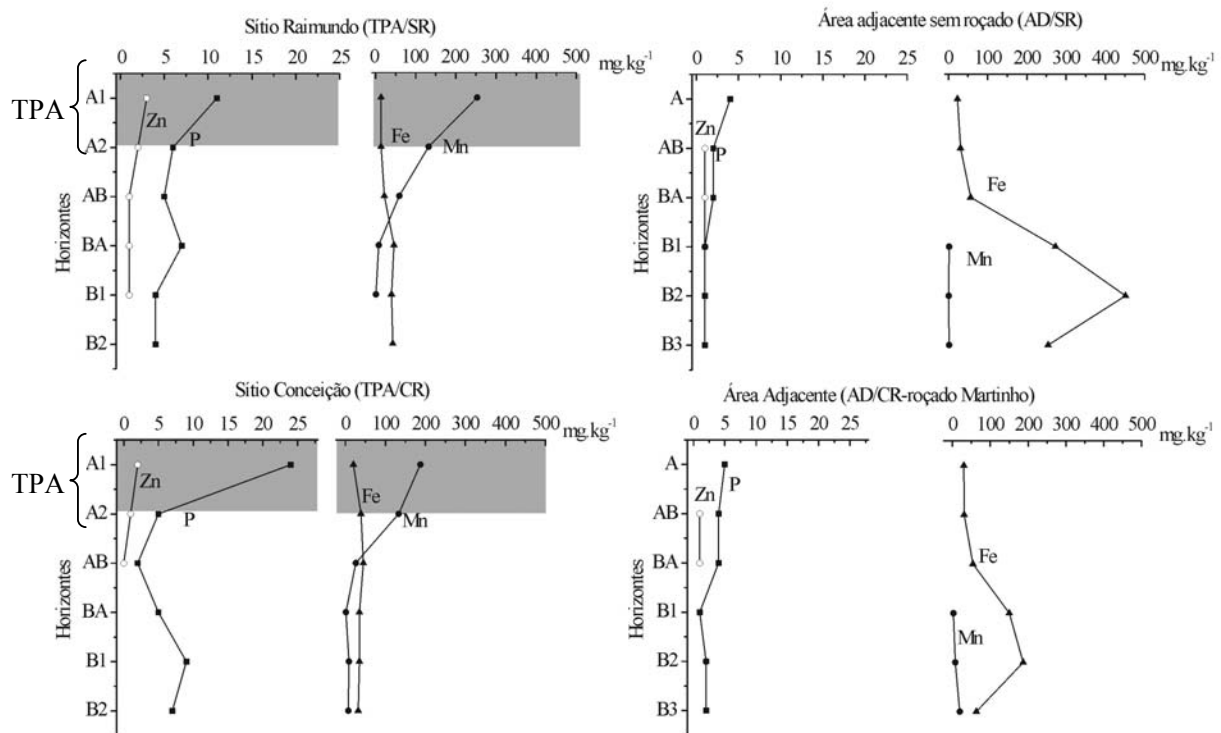


Figura 56 – Distribuição dos micronutrientes Zn, Mn, Fe e P disponíveis nos perfis de solo do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR), na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio TPA.

A concentração de C orgânico nos horizontes A com TPA variou de 27 a 63 g.kg⁻¹ e na área adjacente de 15 a 24 g.kg⁻¹. Em sítios com roçados, o teor de C orgânico é menor do que em sítios sem roçado (Figura 57), confirmando o consumo da mesma pela atividade agrícola. A média do teor de C orgânico nas TPAs investigadas está acima da média encontrada em outros

sítios em Caxiuana (Tabela 8), e a faixa de concentração média de C orgânico na região é 18 a 31 g.kg^{-1} .

Pabst (1991) já havia constatado que a diferença essencial entre a TPA e o Latossolo é o conteúdo de matéria orgânica que não só está em maiores quantidades na TPA como também é mais estável e rica em complexo metal-orgânicos e aromáticos, e tem grande poder de absorção de metais.

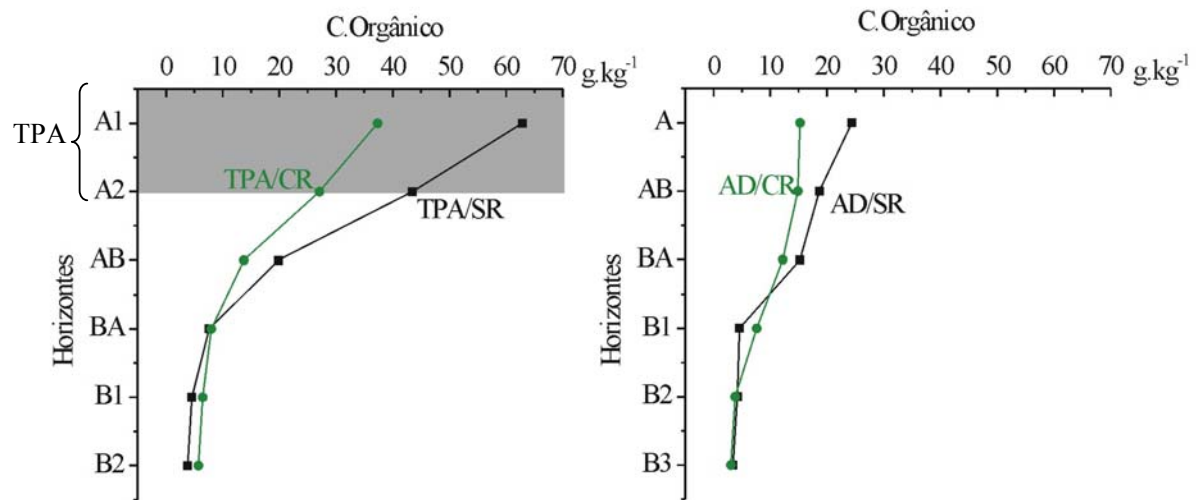


Figura 57 – Distribuição dos teores de carbono orgânico nos perfis de solo no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR), na área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR), no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho). A área cinza corresponde ao domínio TPA.

Comparados com a área adjacente, os teores relativamente elevados de Ca, Mg, Mn e P nos horizontes A do solo com TPA, provavelmente estão associados aos altos conteúdos de C orgânico, como observado nas significativas correlações entre eles (Figura 58). Demonstram que solos com TPA investigados com roçado ou não, ainda preservam a sua relativa alta fertilidade, mas aparentemente está perdendo-a como mostra a relativa diminuição dos valores de K, P e Zn (Figura 56).

A boa correlação do carbono orgânico com as frações areia média e fina, ou seja, com os horizontes A da TPA e a similaridade com elementos K, Na, Ca, Mg, P e Mn mostram que esses elementos são controlados principalmente pelo carbono orgânico do solo e não pelas frações granulométricas. Porém o Al, Zn e o Fe exibem um comportamento inverso dos outros elementos

visto que esses elementos correlacionaram de forma mais significativa com as frações mais finas do solo (Figuras 59 e 60), possivelmente com goethitas microcristalinas.

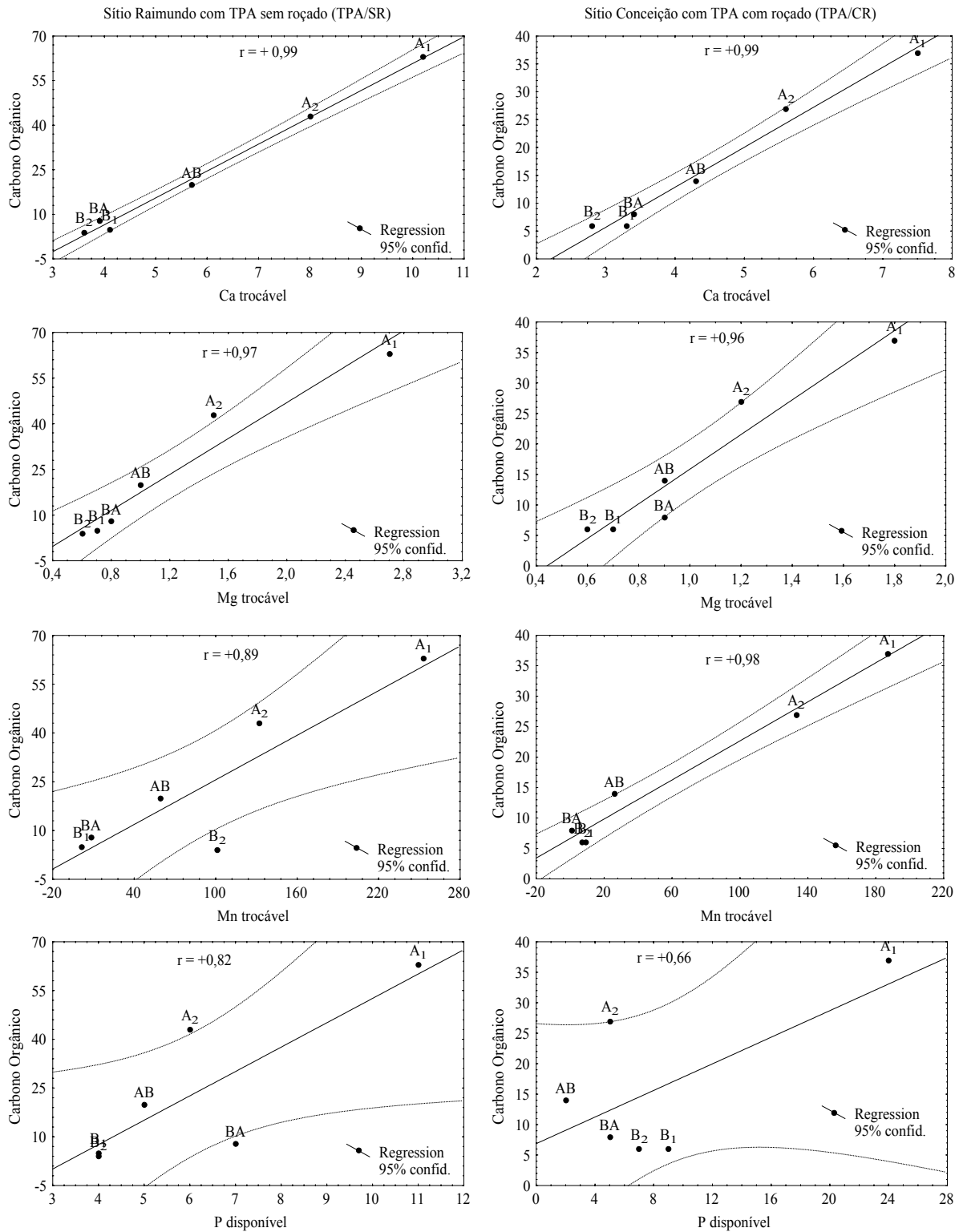


Figura 58- Correlação entre os conteúdos trocáveis de Ca, Mg, Mn e P com o C orgânico nos solos com TPA sem roçado (sítio Raimundo-TPA/SR) e com TPA com roçado (sítio Conceição-TPA/CR).

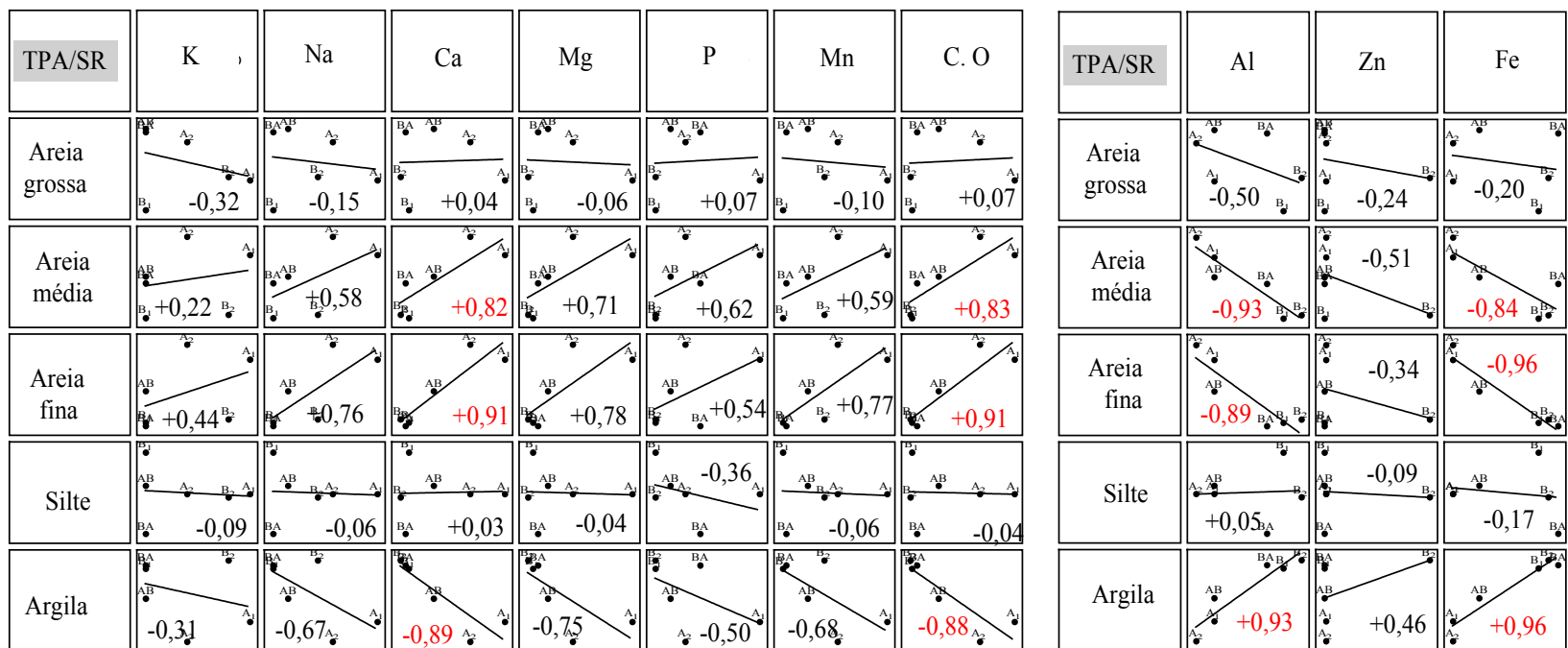


Figura 59- Correlações entre os conteúdos trocáveis K, Na, Ca, Mg, Al, P, Mn, Zn, Fe e o C orgânico com as frações granulométricas (areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila) no solo com TPA sem roçado (TPA/SR).

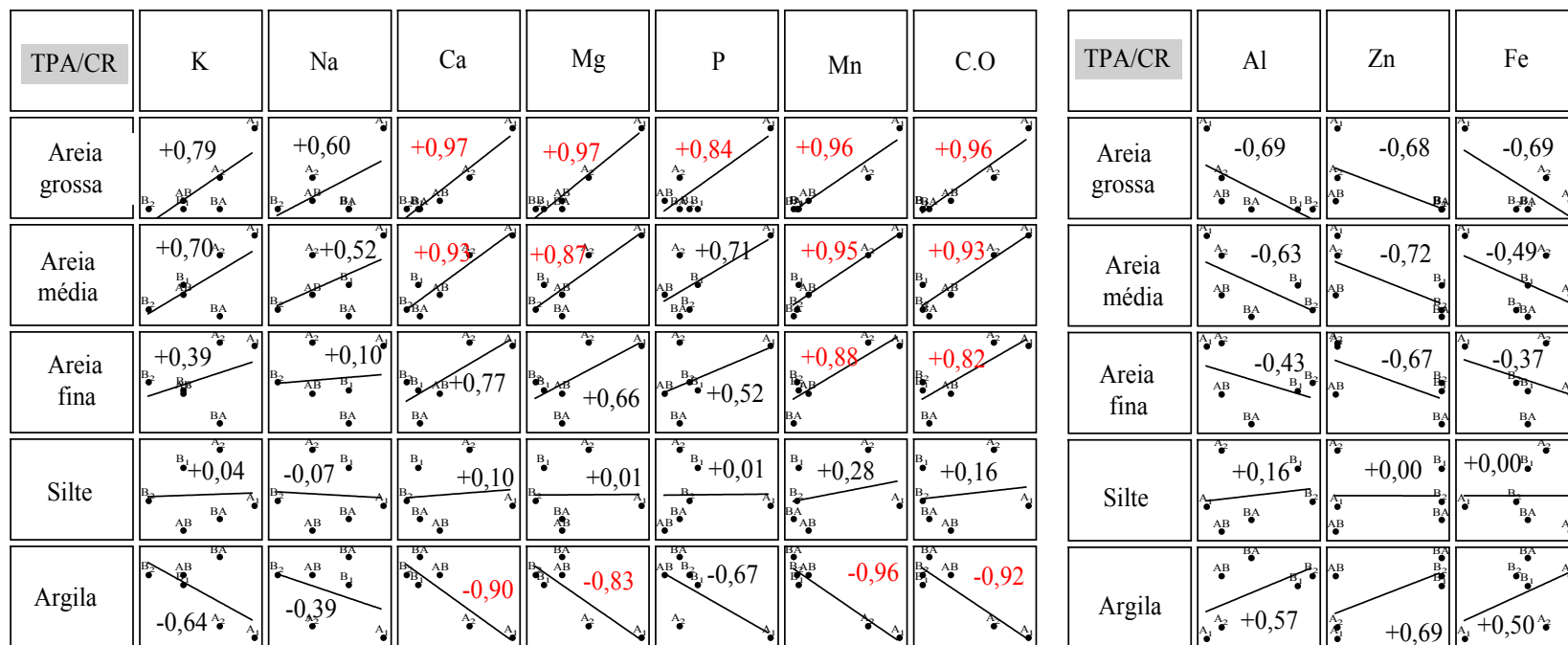


Figura 60- Correlações entre os conteúdos trocáveis K, Na, Ca, Mg, Al, P, Mn, Zn, Fe e o C orgânico com as frações granulométricas (areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila) no solo com TPA com roçado (TPA/CR).

5.1.4.6 Posição taxonômica dos solos estudados

Os solos nos perfis investigados foram classificados com o apoio do Pesquisador da Embrapa Dr. Tarcísio Ewerton Rodrigues, segundo a classificação dos solos proposto por EMBRAPA (1999). Os solos do sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) se enquadraram como ARGISSOLO AMARELO Tb eutrófico antropogênico, textura média/argilosa, A antrópico, enquanto o solo do sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), como ARGISSOLO AMARELO Tb eutrófico abruptico antropogênico, textura arenosa/argilosa, A antrópico. Os solos da área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR) se enquadram como ARGISSOLO AMARELO Tb eutrófico abruptico, textura arenosa/média, A moderado, enquanto o solo da área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR), como ARGISSOLO AMARELO Tb eutrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A chernozêmico.

Segundo a Legenda de Classificação de Solos Antrópicos (LCA) elaborado por Kämpf et al. (2003) os solos no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) se enquadrariam como Arqueo-antrossolo hórtico ebânico, franco argiloso, eutrófico, léptico e o solo no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) de Arqueo-antrossolo hórtico ebânico, franco arenoso, eutrófico, léptico.

5.2 VARIAÇÕES AREAIS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DA FERTILIDADE DO HORIZONTE “A” E CONTRIBUIÇÃO ANTRÓPICA

Este horizonte é considerado à parte por corresponder à zona de influência antrópica pré-histórica (formação de Terra Preta) e histórica (uso para agricultura de subsistência, como a mandioca), cujos contrastes são motivos desta pesquisa.

5.2.1 Distribuição Areal dos Elementos

5.2.1.1 Elementos maiores e menores

Os valores de quatro estações analisadas, correspondentes aos dois horizontes A_1 e A_2 , portanto 8 amostras, mostram que a Terra Preta não apresenta variações significativas entre si, e, também não arealmente, com exceção apenas para K_2O na estação sul (Figura 61).

Na área adjacente, também com quatro estações e apenas horizonte A, portanto apenas quatro amostras, os principais elementos químicos na forma dos óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 , não apresentam variações significativas, ao contrário dos alcalinos e alcalinos terrosos e P, especialmente K e Ca, que estão em níveis muito baixos na amostra ao sul (Figura 62).

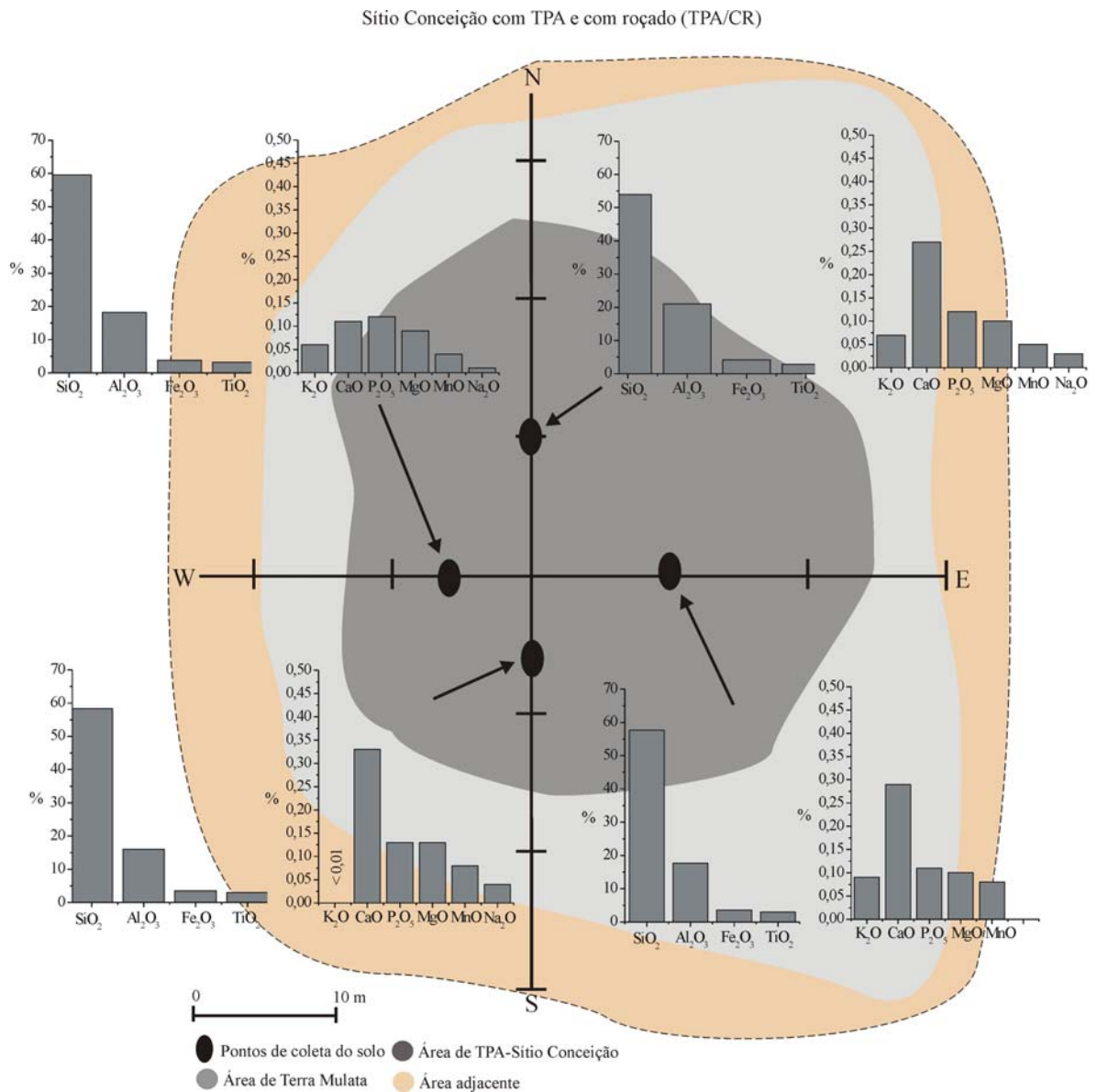


Figura 61 – Distribuição dos elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , CaO , P_2O_5 , MgO , MnO e Na_2O) no horizonte A das transversais N-S e L-W no Sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).

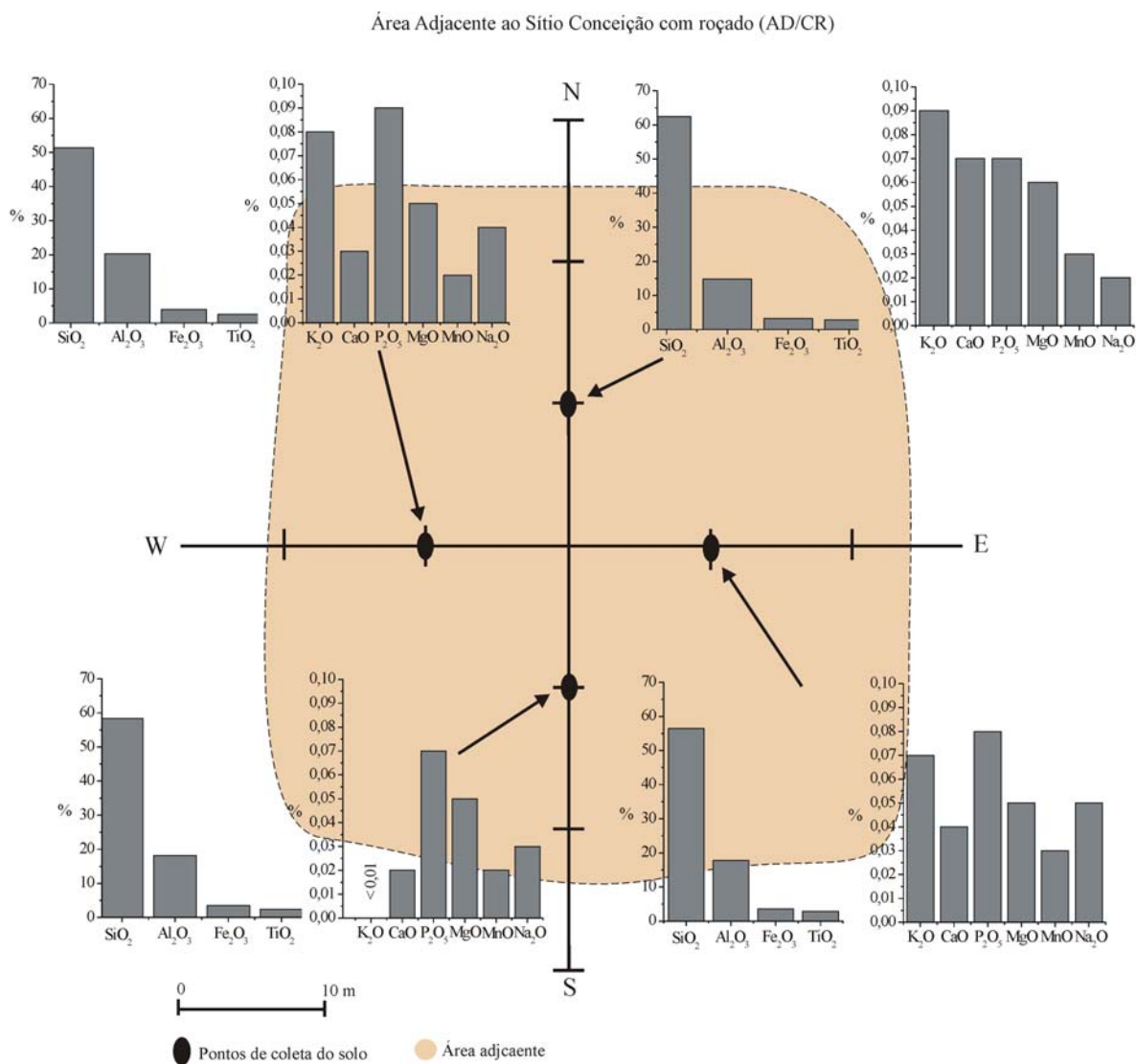


Figura 62 – Distribuição dos óxidos dos elementos maiores e menores (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, K₂O, CaO, P₂O₅, MgO, MnO e Na₂O) no horizonte A das transversais N-S e L-W na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).

5.2.1.2 Elementos-traço

Em termos de distribuição areal dos elementos-traço no sítio Conceição com TPA todos os elementos apresentam o mesmo padrão, portanto sem dependência areal, exceto Cu e Pb. Cobre encontra-se em nível muito baixo na amostra ao norte (Figuras 63 e 64).

Na área adjacente ao Sítio Conceição a distribuição dos elementos-traço também não mostra dependência areal, com os teores dos elementos em ordem de grandeza do sítio com TPA, com exceção de Cu e Rb, em níveis abaixo do LD, e Pb que mostra significativa variação areal, da mesma forma que na TPA (Figuras 65 e 66).

Entre os elementos-traço o Zn (< 30), Rb (< 2), Cu (< 10), Cs ($< 0,5$) e Tl ($< 0,1$) apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção no solo da área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR). E os elementos Be (< 1), Ag ($< 0,5$), In ($< 0,2$) e Bi ($< 0,4$) apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção nos dois roçados (TPA/CR e AD/CR).

A homogeneidade areal tanto no sítio com TPA quanto na área adjacente é também confirmada pela distribuição homogênea dos elementos terras raras e a similaridade química entre os dois sítios, TPA e a área adjacente, pelos valores similares entre as duas áreas (Figuras 67 e 68). Estes dados confirmam a relação genética das TPA com os solos adjacentes, que lhes serviram de substrato, possivelmente.

Sítio Conceição com TPA e com roçado (TPA/CR)

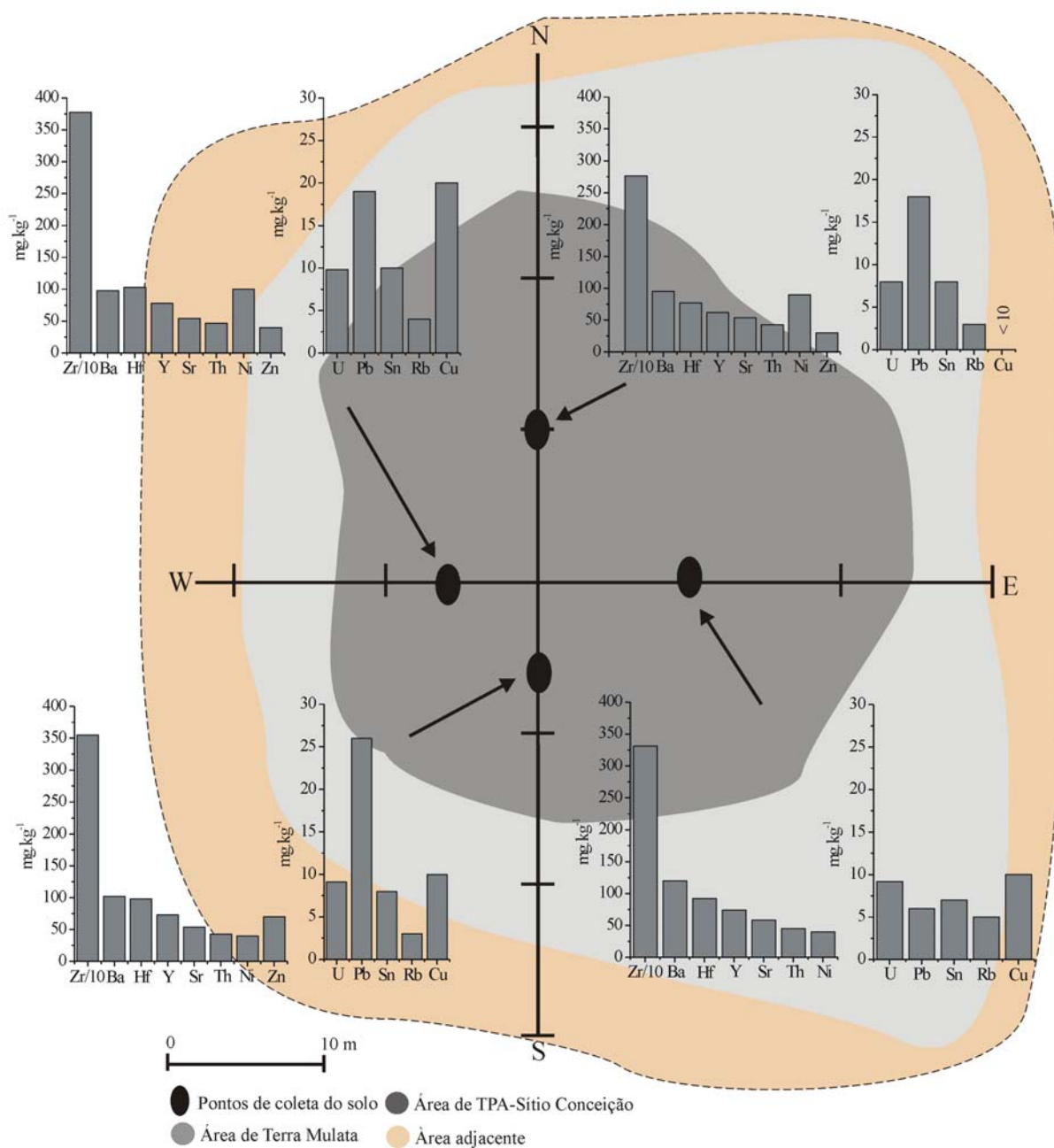


Figura 63 – Distribuição dos elementos-traço Zr, Ba, Hf, Y, Sr, Th, Ni, Zn, U, Pb, Sn, Rb e Cu (mg.kg^{-1}) ao longo das transversais no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).

Sítio Conceição com TPA e com roçado (TPA/CR)

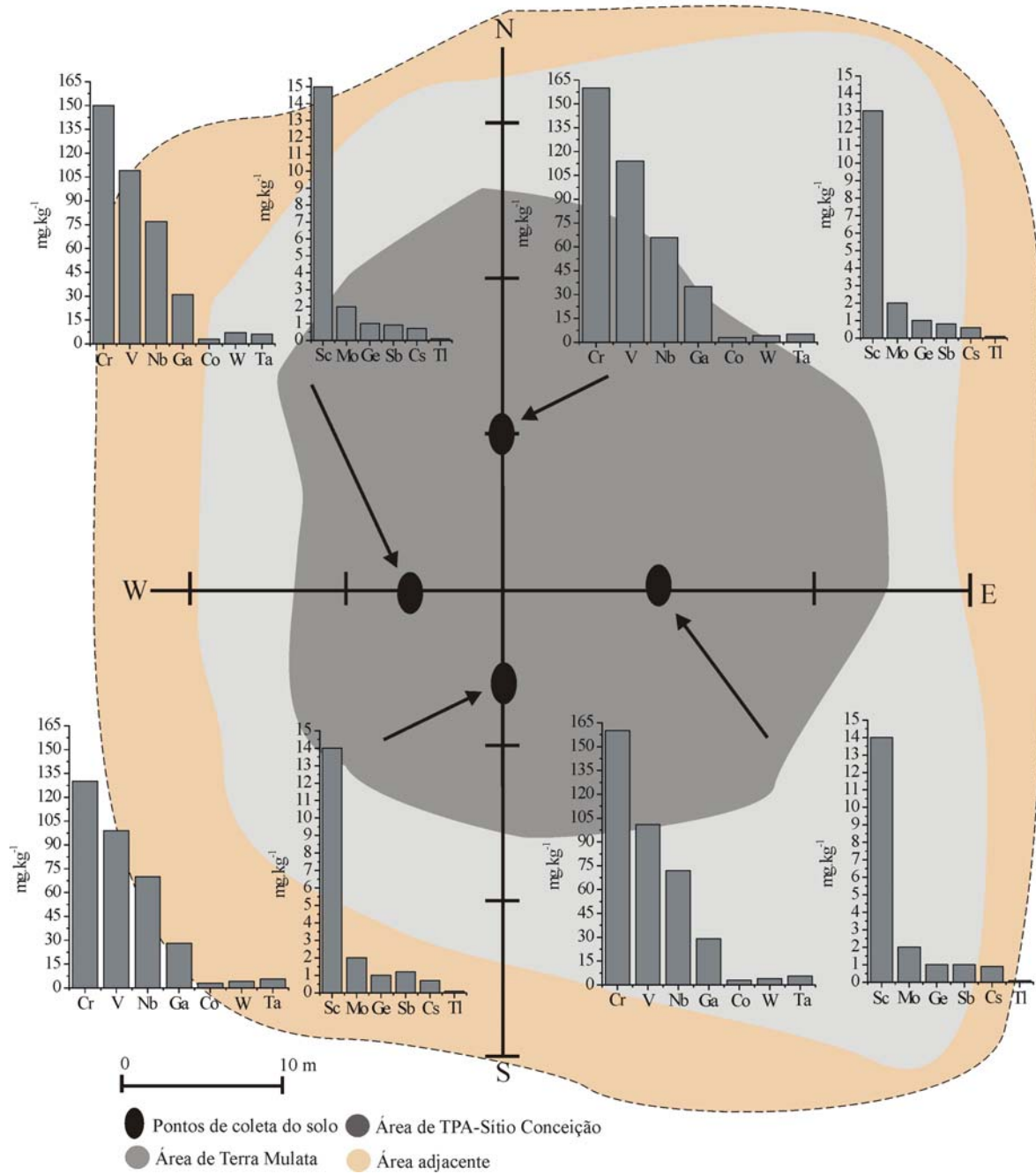


Figura 64 – Distribuição dos elementos-traço Cr, V, Nb, Ga, Co, W, Ta, Sc, Mo, Ge, Sb, Cs e Tl (mg.kg^{-1}) ao longo das transversais no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).

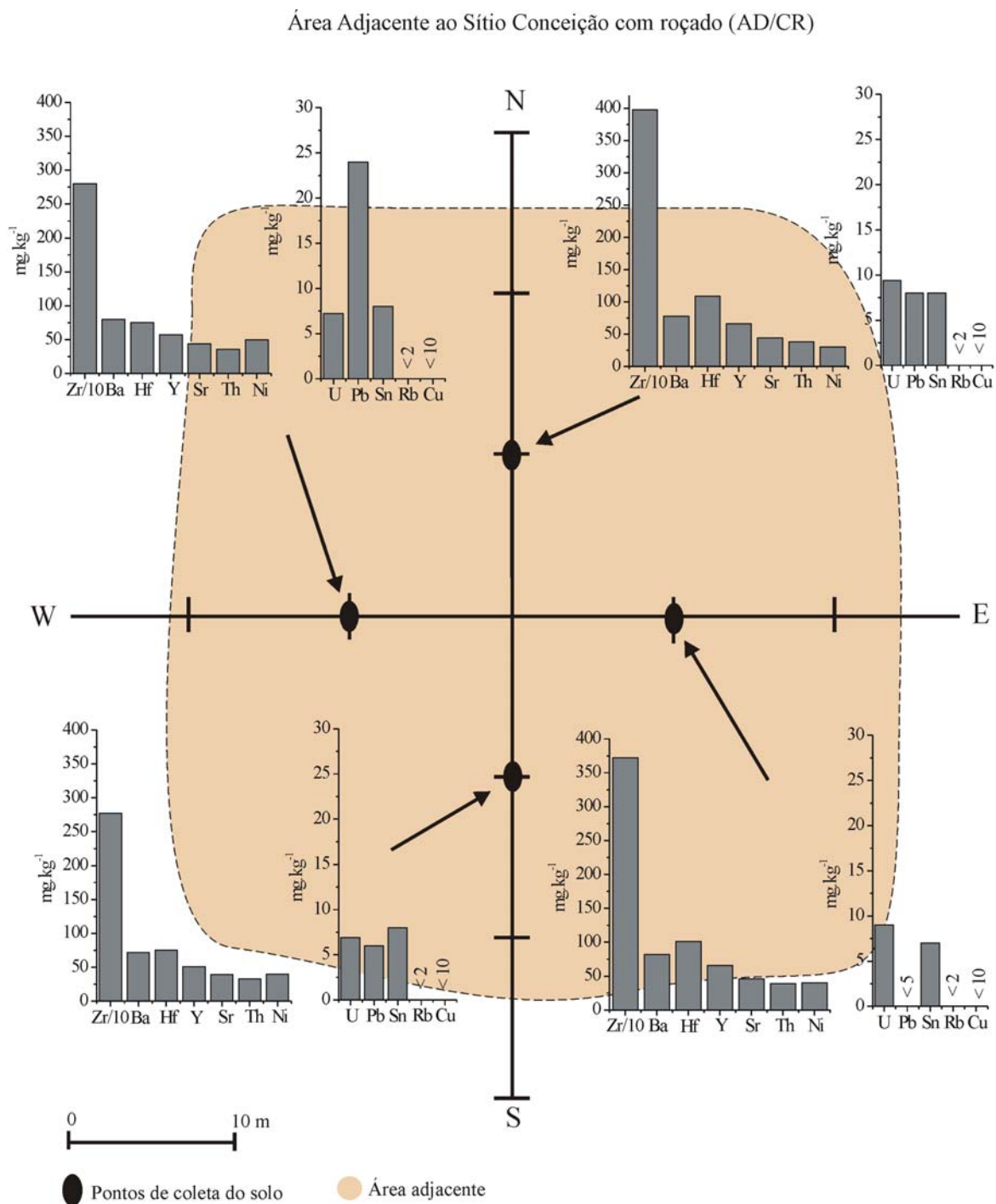


Figura 65 – Distribuição dos elementos-traço Zr, Ba, Hf, Y, Sr, Th, Ni, Zn, U, Pb, Sn, Rb e Cu (mg.kg^{-1}) ao longo das transversais na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).

Área Adjacente ao Sítio Conceição com roçado (AD/CR)

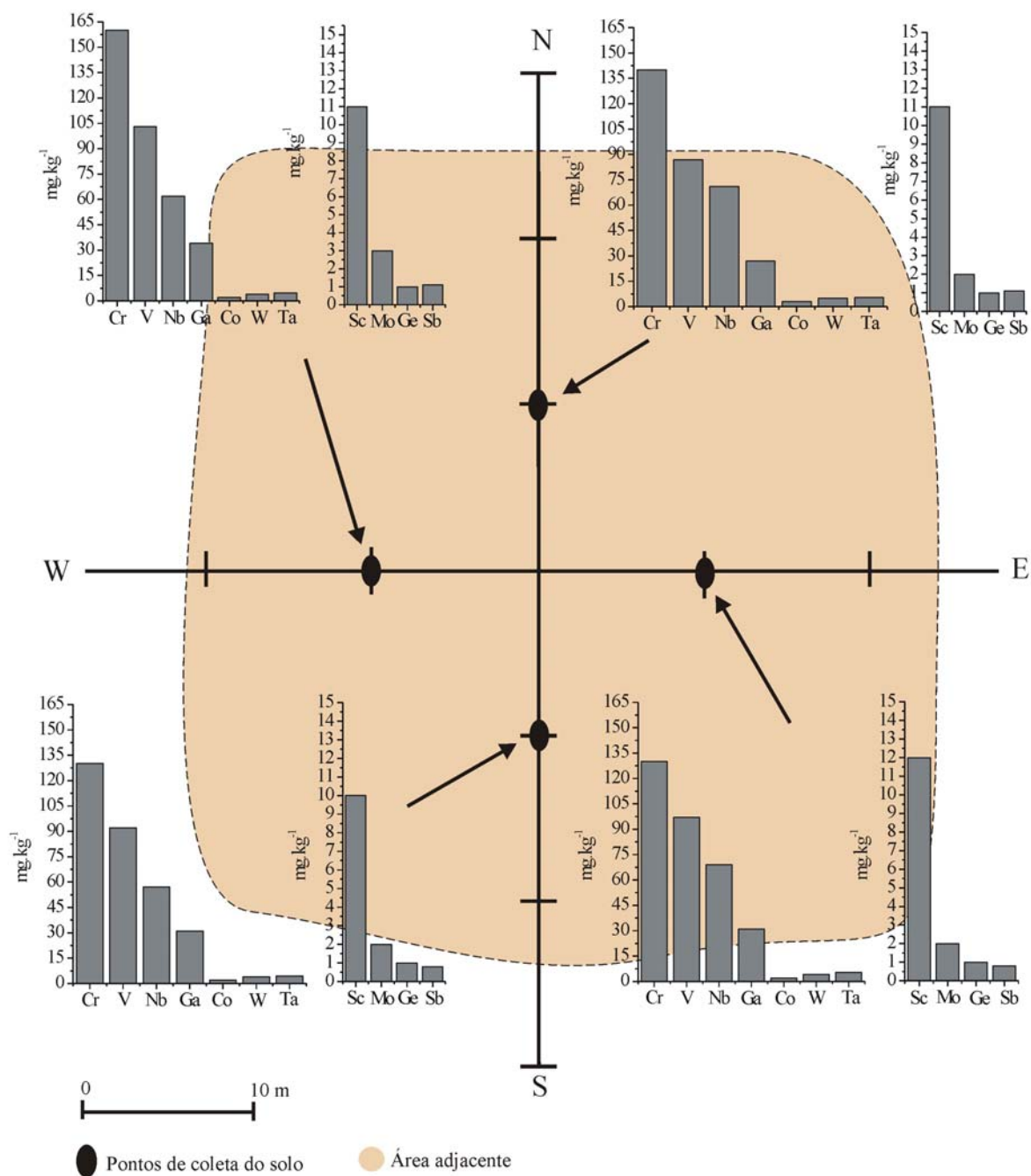


Figura 66 – Distribuição dos elementos-traço Cr, V, Nb, Ga, Co, W, Ta, Sc, Mo, Ge, Sb, Cs e Tl (mg.kg^{-1}) ao longo das transversais na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).

5.2.1.3 Elementos terras raras

No solo com TPA, sítio Conceição, os elementos terras raras se concentram na direção oeste do sítio com exceção apenas do La, Ce e Pr que estão mais concentrados na direção norte, porém a diferença é pequena. Na área adjacente ao sítio Conceição, esses elementos se concentram nas direções norte e leste (Figura 67 e 68). Os elementos terras raras se apresentam mais enriquecidos em solos com TPA do que nas áreas adjacentes (AD).

Sítio Conceição com TPA e com roçado (TPA/CR)

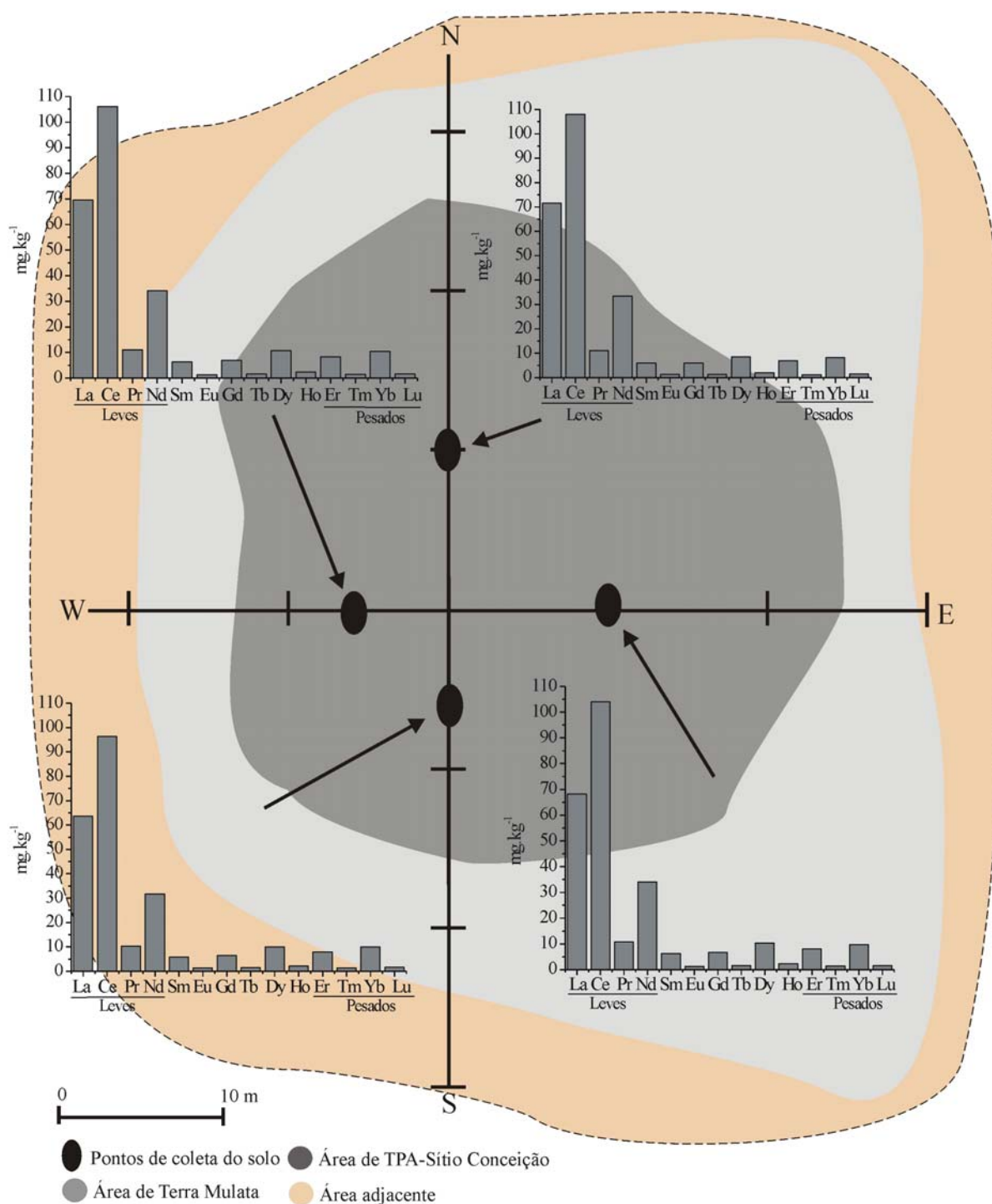


Figura 67 – Distribuição dos elementos terras raras (mg.kg⁻¹) ao longo das transversais no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR).

Área Adjacente ao Sítio Conceição com roçado (AD/CR)

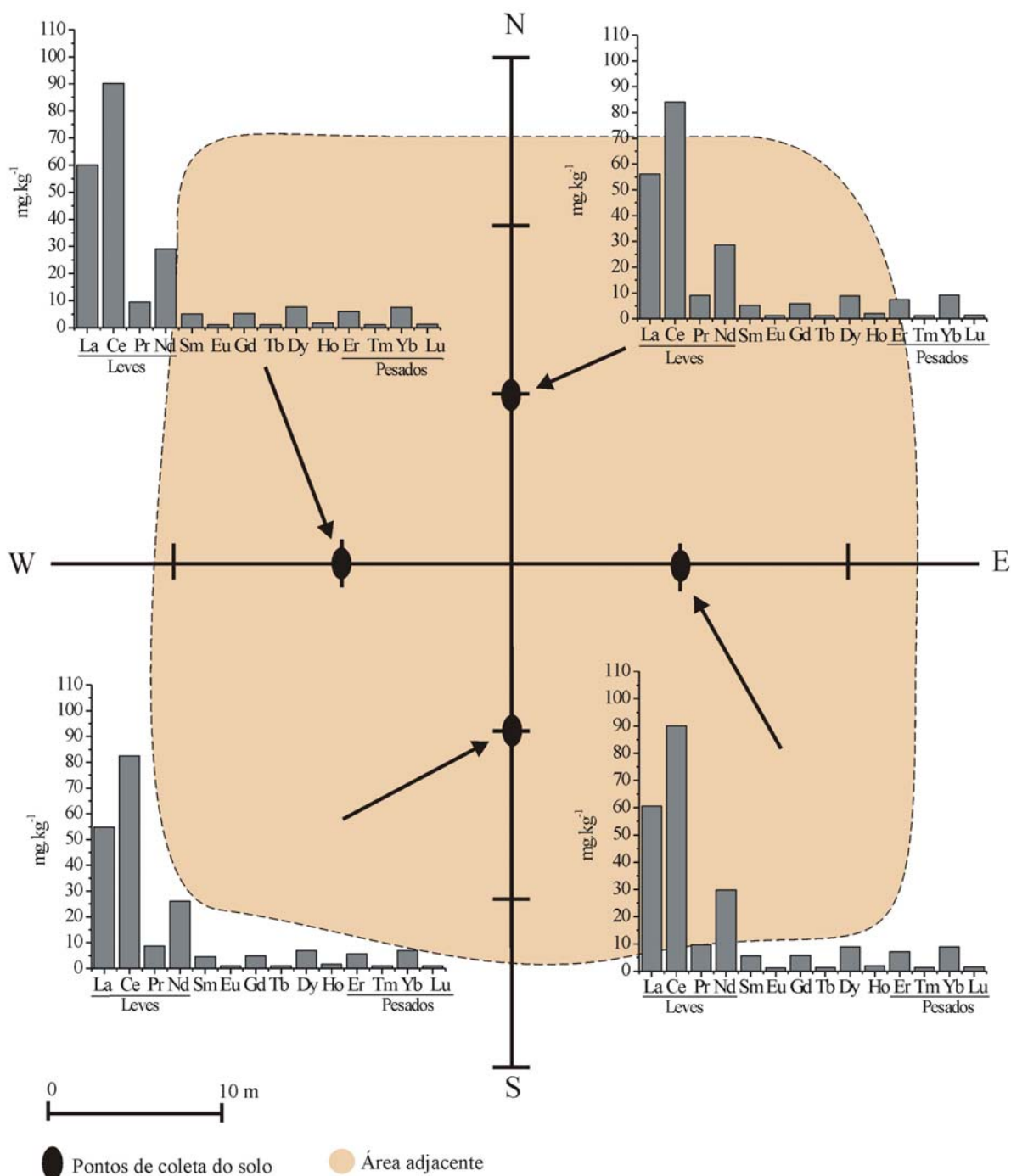


Figura 68 – Distribuição dos elementos terras raras (mg.kg^{-1}) ao longo das transversais na área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).

5.2.1.4 Arsênio, selênio e mercúrio (totais e trocáveis)

Os valores de arsênio nos horizontes A de solo com TPA são maiores do que em solo adjacente, fato este já observado nos perfis. As concentrações mais elevadas estão no limite da Terra mulata e TPA e próximo à zona central da roseta (P0). No sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR) o arsênio total se concentra preferencialmente na zona central (Figura 69). Esta zona central corresponde ao maior domínio de matéria orgânica. Os solos com TPA sem roçado (sítio Raimundo) exibem concentrações de arsênio que variam de 4000 a 6000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, valores estes mais elevados que em solo com TPA com roçado (sítio Conceição) de 385 a 4155 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. A área adjacente com roçado (AD/CR- sítio Martinho) os valores de As variaram de 638 a 2638 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

Os valores de selênio total não mostram grande variação areais. No sítio Conceição (TPA/CR) ele varia de 170 a 316 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, enquanto na sua área adjacente (AD/CR-roçado Martinho) o selênio varia de 135 a 299 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (Figura 70). O selênio não foi analisado no sítio Raimundo com TPA com roçado (TPA/CR).

As concentrações de Hg total também não mostram grandes variações areais, exceto em 3 amostras fora da área de TPA (Terra Mulata) no sítio Raimundo (TPA/SR), (Figura 71). Os horizontes A do sítio Conceição com roçado (TPA/CR) exibem concentrações mais altas (250 a 264 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) do que o sítio Raimundo sem roçado (TPA/SR) que varia de 107 a 164 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, fato também já confirmado nos perfis, e como observado os perfis das áreas adjacentes apresentam maior concentração de Hg total do que as TPAs.

O Hg trocável no sítio Conceição se concentra nas direções oeste e nordeste e na área adjacente na direção norte. E verifica-se também que o Hg trocável está proporcional ao Hg total (Figura 72).

As concentrações trocáveis de arsênio e selênio apresentaram-se abaixo do limite de detecção, respectivamente $< 0,4$ e $< 0,3$, no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e na sua área adjacente com roçado (AD/CR-roçado Martinho). No sítio Raimundo sem roçado (TPA/SR), esses elementos trocáveis (As, Se e Hg) não foram analisados.

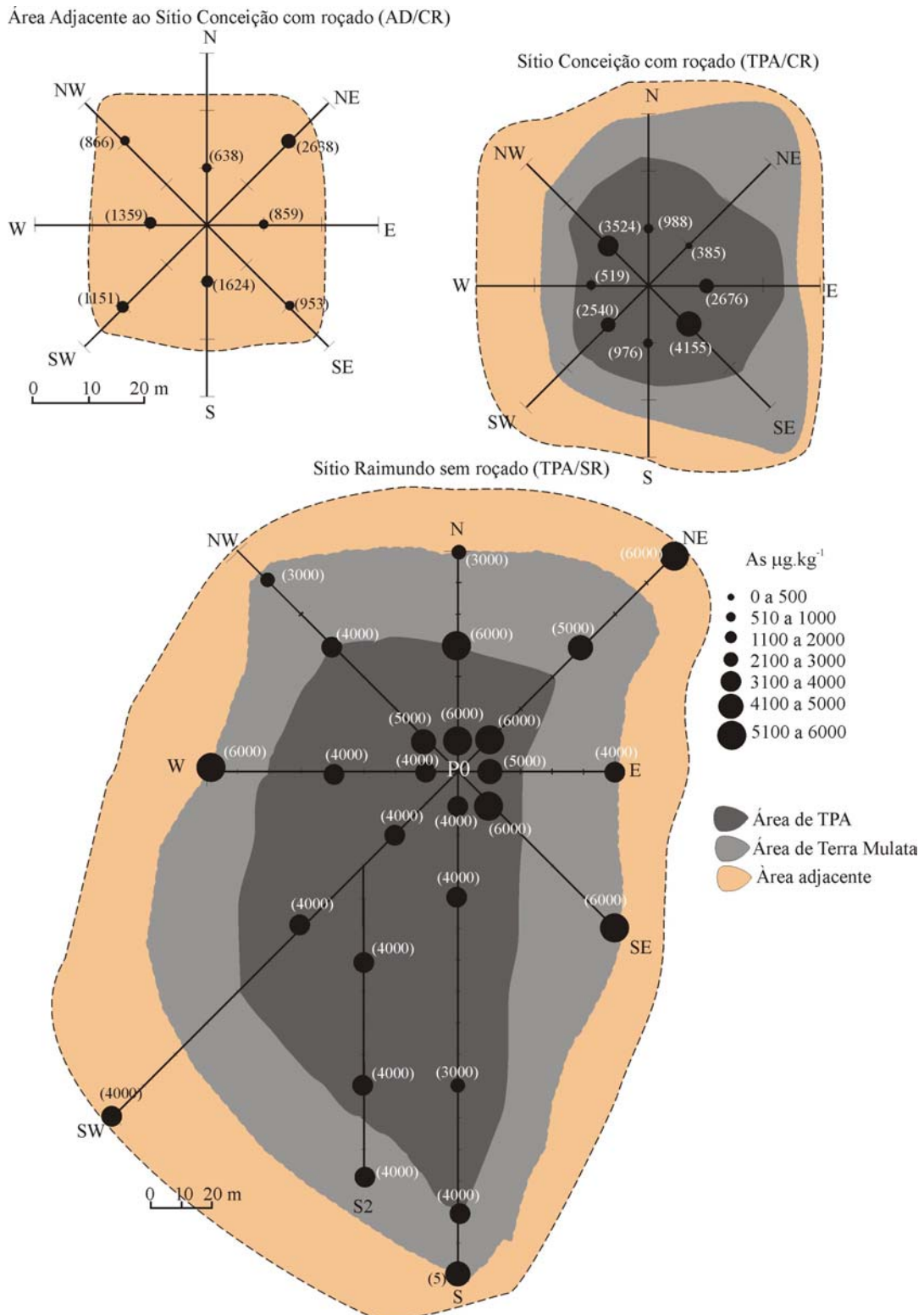
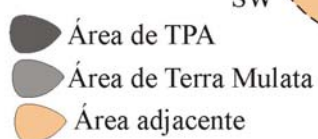
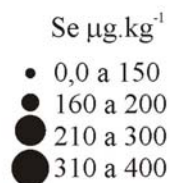
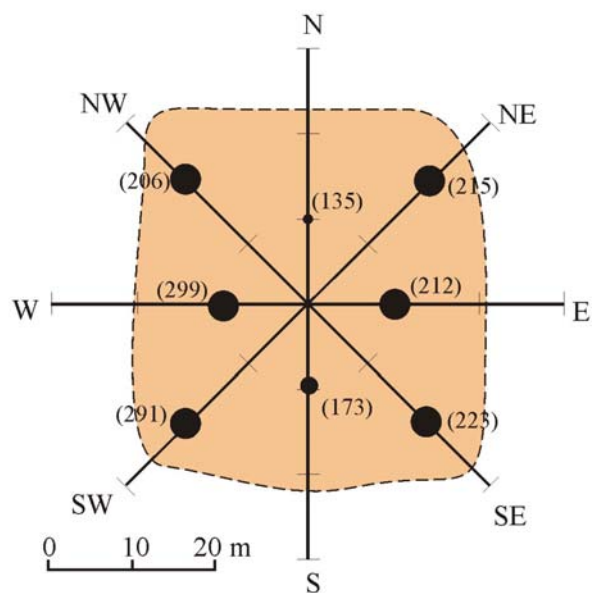


Figura 69 – Distribuição areal dos teores de arsênio total no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

Área Adjacente ao Sítio Conceição com roçado (AD/CR)



Sítio Conceição com roçado (TPA/CR)

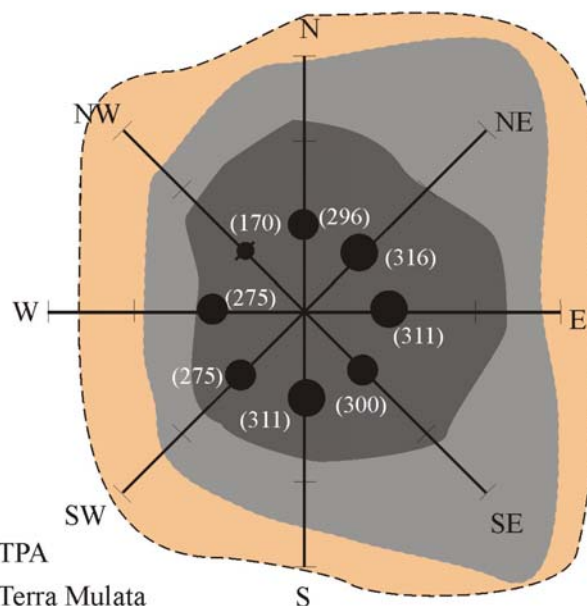


Figura 70 – Distribuição areal dos teores de Se total no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e sua área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).

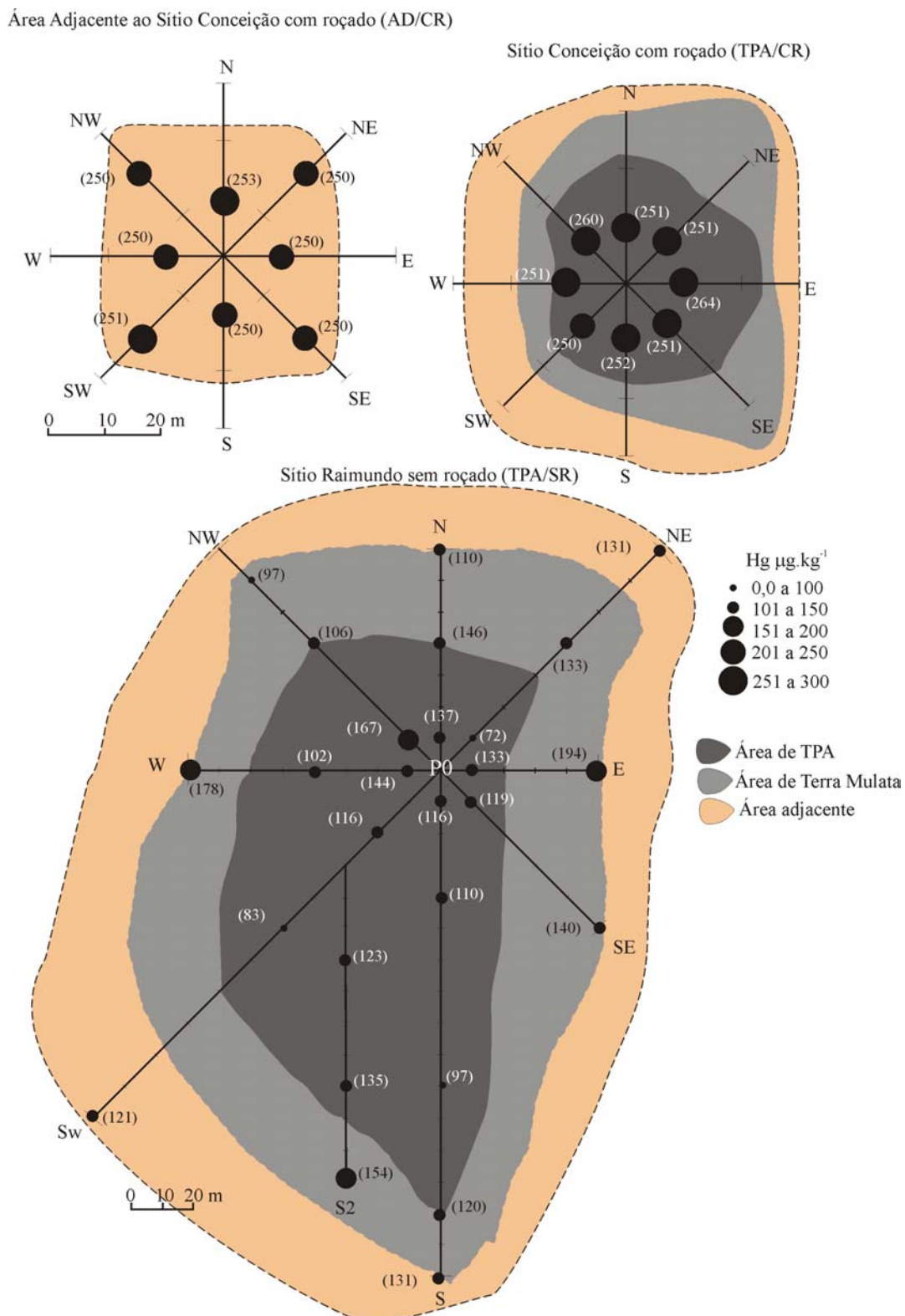
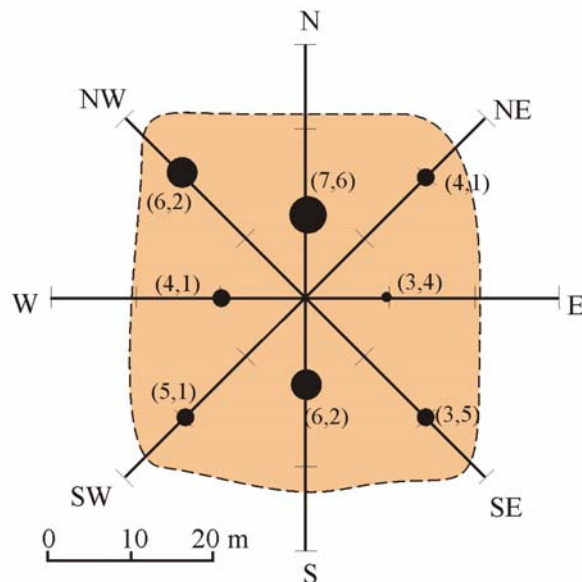


Figura 71- Distribuição areal dos teores de Hg total no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

Área Adjacente ao Sítio Conceição com roçado (AD/CR)

Hg trocável $\mu\text{g.kg}^{-1}$

● 0,0 a 3,0

● 3,1 a 5,0

● 5,1 a 7,0

● 7,1 a 10,0

● Área de TPA

● Área de Terra Mulata

● Área adjacente

Sítio Conceição com roçado (TPA/CR)

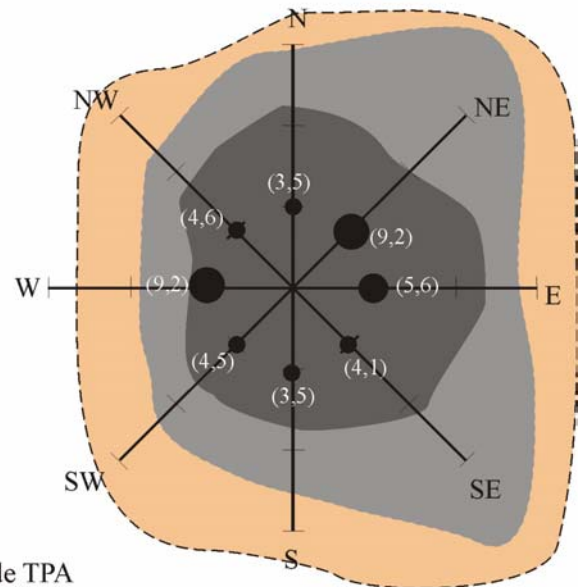


Figura 72 – Distribuição areal dos teores de Hg trocável no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR) e sua área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR).

5.2.1.5 Parâmetros de fertilidade

Os solos com TPA são menos ácidos (TPA/CR média pH = 5,6; TPA/SR média pH= 5,4) do que os solos da área adjacente (AD/CR média pH= 4,5), (Figura 73).

Os solos na área adjacente com roçado (AD/CR) além da acidez também apresentam maior conteúdo de Fe trocável (207 mg.kg^{-1}) e Al^{3+} trocável ($1,8 \text{ cmolc.kg}^{-1}$), (Figuras 74 e 75), e conseqüentemente maior índice de saturação por alumínio trocável (média $m= 37 \%$), do que os solos com TPA com e sem roçado (TPA/CR e TPA/SR). Verifica-se que os valores mais baixos de Fe e Al estão na área de ocorrência de TPA e TM e, por conseguinte, os mais elevados trocáveis estão na área adjacente. Isto pode ser explicado pela abundância de matéria orgânica da

TPA e TM, que teria queluviada esses elementos dos seus oxi-hidróxidos contidos nos oxi-solos pré-existentes, atualmente sustentando as TPA e TM.

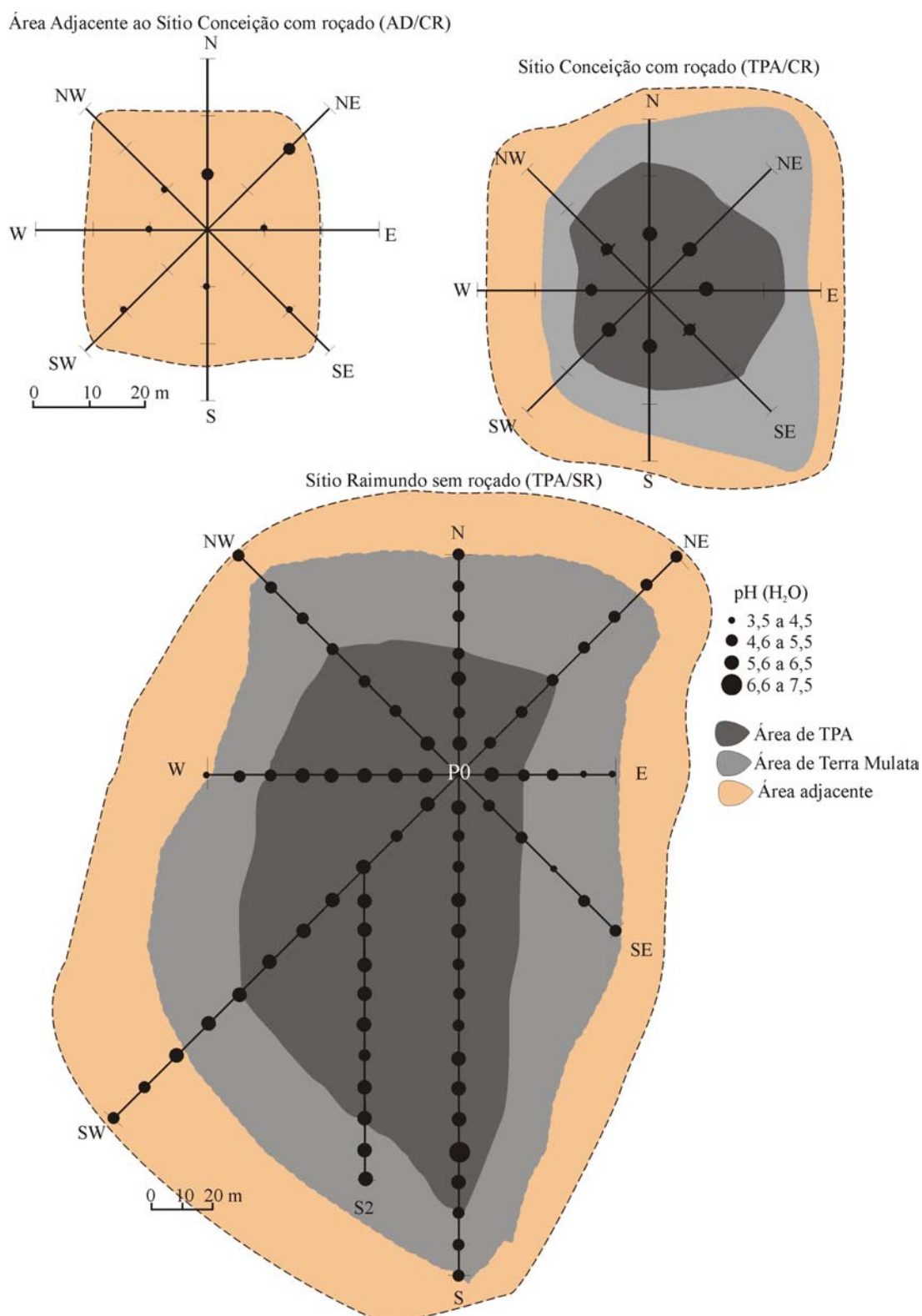


Figura 73 - Distribuição areal dos valores de pH (H₂O) nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

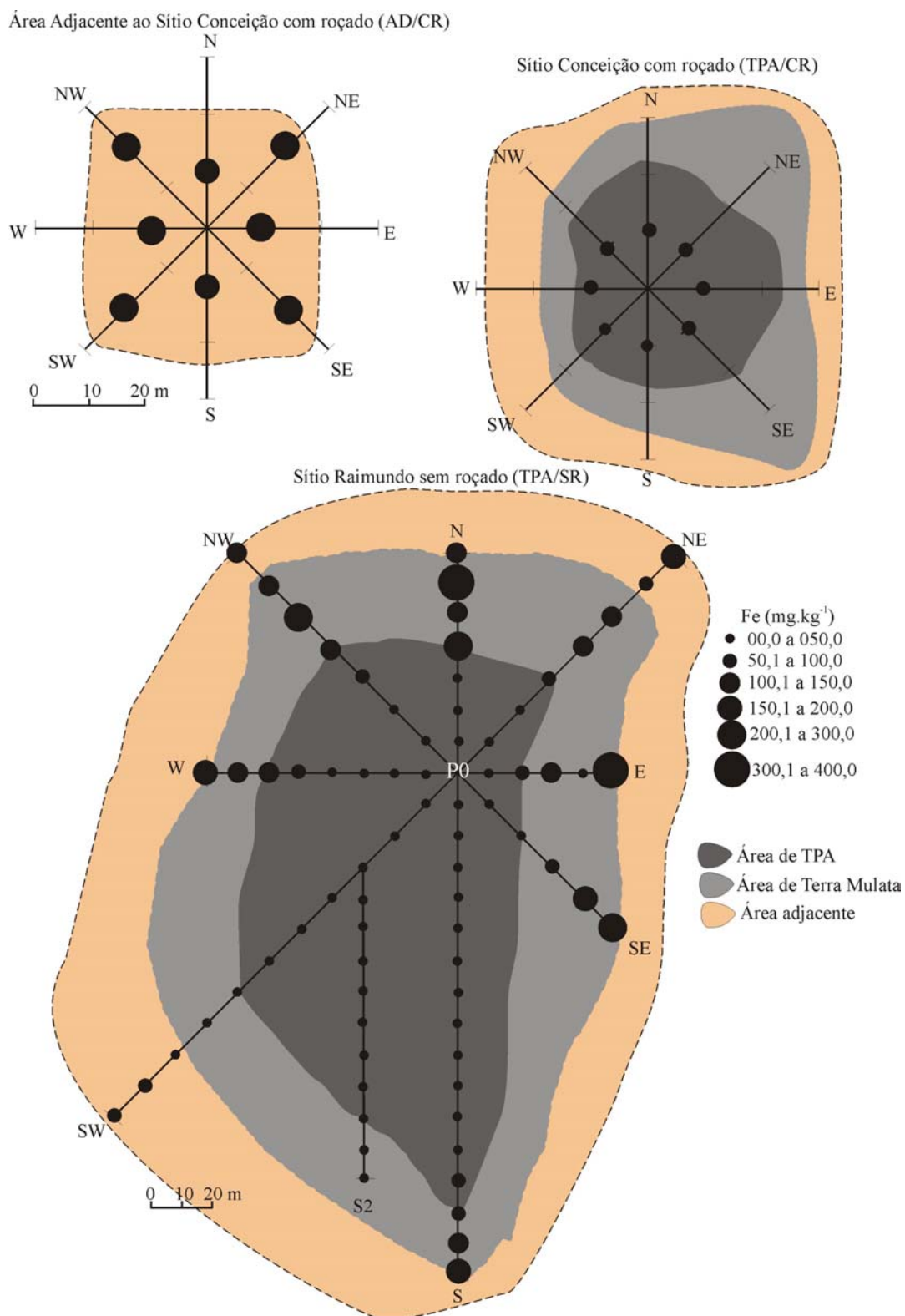


Figura 74 - Distribuição areal dos valores de Fe trocável nos horizontes A das tranções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

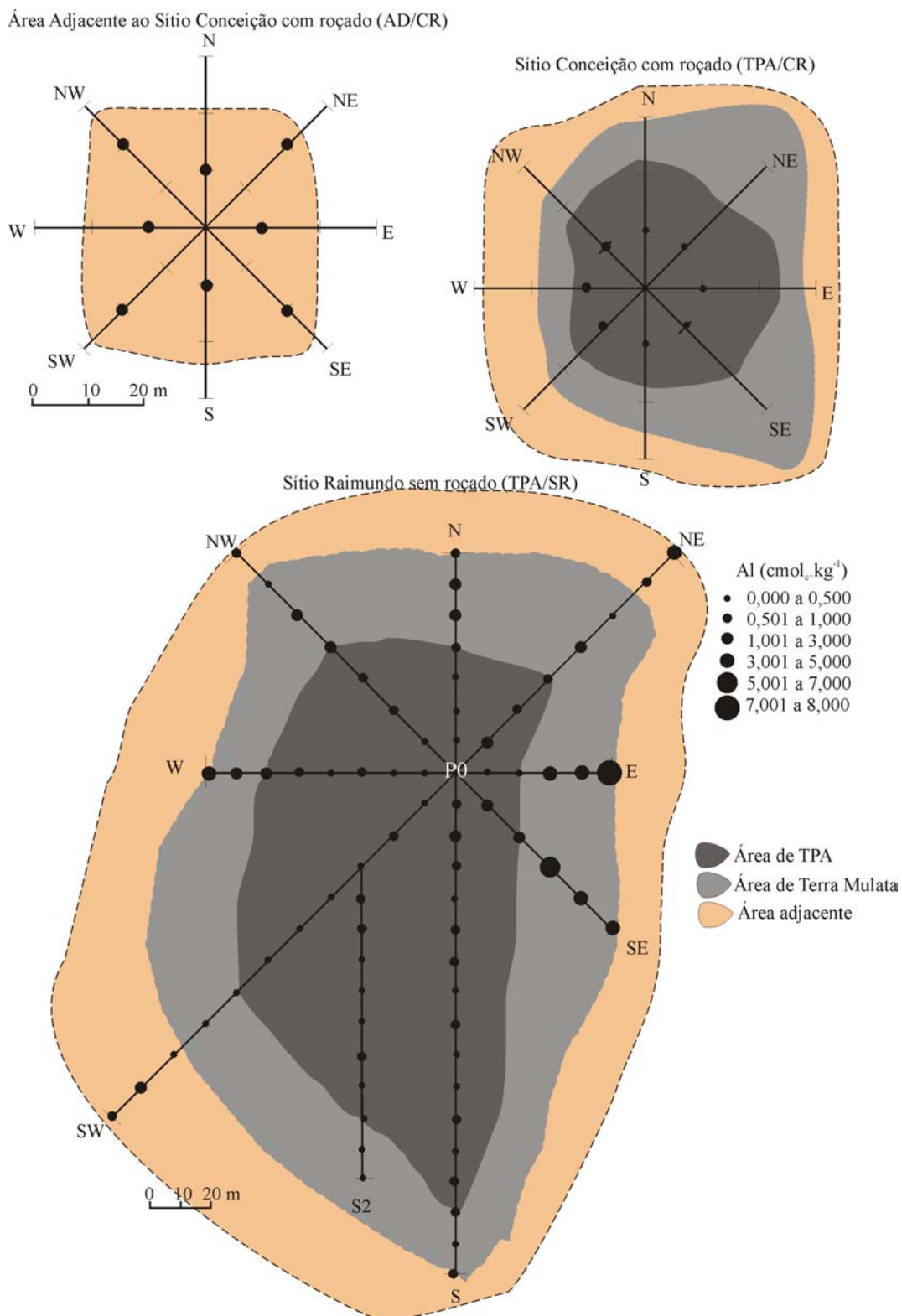


Figura 75 - Distribuição areal dos valores de Al trocável nos horizontes A das tranções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

Potássio e Na apresentam variações significativas na distribuição de seus teores trocáveis, embora estejam concentrados apenas na porção oeste da transversal W-E. São característicos da TPA e TM. Essa distribuição areal não apresentou qualquer relação com os demais parâmetros medidos. Por outro lado Ca e Mg trocáveis que também apresentam ampla variação ocupam, principalmente a zona central e sul do sítio Raimundo sem roçado (TPA/SR) e o Ca e Mg (Figuras 76, 77, 78 e 79), coincidindo com o domínio da matéria orgânica, também característicos da TPA e TM. Os conteúdos de carbono orgânico e nitrogênio se concentram principalmente na zona central (Figuras 80 e 81) deste sítio sem roçado. Portanto, embora K, Na, Ca e Mg sejam típicos da TPA e TM, K e Na ocupam área distinta e restrita daquela de Ca e Mg, de maior amplitude areal. Possivelmente, esta distinção esteja ligada à natureza química dos resíduos descartados.

Os valores de P disponível são mais altos dentro da área de TPA do que na área adjacente. No sítio Raimundo com TPA sem roçado os teores altos se concentram na transversal S2, a sudoeste, onde se verifica a maior concentração de fragmentos cerâmicos (Figura 82) e o maior conteúdo de matéria orgânica. O P disponível nos sítios Conceição com TPA com roçado variou de 3 a 5 mg.kg⁻¹ e no sítio Raimundo com TPA sem roçado variou de 1 a 61 mg.kg⁻¹, valores considerados baixos comparados, por exemplo, a 937 mg.kg⁻¹ no sítio Ponta Alegre em Caxiuanã (KERN, 1996), mas são equivalentes ao sítio La Sardina na Colômbia com média de 25 mg.kg⁻¹ (EDEN et al., 1984).

As concentrações trocáveis de Zn e Mn, da mesma forma que P, são mais elevadas na transversal S2 e na zona central no sítio Raimundo com TPA sem roçado, (Figuras 83 e 84) e, por conseguinte se correlacionam com os de carbono orgânico. Esta possível associação de valores elevados de P, Mn, Zn e carbono orgânico sugerem que parte do sítio era destinada ao descarte de material orgânico. Na área adjacente ao sítio Conceição com roçado, o Zn trocável apresentou-se abaixo do limite de detecção (< 0,05) e no sítio Conceição o Zn foi detectado em apenas dois pontos na região sudeste (0,5 e 0,6 mg.kg⁻¹).

Os mapas de distribuição areal dos elementos de fertilidade nos sítios de TPA, TM e áreas adjacentes mostram claramente quatro regiões de domínio de valores mais elevados: 1) M.O. – Ca – Mg; 2) P – Mn – Zn; 3) K – Na; e 4) Fe-Al. As três primeiras são típicas da TPA e TM, enquanto a quarta, da zona adjacente. Matéria orgânica, Ca e Mg têm ampla distribuição na TPA e TM concentrando-se na zona central e sul, enquanto P, Mn e Zn na transversal S2 ao sul e K e

Na apenas na parte oeste da transversal W-E. Portanto, matéria orgânica, Ca, Mg, bem como P, Mn e Zn estão em íntima ligação com a matéria orgânica.

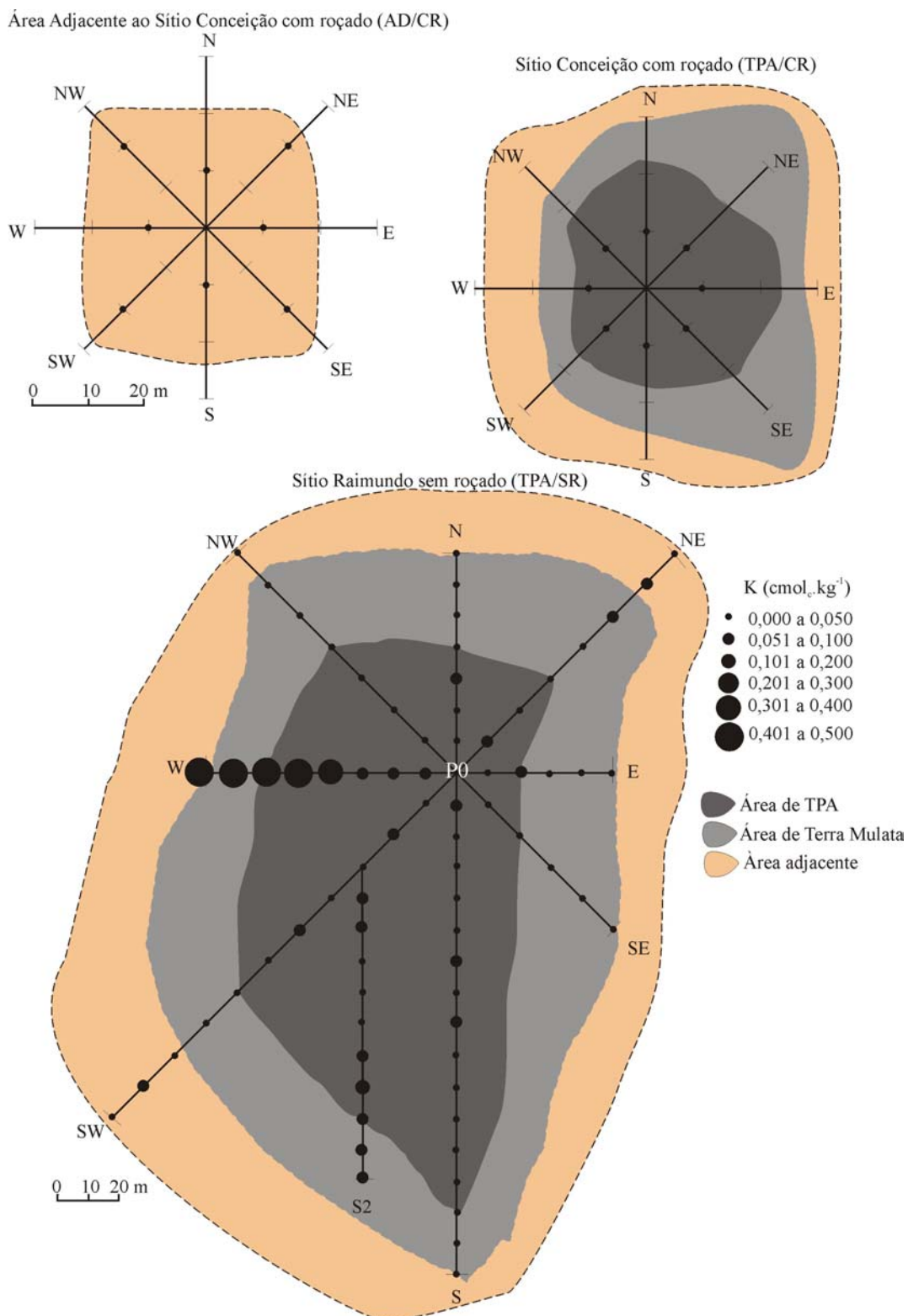


Figura 76 - Distribuição areal dos valores de K trocável nos horizontes A das tranções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

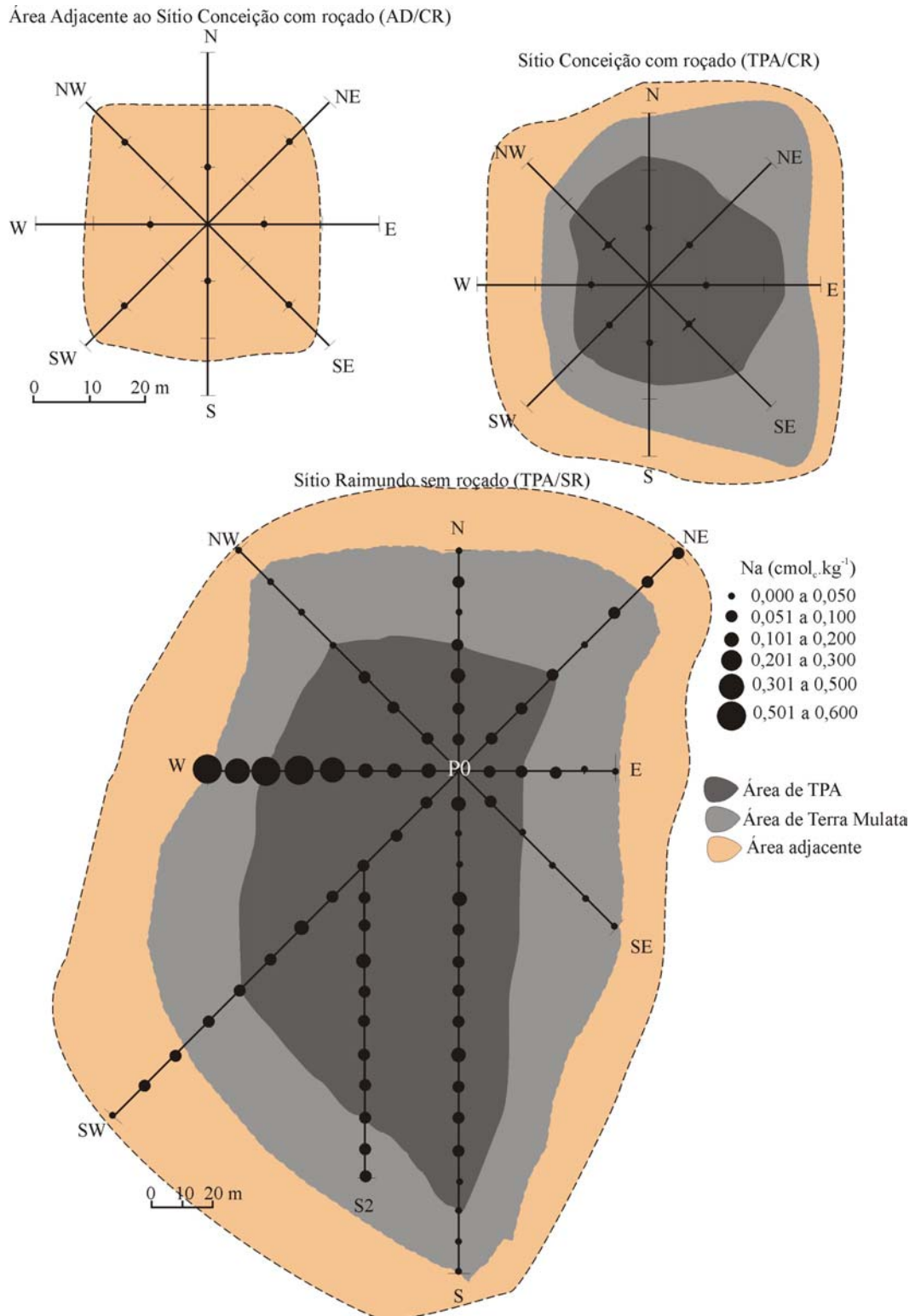


Figura 77 - Distribuição areal dos valores de Na trocável nos horizontes A das tranções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

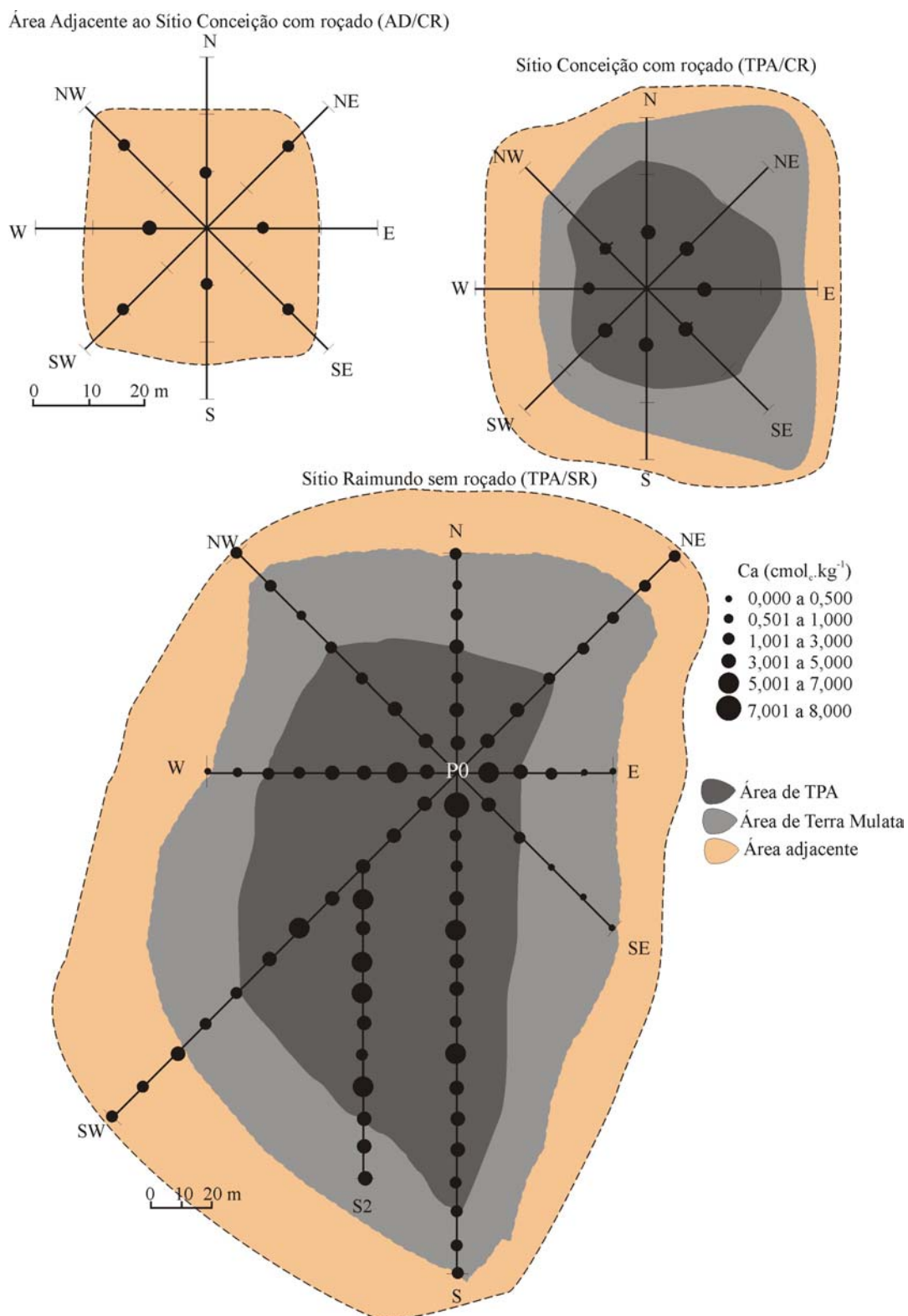


Figura 78 - Distribuição areal dos valores de Ca trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

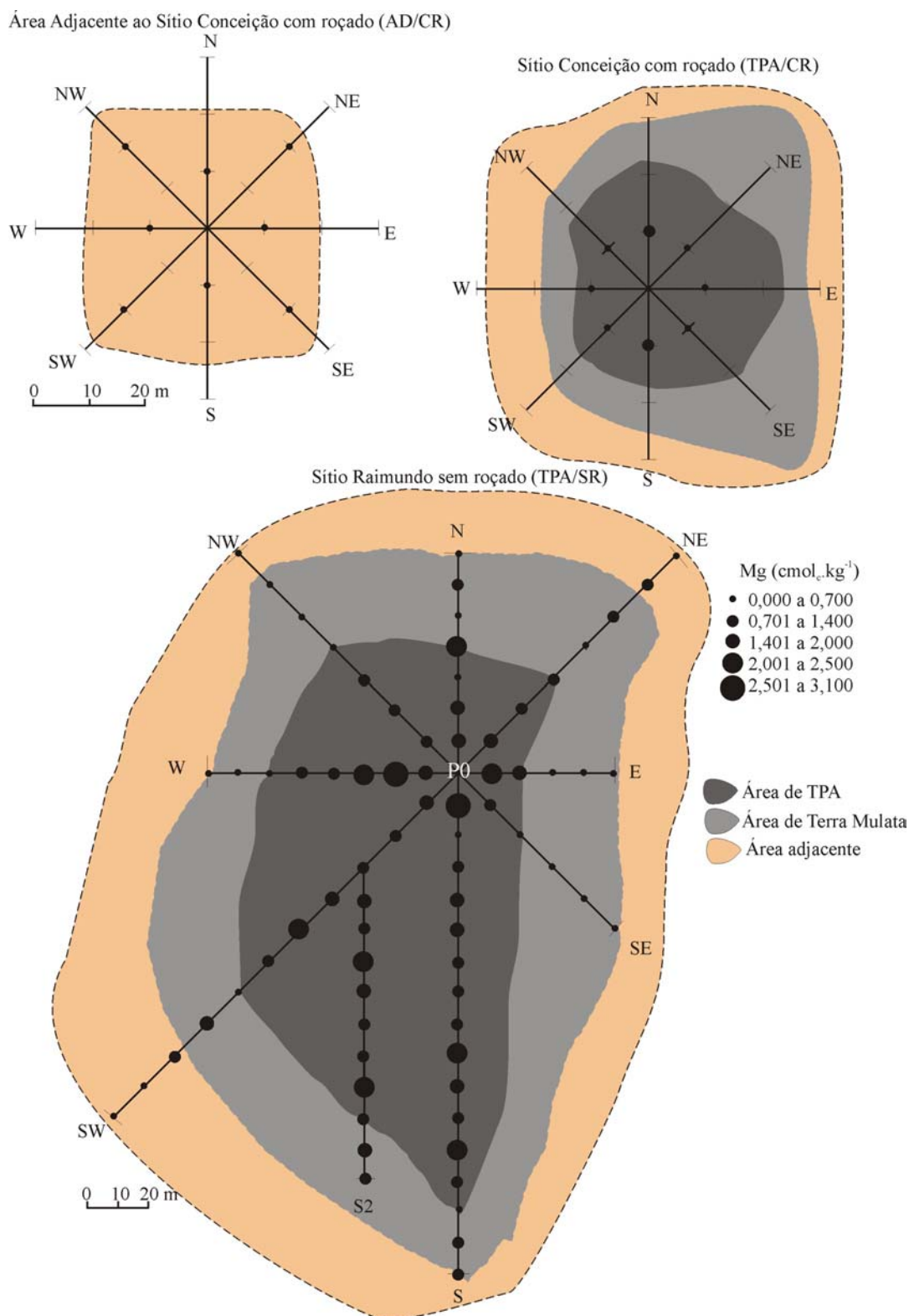


Figura 79 - Distribuição areal dos valores de Mg trocável nos horizontes A das tranções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

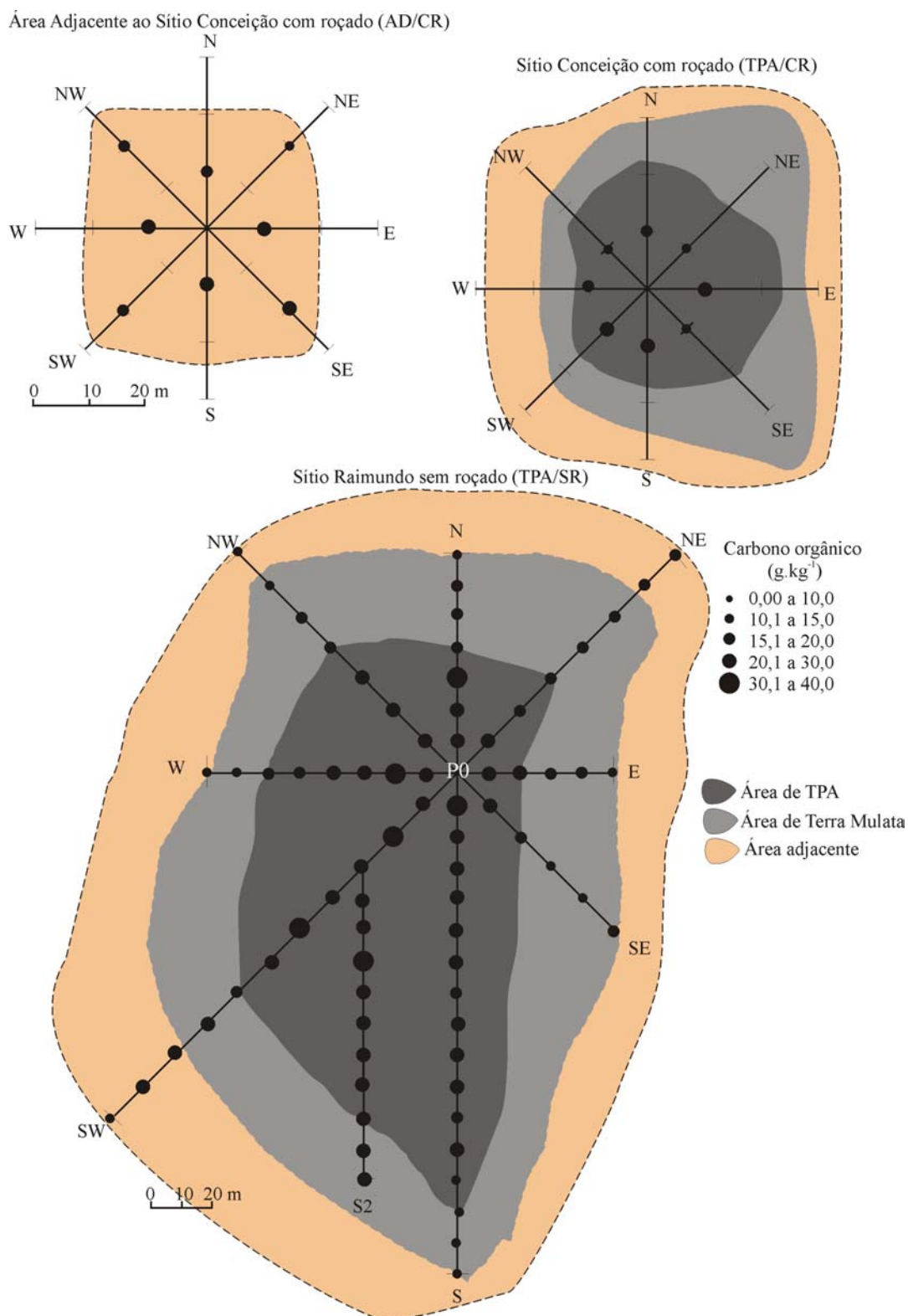


Figura 80 - Distribuição areal dos valores de carbono orgânico nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

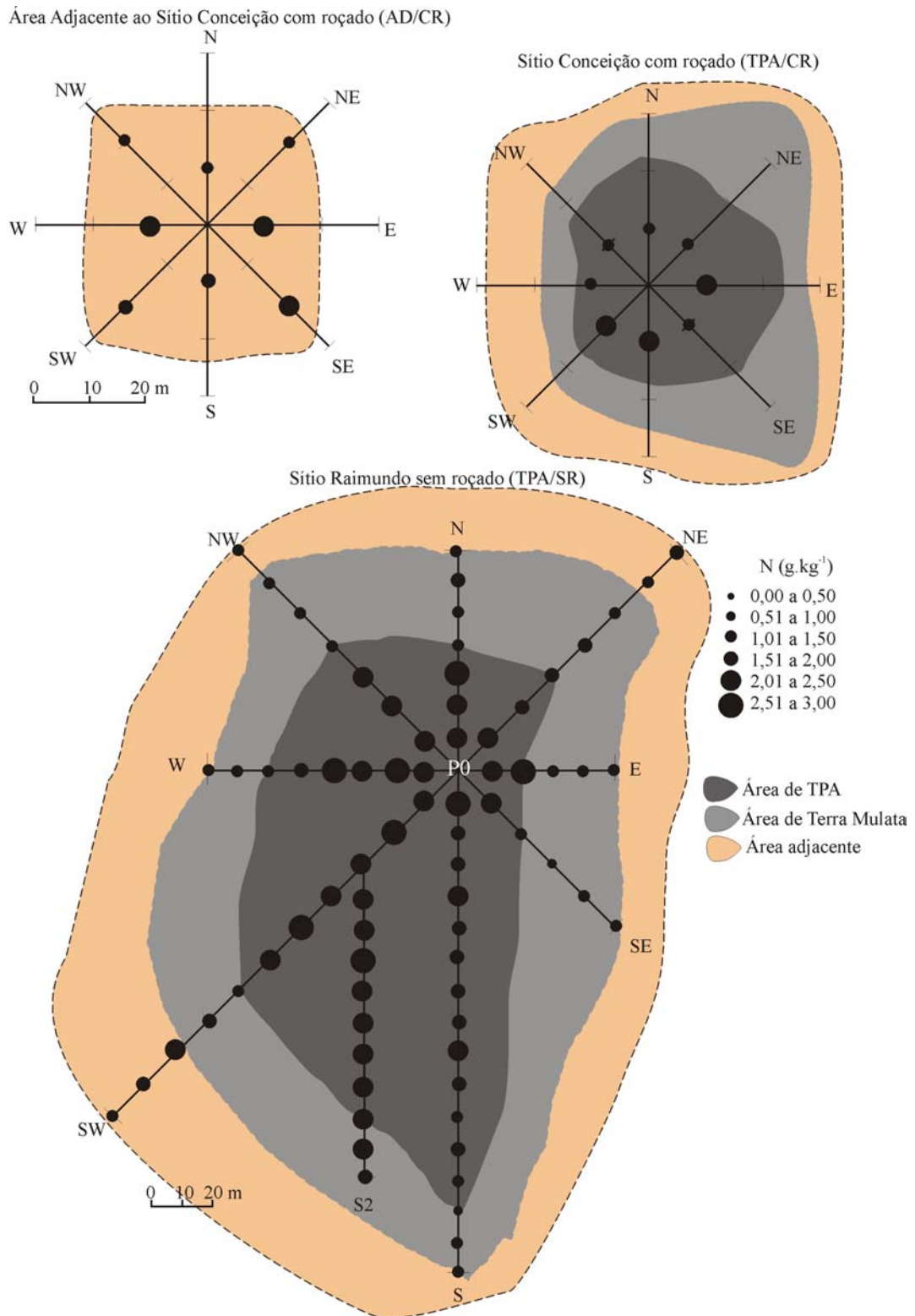


Figura 81 - Distribuição areal dos valores de nitrogênio (N) nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

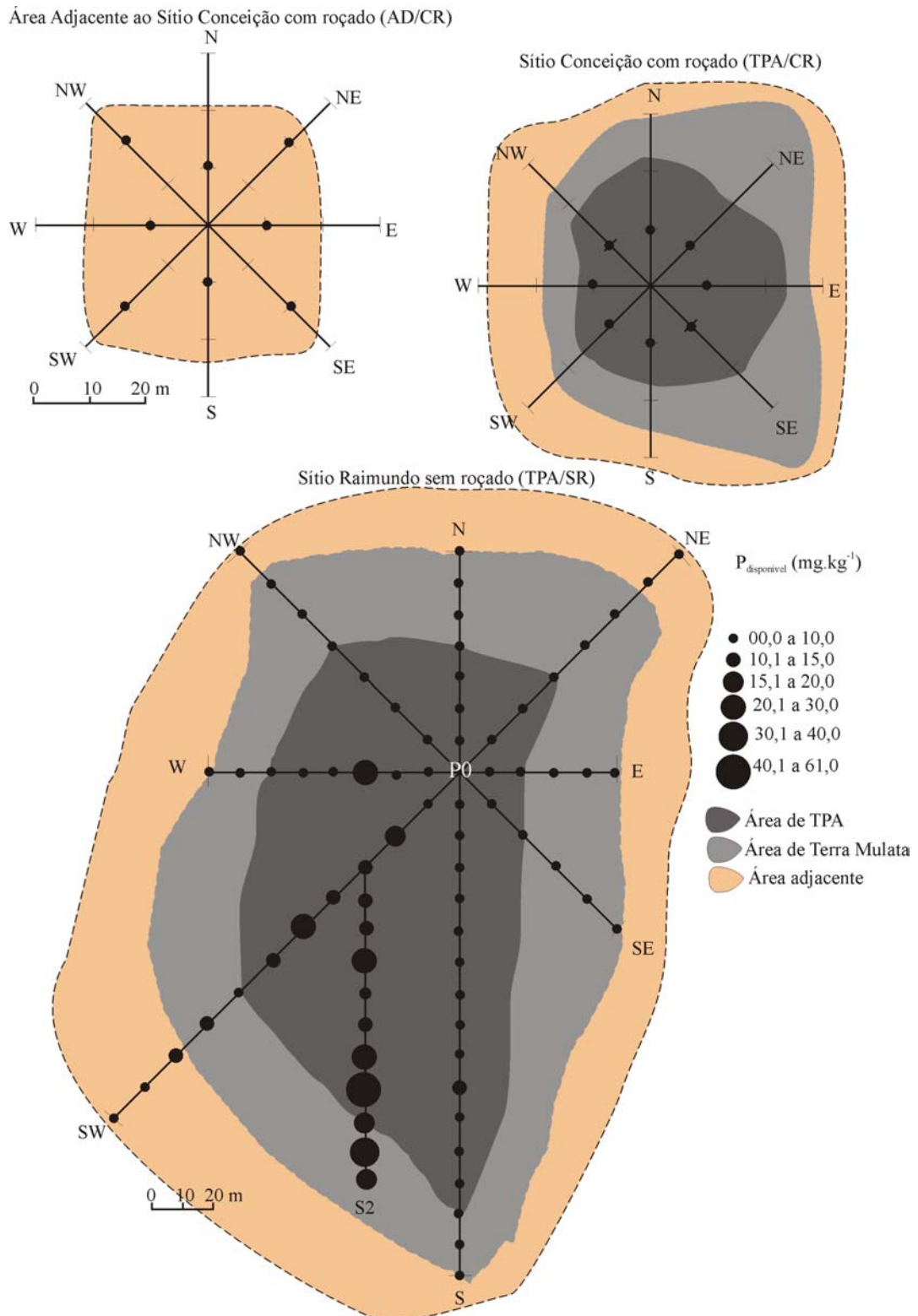


Figura 82 - Distribuição areal dos valores de P disponível nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

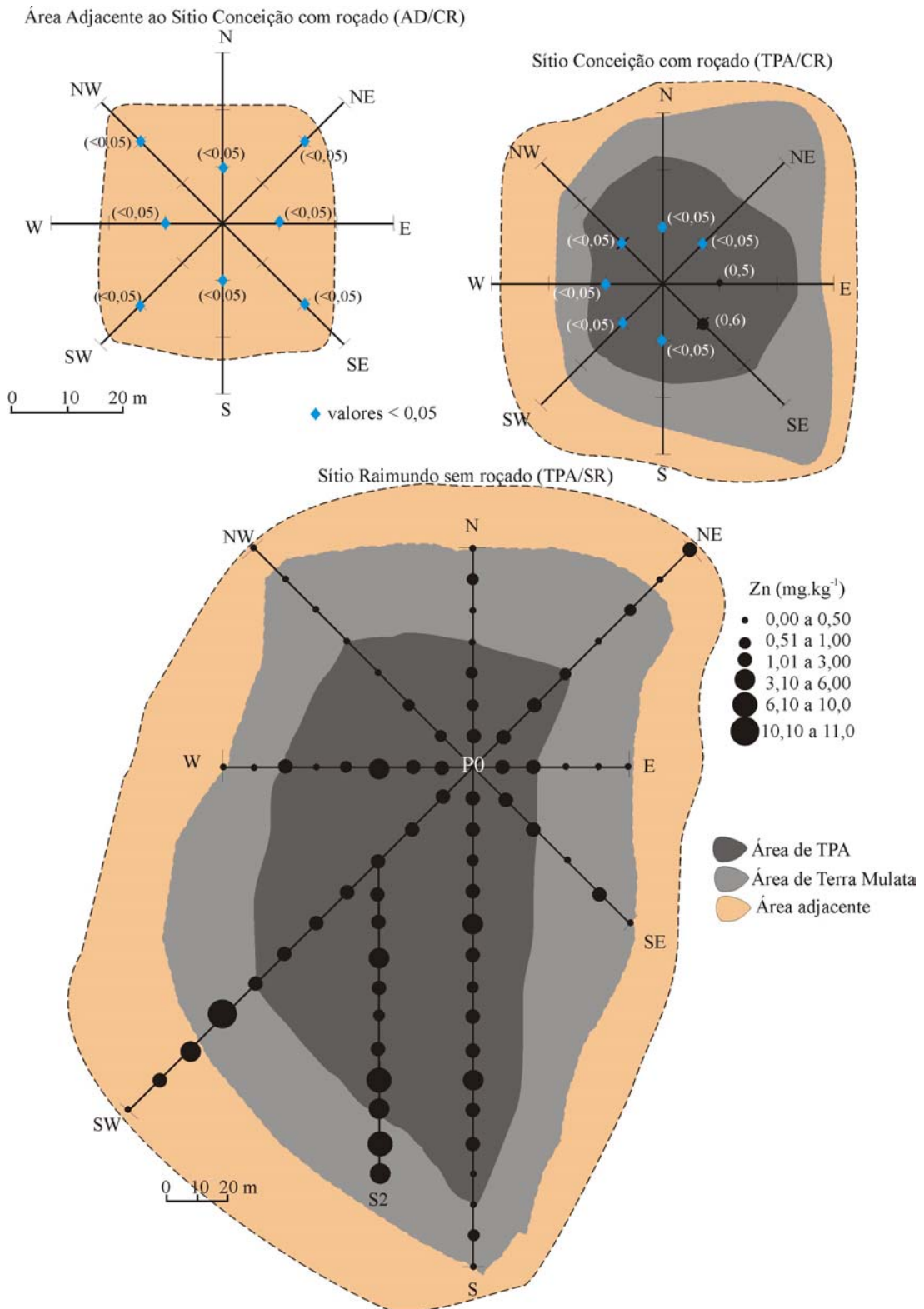


Figura 83 - Distribuição areal dos valores de Zn trocável nos horizontes A das tranções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

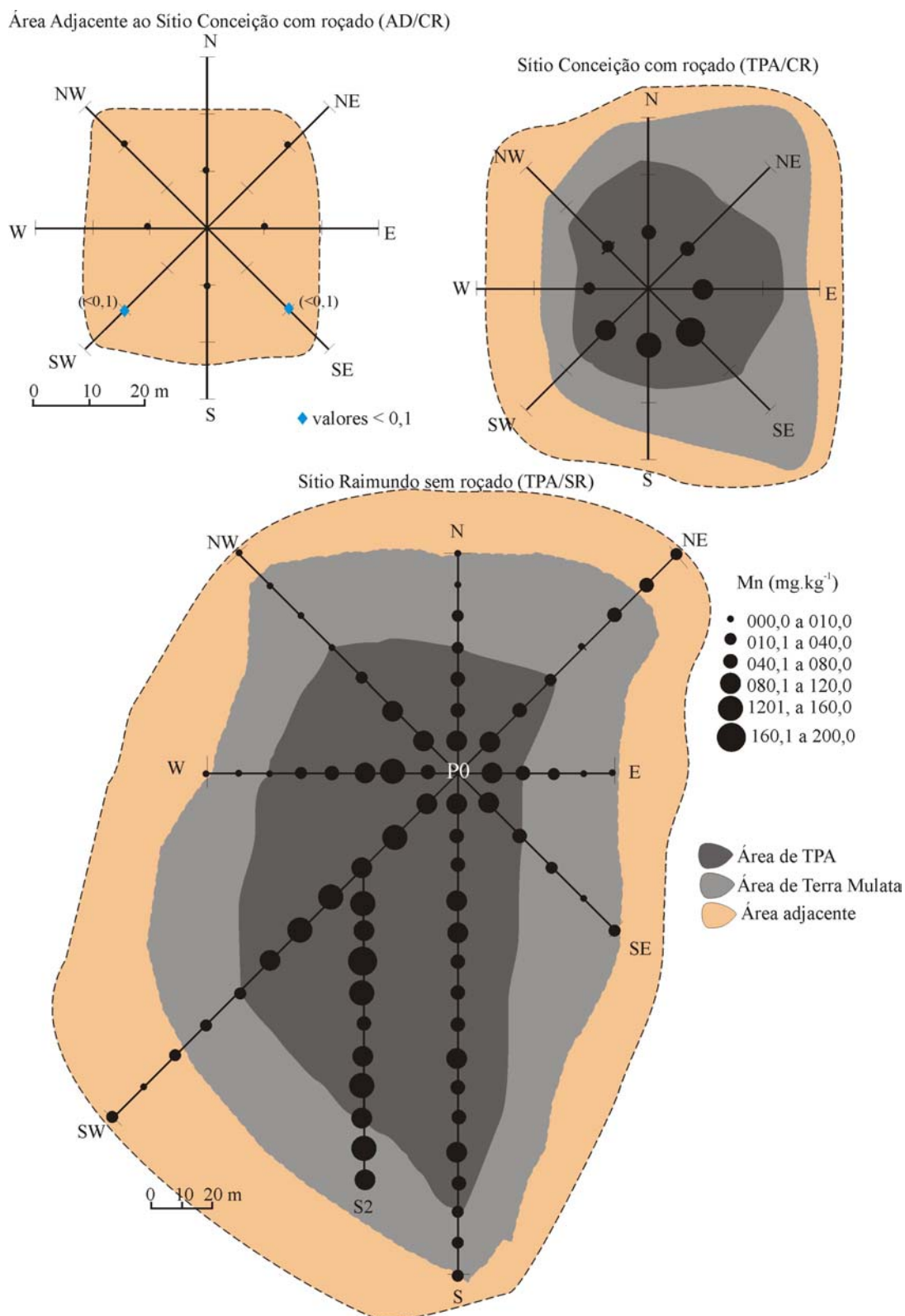


Figura 84 - Distribuição areal dos valores de Mn trocável nos horizontes A das transeções no sítio Conceição com TPA com roçado (TPA/CR), área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho) e no sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR).

5.3 MANDIOCA

5.3.1 Mandioca cultivada em TPA e área adjacente (AD)

5.3.1.1 Elementos essenciais (macro e micronutrientes)

Os macronutrientes (P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Co, B, Cu, Mo e Ni) na mandioca cultivada tanto em TPA como em área adjacente (Argissolo) se concentram preferencialmente nas folhas, mas as suas concentrações são praticamente idênticas tanto na folha de mandioca cultivada na TPA quanto na AD (Figuras 85 e 86). Na raiz (película, casca e polpa), as concentrações dos macro e micronutrientes são mais baixas e se concentram principalmente na película (Figuras 85 e 86) e também são compatíveis tanto mandioca cultivada em TPA quanto em AD, com exceção do Fe e Mn que apresentam concentrações bem mais elevadas nas películas de mandioca em TPA.

Embora a polpa, a parte comestível, seja a parte da planta mandioca mais pobre em nutrientes, as concentrações de P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn são mais elevadas do que aquelas apresentadas pelo Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação (NEPA, 2006). E os valores obtidos de Ca estão acima do valor médio encontrado por Cereda (2002) em polpa de mandioca (Tabela 9).

As concentrações dos macros P, K e S nas películas das mandiocas cultivadas em TPA e AD são compatíveis com os dados de Motta² (1985 apud CEREDA, 2000), Cereda (2002) e do NEPA (2006), (Tabela 9), porém as concentrações do Ca e Mg estão mais elevadas na mandioca deste trabalho, principalmente na TPA.

Os valores médios de P, Ca, Mg, Mn, Cu e Zn nas folhas de mandioca apresentam-se compatíveis com os valores médios determinados por Nishimura (1998) na região de Caxiuanã (Tabela 10).

Pelo exposto, verifica-se que, em termos gerais as concentrações de macro e micronutrientes encontrados nas distintas partes do cultivar mandioca, cultivado em TPA, um solo fértil, tendem a ser superiores àqueles encontrados por outras pesquisas (NISHIMURA, 1998; CEREDA, 2000, 2002; NEPA, 2006). As folhas, que podem ser comestíveis, na forma de maniçoba, é a porção da mandioca mais rica em macro e micronutrientes.

²MOTTA, L. C. **Utilização de resíduos de industrialização de farinha de mandioca em digestão anaeróbia.** 1985, 119f. Dissertação. Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 1985.

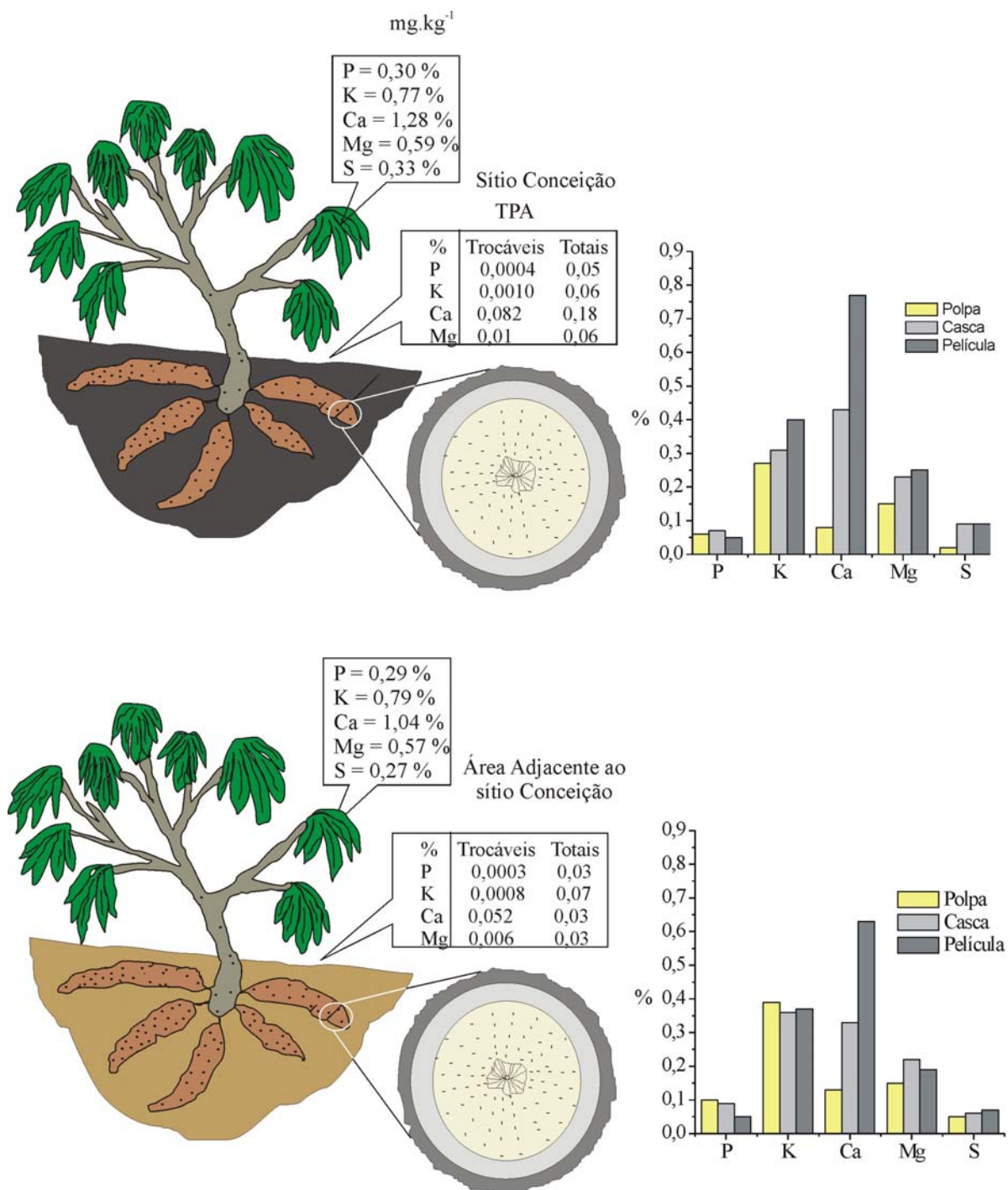


Figura 85 - Distribuição das concentrações médias dos macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) nas folhas e tubérculo (polpa, casca e película) de mandioca e as concentrações trocáveis e totais desses elementos no solo com TPA e AD.

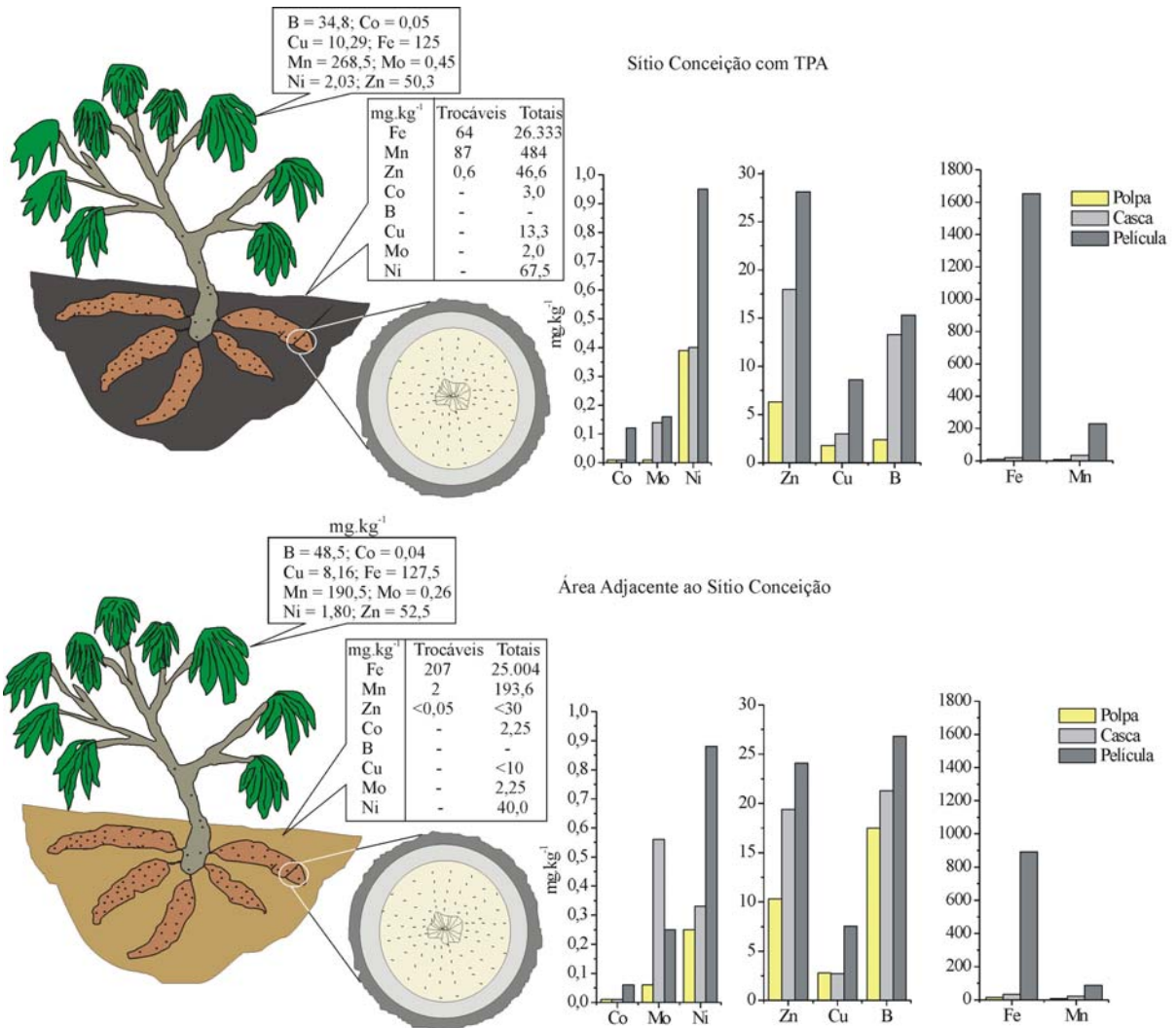


Figura 86 - Distribuição das concentrações médias dos micronutrientes (Co, Mo, Ni, Zn, Cu, B, Fe e Mn) nas folhas e tubérculo (polpa, casca e película) de mandioca e as concentrações trocáveis e totais desses elementos no solo com TPA e AD.

Tabela 9 - Concentrações médias dos macro e micronutrientes em película e polpa de mandioca neste estudo e na literatura.

	Película de mandioca		Polpa de mandioca		(a)	(b)	(c)
	TPA	AD	TPA	AD	Película	Polpa	Polpa
%							
P	0,05	0,05	0,06	0,10	0,06	0,14	0,029
K	0,40	0,37	0,27	0,39	0,43	0,34	0,208
Ca	0,77	0,63	0,08	0,13	0,28	0,043	0,015
Mg	0,25	0,19	0,15	0,15	0,08	-	0,044
S	0,09	0,07	0,02	0,05	0,11	-	-
mg.kg ⁻¹							
B	15,3	26,8	2,4	17,5	18,0	-	-
Cu	8,59	7,54	1,79	2,81	9,0	-	0,7
Fe	1652,5	892,5	10,0	15,0	5538,0	5,0	3,0
Mn	229,5	87,5	9,0	8,3	104,0	-	0,5
Zn	28,1	24,1	6,3	10,3	21,0	-	2,0

(a) Motta (1985 apud CEREDA, 2000); (b) Cereda (2002); (c) NEPA (2006)

Tabela 10 - Concentrações médias dos micro e macronutrientes em folhas de mandioca e outras plantas.

	Folhas de mandioca		(a)	(b)	(c)	(d)	(d)
	TPA	AD (Argissolo)	Folhas de mandioca	Folhas de mandioca	Folhas de mandioca	Folhas de milho	Folhas de Feijão
%						Cambissolo	Cambissolo
P	0,30	0,29	3,72	0,009	0,29	0,35	-
K	0,77	0,79	-	-	1,59	1,97	1,9
Ca	1,28	1,04	14,51	0,02	1,09	0,38	3,34
Mg	0,59	0,57	6,44	-	0,32	0,16	-
mg.kg ⁻¹							
Co	0,05	0,04	-	-	-	0,07	1,4
Cu	10,29	8,16	145	-	10,71	9,13	-
Fé	125,0	127,5	-	3,5	98,4	80	2100
Mn	268,5	190,5	2827	-	188,0	50	-
Mo	0,45	0,26	-	-	-	0,55	<0,05
Zn	50,3	52,5	640	-	93,38	24,09	49,6
Ba	7,8	6,7	-	-	-	17,4	167,5
Na	52,5	87,5	-	-	-	0,01	0,14
Cr	2,0	2,0	-	-	-	2,12	3,2
Pb	0,21	0,14	-	-	-	0,13	-
µg.kg ⁻¹							
Hg	29,2	20,0	-	-	-	12,9	7,1
Se	230	280	-	-	-	< 20	< 20
As	100	< 100	-	-	-	278,2	338,3

(a) Nishimura (1998)- região de Caxiuana (material calcinado-cinzas); (b) Cereda (2000)- América Central; (c) Modesti (2006)- região de Lavras- MG; (d) Martins (2005) - Acre

5.3.1.2 Outros elementos (não nutrientes e tóxicos)

A concentração dos elementos Pb, Cd, Ce, Sn, Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Al, Na, Hg, Se e As, ao contrário dos nutrientes, se concentram preferencialmente nas películas, seguidos por folhas, casca e polpa, com exceção de Cs e Sr que se concentram nas folhas, como o fizeram os nutrientes. Portanto, a polpa é tanto a mais pobre nos macro e micronutrientes, bem como nos elementos não nutrientes e tóxicos. Por sua vez Se e As na mandioca cultivada na AD se concentram respectivamente nas folhas e cascas (Figura 87).

O As apresentou concentração abaixo do limite de detecção na polpa da mandioca ($< 100 \mu\text{g kg}^{-1}$) e média de $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ nas folhas, visto que o limite de toxicidade de As em plantas que segundo Kabata-Pendias e Pendias (1985) é de $2000 \mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto o selênio com média de $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ na polpa e $255 \mu\text{g.kg}^{-1}$ nas folhas está na faixa de normalidade em plantas, que é de 10 a $2.000 \mu\text{g kg}^{-1}$ (SCHÜÜRMAN; MARKERT, 1998), vale ressaltar que as plantas contêm baixa concentração de Se nas folhas ($< 25000 \mu\text{g.kg}^{-1}$), (ELLIS; SALT, 2003). Os teores de Hg por sua vez na polpa de mandioca ficaram com média de $3,6 \mu\text{g kg}^{-1}$ e nas folhas com média de $24,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$, valor este dentro da faixa considerada natural em plantas, que é de 1 a $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ (MEECH et al., 1997). As plantas podem absorver o Hg atmosférico, constituindo uma fonte de exposição, por exemplo, plantas próximas a depósitos de Hg apresentam níveis de 200 a $30.000 \mu\text{g.kg}^{-1}$ (SALGADO³ 2003 apud AZEVEDO, 2003).

Tendo em vista a dificuldade de encontrar informações sobre as concentrações dos elementos químicos aqui investigados nas distintas partes da mandioca, os dados aqui obtidos foram comparados com os das folhas de milho e feijão cultivados em praias do Acre (MARTINS, 2005), que embora apresentem solos tipo Cambissolos distintos das TPAs eles também são solos bastante férteis, (Tabela 10), embora pobres em matéria orgânica. As folhas de mandioca comparadas com as de milho e feijão são mais concentradas em Mg, Cu, Mn, Mo, Zn, Na, Pb, Hg e Se e menos concentradas em K, Co, Ba, As, Mo e Cr (Tabela 10).

Os elementos U e V foram detectados apenas nas películas das mandiocas cultivadas tanto em TPA (U = 0,04 e V = $5,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) como em AD (U = 0,02 e V = $3,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), respectivamente. W, Be, In e Te encontram-se abaixo do limite de detecção.

³SALGADO, P. E. T. Metais em alimentos. In: OGA, S. **Fundamentos de Toxicologia**. São Paulo: Atheneu, 2003. p. 405-426.

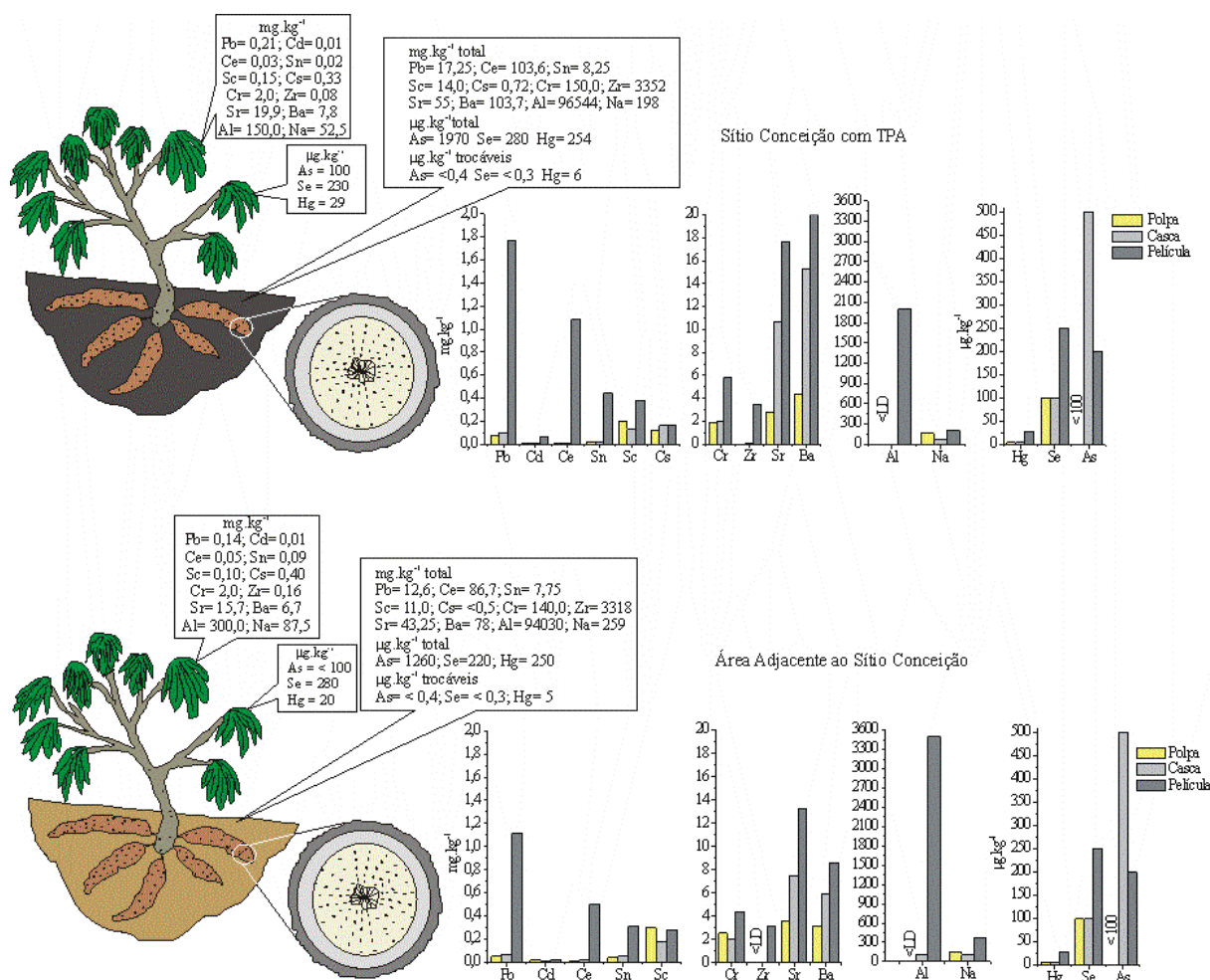


Figura 87 - Distribuição das concentrações médias dos elementos Pb, Cd, Ce, Sn, Sc, Cr, Zr, Sr, Ba, Al, Na, Hg, Se e As nas folhas e tubérculo (polpa, casca e película) de mandioca e a concentração desses elementos no solo com TPA e AD.

5.3.2 Composição química do tucupi

5.3.2.1 Fase líquida do tucupi

O pH do tucupi *in natura* da mandioca cultivada em TPA foi 4,32 e em AD foi 3,7 (Figura 88) é comparável com os valores médios obtidos por Fioretto (2000) e Cereda (2000), respectivamente, (pH 4,03 e 4,1). A fase líquida liofilizada do tucupi da mandioca cultivada em TPA apresenta concentrações mais baixas de Zn, K, Mg, Ti, Ba, V, As, Al e Cr do que aquela da mandioca cultivada em AD (Figura 88). Isto pode estar refletindo a composição química da polpa da mandioca, em que estes elementos estão mais concentrados na polpa da mandioca cultivada em AD. Os elementos Cd ($< 0,001$), Li ($< 0,01$), Be ($< 0,0004$), Sb ($< 0,0005$), Tl ($< 0,001$), Se ($< 0,001$), Hg ($< 0,0002$) e Ag ($< 0,001$) apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção na fase líquida do tucupi das mandiocas cultivadas em TPA e AD.

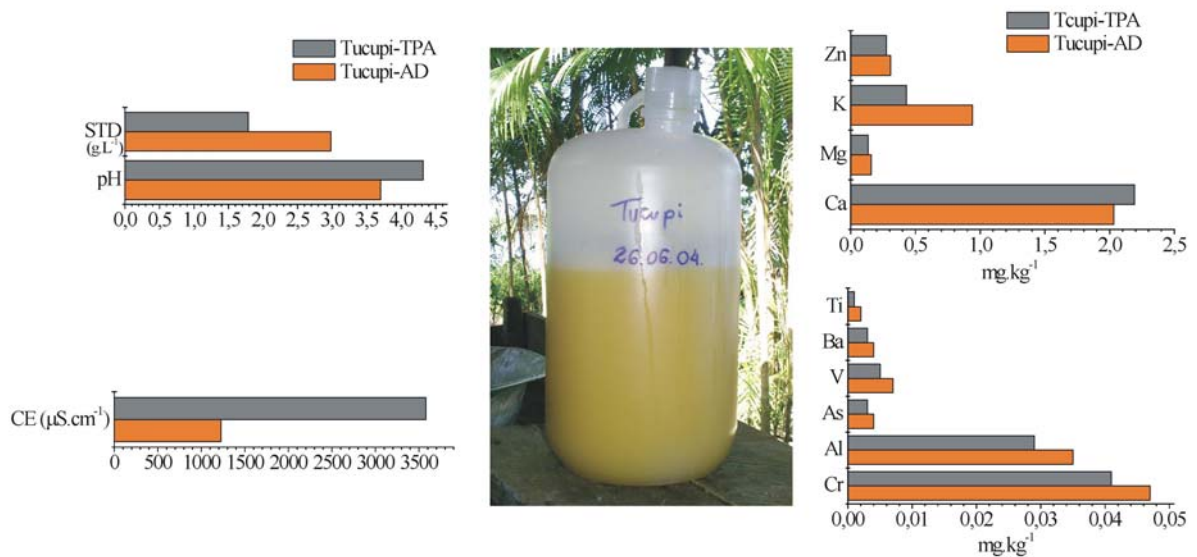


Figura 88 - Distribuição das concentrações médias dos elementos Ca, Mg, K, Zn, Cr, Al, As, V, Ba e Ti no tucupi da mandioca cultivada em TPA e AD, e dos sólidos totais dissolvidos (STD), pH e condutividade elétrica.

5.3.2.2 Extrato sólido do tucupi

O tucupi apresentou $33,33 \text{ g.L}^{-1}$ de extrato sólido para a mandioca coletada na TPA e $32,24 \text{ g.L}^{-1}$ na área adjacente (AD). Estes dados quase idênticos sugerem que o conteúdo de extrato sólido parece depender do solo (Figura 89).

O extrato sólido é formado por material de aspecto fibroradial a placosoradial e com fases esferolíticas de $< 5 \mu\text{m}$ e cristais pseudo-octaédricos dispersos (Figura 90). Enquanto as esferolíticas são formadas por Ca, C e O, aqui interpretados como oxalato de cálcio, e as feições fibro a placoso radial contém, além destes elementos, Mg e P, provavelmente constituídos de oxalato de Ca e fosfato de Mg. As análises de difração de raios x confirmam a natureza cristalina, porém o banco de dados disponível não permitiu caracterizar as fases presentes.



Figura 89 - Extrato sólido de tucupi obtido por liofilização.

Os dados de análises químicas mostram claramente que a fase líquida é praticamente formada por baixas concentrações dos elementos analisados, enquanto a fase sólida concentra especialmente K, Mg, P e Ca, os macronutrientes, além de Na, todos acima de 1500 ppm. Os valores obtidos na fase líquida são muito baixos, quando comparados com aqueles de Ponte (1992), Damasceno *et al.* (1999), Barana; Cereda (2000) e Fioretto (2000), que, no entanto não especificam se analisaram o tucupi completo, ou se apenas a fase líquida. Tendo em vista que a fase sólida do tucupi de mandioca cultivada em AD corresponde a 32,24 g. L⁻¹, e admitindo que a maioria dos componentes químicos se concentre nesta, um balanço de massa (Tabela 11) mostra que, em termos gerais, os resultados aqui obtidos estão na ordem de grandeza ou mesmo abaixo dos valores daqueles autores, exceto Na, entre os macro e micronutrientes. Estes resultados confirmam em parte as análises obtidas por MEV/EDS do extrato sólido do tucupi (Figuras 90 e 91).

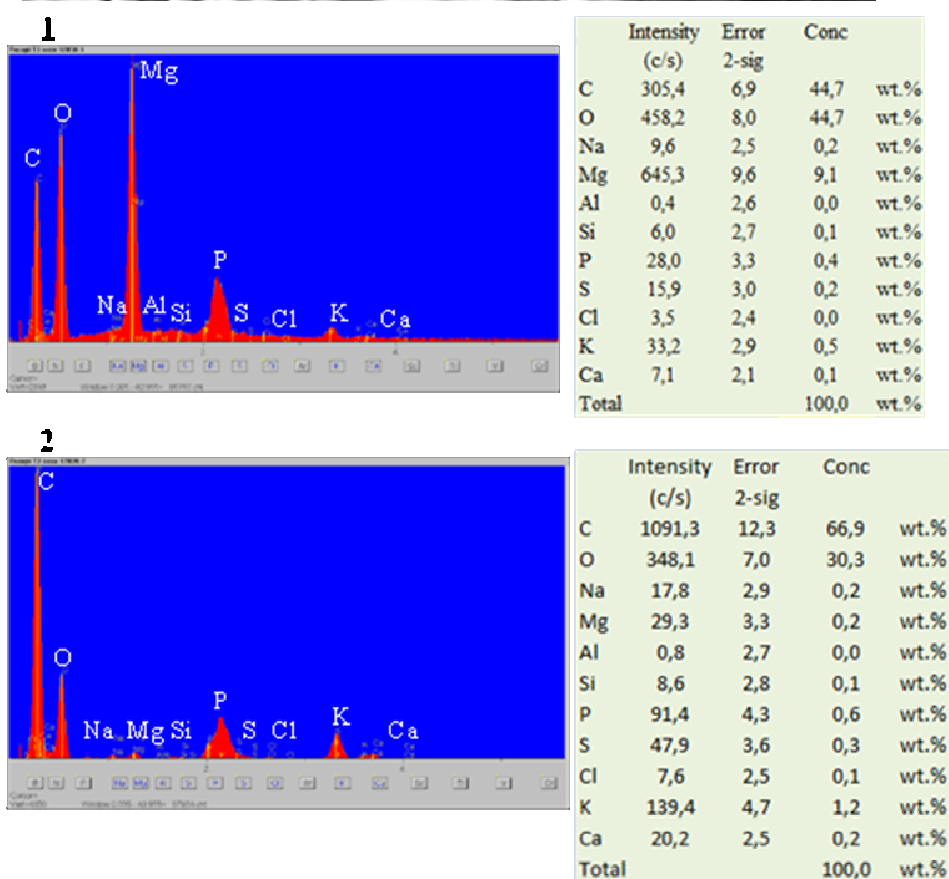
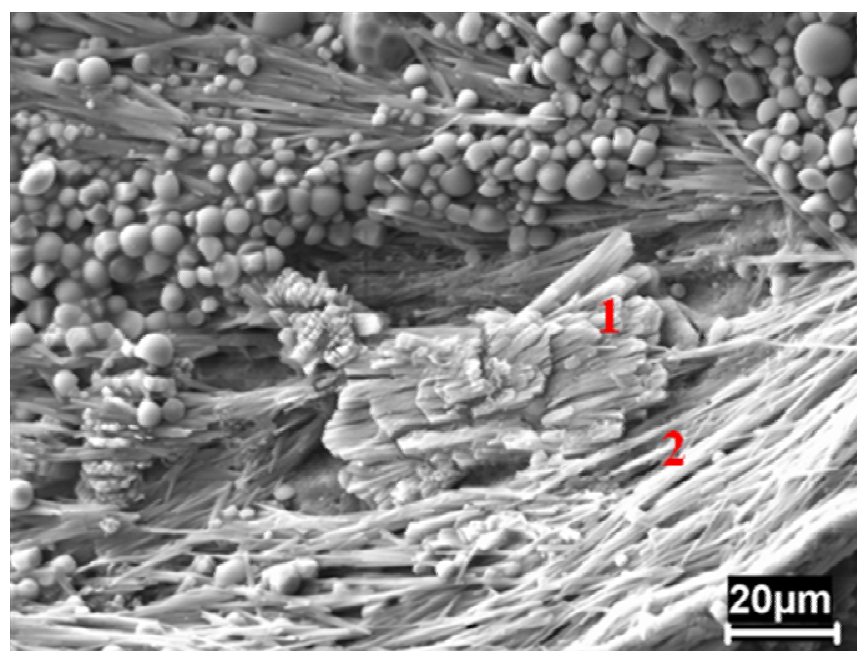


Figura 90 - Análise química semiquantitativa obtida por MEV/SED do extrato sólido do tucupi indicando a presença de principalmente de C, O, K, Ca, P e Mg.

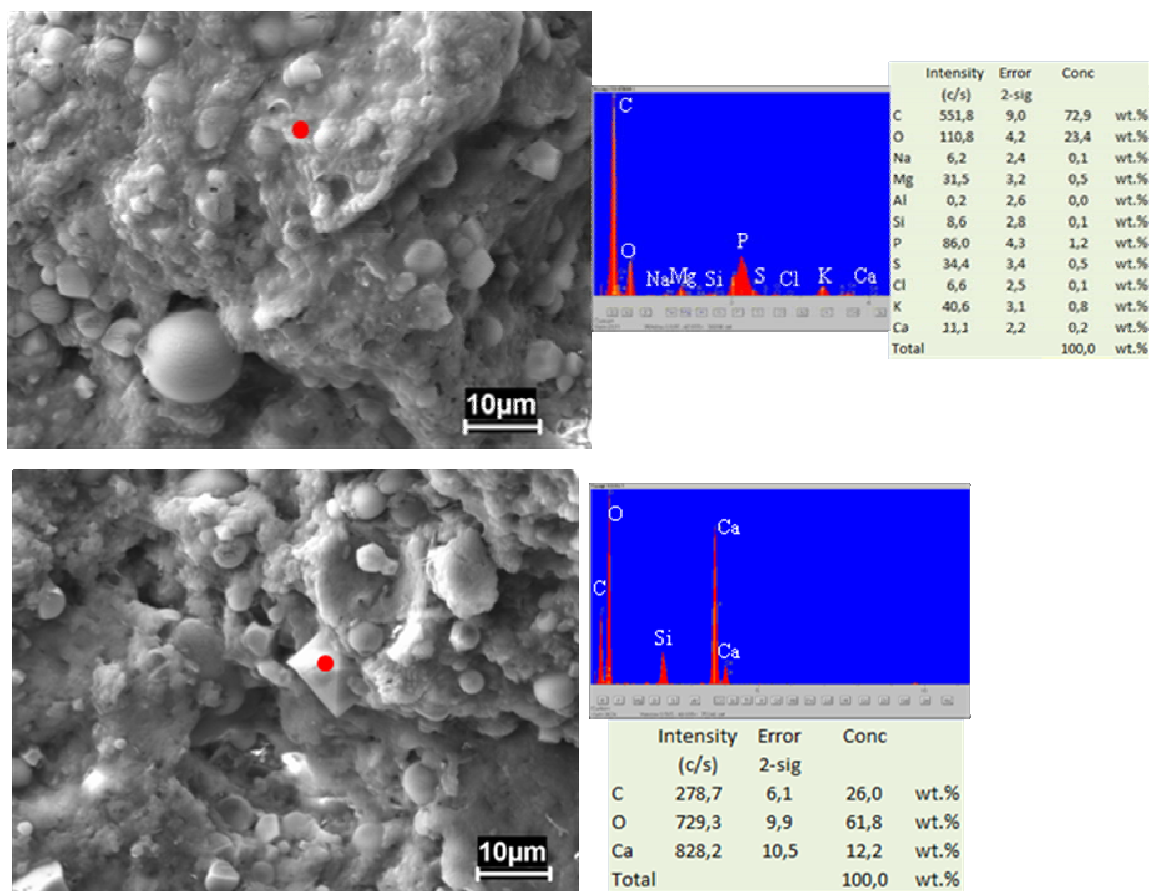


Figura 91 - Análise química semiquantitativa obtida por MEV/SED do extrato sólido do tucupi indicando a presença de principalmente de C, O, Ca, P, K e Mg.

Tabela 11 - Composição química do tucupi extraído da mandioca cultivada em TPA e AD, bem como dos seus extratos liofilizados, comparados com os dados de outros trabalhos.

Parâmetros	(a)	(b)	(c)	(d)	Polpa da mandioca (mg.kg ⁻¹)		Fase Líquida do tucupi (mg.L ⁻¹)		Extrato sólido do tucupi (T) (mg.kg ⁻¹)	(T) recalculado (mg.L ⁻¹)
					TPA	AD	TPA	AD		
pH	-	5,5	6,92	4,03	-	-	4,32	3,7	-	-
T (°C)	-	-	-	-	-	-	30,8	28,5	-	-
CE (μS.cm ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	3580	1225	-	-
STD (g.L ⁻¹)	-	62	27,2	-	-	-	1,783	2,980	-	-
mg.L ⁻¹										
K	1863,5	895,0	1,98	2002,18	2700	3900	0,43	0,94	20600	664,1
Mg	405,0	173,0	360	429,87	1500	1500	0,135	0,159	7300	235,3
P	259,5	83,30	367	255,8	600	1000	0,04	0,05	5270	169,9
Ca	227,5	184,0	160	252,9	800	1300	2,19	2,03	3100	99,9
Na	-	-	-	14	140,0	167,5	0,2	0,2	1510	48,68
Mn	3,7	1,5	1,4	-	9,0	8,3	0,08	0,082	71,0	2,29
N	425,5	1600	6700	1500	-	-	-	-	-	-
Fe	15,3	8,0	3,7	16,6	10,0	15,0	1,83	1,82	50	1,61
Zn	4,2	4,5	1,7	3,7	6,3	10,3	0,274	0,308	34,3	1,10
Cu	11,5	0,75	0,7	0,9	1,79	2,81	0,012	0,013	21,29	0,68
Ti	-	-	-	-	2,0	2,8	0,001	0,002	18,0	0,58
Ag	-	-	-	-	<0,002	0,004	< 0,001	< 0,001	14,0	0,45
Ba	-	-	-	-	4,4	3,2	0,003	0,004	13,5	0,43
Sr	-	-	-	-	2,8	3,6	0,003	0,003	6,3	0,20
B	5,0	-	-	-	2,4	17,5	-	-	4,0	0,13
Ni	-	-	-	-	0,39	0,25	0,093	0,094	3,0	0,09
Cr	-	-	-	-	1,9	2,6	0,041	0,047	1,7	0,05
Pb	-	-	-	-	0,07	0,05	0,01	0,012	0,7	0,02
Hg	-	-	-	-	0,0026	0,0047	< 0,0002	<0,0002	0,24	0,007
Se	-	-	-	-	< 0,1	< 0,1	< 0,001	< 0,001	0,20	0,006
Mo	-	-	-	-	0,01	0,06	-	-	0,1	0,003
Sn	-	-	-	-	0,02	0,04	0,007	0,007	0,09	0,002
Co	-	-	-	-	0,01	0,01	0,002	0,002	0,05	0,001
Cd	-	-	-	-	0,01	0,02	< 0,001	< 0,001	0,05	0,001
La	-	-	-	-	<0,01	<0,01	0,005	0,007	0,03	0,0009
Li	-	-	-	-	0,02	0,02	< 0,01	< 0,01	0,03	0,0009
Th	-	-	-	-	<0,01	<0,01	-	-	0,01	0,0003
Au	-	-	-	-	0,0004	0,0013	-	-	0,0003	9x10 ⁻⁶
Al	-	-	-	-	<0,01	<0,01	0,029	0,035	<0,01	-
V	-	-	-	-	<2	2,0	0,005	0,007	<2,0	-
As	-	-	-	-	0,1	0,1	0,003	0,004	< 0,1	-
Br ₂	-	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-
PO ₄ ³⁻	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-
SO ₄ ²⁻	-	-	-	-	-	-	3,2	-	-	-
Cl ⁻	-	-	-	-	-	-	5,5	-	-	-
NH ₃	-	-	-	-	-	-	4,87	-	-	-

(-) parâmetros não determinados; Ponte (1992); (b) Damasceno *et al.* (1999); (c) Barana; Cereda (2000); (d) valores médios (Fioretto, 2000)

5.4 FATOR DE TRANSFERÊNCIA (FT): MANDIOCA/ SOLO

O fator de transferência (FT) dos elementos foi classificado em: baixo (FT <0,001); leve (FT 0,001-0,01); médio (FT 0,01-1,0) e elevado (FT 1-10), em conformidade com Alloway (2005). Para calcular o FT foram consideradas tanto as concentrações totais como as trocáveis dos elementos químicos analisados nos solos.

5.4.1 Relativo à concentração total dos elementos

O fator de transferência dos elementos totais do solo para a mandioca cultivada tanto em TPA quanto em AD foi elevado para os macronutrientes (K, Ca, Mg e P), principalmente nas folhas, sendo maior na mandioca cultivada na AD; e médio para micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Co, Mo e Ni). Entre os não nutrientes e os tóxicos, Si, Ba, Sn, Sc, Pb, Al, As, Se e Hg o fator de transferência encontra-se em valor intermediário tanto em TPA quanto em AD, e baixo para Ce, Y, Hf, Zr, Nb e Ti (Figura 92).

Entre os elementos As, Se e Hg, Se apresentou o maior fator de transferência, portanto, o de maior acumulação na mandioca, principalmente naquela cultivada na AD (Figura 92). O fator de transferência do selênio diminui das folhas, para películas, cascas e polpas. Por outro lado o fator de transferência do As e Hg é maior nas películas, decrescendo na seguinte ordem: folhas, cascas e polpas.

O fator de transferência é maior em solo AD do que TPA, devido ao menor conteúdo dos elementos nos solos da área adjacente, e igual conteúdo na mandioca cultivada tanto nos solos AD como TPA, como já foi mostrado anteriormente. Desta forma, se torna evidente porque a TPA, muito mais rica em nutrientes, é mais adequada para o continuado desenvolvimento de cultivares como a mandioca.

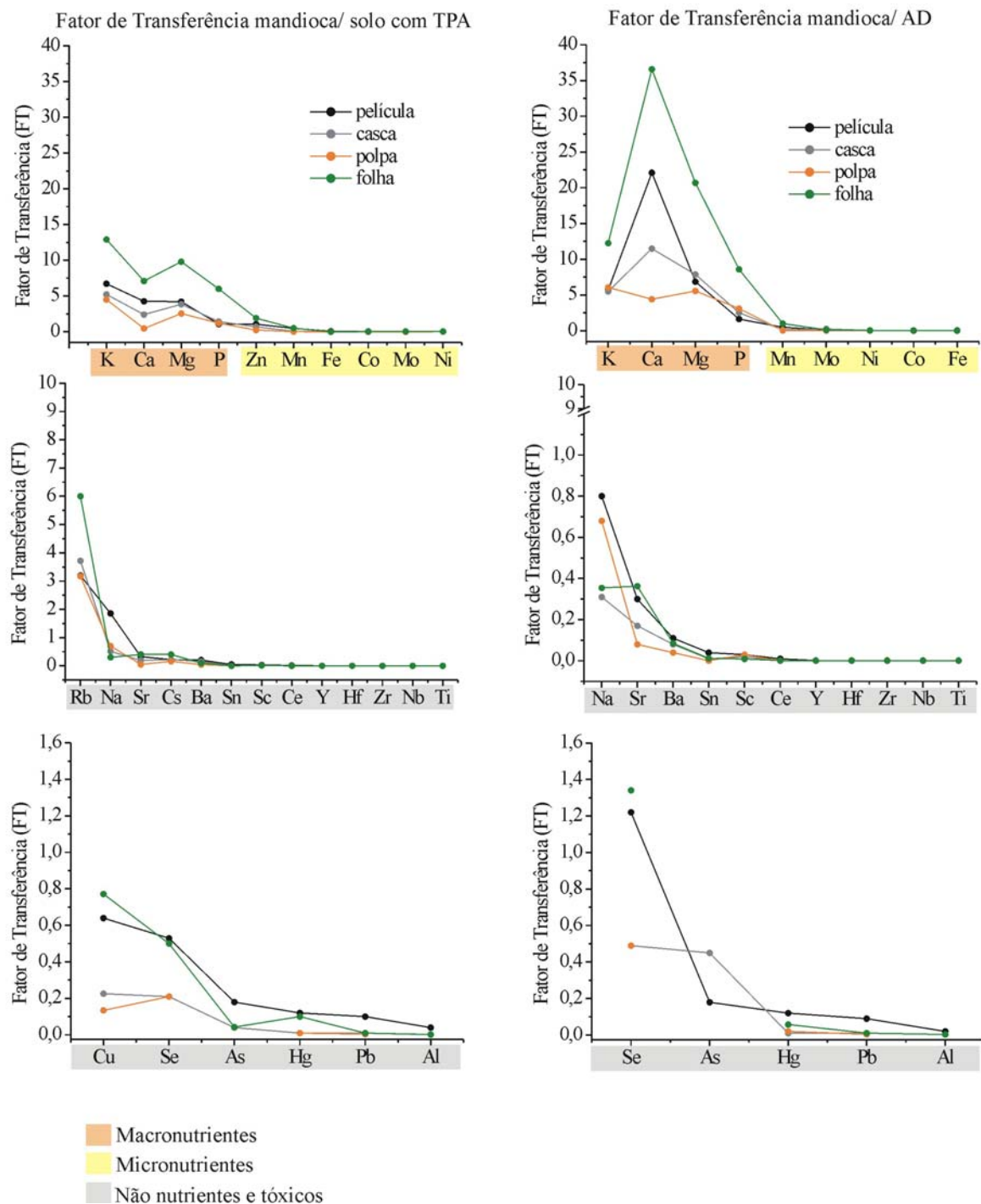


Figura 92 - Distribuição dos Fatores de Transferência (FT) para os macronutrientes e micronutrientes na mandioca (película, casca, polpa e folha).

5.4.2 Relativo à concentração disponível dos elementos

O fator de transferência dos elementos em suas concentrações disponíveis do solo para a mandioca cultivada tanto em TPA como em AD é compatível com o fator de transferência dos elementos totais, ou seja, elevado para os macronutrientes (K, Ca, Mg e P), principalmente nas folhas; e médio para micronutrientes (Fe e Mn). Para os não nutrientes e os elementos tóxicos, Na, Hg e Al, o fator de transferência encontra-se em valor intermediário tanto na mandioca cultivada em TPA quanto em AD (Figura 93). O maior FT dos elementos K, P e Mn é uma consequência em solo AD, reflete o menor conteúdo desses elementos nesse solo e a necessidade biológica mínima da planta.

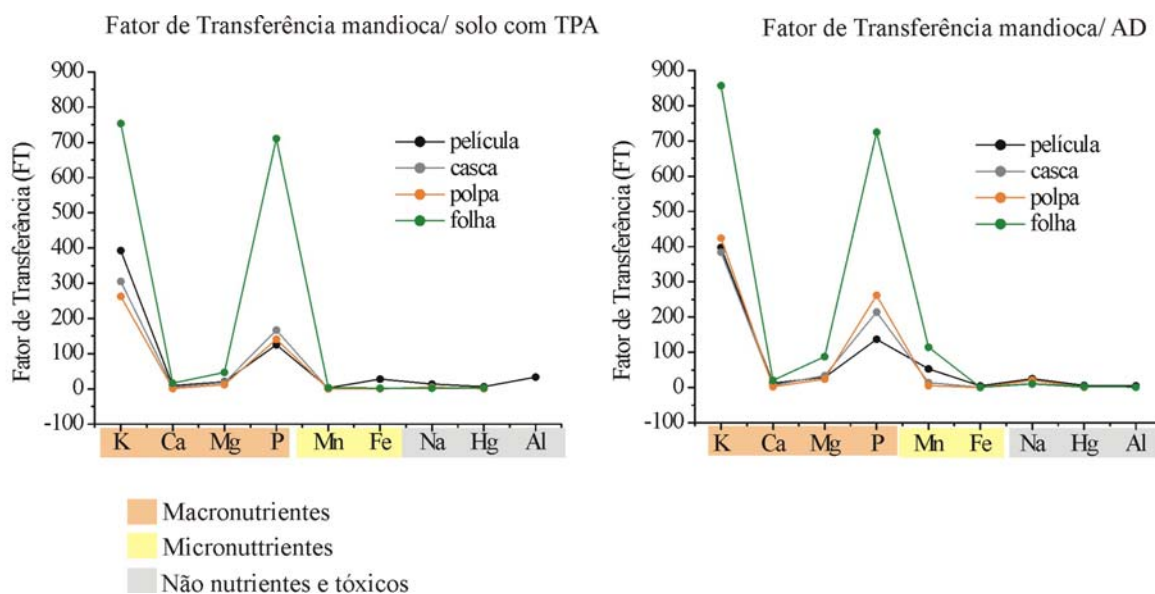


Figura 93 - Distribuição dos Fatores de Transferência (FT) para os elementos K, P, Fe, Al, Mg, Na, Ca, Hg e Mn na mandioca (película, casca, polpa e folha).

5.5 MINERALOGRAMA DO CABELO

Os elementos químicos geralmente encontrados no cabelo são classificados em essenciais (S, Ca, Zn, Mg, Cu, Se, Sr, Mn, B, I, Cr, V, Co e Mo), adicionais (P, Fe, Na e K) e tóxicos (Pb, Bi, Al, Ba, Hg, Ni, Sn, Sb, As, Cd, Ag, U e Th). Os elementos essenciais e adicionais incluem os macronutrientes (Ca, Mg e P) e micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Se, Mn, Cr, Co, B e Mo). Essas análises consideraram os aspectos como sexo, idade e hábitos alimentares e de fumar em um universo de 24 pessoas.

A dieta alimentar dos adultos está centrada em peixes, carnes vermelhas, acompanhados de farinha de mandioca, que é imprescindível. As crianças têm dieta alimentar similar a dos adultos, sendo o leite apenas aquele materno, portanto restrito às crianças em amamentação. Outros produtos da mandioca consumidos são beiju e raramente tucupi. Os frutos, legumes e verduras são raros na dieta, exceto a castanha do Pará, que, aliás, é consumida com farinha de mandioca. Entre os adultos 4 são fumantes (2 mulheres e 2 homens) e 3 consomem bebida alcoólica (2 homens e 1 mulher), (Tabela 12).

Tabela 12 - Dados estatísticos sobre a população humana entrevistada através do questionário epidemiológico.

	Número de indivíduos	Quantidade
Sexo		
Masculino	11	-
Feminino	13	-
Idade crianças (média)	-	7
Idade adulto (média)	-	37
Fumantes	4	-
média de cigarros/semana	-	35
Consumo de álcool	3	-
Número de vezes/semana	-	2
Consumo de farinha de mandioca	23	-
Número de vezes/semana	-	38
Uso de tintura	4	-

As concentrações médias, bem como a variância dos valores (valores máximos e mínimos) em cabelo para todos os indivíduos da família TPA (aqueles que consomem mandioca cultivada em solo TPA) e família AD (aqueles que consomem mandioca cultivada em solo da área

adjacente) mostram que os elementos essenciais e adicionais na família TPA apresentam maior variância dos valores que na família AD, porém as concentrações médias desses elementos tanto na família TPA e AD, são equiparáveis entre si, enquanto os elementos tóxicos as concentrações estão relativamente mais elevadas na família AD, principalmente, Pb e Al (Figura 94). Quando comparados com os valores de referência do Laboratório de ICP-MS e ICP-AES da PUC – Rio de Janeiro e os normais de Pozebon; Dressler; Curtius (1999), os elementos essenciais e adicionais encontram-se no campo daqueles de referência, com exceção do Zn, Mg e Cu. Por sua vez, todos os valores destes elementos essenciais e adicionais estão abaixo dos normais (Figura 94), exceto B, I, Cr, Co e Mo, e Na (adicional). Entre os elementos tóxicos apenas Pb, Ba e Sb estão acima da faixa dos valores normais. Portanto, a população ribeirinha de Caxiuanã não está exposta à contaminação com produtos químicos tóxicos, exceto para Pb, Ba e Sb. Por outro lado esta população apresenta ligeira deficiência nos elementos essenciais, indicando que sua dieta alimentar não é satisfatória. Para contornar os problemas de anemia ela faz uso do medicamento combirom, a base de sulfato ferroso. Os altos valores de Fe ($105,7 \mu\text{g.g}^{-1}$) encontrados no mineralograma do cabelo podem ser um indicador do uso deste medicamento.

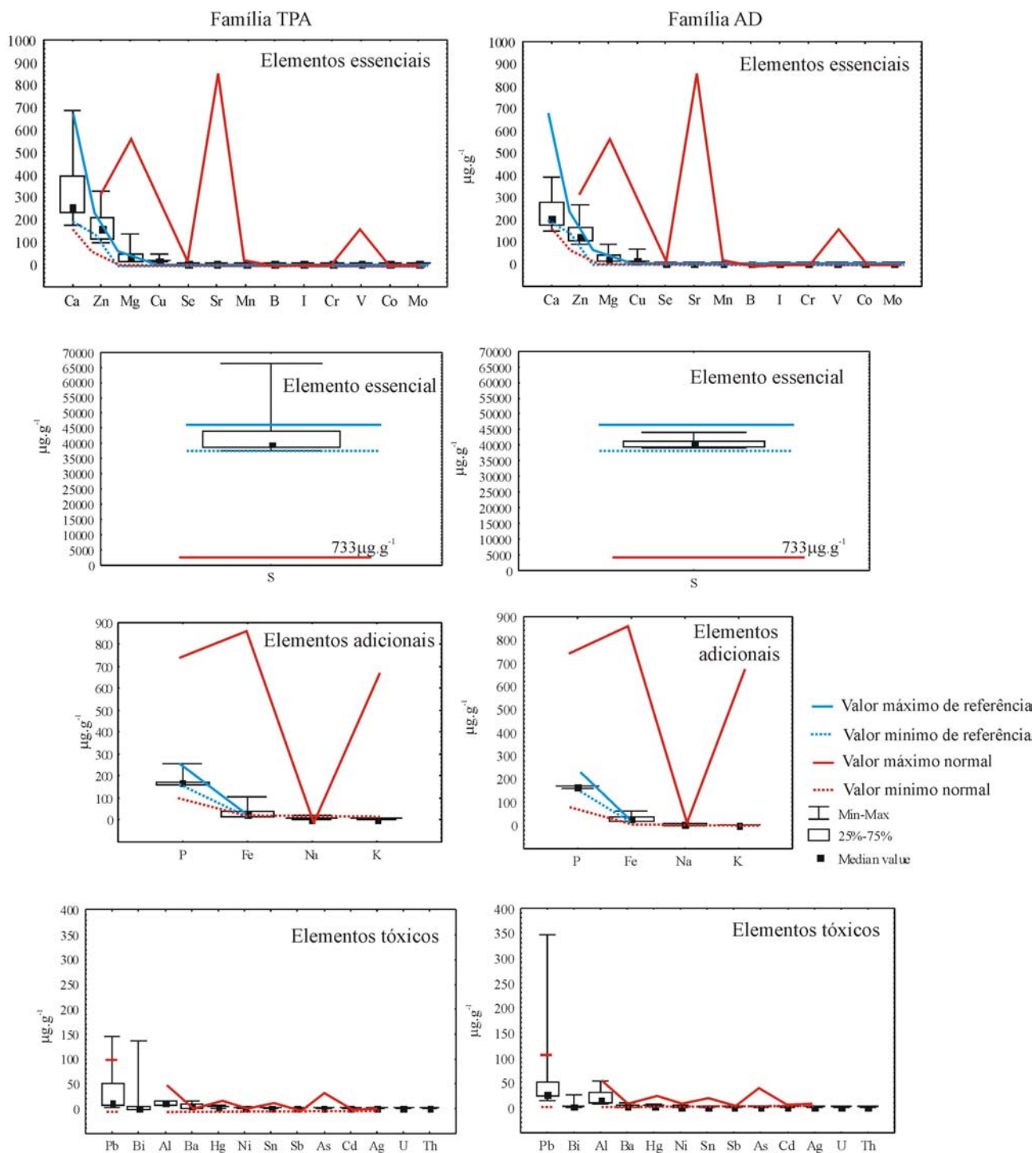


Figura 94 – Distribuição das concentrações mínimas (Min), máximas (Max), variação de 25 a 75% e valor médio dos elementos essenciais, adicionais e tóxicos no tecido capilar dos indivíduos das famílias TPA e AD, comparados com os valores normais e de referência (os valores de referência dos elementos tóxicos estão todos abaixo do limite de detecção).

5.5.1 Fator faixa etária

A distribuição dos elementos, segundo a faixa etária (Figuras 95 e 96), mostra que as crianças tendem a apresentar concentrações mais baixas do que os adultos, principalmente para os elementos Ca, Mg, Mn e Na entre os essenciais e adicionais e Ni entre os tóxicos. Apenas Fe, Al e Bi concentram-se preferencialmente entre as crianças, da mesma forma que em cabelos humanos no Acre (COSTA et al., 2003; COSTA, 2006) e Marapanim (VILHENA, 2006) (Tabela 13). Vale ressaltar que as duas crianças mais novas (0,7 e 1 ano de idade) se destacam claramente pelas elevadas concentrações (Figuras 95 e 96) de S, Ca, Zn (essenciais), Pb, Bi, Al, Sn, Sb e As (tóxicos). Ou seja, ao mesmo tempo em que estão recebendo nutrientes essenciais, estão expostas a vetores nocivos, provavelmente pais ou ambiente de fumantes, como será mostrado mais adiante. Segundo Souad et al. (2006), a mudança da alimentação da criança na transição leite para comida, é um período crítico que aumenta o risco de toxicidade de Pb e Al, possivelmente devido ao uso de utensílios a base de Al na cozinha, contaminando o alimento com este elemento e/ou alimentando as crianças com os produtos enlatados, fonte de metais pesados (TROSTER, 1993). Santos Filho et al. (1993) e Duarte (2004) observaram que as crianças são mais propensas a apresentar concentrações mais altas de Pb do que os adultos. Os valores elevados de Fe podem ser creditados ao medicamento combirom, mencionado anteriormente. Os teores de Hg não mostram dependência com a idade. Apenas no cabelo de indivíduos da família AD se verificou concentração mais elevada deste elemento em adultos ($5,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) do que as crianças ($3,4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Santos et al. (2003), ao contrário do presente trabalho, encontraram níveis mais elevados em cabelos de crianças do que nos de adultos, o que não se configura como uma normalidade (BARBOSA et al., 2001; AZEVEDO, 2003). Em relação ao As, Saad; Hassanien (2001) mostram que o cabelo de criança é um concentrador do mesmo ($0,35 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de As). Este fato, no entanto não foi identificado em Caxiuanã, que se apresenta com igual valor médio em crianças e adultos ($0,05$ e $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente).

Pelo exposto, conclui-se que as crianças apresentam concentrações mais baixas nos elementos essenciais do que os adultos, principalmente Ca, Mg, Sr, Zn Cu e V, o que em princípio seria normal (CHOJNACKA; GÓRECKA; GÓRECKI, 2006). No entanto, como estes elementos já estão em níveis deficientes nos adultos, nas crianças de Caxiuanã estão com as

concentrações de elementos essenciais ainda mais baixas, tornando-as mais vulneráveis à contração de doenças.

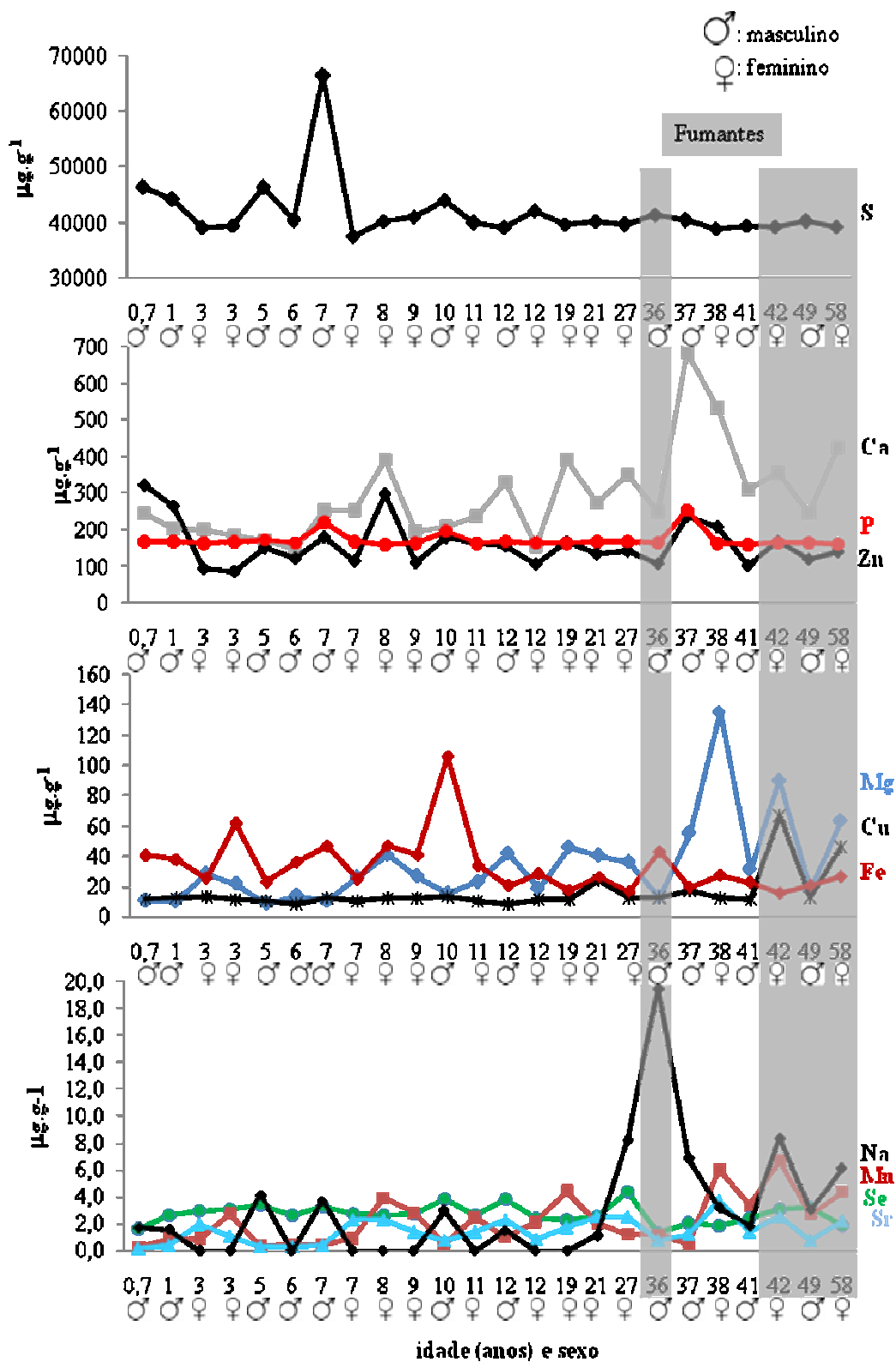


Figura 95- Concentrações dos elementos essenciais e adicionais em crianças (N = 14) e adultos (N = 10), destacando os fumantes, em Caxiuana.

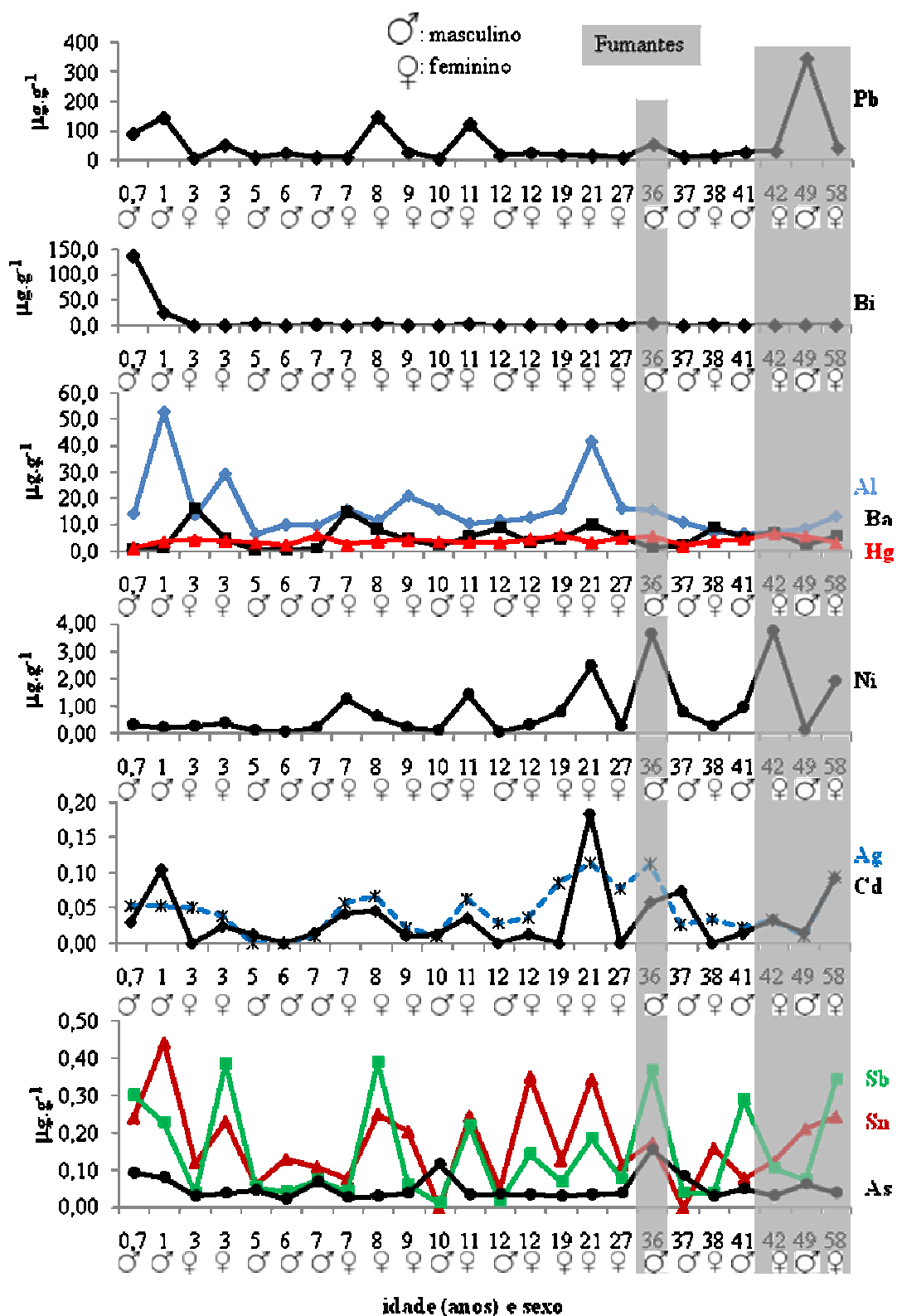


Figura 96- Concentrações dos elementos tóxicos em crianças (N= 14) e adultos (N = 10), destacando os fumantes em Caxiuana.

Quando comparados todos os elementos analisados com o mineralograma de cabelo humano de outras regiões (EUA, Polônia, Suécia e Marapanim e Acre no Brasil), (Tabela 13), os cabelos das crianças de Caxiuanã encontram-se enriquecidos em Zn e Se (elementos essenciais) e Pb e Ba (tóxico) e dos adultos em S, Cu, Se, Mn, Cr (elementos essenciais), Fe (adicional) e Pb, Al, Hg e Ni (tóxicos). Por outro lado, os valores de Hg de Caxiuanã (média de $3,7 \mu\text{g.g}^{-1}$) se equiparam com aqueles de Marapanim ($3,2$ a $4,4 \mu\text{g.g}^{-1}$). No entanto, valores de Hg muito mais elevados (valor máximo de $45,59 \mu\text{g.g}^{-1}$) foram identificados em Caxiuanã, por Santos et al., (2003), os quais podem ser atribuídos a dieta baseada em peixes. Os teores comparativamente elevados dos elementos tóxicos Pb, Al, Hg, e Ni, embora em níveis de não risco, mostram que a população ribeirinha da região estudada, Caxiuanã, pode estar possivelmente exposta a ambiente geológico com níveis mais elevados nestes metais do que aqueles observados no Acre, Marapanim (exceto Hg), na Polônia e Suécia. Os solos predominantes em Caxiuanã são do tipo Latossolos Amarelos a Vermelhos, ricos em oxi-hidróxidos de ferro (goethita e hematita), potencialmente acumuladores destes metais. De fato os solos de Caxiuanã contêm níveis mais elevados destes metais do que aqueles do Acre (MARTINS, 2005), que são pobres nestes oxi-hidróxidos. Por outro lado, entre os elementos essenciais e adicionais, a maioria encontra-se em níveis equivalentes aos intervalos encontrados no Brasil e outros países (Tabela 13), exceto o elemento essencial Ca (principalmente nos adultos), Na e K (adicionais), que estão com valores muito baixos, demonstrando a relativa deficiência nutricional da população amostrada em Caxiuanã. Apenas o selênio apresenta valores relativamente mais elevados, que podem refletir o saudável costume da população de consumir os frutos da castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*), ricos neste elemento (36 a $50 \mu\text{g.g}^{-1}$; CHANG et al., 1995) e abundantes na região.

Tabela 13- Concentrações médias de elementos essenciais, adicionais e tóxicos em cabelo de indivíduos de Caxiuana comparados com os valores de outras regiões.

$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Caxiuana				Marapanim		Acre		EUA		Polônia	Suécia	
	Família TPA		Família AD		criança	adulto	criança	adulto	criança	adulto			
	criança	adulto	criança	adulto									
Essenciais	S	44316	39747	41396	39765	156621	22252	35451	32998	na	na	na	na
	Ca	256	426	178	317	205	435	352	1079	172	813	1078	750
	Zn	185	157	140	148	99	189	64	165	84,3	151	180	142
	Mg	22,99	55,82	18,44	48,60	48	51	24	48	8,86	64,1	85	46
	Cu	11,68	18,85	11,22	28,87	10,9	13,2	12,0	9,5	18,8	16,3	17,9	25,0
	Se	2,98	2,30	2,67	2,75	0,5	0,4	0,5	0,3	3,08	1,36	0,7	0,8
	Mn	1,18	2,75	1,81	3,94	0,1	0,3	2,50	1,59	0,18	0,23	0,8	0,6
	Sr	1,30	1,96	0,79	1,89	2,6	2,4	1,35	5,69	0,27	3,97	8,2	1,2
	B	1,01	1,12	1,09	<0,5	0,4	0,2	4,9	4,4	2,08	0,37	2,0	0,7
	I	0,77	0,80	0,84	0,67	0,5	0,5	6,55	0,54	na	na	na	na
	Cr	0,73	1,14	0,53	0,75	0,01	0,08	0,58	0,28	0,022	0,048	0,6	0,2
	V	0,18	0,13	0,16	0,12	0,27	0,69	0,31	0,05	0,010	0,019	0,14	0,03
	Co	0,04	0,05	0,05	0,06	0,29	0,25	0,12	0,06	0,024	0,034	0,05	0,01
	Mo	0,04	0,10	0,05	0,04	0,86	1,12	0,063	0,024	0,020	0,009	0,02	0,04
Adicionais	P	176	179	166	165	162	196	126	142	135	147	152	133
	Fe	41,08	26,07	41,24	20,12	20	20	97	16	11,6	9,15	22,0	9,6
	Na	2,80	7,61	1,50	4,14	143	163	1548	102	35,9	46,6	714	147
	K	2,39	5,74	< 1,0	1,50	8	7	165	11	0,52	0,22	485,6	na
Tóxicos	Pb	45,61	24,60	53,7	101,56	1,7	1,2	13,8	0,8	1,44	2,44	1,75	0,96
	Al	11,99	11,46	25,06	18,16	8,3	8,9	89,8	5,3	10,2	3,96	15,3	8,2
	Ba	6,36	4,68	2,58	5,86	na	na	3,6	11,8	0,28	1,51	2,9	0,6
	Bi	16,85	1,51	5,98	0,84	na	na	25,21	0,03	na	na	0,021	na
	Hg	3,15	3,73	3,41	5,06	4,46	3,23	0,90	1,05	na	na	0,4	0,2
	Ni	0,51	1,31	0,25	1,77	0,18	0,16	0,75	0,24	0,12	0,38	0,35	0,43
	Sn	0,15	0,15	0,27	0,20	na	na	0,93	0,23	na	na	0,39	0,32
	Sb	0,13	0,19	0,17	0,11	na	na	0,40	0,01	0,086	0,15	0,02	0,02
	Cd	0,04	0,06	0,04	0,06	0,001	0,002	0,14	0,02	0,16	0,14	0,17	0,06
	Ag	0,03	0,06	0,04	0,08	na	na	0,51	0,03	na	na	0,38	0,23
	Th	0,002	0,001	0,003	0,002	na	na	0,012	0,002	na	na	na	na
	As	0,053	0,065	0,042	0,038	0,017	0,015	0,20	0,07	0,032	0,035	0,05	0,08
U	0,003	0,003	0,006	0,003	0,005	0,005	0,021	0,042	na	na	0,066	0,057	

(Marapanim) Vilhena (2006)- (manguezal)

(Acre) Costa (2006)- Acre

(EUA) Paschal et al. (1989)

(Polônia) Nowak (1998)- área não industrializada

(Suécia) Rodushkin; Axelsson (2000)- área urbana

A correlação entre as concentrações dos elementos químicos no cabelo e a idade dos respectivos indivíduos (Figuras 97 e 98) mostra que apenas os elementos essenciais Ca ($r = 0,59$),

Mg ($r = 0,56$) e Mn ($r = 0,60$) apresentam correlação significativa na família TPA. Na família AD Ca ($r = + 0,57$), Mg ($r = + 0,56$), Mn ($r = + 0,61$) e Hg ($r = 0,72$) se correlacionaram diretamente com a idade e P ($r = - 0,65$), o Fe ($r = - 0,73$) e Al ($r = - 0,53$) inversamente. Verifica-se assim que são acumulativos os essenciais Ca, Mg e Mn, que fazem parte da formação estrutural, os adicionais P e Fe, úteis principalmente na infância, e o Hg que representa a exposição à agentes tóxicos. A análise fatorial também demonstra que os elementos essenciais Ca, Mg, Cu, Sr e Mn, e os tóxicos Hg e Ni são os que apresentam maior relação com a idade dos indivíduos (Figura 99).

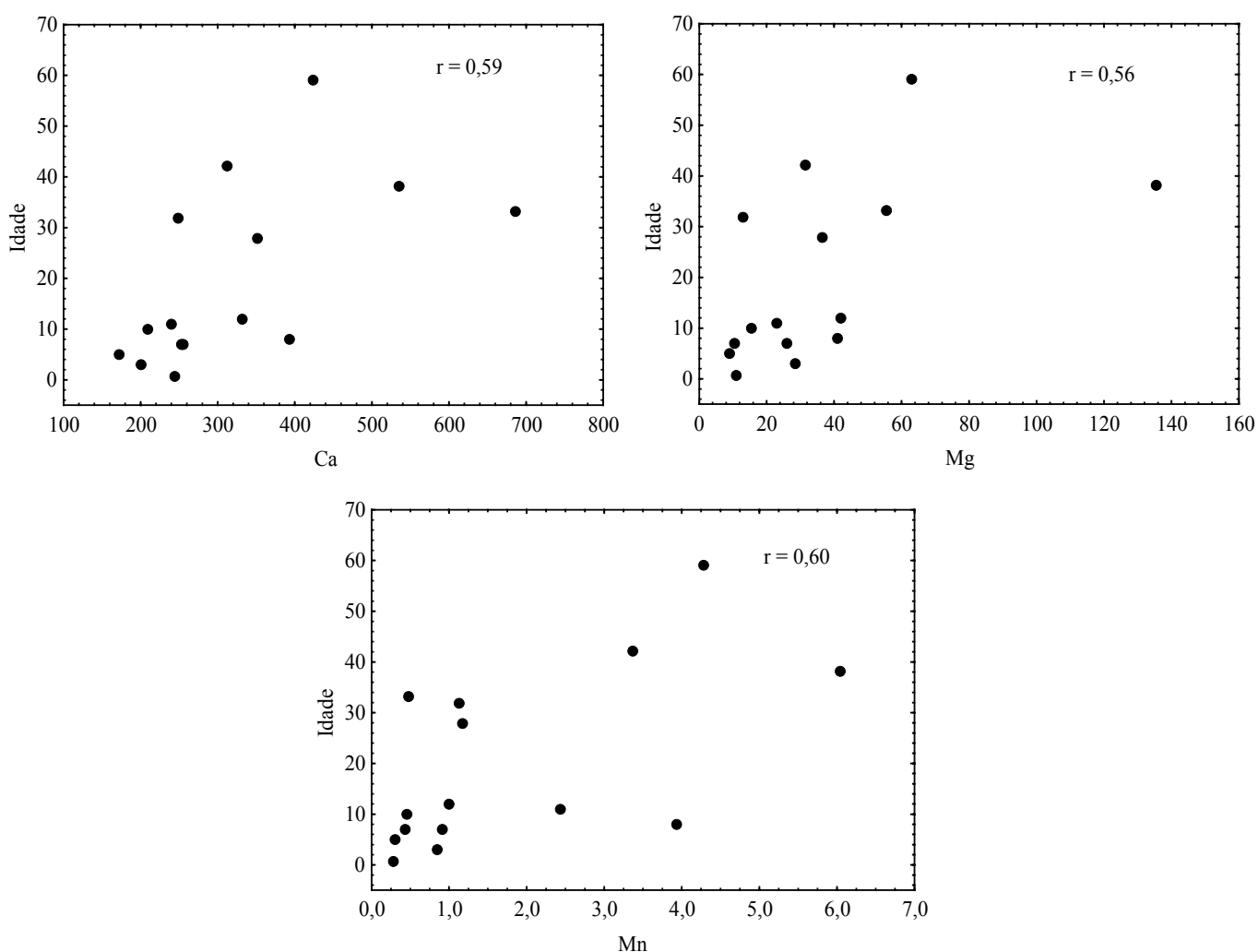


Figura 97 - Correlações significativas (95%) entre os elementos essenciais (Ca, Mg e Mn) do tecido capilar dos indivíduos da família TPA e a idade.

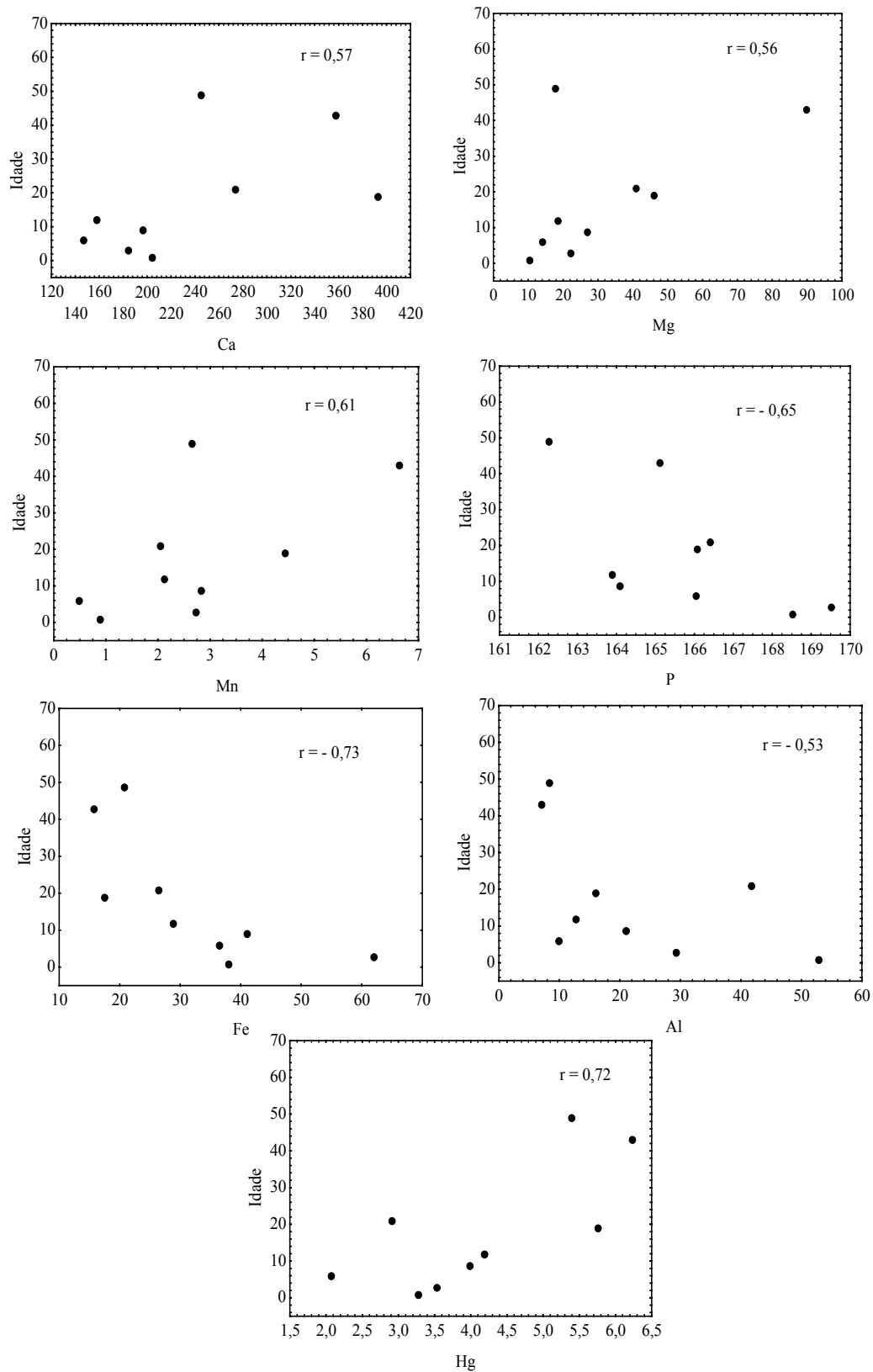


Figura 98 - Correlações significativas (95%) entre elementos essenciais (Ca, Mg e Mn), adicionais (P e Fe) e tóxicos (Al e Hg) do tecido capilar dos indivíduos da família AD (N = 9) e a idade.

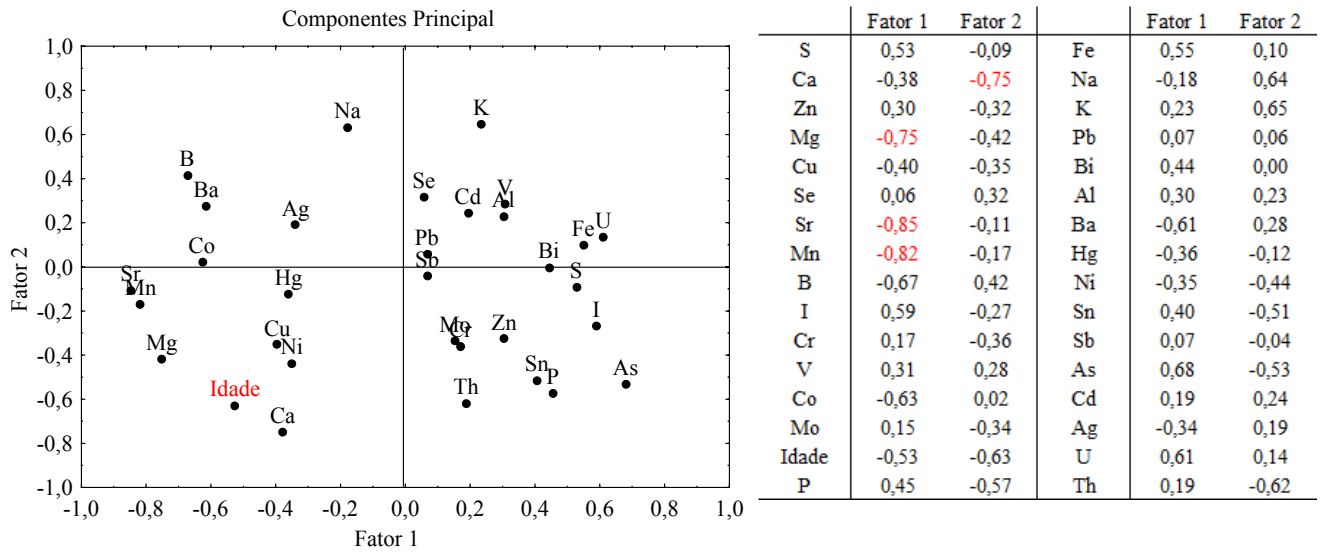


Figura 99- Análise fatorial (componente principal) das concentrações dos elementos essenciais, adicionais e tóxicos em cabelo das famílias de Caxiuana.

5.5.2 Fator Sexo

Os elementos essenciais e adicionais (Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Na e Sr) se concentram principalmente no sexo feminino (Figuras 95 e 96), de preferência nos adultos, a exceção do Fe que se dá no cabelo das crianças. Os elementos tóxicos também tendem a se concentrar em sua maioria no sexo feminino (Al, Ba, Sn, Cd, Ni e Ag); apenas Bi e As no masculino. A tendência à concentração dos elementos químicos nos indivíduos do sexo feminino se apresenta bem marcante no dendrograma (correlação de Pearson), que destaca populações distintas, representadas pelos indivíduos do sexo feminino e masculino (Figura 100). Antimônio tem uma distribuição distinta, concentrando-se nas crianças femininas e nos adultos masculinos. Portanto, o cabelo das pessoas do sexo feminino tem natureza cumulativa tanto para os metais tóxicos como para os essenciais. Isto foi observado em parte por Chojnacka; Górecka; Górecki (2006) que mostram que os cabelos de mulheres concentram-se mais em macronutrientes (Ca, Mg) e dos homens em micronutrientes (Co, B e Mo). As crianças, portanto, são mais vulneráveis aos metais tóxicos. O Hg que não apresentou dependência de idade, também não o faz com o sexo, fato

comprovado por Chojnacka; Górecka; Górecki (2006). Isto, no entanto, não ocorreu em cabelos de ribeirinhos do rio Negro, em maior concentração em adultos masculinos ($26,15 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), (BARBOSA et al., 2001).

As mulheres na faixa etária de 40 anos apresentam concentrações mais elevadas de Mg e Ca. Altas concentrações de Mg e Ca em mulheres na idade pré-menopausa (≈ 40 anos) são atribuídas ao desequilíbrio hormonal que acelera a atividade osteoclástica e aumenta a transferência desses elementos para os fluidos corporais e finalmente ao cabelo (MIEKELEY et al., 2001).

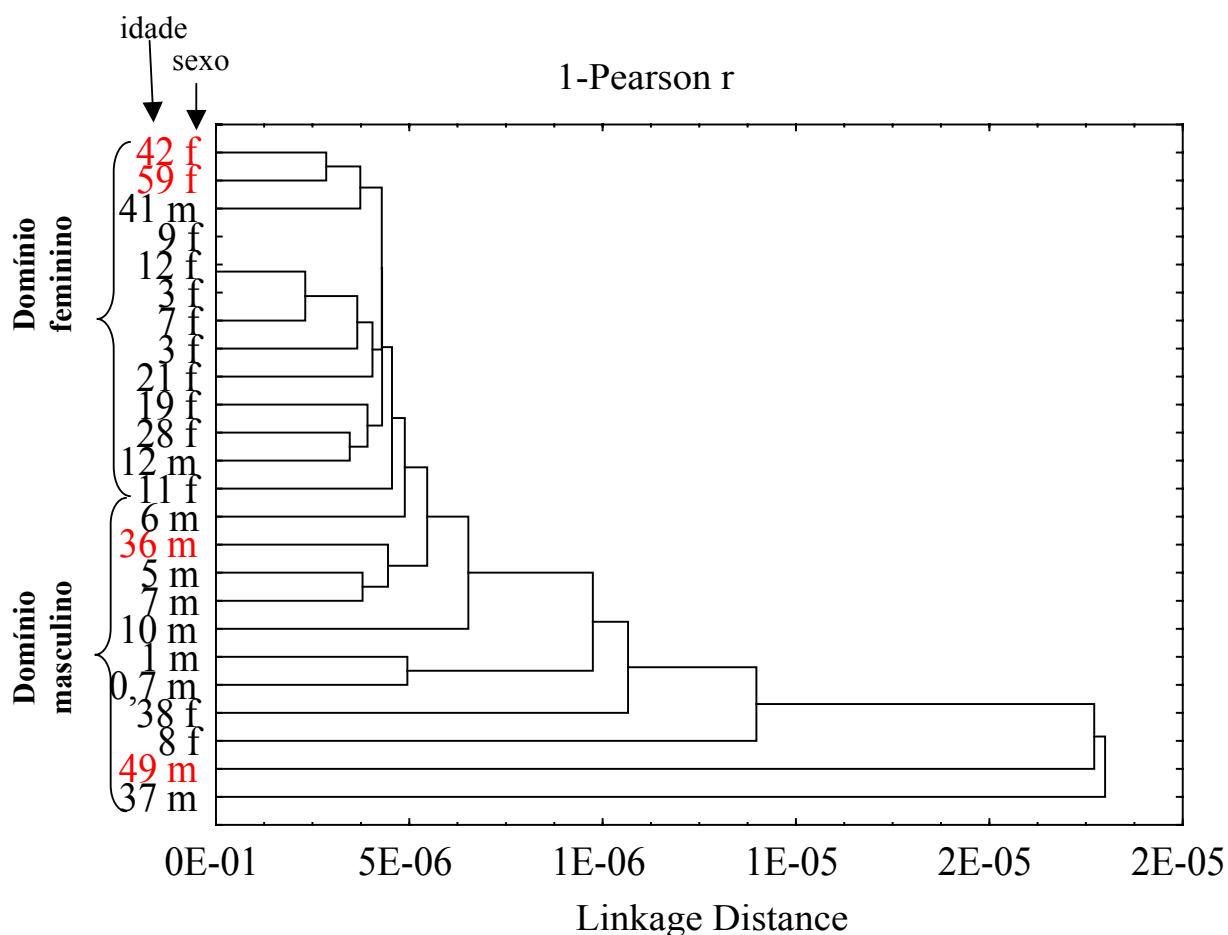


Figura 100- Dendrograma obtido a partir da composição química do cabelo de todos os indivíduos investigados em Caxiuanã, mostrando uma nítida população representada pelo domínio de indivíduos do sexo feminino e uma segunda mais dispersa por indivíduos masculinos. f: feminino; m: masculino; vermelho: indivíduos fumantes.

5.5.3 Fator Fumo

Do total de 24 amostras analisadas apenas 4 referem-se a adultos fumantes. Entre os elementos analisados, sejam essenciais, adicionais ou tóxicos, se destacaram apenas Pb, Ni, (Sb) e As como tóxicos e Na como adicional por seus valores mais altos entre os fumantes. Um indivíduo se sobressaiu pelo valor mais alto de Pb ($345,54 \mu\text{g.g}^{-1}$), dois para os de Ni ($3,64$ e $3,73 \mu\text{g.g}^{-1}$), dois para Sb ($0,37$ e $0,34 \mu\text{g.g}^{-1}$), um para As ($0,15 \mu\text{g.g}^{-1}$), (Figuras 95 e 96) e três para Na ($19,5$, $8,3$ e $6,1 \mu\text{g.g}^{-1}$). Os demais elementos não mostraram correlação clara com o hábito de fumar. Mesmo que em número reduzido de amostras, Pb, Ni, (Sb), As e Na discriminam esta atividade. De fato o cabelo humano de pessoas fumantes em comparação com os não fumantes se destaca em geral por altas concentrações de Pb, As, Ni e Sn (SAAD; HASSANIEN, 2001). Segundo ATSDR (1993), cada cigarro apresenta concentrações de Pb que variam de 2,5 a $12,2 \mu\text{g}$ e o fumante inala cerca de 2 a 6% deste Pb contido no cigarro, podendo acumular-se no tecido capilar, como demonstrado por Bertrand et al (2003). Chojnacka; Górecka; Górecki (2006) observaram que os não fumantes apresentaram valores mais baixos de Pb, Na e Sb do que os fumantes, ao contrário do que foi observado neste trabalho. Em Caxiuanã, no entanto teores de Pb elevados foram também encontrados entre os 20 indivíduos não fumantes amostrados, com valores variando de 3,4 a $146,3 \mu\text{g.g}^{-1}$. Deste conjunto cinco indivíduos (todas as crianças) estão acima de $50 \mu\text{g.g}^{-1}$, com valores mais altos entre aquelas com até três anos de idade (Figura 95 e 96), fato constatado também por Chojnacka (*op. cit.*). Na maioria das amostras entre os não fumantes, 15 indivíduos, os valores são muito baixos ($3,4$ a $25,6 \mu\text{g.g}^{-1}$). As tendências a correlações positivas entre estes teores de Pb e aqueles de Sb ($r = + 0,27$), As ($r = + 0,12$), Ni ($r = - 0,09$) e entre Sb-As ($r = + 0,22$), Ni-As ($r = + 0,18$) e Sb-Ni ($r = + 0,36$), (Figura 101), visualizáveis na figura 96, confirmam afinidade entre estes elementos, Pb, (Sb), As e Ni formam assim uma associação discriminatória de indivíduos fumantes e ainda daqueles como fumantes passivos, em que as crianças, pela menor massa corpórea, são as mais afetadas. Estas são propensas a maior acumulação destes metais pesados, principalmente chumbo, discriminado pela correlação Ni-Pb (Figura 101). Já o níquel prevalece nas pessoas que colorem o cabelo. Segundo Saad; Hassanien (2001), os fumantes passivos apresentam maior nível de As em cabelo ($0,37 \mu\text{g.g}^{-1}$) do que aqueles que não convivem com fumantes ($0,14 \mu\text{g.g}^{-1}$). Os valores mais altos de

As, por sua vez, discriminam indivíduos másculos (Figura 101). Ao mesmo tempo, o conteúdo de As no cabelo depende se o fumo foi industrializado ou não: aqueles que fumam cigarro industrializado têm nível de As menor ($0,2 \mu\text{g.g}^{-1}$) do que aqueles que fumam tabaco ($0,46 \mu\text{g.g}^{-1}$), (SAAD; HASSANIEN, 2001).

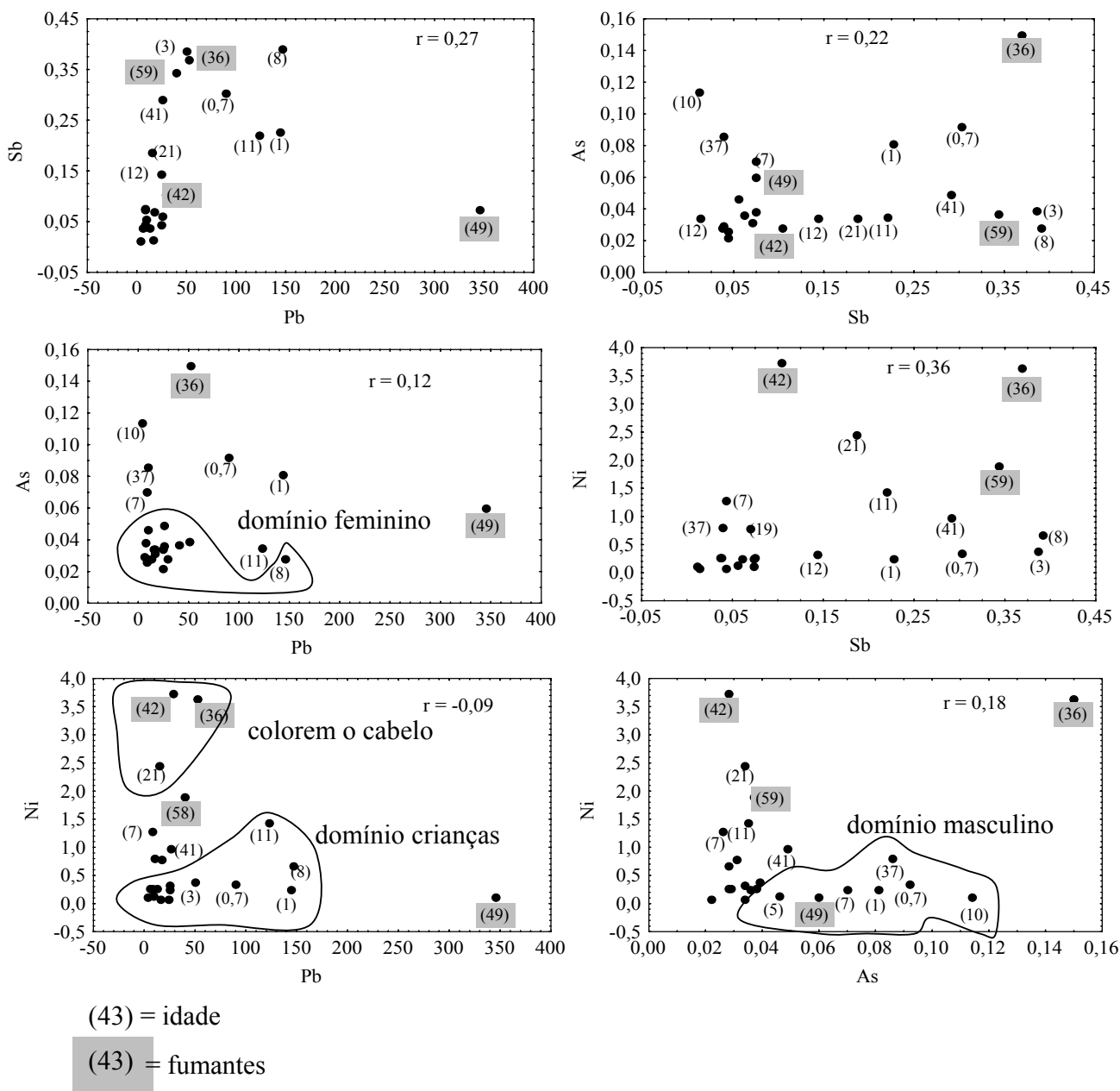


Figura 101- Correlações significativas (95%) entre Pb-As, Pb-Sb, Pb-Ni, Sb-As, Sb-Ni e Ni-As do tecido capilar dos indivíduos de Caxiuana, (idade).

Quando se compara os valores médios dos elementos analisados (essenciais, adicionais e tóxicos) entre fumantes e não fumantes (Figuras 102 e 103) verifica-se que os fumantes, de fato apresentam os valores médios mais altos de Ni, Pb, Sb e As (tóxicos), de K, Na e Fe (adicionais) e Cu, Mo, B e Cr (essenciais), enquanto os não fumantes, os valores médios mais altos de Mg, Zn, Ca, Sr, Se e Co (essenciais) e P (adicional). Estes valores sugerem que o hábito de fumar esteja possivelmente inibindo a absorção da maioria dos elementos essenciais a formação capilar, um provável indicador da dieta alimentar pobre nestes nutrientes.

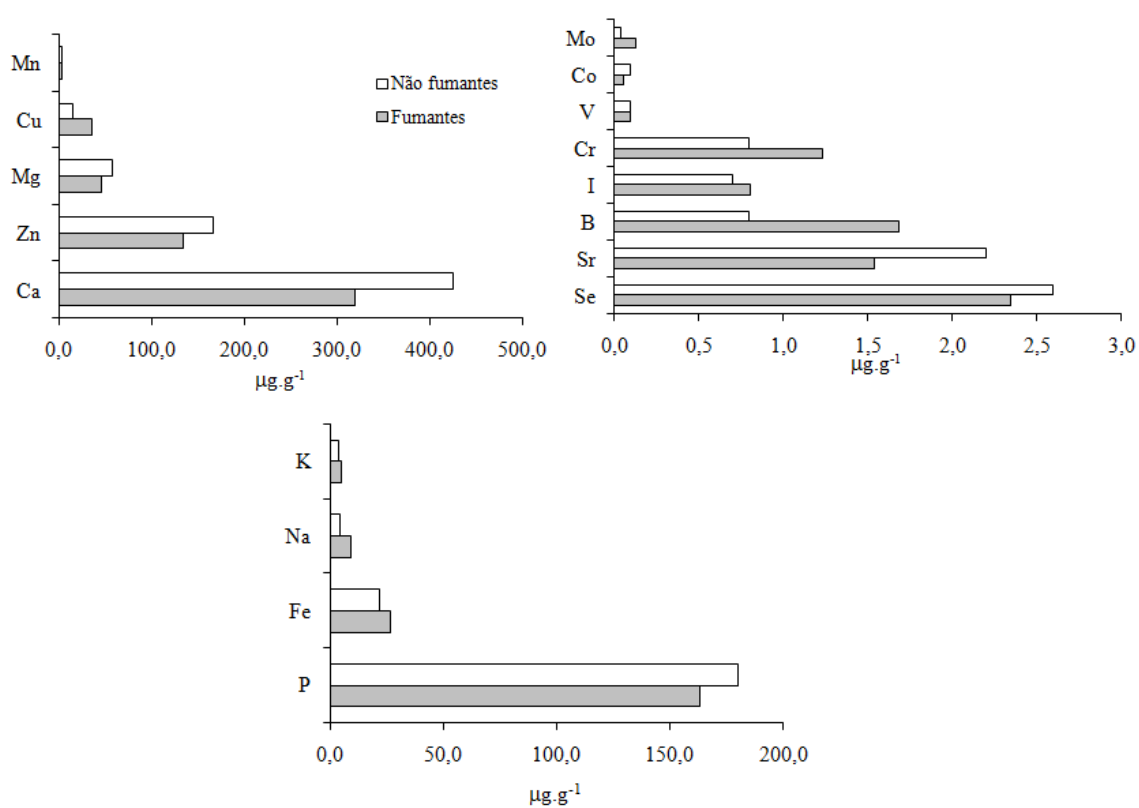


Figura 102 – Teores médios dos elementos essenciais e adicionais em cabelo de indivíduos fumantes e não fumantes de Caxiuanã.

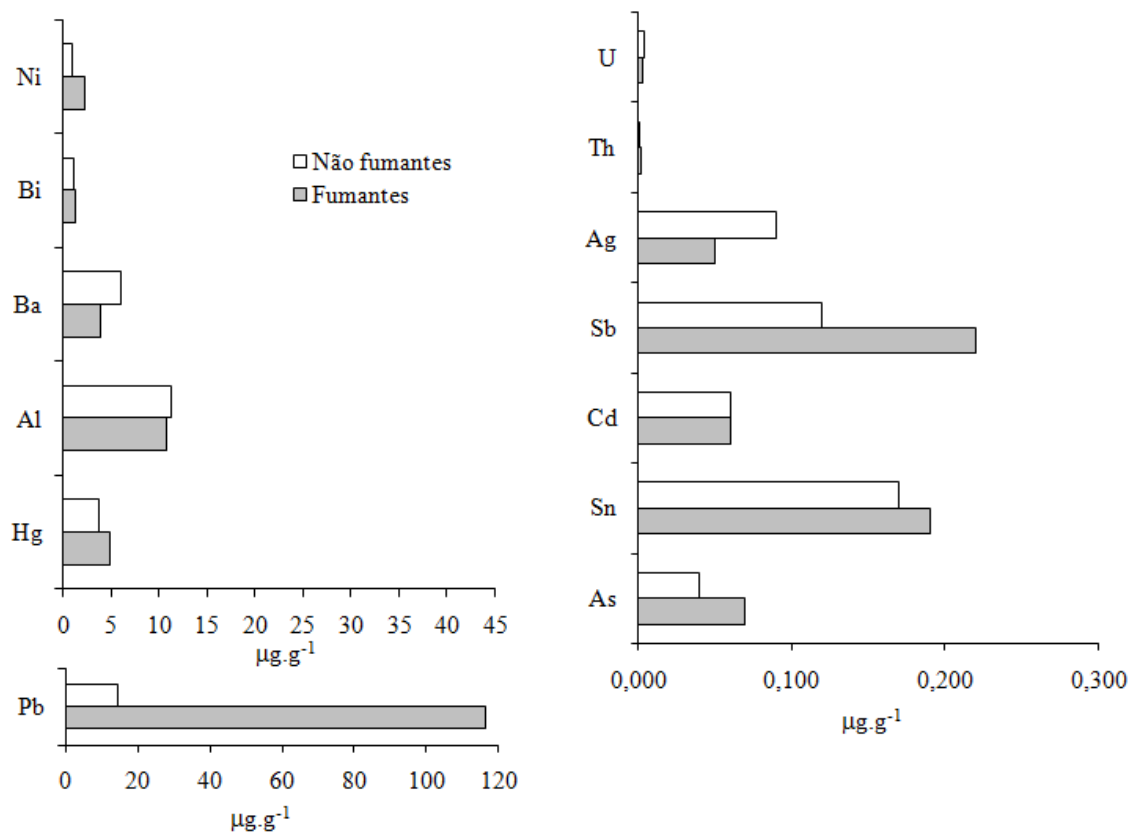


Figura 103- Teores médios dos elementos tóxicos em cabelo de indivíduos fumantes e não fumantes de Caxiuanã.

5.5.4 A inter-relação mercúrio e selênio

O mercúrio encontra-se no cabelo tanto na forma orgânica como inorgânica e os valores de Hg total são os que melhor refletem a absorção de ambas as formas (HAC et al., 2000). No presente trabalho, as concentrações médias de Hg encontradas em cabelo de crianças e adultos são de 3,2 e 4,3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de Hg, respectivamente, abaixo do limite tolerável estabelecido por (WHO, 1990) que é 6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, portanto de não risco. Além dos valores de Hg já se encontrarem em níveis toleráveis, os indivíduos de Caxiuanã apresentaram valores significativos de Se, que está presente em alguns alimentos consumidos por esses indivíduos, como o peixe e a castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*). Este fruto é muito abundante na região de Caxiuanã e faz parte da

dieta alimentar, possivelmente ainda em tempos pré-históricos, de culturas formadoras de Terra Preta. No presente estudo, as concentrações médias de Se foram de $2,9 \mu\text{g.g}^{-1}$ em crianças e $2,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ em adultos. Concentrações de selênio podem ser capazes de inibir a toxicidade do Hg no organismo, através de enzimas oxidantes, como as selenoproteínas (CAMPOS et al., 2002). Além disto, o selênio teria função de prevenir contra o câncer (NAVARRO-ALARCÓN et al., 1998). Mesmo que os teores de Hg estejam abaixo do nível de toxicidade, provavelmente os valores de Se, relativamente elevados, com forte correlação positiva entre si, principalmente na família TPA (Figura 104) podem estar contribuindo para diminuir sua toxicidade sobre os indivíduos da região de Caxiuanã. O complexo equimolar formado por $\{(\text{Hg-Se})_n\}_m$ - selenoproteína P, pode diminuir a biodisponibilidade do Hg no organismo (CAMPOS et al., 2002).

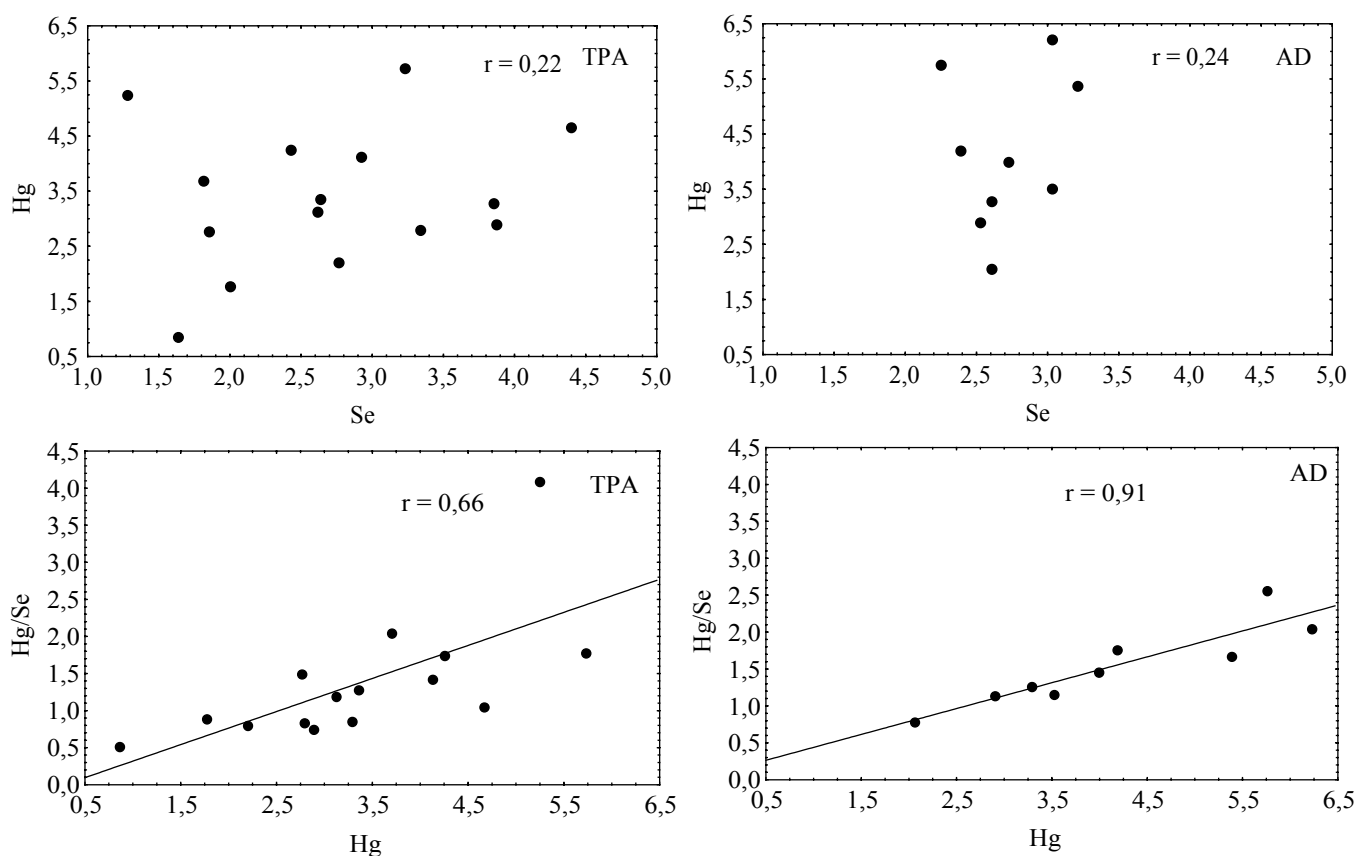


Figura 104- Correlação entre as concentrações de Hg com Se e com a razão Hg/Se em cabelo de indivíduos de Caxiuanã, família TPA e família AD (Argissolo).

Comparando o teor médio de Hg total em cabelo dos indivíduos das duas famílias de Caxiuana com outros locais no Brasil (Figura 105), verifica-se que o mesmo está dentro da média estabelecida pela WHO e na faixa de intervalo considerada normal.

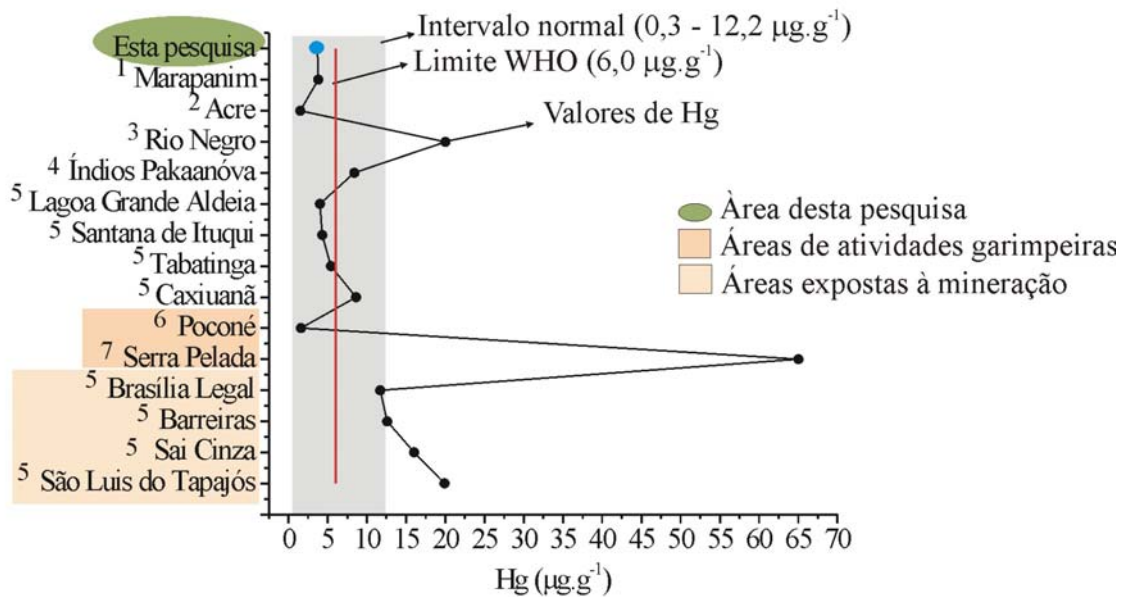


Figura 105- Distribuição das concentrações médias de Hg total em cabelo em várias regiões do Brasil, incluindo a área deste trabalho, Caxiuana. 1- Vilhena (2006); 2- Projeto Selenmeras (2006); 3- Barbosa et al. (2001); 4- Santos et al. (2003); 5- Santos et al. (2000, 2003); 6- Nogueira *et al.* (1997); 7- Leino; Lodenius (1995).

5.5.5 Associações químicas no tecido capilar e sua importância ambiental

Com base na matriz de correlações e com os dendrogramas (correlação de Pearson) obtidos com as 24 amostras e suas respectivas concentrações para 31 elementos químicos (Figura 106 e ANEXO O) de tecido capilar humano da população ribeirinha de Caxiuana identificaram-se as seguintes associações químicas:

- 1) S-I
- 2) Ca-Mg-Sr-Mn-Co-Ba-P-Th-Sn-B-Cu-Ni-Cr-Mo-As;
- 3) Na-K-Al-U-V-Fe;
- 4) Hg-Sb-Ag-Zn-Bi-Pb-Se-Cd.

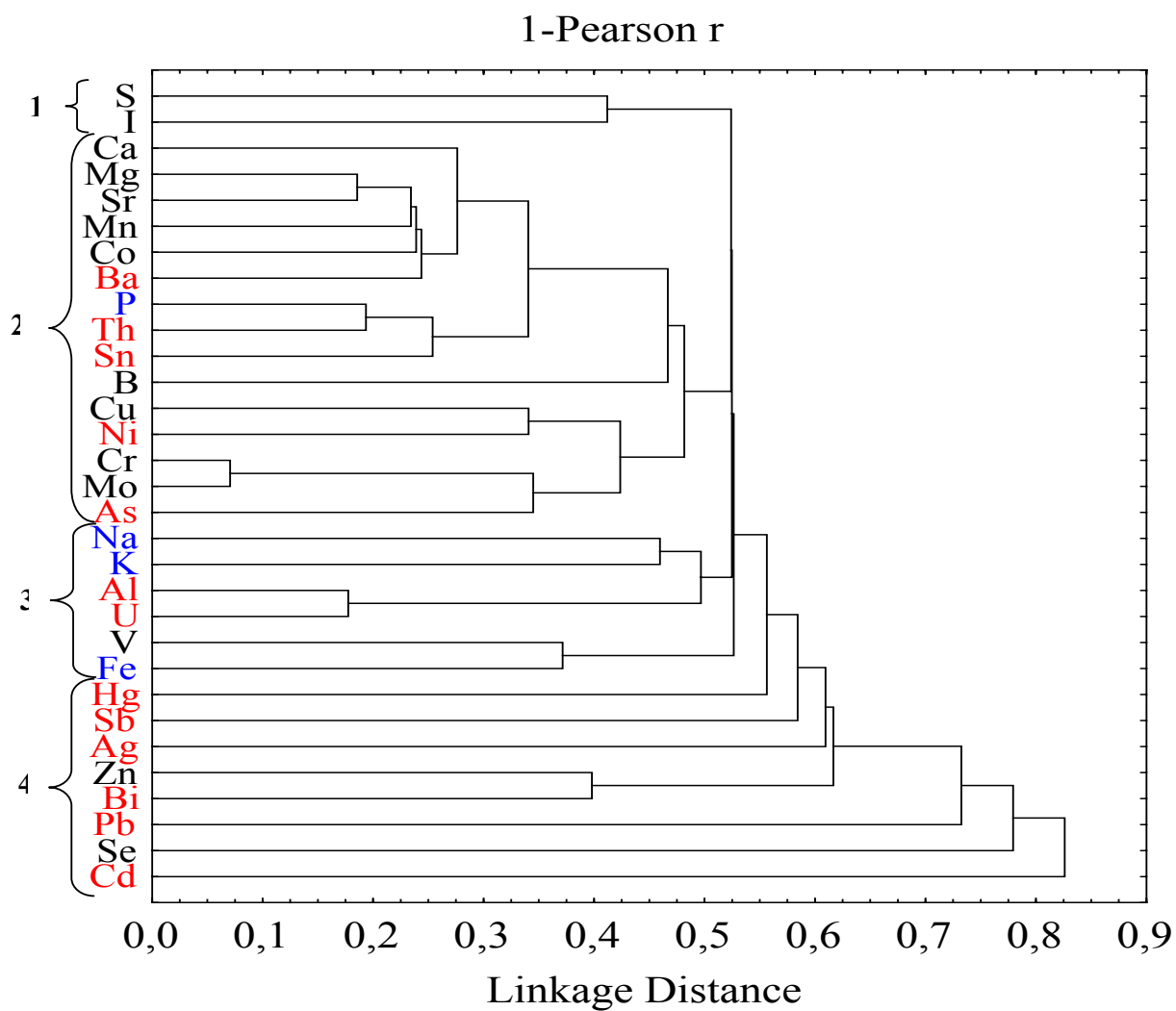


Figura 106- Dendrograma de correlações Pearson para os elementos essenciais (em negro), adicionais (em azul) e tóxicos (em vermelho) em cabelo das famílias de Caxiuanã e principais associações químicas interpretadas.

Associação **S-I** é formada por elementos essenciais. O cabelo apresenta uma proteína de forma espiralada que dá sustentação, chamada de α -queratina, esta proteína fica imersa em uma matriz que é composta por células protéicas ricas em tirosina e cistina. A tirosina é constituída de iodo formando o hormônio principal secretado pela glândula tireóide e a cistina é um aminoácido natural, constituída de dois átomos de S (POZEBON; DRESSLER; CURTIUS, 1999). Os teores anômalos de S e I quando presentes refletem o uso intensivo de cosméticos (xampus e condicionadores), (OLSZEWER; SMITH; LAGANÁ, 1998; LeBLANC; DUMAS; LEFEBVRE, 1999; SALVADOR et al., 2000), que não é costume geral da população de Caxiuanã, que usa sabão comum. Aqui apenas uma criança de 7 anos apresentou valor anômalo de S. Os valores de S e I não mostraram dependência com sexo e/ou idade (Figura 107), o que seria de se esperar, em parte, em população consumidora de xampus, admitindo uso maciço pelo sexo feminino.

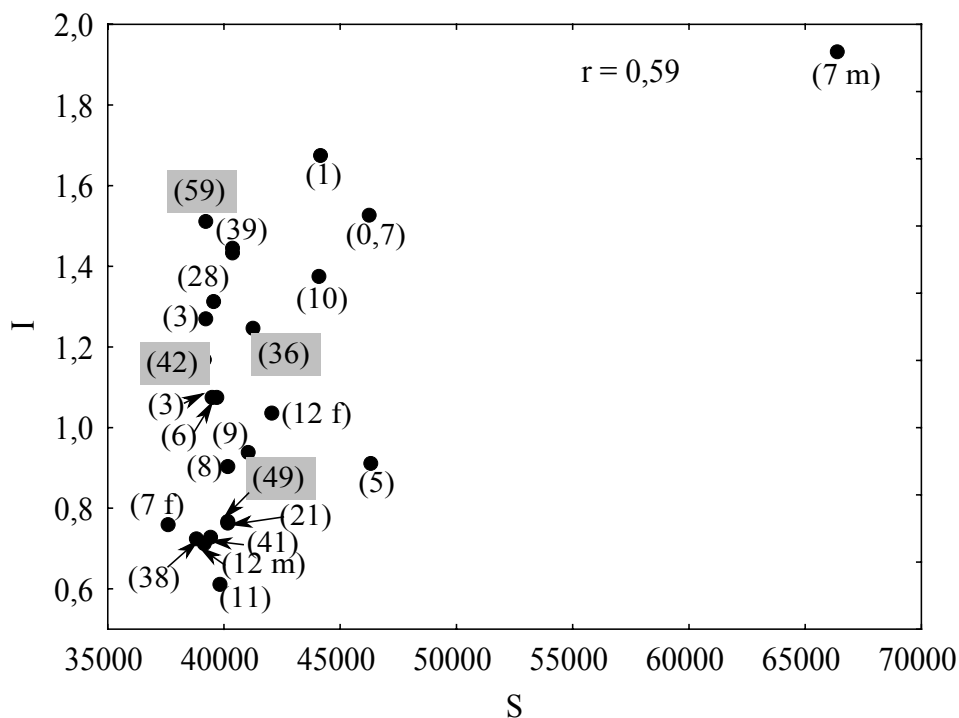


Figura 107- Correlação entre as concentrações de S e I em cabelo de indivíduos de Caxiuanã segundo idade. Os números sombreados representam a idade dos fumantes. f: feminino; m: masculino.

Associação **Ca-Mg-Sr-Mn-Co-Ba-P-Th-Sn-B-Cu-Ni-Cr-Mo-As** é formada tanto de elementos essenciais (Ca, Mg, Sr, Mn, Co, B, Cu, Cr e Mo), adicional (P) como elementos

tóxicos (Ba, Th, Sn, Ni e As). São elementos alcalinos terrosos e metais pesados, em geral com raios iônicos grandes e valência 2^+ , em que Ca, Mg, Ba e Sr e mesmo Mn constituem os minerais formadores das rochas primárias e nos solos encontram-se em pequenas quantidades, ocupando sítios dos minerais de argila 2:1 e, em parte, na matéria orgânica. A abundância destes minerais e da matéria orgânica controlará a maior ou menor abundância destes elementos no solo. Enquanto estes elementos nos solos constituem duas associações muito distintas, eles se transferem para o cabelo humano de uma única forma. Devem estar provavelmente relacionados a uma função orgânica importante no tecido capilar, pois são comparativamente abundantes. As correlações Mg-Sr, Mg-Mn, Ca-Mg, Ca-Sr, Mg-Co, Mg-Cu, Co-Mn e Mn-Co mostram que os elementos químicos respectivos tendem a correlacionar-se com a idade (Figuras 108 e 109), reforçando a natureza cumulativa dos mesmos. As correlações Cr-Mo, Mg-Sr, Mg-Mn, Mn-Co, Sr-Ba, Ca-Mg, Cu-Ni, Cr-As, Sr-Mn e Mo-As são das mais significativas, reforçando elevada afinidade química entre seus elementos (Figuras 108 a 113), a maioria deles encontrada na constituição óssea (SKINNER, 2005) e que se transfere para o cabelo. A correlação Mn-Co (Figura 109), positiva e significativa ($r = 0,76$), é comum em rochas e solos, e se transfere para o tecido capilar. Embora em pequenas quantidades na maioria dos solos, estes elementos se transferem para as cultivares, que ingeridos pelo homem podem chegar ao cabelo, como constatado no presente trabalho.

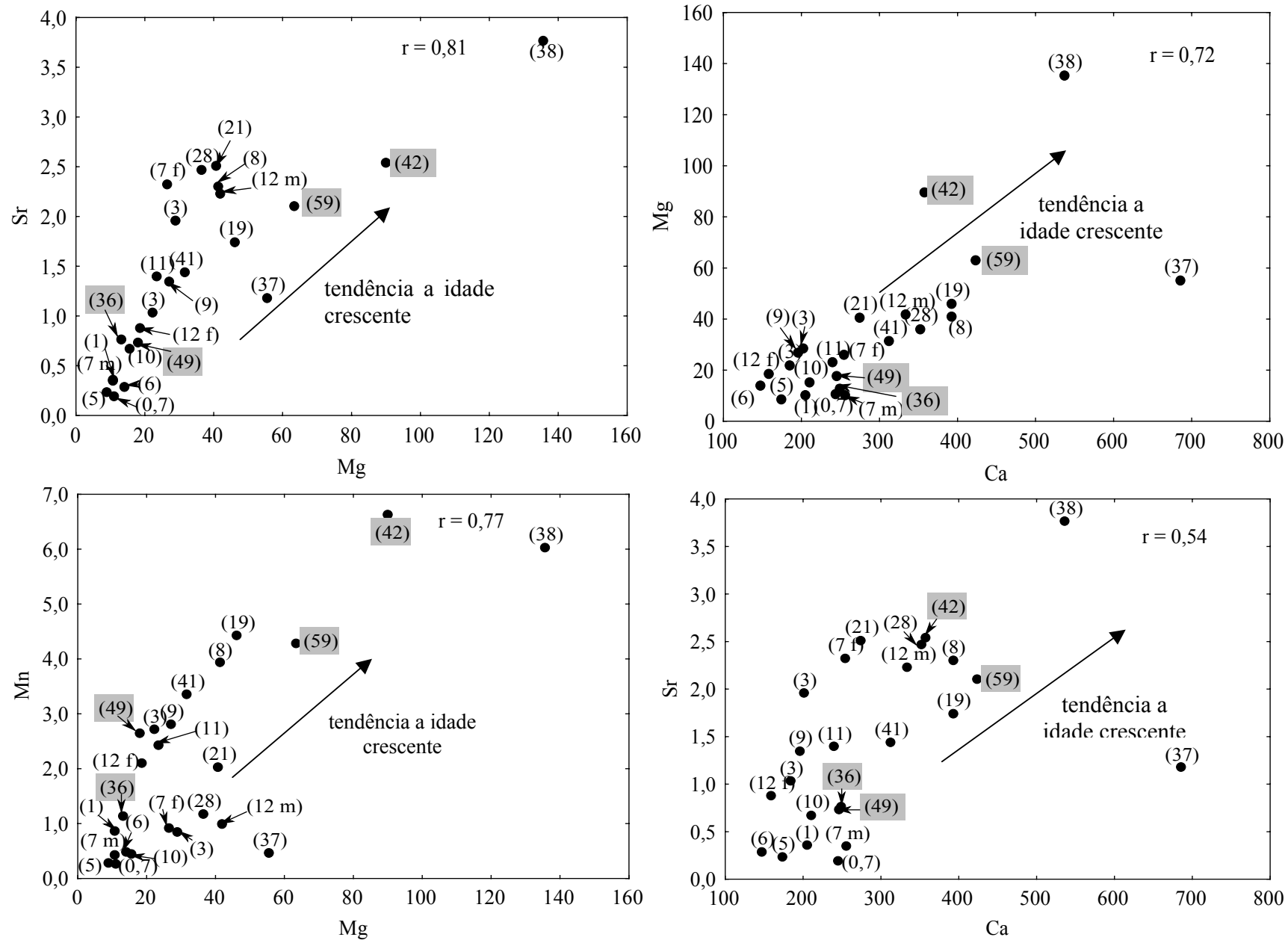


Figura 108- Correlação entre concentrações Mg-Sr, Mg-Mn, Ca-Mg e Ca-Sr em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.

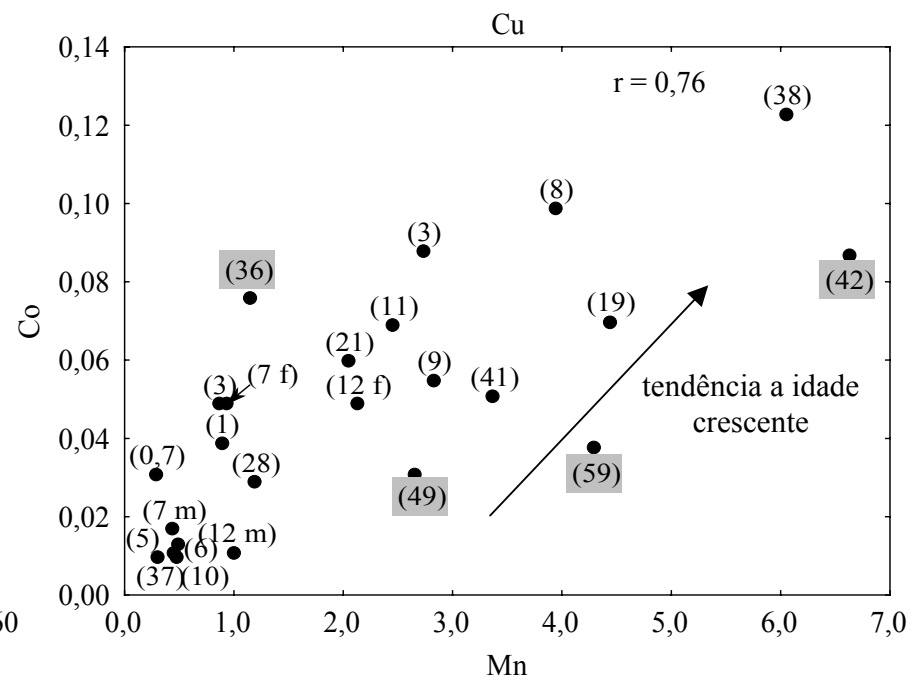
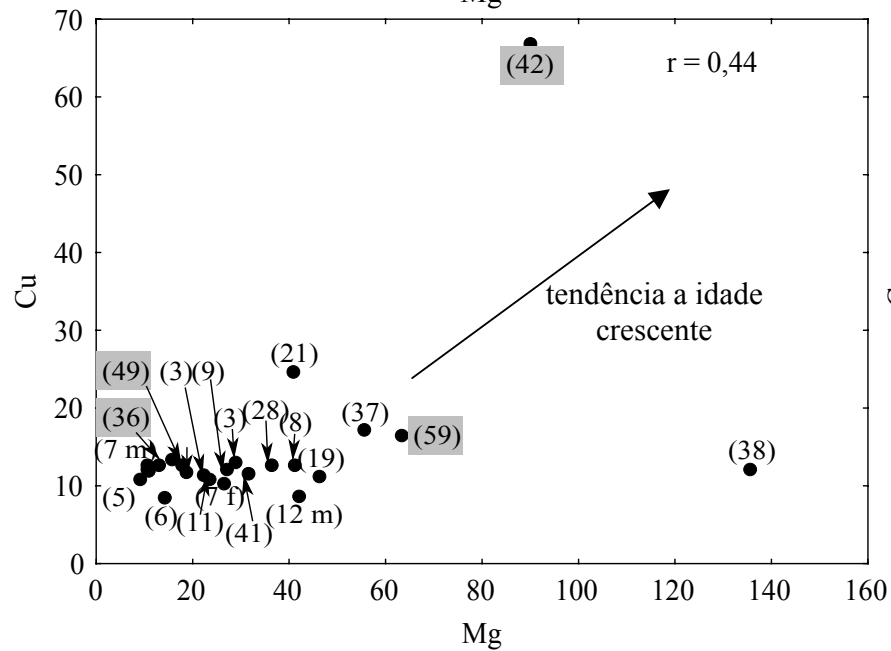
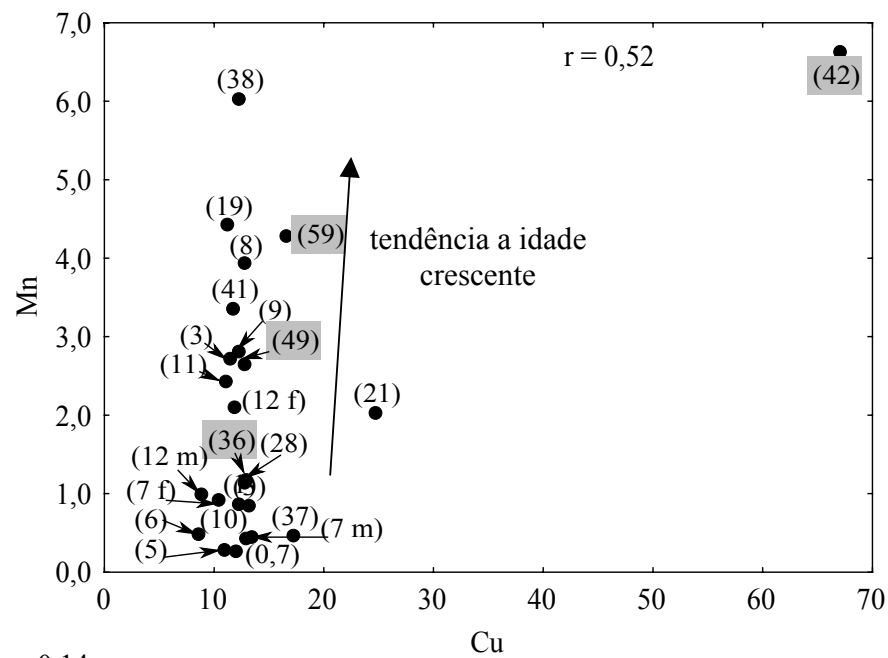
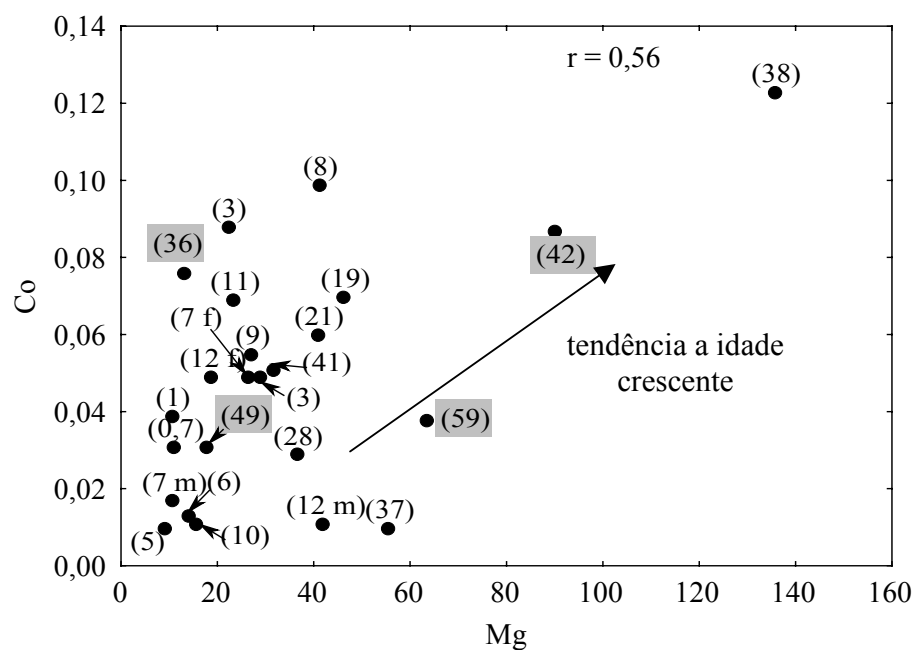


Figura 109- Correlação entre as concentrações Mg-Co, Mg-Cu, Cu-Mn e Mn-Co em cabelo de indivíduos de Caxiuana. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.

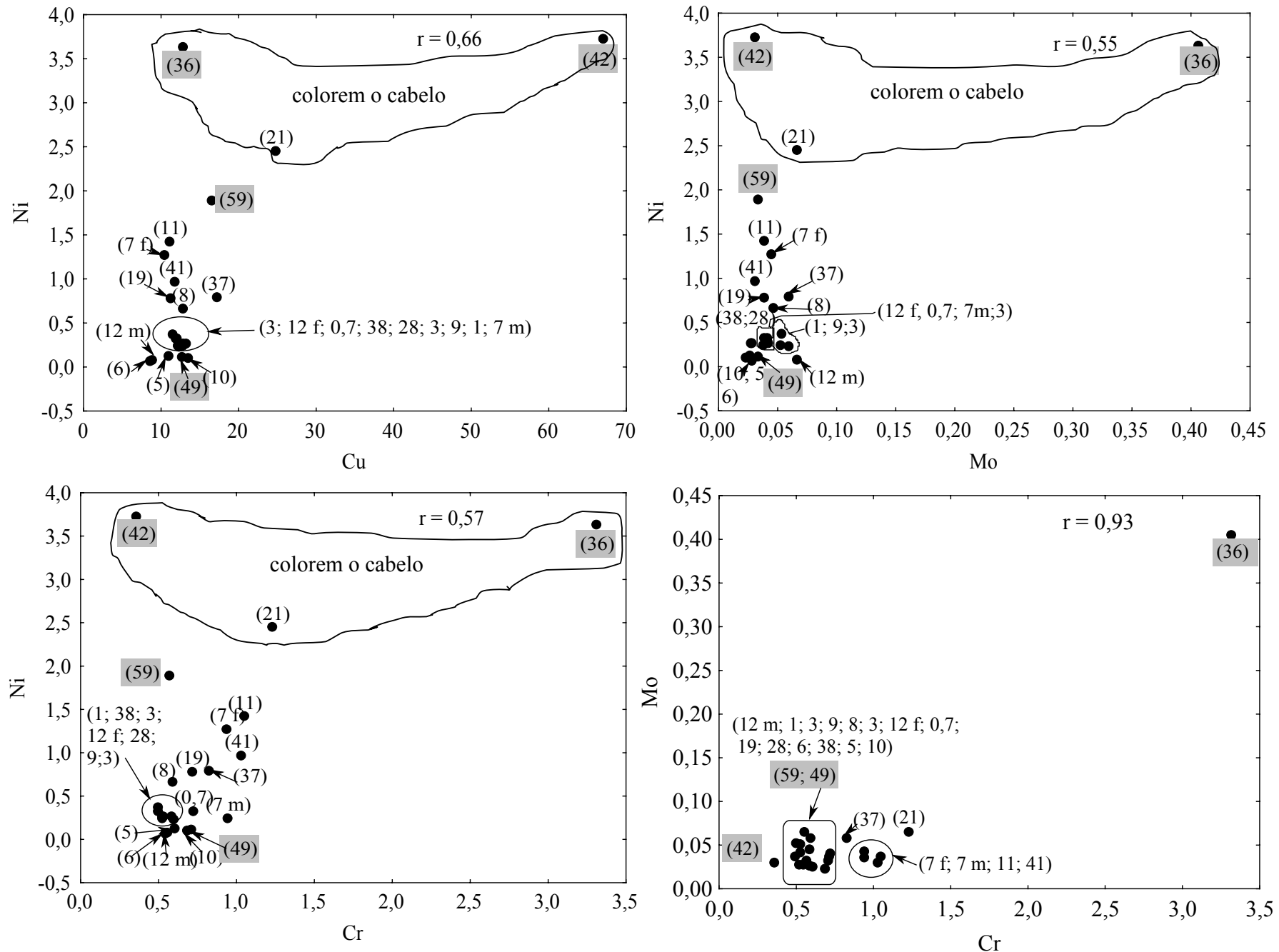


Figura 110- Correlação entre as concentrações Cu-Ni, Cr-Ni, Mo-Ni e Cr-Mo em cabelo de indivíduos de Caxiuana. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.

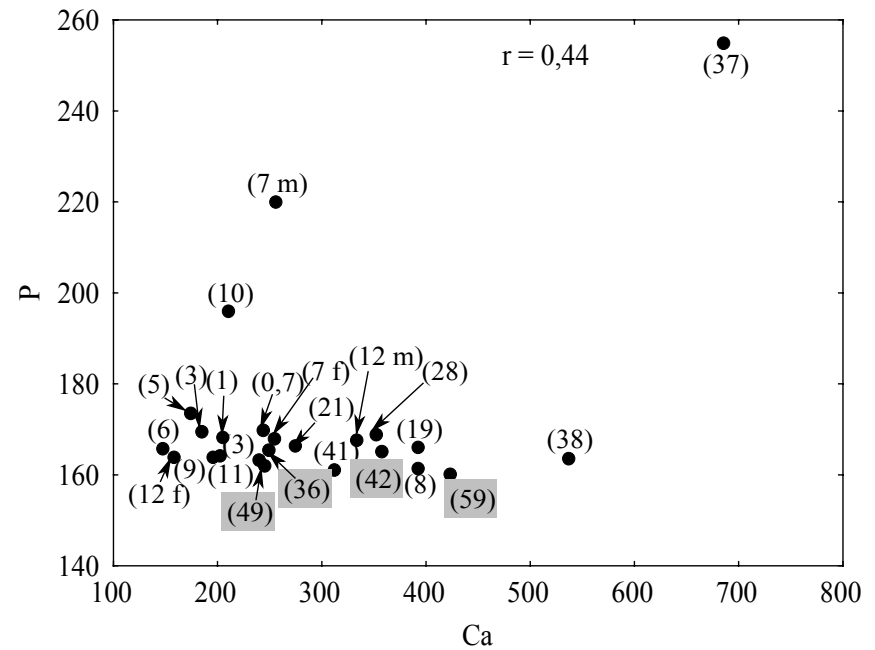
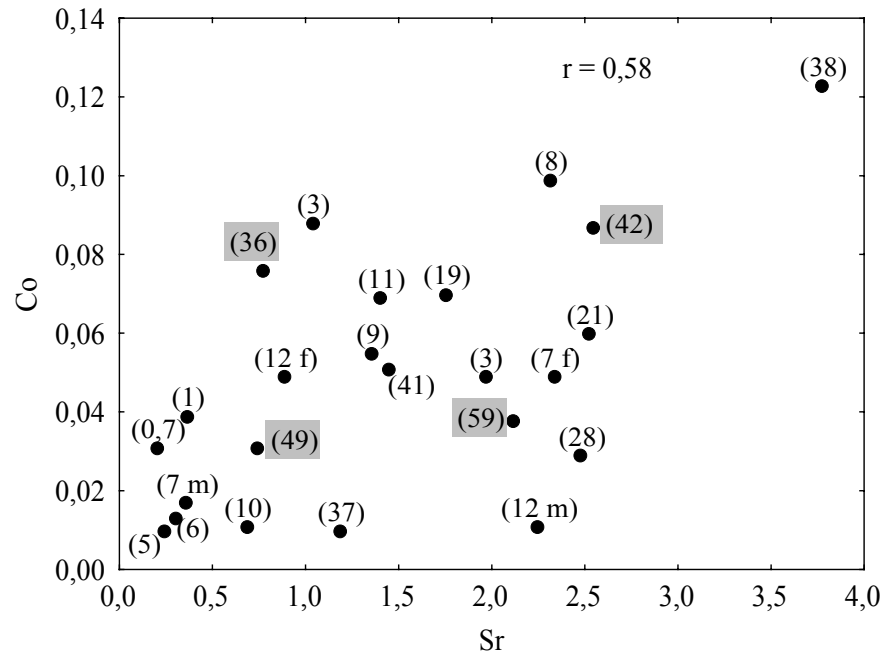
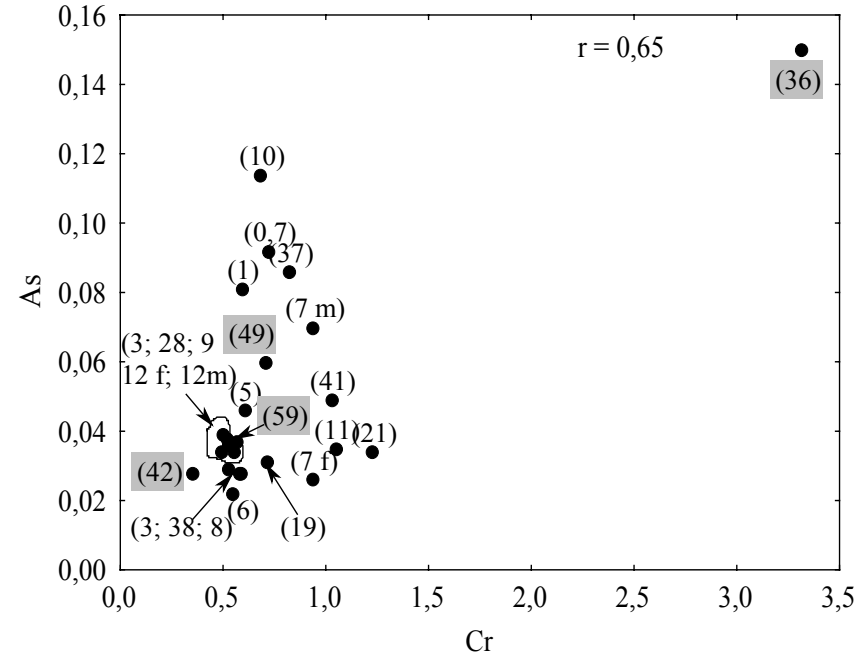
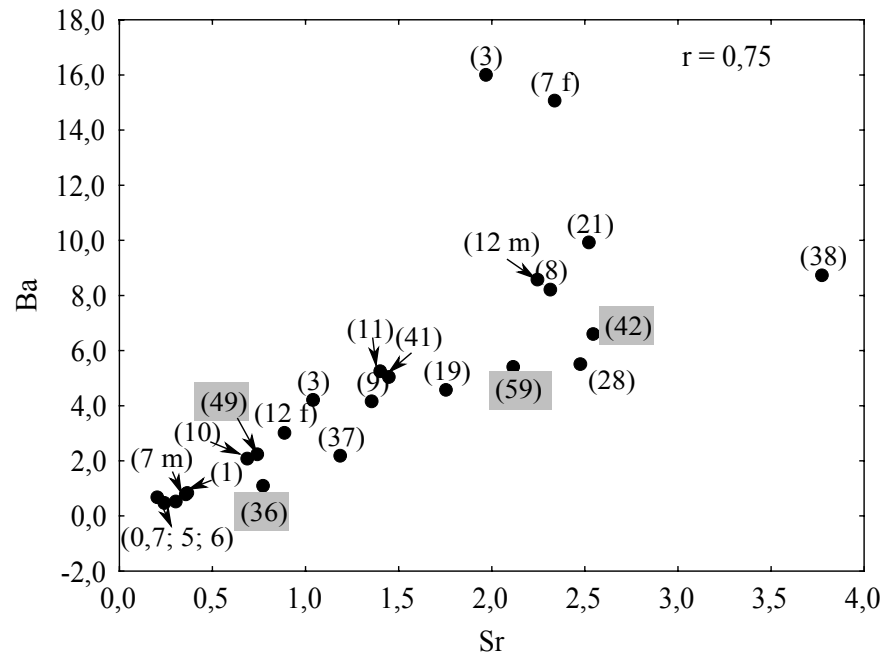


Figura 111- Correlação entre as concentrações Sr-Ba, Sr-Co, Cr-As e Ca-P em cabelo de indivíduos de Caxiuana. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.

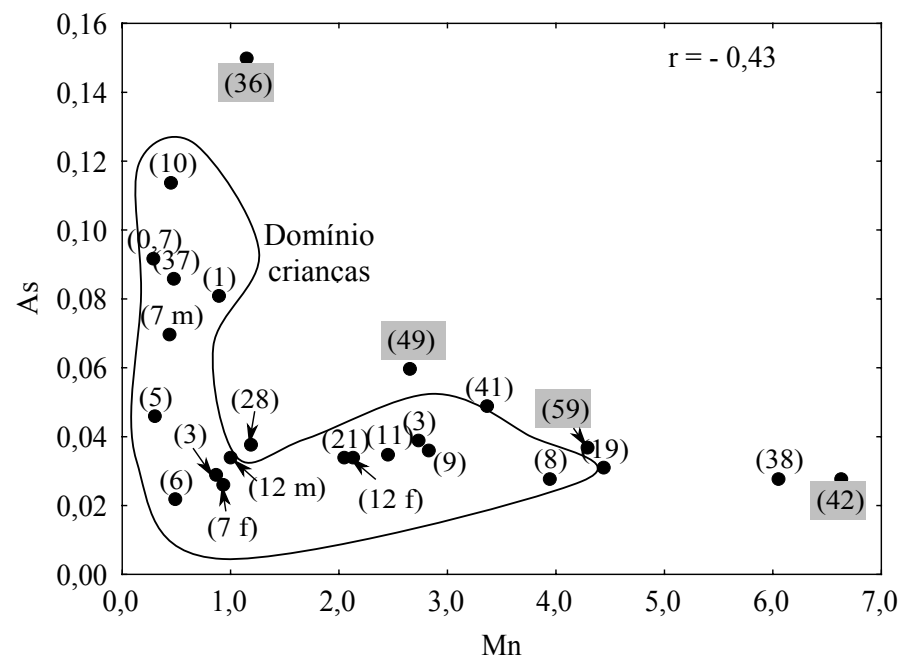
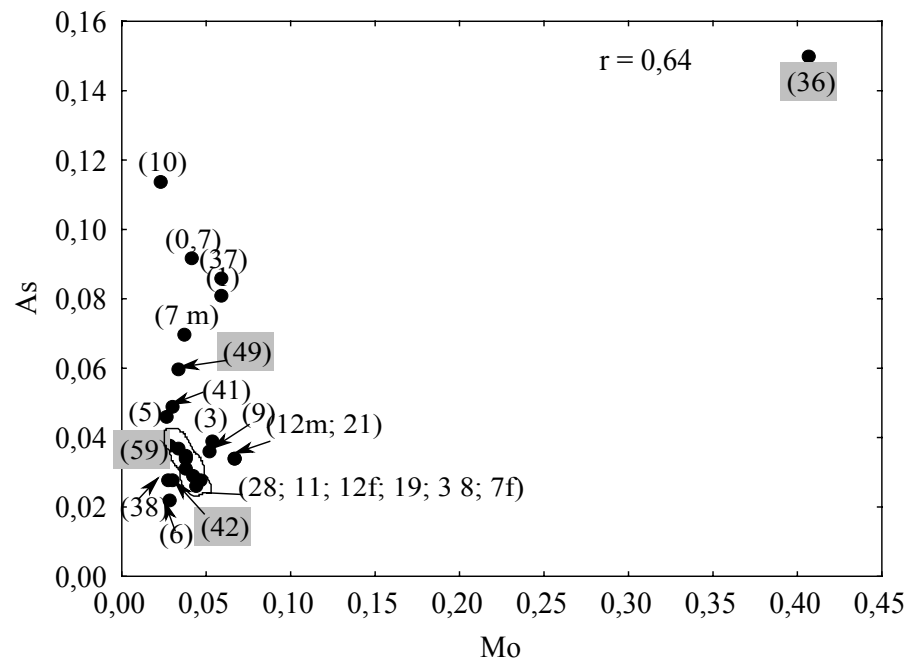
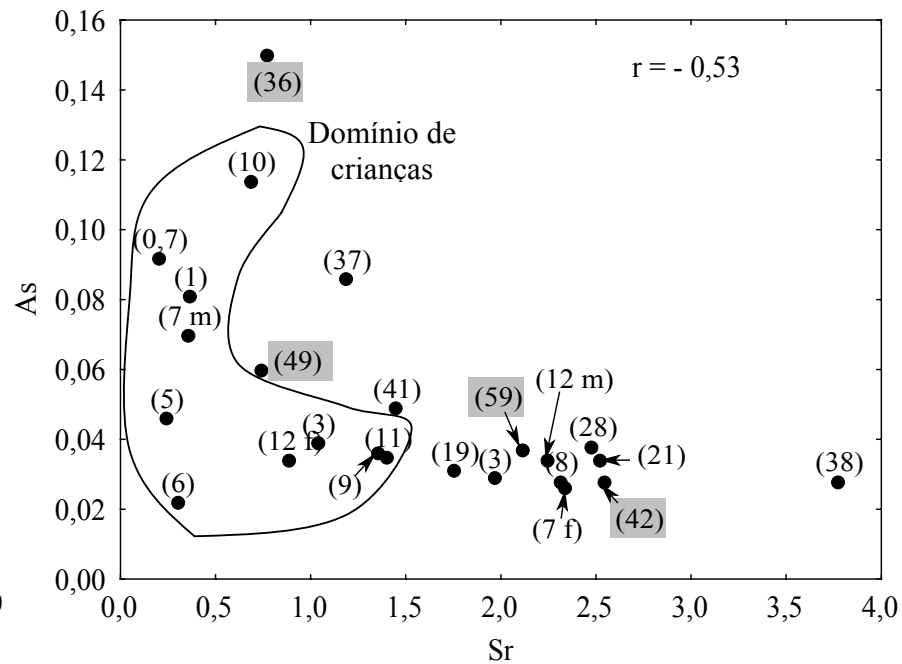
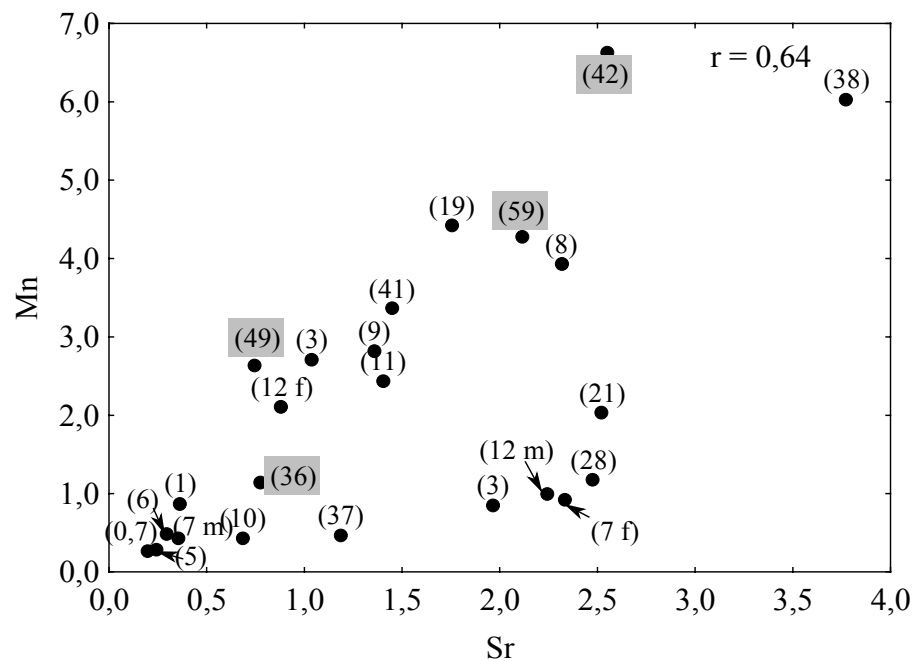


Figura 112- Correlação entre as concentrações Sr-Mn, Mo-As, Sr-As e Mn-As em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.

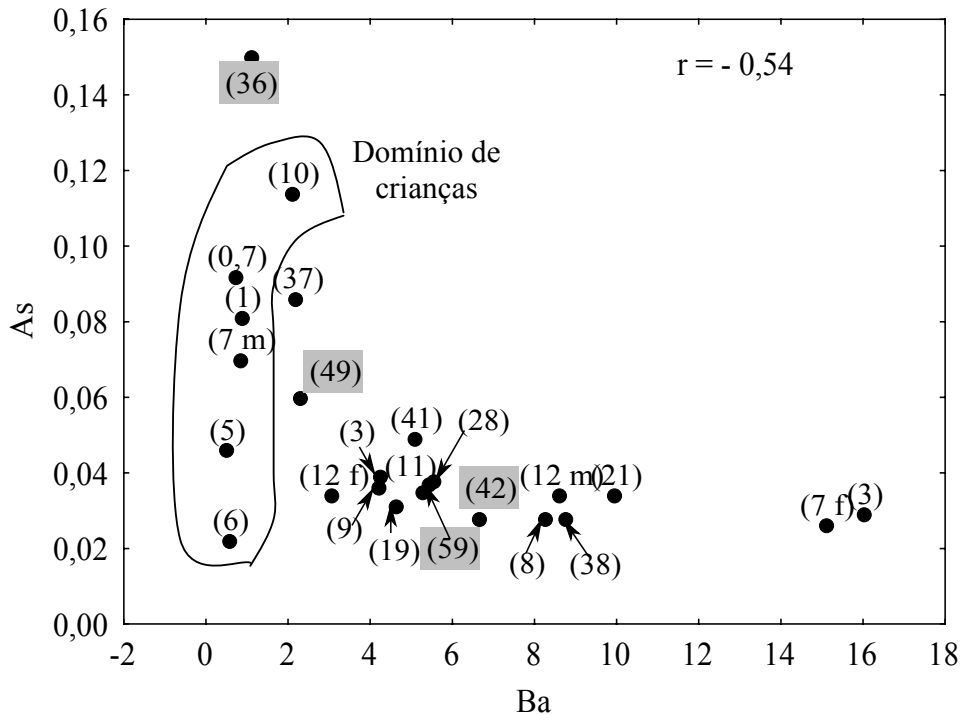


Figura 113- Correlação entre as concentrações Ba-As em cabelo de indivíduos de Caxiuanã. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.

A associação **Na-K-Al-U-V-Fe** também é formada tanto de elementos químicos essenciais (V), adicionais (Fe, Na, K) como também tóxicos (Al e U). Nas rochas primárias e solos, esta associação não encontra paralelo. Nos solos tropicais, destaca-se principalmente a correlação Fe-Al. No cabelo Fe e Al são elementos abundantes e formam correlações positivas muito significantes com U (Figura 114), ou seja, elemento adicional como Fe se encontra em funções capilares associados com elementos tóxicos. No cenário geológico, a correlação Al-U não é comum, podendo se estabelecer em solos tropicais por acúmulo residual, simplesmente.

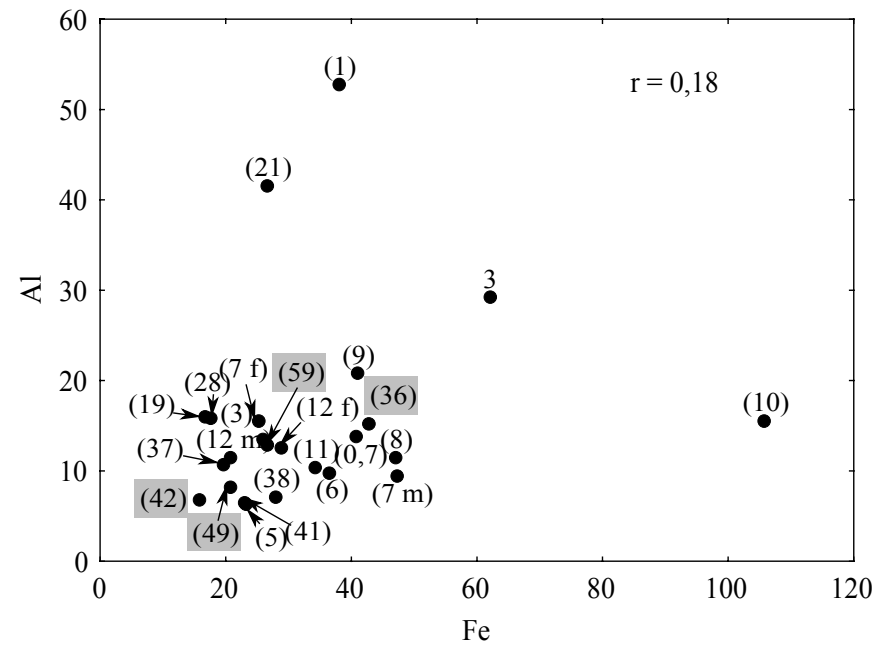
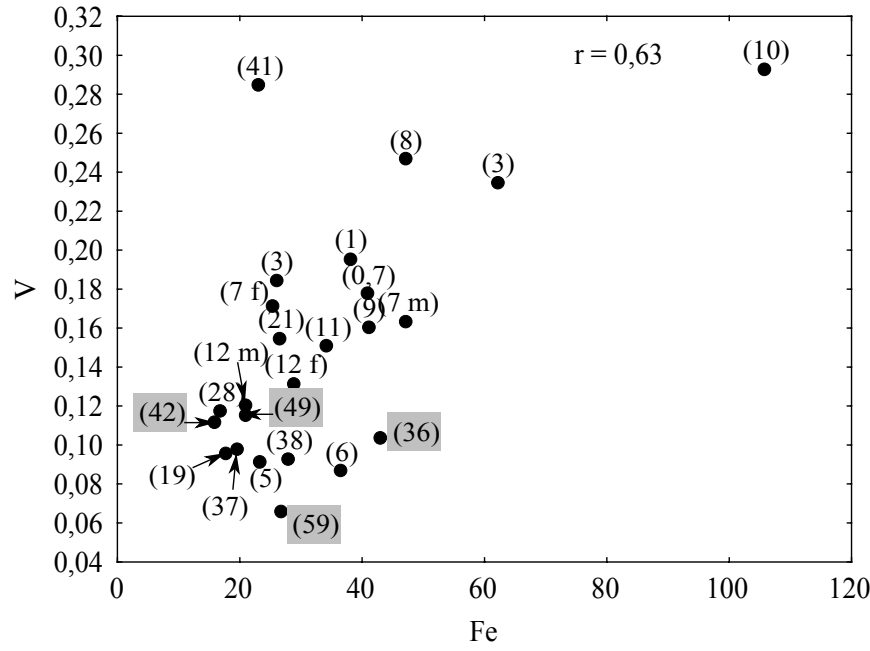
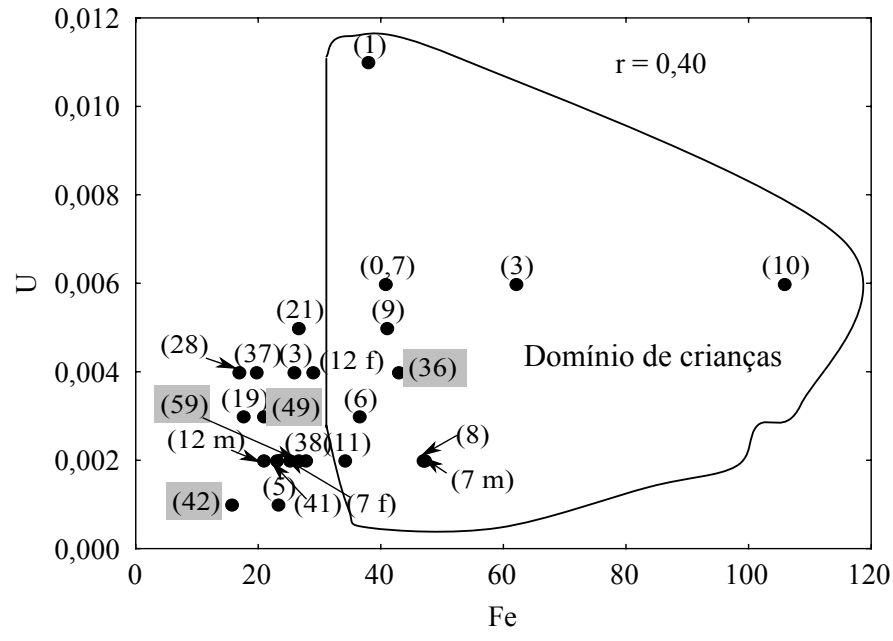
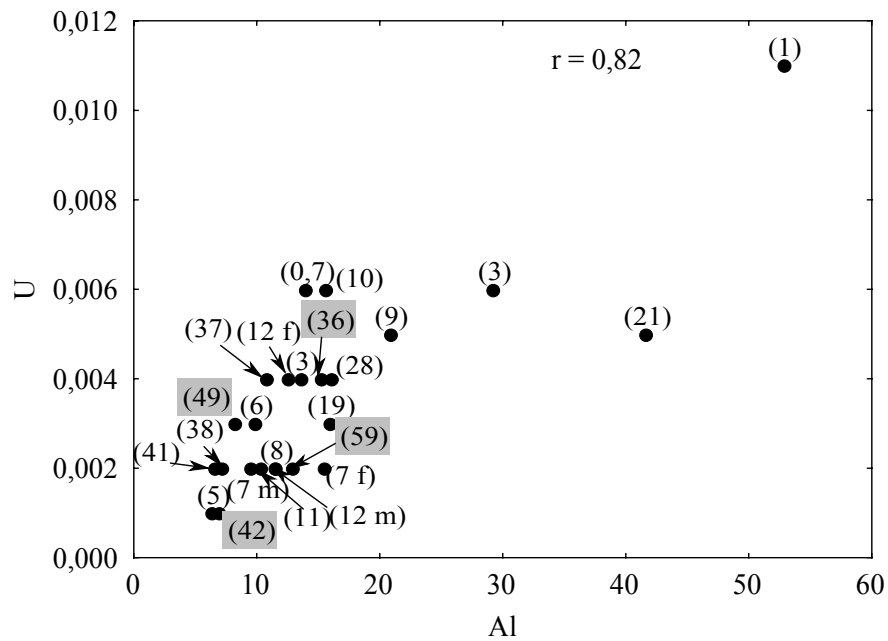


Figura 114- Correlação entre as concentrações Al-U, Fe-V, Fe-U e Fe-Al em cabelo de indivíduos de Caxiuana. Os números indicam idade e as letras f e m, respectivamente, feminino e masculino.

A associação **Hg-Sb-Ag-Zn-Bi-Pb-Se-Cd** é constituída na maioria de elementos tóxicos (Hg, Sb, Ag, Bi, Pb e Cd) com exceção dos essenciais (Zn e Se), (Figura 115). No ambiente geológico, Hg-Sb-Ag-Zn-Bi-Pb-Se-Cd constituem uma associação típica de mineralizações sulfetadas, principalmente de veios hidrotermais e ambientes subvulcânicos. Nos solos, estão adsorvidos ou absorvidos pelos óxi-hidróxidos de ferro e mais restritamente pelos de Mn, de preferência aqueles de baixa cristalinidade, bem como na matéria orgânica (CORNELL; SCHWERTMANN, 1997). De acordo com Arain et al. (2008), muitos metais pesados, inclusive Cd, Pb e Ta são facilmente extraídos do solo através de plantas de tabaco. Assim, níveis de metais pesados em tabaco são mais altos quando este é cultivado em solos com concentrações mais elevadas destes metais. A aplicação de fertilizantes minerais também pode contribuir com a disponibilização de metais pesados, e assim serem absorvidos pela planta de tabaco (ARAIN et al., 2008).

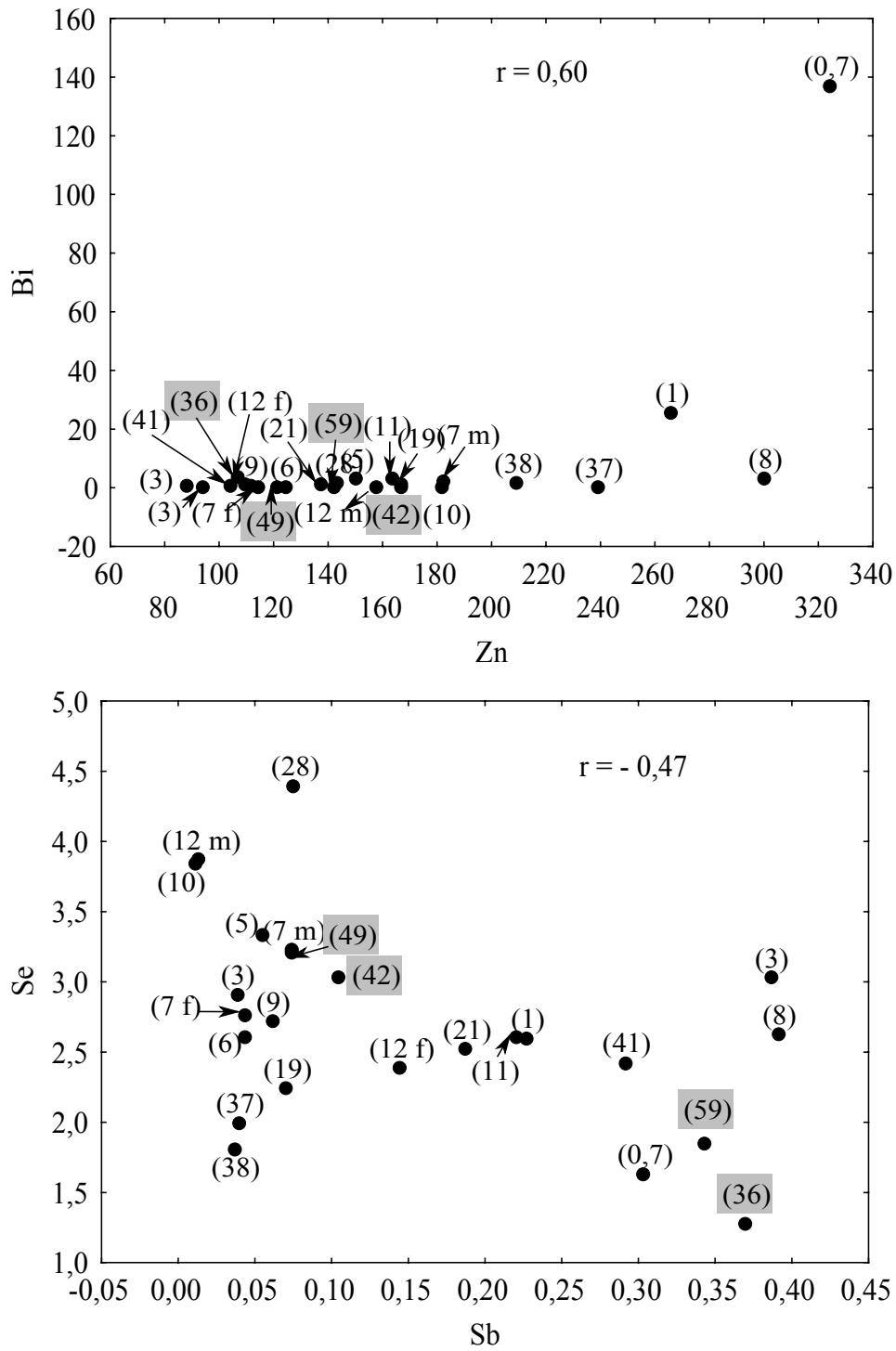


Figura 115- Correlação entre Zn-Bi e Sb-Se em cabelo de indivíduos de Caxiuana.

5.5.6 Fator de Transferência: tecido capilar/mandioca

A razão entre as concentrações no tecido capilar e na mandioca dá uma idéia da transferência química (Fator de Transferência – FT) entre a mandioca (e seus produtos), a fonte de alimento, e o tecido capilar, até mesmo quanto à taxa de acumulação dos elementos neste tecido. A razão foi calculada tanto para a polpa (principal produto da mandioca empregada para alimentação), como para as folhas. As maiores razões ou FT obtidos para os elementos essenciais e adicionais foram encontradas na polpa, com destaque para S, Zn, Cu e Se tanto na TPA quanto na AD (Figura 116). Entre os elementos tóxicos, os FT mais elevados também se encontram na polpa, embora apenas para Pb e Hg, tanto na TPA como AD (Figura 116). Os valores de FT estão simplesmente ressaltando as baixas concentrações dos metais na polpa relativo a folha da mandioca, principalmente para S, Zn, Cu e Se (essenciais) e Pb e Hg (tóxicos). Este comportamento parece independe do tipo de solo de cultivo da mandioca, se TPA ou AD, portanto da distinta fertilidade dos solos.

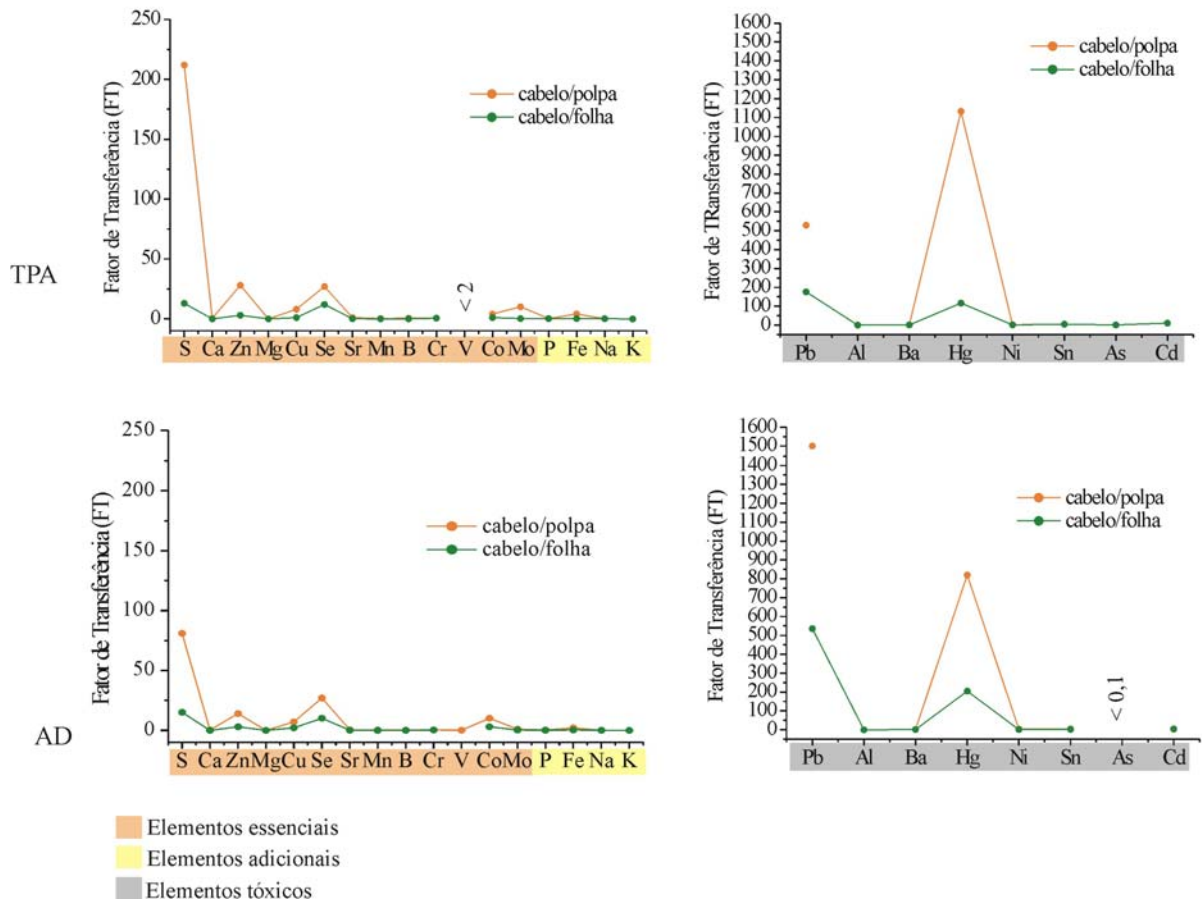


Figura 116- Distribuição dos Fatores de Transferência (FT) para os elementos tóxicos e essenciais no tecido capilar dos indivíduos das famílias TPA e AD.

5.5.7 Considerações sobre o mineralograma

A química multi-elementar de cabelos de humanos, levando em conta a faixa etária, sexo e costumes alimentar e de fumo, foi eficiente em demonstrar que a região de Caxiuanã de fato não apresenta qualquer evidência de impacto antrópico ou de anomalia geogênica. Por sua vez, mostrou de forma clara o acúmulo de metais, especialmente os essenciais, com a faixa etária entre os indivíduos do sexo feminino. O mineralograma ou a química do cabelo permite também identificar os indivíduos fumantes ativos e passivos, inclusive. Também é possível deduzir que a deficiência em elementos essenciais esteja relacionada a uma dieta alimentar pobre, centrada no consumo de mandioca e desprovida de frutas, exceto castanha-do-pará de consumo sazonal. Esta deficiência atinge principalmente as crianças, como demonstraram também os mineralogramas. Os elementos essenciais, adicionais e mesmo tóxicos na mandioca se concentram preferencialmente nas folhas, de uso muito restrito, enquanto a polpa, de uso intensivo, é quimicamente pobre. Esta pobreza nutricional da mandioca, portanto, se transfere, para o tecido capilar. O mineralograma também, embora não seja tão representativo de família TPA ou AD, mostra independência aos dois tipos de solos (TPA e AD), como mostrou a própria composição química da mandioca, indiferente a maior fertilidade da TPA e a menor da AD.

6 CONCLUSÕES

Os solos tipo TPA de fato são férteis enquanto os solos adjacentes (AD) são relativamente muito pobres. Os solos tipo AD são equivalentes àqueles predominantes na Amazônia. As características físicas, mineralógicas e geoquímicas dos solos TPA se assemelham a dos solos adjacentes (AD) a partir dos quais, os solos TPAs se formaram através da incorporação de matéria orgânica (MO) e fragmentos cerâmicos, como consequência de assentamentos humanos pré-históricos (Figura 117).

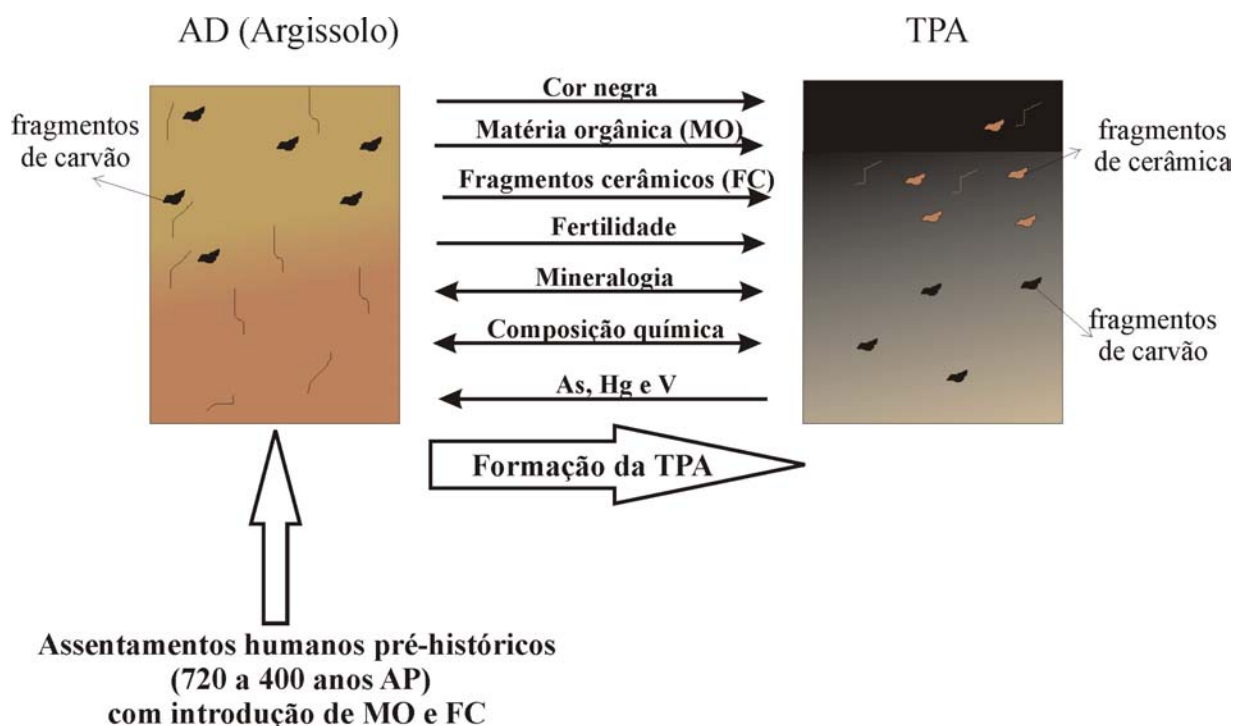


Figura 117- A dependência da TPA com os solos adjacentes (AD).

A composição química da cultivar mandioca mostra que ela tem baixa exigência nutricional, que subtrai do solo apenas o necessário para sua função fisiológica e, desta forma, permite o seu cultivo continuado e longo na TPA, que é mais rica em nutrientes. Daí porque aos solos com TPA são mais requisitados pela população local.

Na mandioca os nutrientes se concentram preferencialmente nas cascas e folhas, enquanto a polpa é pobre. No entanto, a polpa é a parte mais consumida pelo homem, constituindo o principal alimento da atual população ribeirinha de Caxiuanã e, desta forma, mostra como é pobre a sua dieta alimentar (Figura 118).

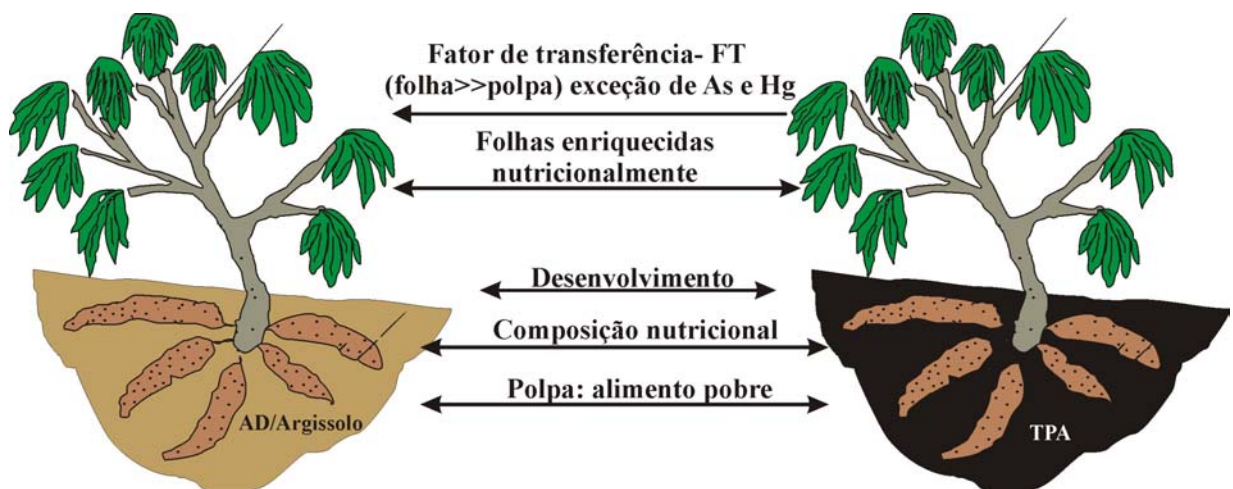


Figura 118- A composição química da mandioca mostra independência com a química do solo.

O mineralograma (a química do cabelo humano) parece independe do solo em que foi cultivada a mandioca, se na TPA ou AD. Também demonstra que a população estudada não foi exposta a contaminação ou a ambiente com anomalias geogênicas de metais pesados. O mineralograma deixa claro que a população de fato tem uma dieta pobre em nutrientes.

Os metais investigados, no entanto, são cumulativos com a idade e com sexo feminino, mas os seus valores estão dentro da faixa normal (Figura 119). Os valores de Hg estão abaixo daqueles encontrados pelo Instituto Evandro Chagas. Os fumantes concentraram valores preocupantes dos metais Pb, As, Sb, Ni (U) e as crianças de 0,7 meses a 8 anos, com valores elevados destes metais, foram consideradas possivelmente fumantes passivos.

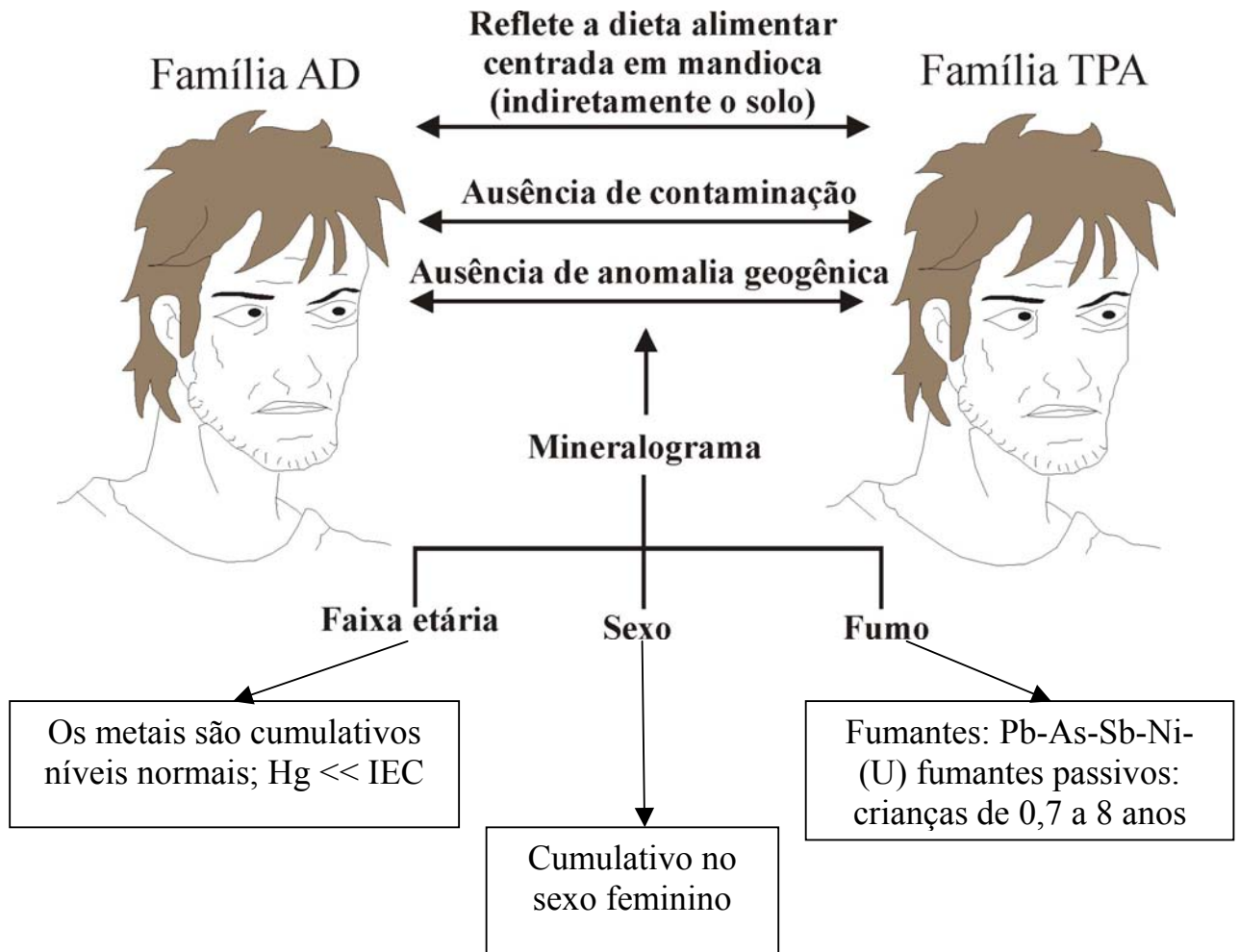


Figura 119- O mineralograma do cabelo discrimina faixa etária, sexo e hábito de fumar.

O fumo é, portanto o principal fator externo de contaminação, além dos utensílios de cozinha (Al) e tinturas de cabelo (Ni). O mineralograma se constitui em mais uma ferramenta efetiva para avaliar impactos ambientais, bem como os aspectos relativos à nutrição e saúde humana (Figuras 119 e 120).

A região de Caxiuanã no Baixo Amazonas, estado do Pará, como apresentada nos objetivos deste trabalho, é ainda uma região não impactada pelas ações antrópicas e assentada sobre terrenos geológicos desprovidos de anomalias metálicas geogênicas e os problemas relativos à saúde humana estão relacionados à pobre dieta alimentar e ao hábito de fumar, principalmente.

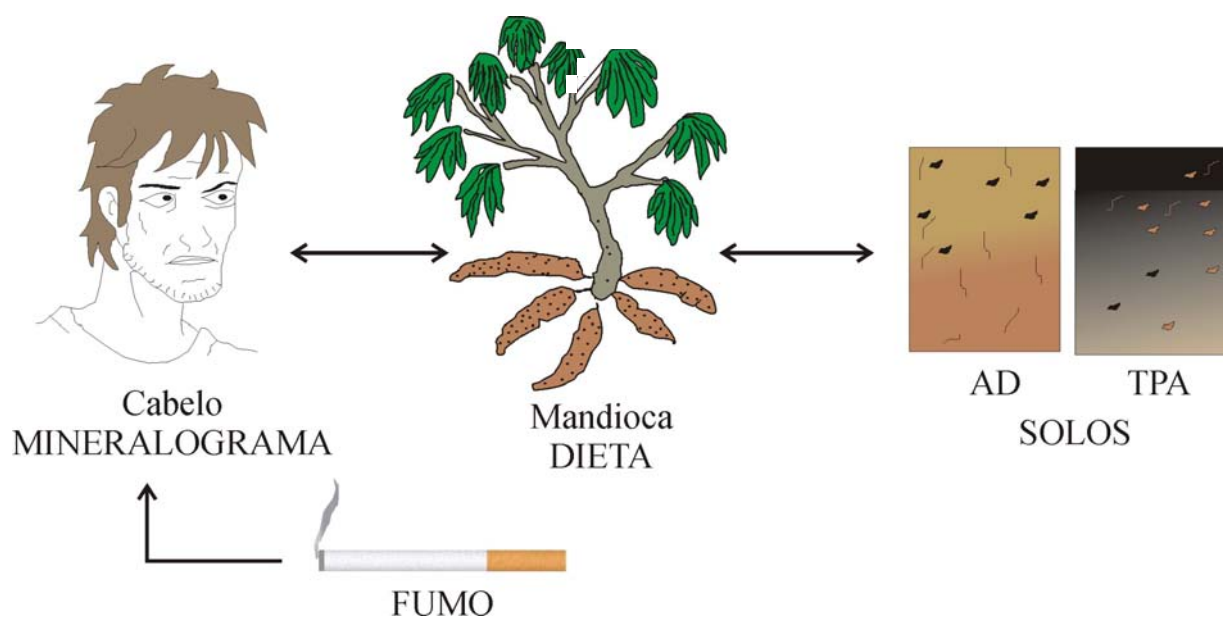


Figura 120 – Cadeia: solo – mandioca - homem (cabelo).

REFERÊNCIAS

Activation Laboratories Ltd. -ACTLABS. **Group website Canadian schedule of services and fees.** 2004. Disponível em: <<http://www.actlabscom/docs/Service%20Guide%20-%20Canada%20-0web.pdf>>. Acesso em: 15 janeiro de 2004

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. **Toxicological profile for arsenic.** Atlanta, Ga: Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1993. (Rep. TP-92.02)

AKAGI, H.; NISHIMURA, H. Speciation of mercury in the environmental. In: SUZUKI, T.; IMURA, N.; CLARKSON, T. W. **Advances in mercury toxicology.** New York: Prenum Press, 1990. p. 53-76.

ALLOWAY, B. J. Bioavailability of elements in soil. In: SELINUS, O. et al. **Essentials of medical geology-impacts of the natural environment on public health.** [S.l.]: Elsevier Academic Press, 2005. Chapter 14, 812 p.

ARAIN, M. B. et al. Hazardous impact of toxic metals on tobacco leaves grown in contaminated soil by ultrasonic assisted pseudo-digestion: multivariate study. **Journal of Hazardous Materials.** 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03043894>> *In Press, Corrected Proof.* Acesso em: 22 novembro 2007.

ARAÚJO, F. H. J. de C. **Projeto Baixo Tocantins:** salvamento arqueológico na região de Tucuruí. 1983. Dissertação (Mestrado) – Programa, USP, São Paulo, 1983.

AZEVEDO, F. A. **Toxicologia do Mercúrio.** São Carlos: RIMA. São Paulo: InterTox. 2003. 292p.

BABI, D. et al. Some results on Hg content in hair in different populations in Albania. **The Science of the Environmental**, n. 259, p.55-60, 2000.

BALEÉ, W. Cultura na Vegetação da Amazônia Brasileira. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi.** Coleção Eduardo Galvão. p. 95 – 109, 1989.

BARANA, A. C.; CEREDA, M. P. Cassava Waterwater (manipueira) treatment using a two-phase anaerobic biodigestor. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 183-186, 2000.

BARBOSA, A. C. et al. Hair Mercury speciation as a function of gender, age, and body mass index in inhabitants of the Negro river Basin, Amazon, Brazil. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.** v. 40, p. 439-444, 2001.

BERTRAND, L. et al. Lead-revealed lipid organization in human hair. **Biochimica et Biophysica Acta.** v. 1620, p. 218-224, 2003.

BRABO, E. S. et al. Níveis de mercúrio em peixes consumidos pela comunidade indígena de Sai Cinza na Reserva Munduruku, município de Jacareacanga, Estado do Pará, Brasil. **Cad. Saúde Pública.** v. 15, n. 2, p. 325-331, 1999.

BRITO, O. R.; VENDRAME, P. R. S.; BRITO, R. M. Alterações das propriedades químicas de um latossolo vermelho distroférico submetido a tratamentos com resíduos orgânicos. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina,** v. 26, n. 1, p. 33-40, 2005.

BOISCHIO, A. A. P.; CERNICHIARI, E.; HENSHEL, D. Segmental hair mercury evaluation of a single family along the upper Madeira basin, Brazilian Amazon. **Cad. Saúde Pública,** v. 16, n. 3, p. 681-686, 2000.

CAMARÃO, A.P. et al. **Utilização da mandioca na alimentação de ruminantes na Amazônia.** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1993, v. 73, 40 p. (Relatório Documentos).

CAMPOS, M.S. et al. Correlation between mercury and selenium concentrations in Indian hair from Rondônia State, Amazon region, Brazil. **The Science of the Total Environment,** v. 287, p. 155-161, 2002.

CASTELO, F. W. L. **Estudo dos minerais pesados dos solos de Terra Preta e Latossolos Amarelos da Região de Caxiuanã (Melgaço-Pará).** Belém: UFPA, 2006, 27 p. (Relatório Final CNPq).

CEREDA, M. P. Caracterização dos subprodutos da industrialização da mandioca. In: Fundação Cargill. Série- **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas.** Vol. IV. cap. 1. 2000. 13-37 p. Disponível em: <<http://www.raizes-ong.org.br>>. Acesso em: 8 junho 2004.

CEREDA, M. P. Importância das tuberosas Tropicais. In: Fundação Cargill. Série- **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas.** Vol. II. cap. 1. 2002. 13-28 p. Disponível em: <<http://www.raizes-ong.org.br>>. Acesso em: 8 junho 2004.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill. 2003. v. 3. 711p.

CHANG, C. C. et al. Selenium content of Brazil nuts from two geographic locations in Brazil. **Chemosphere**, v. 30, n. 4, p. 801-802, 1995

CHAO, T. T. Use of partial dissolution techniques in geochemical exploration. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 20, p. 101-135, 1984.

CHOJNACKA, K.; GÓRECKA, H.; GÓRECKI, H. The effect of age, sex, smoking habit and hair color on the composition of hair. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 22, p. 52-57, 2006.

CORNELL, R.; SCHWERTMANN, U. **The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses**. Hardcover, John Wiley & Sons, Inc. 1 edition. 1997. 604p.

CORRÊA, A. D. et al. Farinha de Folhas de Mandioca I – Efeito da secagem das folhas sobre a atividade da Linamarase. **Ciênc. Agrotec**. Lavras, v. 26, n. 2, p. 368-374, 2002.

CORRÊA, H. Raspa de Mandioca em nível de Fazenda. Em: Informe Agropecuário- Mandioca: Possibilidades de Utilização. **EPAMIG**, v. 13, n. 145, p. 58-60, 1987.

COSTA, J. A. **Caracterização e classificação dos ambientes da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Melgaço-Pará**. 2002, 56 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural da Amazônia –UFRA, Belém-PA, 2002.

COSTA, J. A. **Caracterização dos sítios arqueológicos com terra preta de Caxiuanã**. Belém: Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia- MCT –Museu Paraense Emílio Goeldi, 2003. 15 p (Relatório Técnico).

COSTA, J. A. et al. Classificação e Distribuição dos Padrões Pedogeomórficos da Estação Científica Ferreira Penna, na região de Caxiuanã – PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, série Ciências Naturais, v. 1, n. 3, p. 117-128, 2005.

COSTA, M. L. **Projeto Selenmeras I**: geoquímica do selênio, mercúrio, Arsênio e outros metais (Cd, Pb, U) de impacto ambiental em sedimentos quaternários da Amazônia Brasileira. Belém: CNPq/Universal, 2006. (Relatório Final).

COSTA, M.L.; KERN, D.C. Geochemical signatures of tropical with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 66, p. 369-385, 1999.

COSTA, M.L. et al. Geologia & Solos. In: LISBOA, P. (org.). **Caxiuanã**: populações tradicionais, meio físico & diversidade biológica. Belém-PA: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002. p.179-205.

COSTA, M. L. et al. The ceramic artifacts in Archaeological black earth (Terra Preta) from Lower Amazon Region, Brazil: chemistry and geochemical evolution. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 375-386. 2004a.

COSTA, M. L. et al. The ceramic artifacts in Archaeological black earth (Terra Preta) from Lower Amazon Region, Brazil: mineralogy. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 165-178. 2004b.

COSTA, M. L. et al. Projeto SelenMerAs-Acre: geoquímica de ecossistemas praianos e avaliação da interrelação substrato (solo-praia), cultivar (dieta vegetal) e saúde humana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., 2003, Belém. **Anais.....** Belém-Pa: SBGq, 2003. p. 73-75.

CUNHA FRANCO, E. As Terras Pretas do planalto de Santarém. **Revista da Sociedade dos Agrônomos e Veterinários do Pará**, Belém, v. 8, p. 17-21. 1962.

DAMASCENO, S.; CEREDA, M. P.; PASTORE, G. M. Desenvolvimento de *Geotrichum fragrans* em Manipueira. **Energia na Agricultura**, v.14, n.2, p. 7-14. 1999.

DUARTE, R. S. Avaliação de metais pesados: cádmio (Cd), chumbo (Pb), zinco (Zn) e níquel (Ni) em cabelos humanos. **Omnia Saúde**, ano 1, p. 7-17. 2004.

EDEN, M. J. et al. Terra Preta soils and their archaeological context in the caqueta basin of southeast Colombia. **American Antiquity**, v. 49, p. 125-140, 1984.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Embrapa Comunicação para Transferências de Tecnologia, 1999a. 370 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, Rio de Janeiro: Embrapa Solos Centro Nacional de Pesquisa de solos, 1999b. 412p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Plants, selenium and human health. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, p. 273-279. 2003.

Environmental Protection Agency- EPA. **Determination of trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma - mass spectrometry**. U.S.: Environmental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268/EPA-600/4-91-010. [2004]. Disponível em: <http://www.epa.gov/glnpo/monitoring/procedures/sop2007/Ch2/LG213_050315.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2004.

FALCÃO, N. P. S.; COMERFORD, N.; LEHMANN, J. Determining Nutrient Bioavailability of Amazonian Dark Earth Soils – Methodological Challenges. 2003. In: LEHMANN et al. **Amazonian dark earths: origin, properties: management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003, Chapter 15, 505p.

FALESI, I. Soils of Brazilian Amazon. 1974. In: WAGLEY. C. **Man in the Amazon**. Gainesville: [s.n.], 1974, p. 201-29.

FALESI, I. C. **O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira**. Belém: IPEAN/ Zoneamento Agrícola da Amazônia, 1972, v. 54, 153p (Boletim técnico).

FARIA, J. B. **A cerâmica da tribo Uaboí dos rios Trombetas e Jamundá**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Proteção ao Índio, 1946. 42p.

FIORETTO, R. A. Uso direto da manipueira em fertirrigação. 2000. Disponível em: <<http://www.raizes-ong.org.br>>. Acesso em: 08 junho 2004.

GARCIA, M. I. F. Metais pesados: os seus efectos contaminantes. **Revista Galena do Ensino**. Sección Estúdios. Tema - Ciencias Experimentais. v. 14, p. 95-108, 1997.

GERMAN, L.A. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. **Geoderma**. v. 111, n. 3-4, p. 307-331, 2003.

GLASER, B. et al. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, v. 88, p. 37-41, 2001.

GURJÃO, R.S. **Comportamento do Hg e As em solos com Terra Preta arqueológica no sítio ilha de terra, região de Caxiuanã, município de Melgaço-Pará.** 2003. 112f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Química, UFPA, Belém-PA, 2003.

HAC, E; KRZYZANOWSKI, M.; KRECHNIAK, J. Total mercury in human renal cortex, liver, cerebellum and hair. **The Science of the Total Environment**, v. 248, p. 37-43, 2000.

HIRAOKA, M. et al. Contemporary use and management of Amazonian dark earths. 2003. In: LEHMANN et al. **Amazonian dark earths: origin, properties: management.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, Chapter 20, p. 387-406.

HORBE, A. M. C. **Evolução Mineralógica e geoquímica multi-elementar de perfis de solos sobre lateritos e gossans na Amazônia.** 1995. 213 f. Tese de doutorado. Centro de Geociências-UFPA, Belém-PA, 1995.

JUNG, M. C.; THORNTON, I.; CHON, H. T. Arsenic, Sb and Bi contamination of soils, plants, waters and sediments in the vicinity of the Dalsung Cu-W mine in Korea. **The Sci. of the Total Environm**, v. 292, p. 81-89, 2002.

KABATA-PENDIAS, A. Soil-plant transfer of trace elements- an enviromental issue. **Geoderma**, v. 122, p. 143-149, 2004.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants.** Boca Raton: CRC, 1985, 315 p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants.** Flórida: CRC, 1992, 365p.

KÄMPF, N. et al. Classification of Amazonian Dark Earths and other Ancient Anthropic Soils. 2003. In: LEHMANN et al. **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, Chapter 4, p 77-102.

KERN, D. C. **Caracterização Pedológica de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná-PA**. 1988. 231 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988.

KERN, D. C. **Geoquímica e Pedogeoquímica em Sítios Arqueológicos com Terra Preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel-PA)**. 1996. 124 f. Tese de Doutorado. Centro de Geociências-UFPA, Belém-PA, 1996.

KERN, D. C.; COSTA, M. L. Cerâmica arqueológica (Sítio PA-GU-5:Manduquinha) e Cabocla na Região de Caxiuanã-Pará. **Rev. de Arqueologia**. Belo Horizonte, v. 10, p. 107 – 125, 2001.

KERN, D. C.; COSTA, M. L. Composição química de solos antropogênicos desenvolvidos em Latossolo amarelo derivados de lateritos. **Geociências**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 157- 175, 1997a.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná-PA. **Rev. Bras. Ci. Solo**. Campinas, v. 13, p. 219-225, 1989.

KERN, D. C.; COSTA, M. L. Os solos antrópicos. 1997b. In: LISBOA, P. (org.). **Caxiuanã**. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA, 1997, Capítulo III, p.105-119

KERN, D. C. et al. A influência das palmeiras como fonte de elementos químicos em sítios arqueológicos com Terra preta. In: V Simpósio de geologia da Amazônia, **Anais**, 1999, Manaus. CD-ROM.

KERN, D. C. et al. Distribution of Amazonian Dark Earth in the Brazilian Amazon. 2003. In: LEHMANN et al. **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, Chapter 4, p.51-75.

KERN, D. C. et al. Evolution of the Scientific Knowledge Regarding Black Earth Soil in The Amazon. **Rev. Geoarchaeology**. Londres, v. 5, p. 13 – 17, 2004.

KERN, D. C. et al. Mudanças ambientais decorrentes da ocupação humana pretérita no litoral paraense. IN: VI ECOLAB, Ecossistemas Costeiros Amazônicos: do Conhecimento á Gestão. 23-25 nov. **Anais**, 2002, Belém. CD-ROM.

KRONBERG, B. I. et al. The Chemistry of some Brazilian soils: elements mobility during intense weathering. **Chemical Geology**, v. 24, p. 211-229, 1979.

LEE, J. S.; CHON, H.T.; KIM, K. W. Migration and dispersion of trace elements in the rock-soil-plant system in areas underlain by black shales and slates of the Okchon Zone, Korea. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 65, p. 61-78, 1998.

LeBLANC, A., DUMAS, P., LEFEBVRE, L. Trace element content of commercial shampoos: impact on trace elements levels in hair. **The Science of the Total Environment**, v. 229, p. 121-124, 1999.

LEHMANN, J. et al. Soil Fertility and Production Potential. 2003. In: _____. **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2003, Chapter 5, 505p.

LEINO, T.; LODENIUS, M. Human hair mercury levels in Tucuruí area, state of Pará, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 175, p. 119-125, 1995.

LEMOS, A.; SANTOS, P. B. **Manual de Descrição e Coleta de Solos em campo**. Ed. SBCS/SNLCS. Campinas-SP, 1984, 46p.

LIMA H. N. et al. Micromorphology and microchemistry of phosphate and potassium forms of an Indian Black Earth (IBE) anthrosol from Western Amazonia. **Australian Journal of Soil Research**, v. 42, n. 4, p. 401-409, 2004.

LIMA, H. N. et al. Pedogenesis and pre-colombian land use of "Terra Preta Anthrosols"(Indian black earth") of western Amazonia. **Geoderma**, v. 110, p. 1-17, 2002.

LISBOA, P. L. B. A Estação Científica Ferreira Penna/ECFPn. 1997. In: _____. **Caxiuanã**. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA, 1997, Capítulo I, p. 23-49.

LISBOA, P. L. B. O homem de Caxiuanã. In: _____. **Natureza, homem e manejo de recursos naturais na região de Caxiuanã Melgaço, Pará**. Belém: MPEG, 2002, parte II, 237 p

LISBOA, P. L. B.; SILVA, H. P. ECOLOGIA- Caxiuanã: desenvolvimento e preservação. **Ciência Hoje**. v. 29, n. 172, p. 48-50, 2001.

LISBOA, P. L. B. et al. O estilo Amazônico de sobreviver: Manejo dos recursos naturais. 2002 In: LISBOA, P. L. **Natureza, Homem e Manejo de Recursos Naturais na Região de Caxiuanã, Melgaço, Pará**, Belém: MCT/ MPEG, 2002, parte III, p. 41-170.

MADARI, B., BENITES, V. DE M., CUNHA, T. J. F. The effect of management on the fertility of Amazonian dark earth soils. 2003. In: LEHMANN, J. et al. **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, Chapter 21, p. 407-432.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.

MALM, O. et al. Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós river basin, Brazil, **The Science of the Environmental**, v. 175, p. 141-150, 1995.

MANDAL, B. K. et al. Speciation of arsenic in biological samples. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 198, n. 3, p. 307-318, 2004.

MANDAL, B.K.; SUZUKI, K.T. Arsenic round the world: a review. **Talanta**, v. 58, n. 1, p. 201-235, 2002.

MARINHO, H.A.; ARKCOLL, D.B. Estudos sobre o caroteno em algumas variedades amazônicas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Acta Amazônica**, v. 11, n. 1, p. 71-75, 1981.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006. 84f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2006.

MARTINS, M. M. M. **Encadeamento geoquímico entre sedimentos (solos) e cultivares em praias, além de cabelo humano de ribeirinhos, ao longo de rios da bacia do Purus no estado do Acre e a sua importância ambiental**. 2005. 120f. Dissertação (Mestrado). Centro de Geociências-UFGPA, Belém-PA, 2005.

MASCARENHAS, A. F. S. et al. Mercúrio na Floresta Nacional de Caxiuanã, Estação Científica Ferreira Penna-ECFPn, Município de Melgaço, Pará. 2002. In: XLI Congresso Brasileiro de Geologia. **Anais**, João Pessoa. CD-ROM

MAURICE-BOURGOIN, L. et al. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. **The Science of the Total Environment**, v. 260, p.73-86, 2000.

MCCANN, J. M.; WOODS, W. I.; MEYER, D. W. Organic Matter and Anthrosols in Amazonia: Interpreting the Amerindian Legacy. 2001. In: REES R. M. et al. (eds). **Sustainable management of soil organic matter**. CAB International. Wallingford, UK, 2001, p. 180-189.

MEECH, J. A.; VEIGA, M. M.; TROMANS, D. Emission and stability of mercury in the Amazon. **Canadian Metallurgical Quarterly**, v. 36, n. 4, p. 231-239, 1997.

MEIRELES, A. R. O. **Determinação de P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn em Terra Preta Arqueológica no sítio Ilha de Terra, região de Caxiuanã, Município de Melgaço-PA**. 2004. 90f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Química, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2004.

MIEKELEY, N.; DIAS CARNEIRO, M. T. W.; PORTO DA SILVEIRA, C. L. How reliable are human hair reference intervals for trace elements?. **The Science of the Environment**, v. 218, p. 9-17, 1998.

MIEKELEY, N. et al. Elemental anomalies in hair as indicators of endocrinologic pathologies and deficiencies in calcium and bone metabolism. **J. Trace Elem. Med. Biol**, v. 15, p. 46-55, 2001.

MODESTI, C. F. Obtenção e caracterização de concentrado protéico de folhas de mandioca submetido a diferentes tratamentos. Universidade Federal de Lavras: UFLA, 2006, 73 p.

MORÁN, E. F. **A ecologia humana das populações da Amazônia**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1990, 367p.

MUNSELL COLORS COMPANY. **Munsell soil colors charts**. Baltimore.2000.

MYERS, T. P. et al. Historical perspectives on Amazonian dark earth. 2003. In: LEHMANN, J. et al. **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, Chapter 2, p.15-28.

NAVARRO-ALARCÓN, M. et al. Serum selenium levels as indicators of body status in cancer patients and their relationship with other nutritional and biochemical markers. **Sci. Total Environ**, v. 212, p. 195-202, 1998.

Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação- NEPA. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 2. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2006, 113p.

NIMUENDAJÚ, C. Os Tapajós. **Boletim do Museu Paraense E. Goeldi**, v. 10, p. 93-106, 1948.

NISHIMURA, E. M. **Influência dos Resíduos de Mandioca na composição química da Terra Preta Arqueológica**. Belém: MPEG, 1998, 23p. (Relatório de Atividades).

NOGUEIRA, F. et al. Mercúrio total em cabelos: uma contribuição para se avaliar o nível de exposição em Poconé, Mato Grosso, Brasil. **Cad. Saúde Publ.**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 601-609, 1997.

NOWAK, B. Contents and relationship of elements in human hair for a non-industrialized population in Poland. **Sci. Total Environ**, v. 209, p. 59, 1998.

OLSZEWER, E., SMITH, B., LAGANÁ, S. **Manual de interpretação do mineralograma – exame do cabelo**. São Paulo; Tecnopress. 1998, 261p.

OSMAN, K. et al. Interactions Between essential and toxic elements in lead Exposed children in Katowice, Poland. **Clinical Biochemistry**, v. 31, n. 8, p. 657-665, 1998.

PABST, E. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e os seus significados para a discussão Pedogenética. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, sér. Antropol., v. 7, n. 1, p. 5-19, 1991.

PALHETA, D.; TAYLOR, A. Mercury in environmental and biological samples from a gold mining area in the Amazon region of Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 168, p. 63-69, 1995.

PASCHAL, D. C. et al. Age dependence of metals in hair in a selected U. S. population. **Environmental research**, v. 48, p. 17-28, 1989.

PASSWATER, R. A.; CRANTON, E. M. **Trace Elements, Hair Analysis and Nutrition**, Keats Publishing Inc., New Canaan, CT, USA. 1983.

PEREIRA, S. F. P. et al. Determinação espectrofotométrica do arsênio em cabelo usando o método do dietilditiocarbamato de prata (SDDC) e trietanolamina/CHCl₃ como solvente. **Ecl. Quím.**, v. 27, p. 155-170, 2002.

PINHEIRO, M.C.N. et al. Avaliação da contaminação mercurial mediante análise do teor de Hg total em amostras de cabelo em comunidades ribeirinhas do Tapajós, Pará, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 33, n. 2, p. 181-184, 2000a.

PINHEIRO, M.C.N. et al. Exposição humana ao metilmercúrio em comunidades ribeirinhas da Região do Tapajós, Pará, Brasil. **Rev. da Soc. Brasil. de Medicina Tropical**, v. 33, n.3, p. 265-269, 2000b.

PONTE, J. J. Histórico das pesquisas sobre a utilização da manipueira (extrato líquido das raízes de mandioca) como defensivo agrícola. **Fitopatol. Venez.**, v. 5, n. 1, p. 2-5, 1992.

PONTE, J. J.; SANTOS, J. H. R. **Eficiência da manipueira no controle de duas pragas da citricultura**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 1997, 7p. (Boletim técnico).

PONTE, J. J., TORRES, J., FRANCO, A. Investigações sobre uma possível ação nematicida da manipueira. **Fitopatol. Bras.**, v.4, p. 431-434, 1979.

POZEBON, D.; DRESSLER, V. L.; CURTIUS, A. J. Análise de Cabelo: uma revisão dos procedimentos para a determinação de elementos traço e aplicações. **Química Nova**, v. 22, n. 6, p. 838- 846, 1999.

RANZANI,G.; KINJO,T.; FREIRE,O. **Ocorrência de "Plaggen Epipedon" no Brasil**. 1962, v. 5, p. 1-11. Científico da Escola Superior de Agricultura/ Luiz de Queiroz. (Boletim Técnico).

RIBEIRO, G. A. A. **Produção e teor de nutrientes da liteira fina de capoeiras em Terra Preta de Índio e solos adjacentes**. 2006. 95f. Dissertação (Mestrado). Fundação Universidade do Amazonas UFAM, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus-AM, 2006.

RODUSHKIN, I.; AXELSSON, M. D. Application of double focusing sector field ICP-MS for multielemental characterization of human hair and nails. Part II. A study of the inhabitants of northern Sweden. **Sci. Total Environ**, v. 189, p. 9-174, 2002.

ROOSEVELT, A.C. Moundbuilders of the Amazon: Geophysical Archaeology on Marajo Island, Brazil. **Journal of Archaeological Science**, p. 473-478, 1991.

ROULET, M. et al. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará State, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 223, p. 1-24, 1998.

RUIVO, M. L. P. et al. Population and biodiversity in Amazonian Dark Earth soils. 2006. In: RIOS, G. M.; CAMARGO, S. M.; CALVO, C. F. (eds.). **PUEBLOS Y PAISAJES ANTIGUOS DE LA SELVA AMAZÓNICA**. Bogota: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia-Taraxacum, 2006, cap.16, p. 281-291.

SAAD, A.; HASSANIEN, M. A. Assessment of arsenic level in the hair of the nonoccupational Egyptian population: Pilot study. **Environment International**, v. 27, p. 471-478, 2001.

SALVADOR, A. et al. Determination of selenium, zinc and cadmium in antidandruff shampoos by atomic spectrometry after microwave assisted sample digestion. **Talanta**, v. 51, n. 6-5, p. 1171-1177, 2000.

SANTOS FILHO, E., SILVA, R. S., SAKUMA, A. M., SCORSAFAVA, M. A. Teores de chumbo e mercúrio em cabelo de crianças residentes em Cubatão, na região sudeste do Brasil. **Rev. Saúde Pública**, v. 27, n. 2, p.81-86, 1993.

SANTOS, E. C. O. et al. A contribution to the establishment of reference values for total mercury levels in hair and fish in Amazonia. **Environmental Research**, Section A, v. 90, p. 6-11, 2002.

SANTOS, L.S.N. et al. Evaluation of total mercury concentrations in fish consumed in the municipality of Itaituba, Tapajós. River Basiu, Pará, Brazil. **The Science of the Total Environmental**, v. 261, p. 1-8, 2000.

SANTOS, E. C. O. et al. Exposição ao mercúrio e ao arsênio em estados da Amazônia: síntese dos estudos do Instituto Evandro Chagas/ FUNASA. **Rev. Bras. Epidemiol**, v. 6, n. 2, p. 171-185, 2003.

SHÜÜRMAN, G., MARKERT, B. **Ecotoxicology**. Amsterdam: John Wiley, 1998. 900 p.

SILVA, M. J. Estudo de culturas alternativas como fomento da agricultura familiar, em busca do desenvolvimento sustentável de pequenas e médias propriedades rurais. 2001, 11p. Universidade Católica Dom Bosco núcleo de Pesquisa Lagoa da Cruz/UCDB (Projeto de Pesquisa).

SILVEIRA, I. M.; KERN, D. C.; QUARESMA, H. D. A. B. Reconstruindo uma ocupação. Capítulo II Populações Tradicionais. 2002. In: LISBOA, P. (org.). **Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico & diversidade biológica**. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA, 2002, p. 59-76.

SILVEIRA, I. M. et al. As Populações Pré-Históricas e Atuais. 1997. In: LISBOA, P. L. B. **Caxiuanã. Museu Paraense Emílio Goeldi**, 1997, p. 53-81.

SIMÕES, M.; ARAÚJO, F. J. C. Pesquisas Arqueológicas no Baixo Rio Tocantins. **Revista de Arqueologia**, v. 4, n. 1, p. 11-28, 1987.

SKINNER, W. C. H. Mineralogy of bone. 2005. In: SELINUS, O. et al. **Essentials of Medical Geology-Impacts of the Natural Environment on Public Health**. Ed. Elsevier Academic Press, 2005, Chapter 28. 812 p.

SMITH, N. J. H. Anthrosols and Human Carrying Capacity in Amazonia. **Annals of the Association of American Geographers**, v 70, n. 4, p. 553-66, 1980.

SOMBROEK, W. **Amazon soils: A Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Region**. Wageningen, Center for Agricultural Publications and Documentation. 1966, 292 p.

SOMBROEK, W. et al. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. 2003. In: LEHMANN, J. et al. **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, Chapter 7, p.125-139.

SOUAD, C. et al. Trace element level in infant hair and diet, and in the local environment of the Moroccan city of Marrakech. **Science of the environment**, v. 370, n. 2-3, p. 337-342, 2006.

TERNES, M. **Fisiologia da Planta**. Disponível em : <<http://www.raizes-ong.org.br>>. Acesso em: 08.06.2004. 2002.

TOMÉ JR, J. B. **Manual para interpretação de análise do solo**. Guaíba-RS. 1997, 247p.

TROSTER, E. J. Intoxicação plúmbica. **Pediatria**, v. 15, n. 3, p. 45-49, 1993.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo: com ênfase aos solos tropicais**. 2^a ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres.1988, 464 p.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. **AMAZÔNIA: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1987, 416p.

VILHENA, M. P. S. P. **Mineralogia e geoquímica dos sedimentos dos manguezais de Marapanim (litoral do Estado do Pará), e suas influências sobre as Rhizophora mangle, caranguejos (Ucides cordatus) e cabelo humano**. 2006. 168f. Dissertação (Mestrado), Centro de Geociências- UFPA, Belém-PA, 2006.

WEDEPOHL, K. H. The composition of the continental crust. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 59, n. 7, p. 1271- 1232, 1995.

World Health Organization- WHO. Methylmercury. **Environmental Health Criteria**. Geneva. 1990. 144p.

WOODS, W. I.; MCCANN, J. M. The Anthropogenic Origin and Persistence of Amazonian Dark Earths. **Yearb. Conf. Latin Am. Geogr**, v. 25, p.7-14, 1999.

ANEXOS

ANEXO A- Características granulométricas nos perfis de solo

Horiz.	Profund. cm	Cor	Composição granulométrica g.kg ⁻¹					
			cascalho	Areia grossa	Areia média	Areia fina	silte	argila
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico antropogênico, textura média/argilosa, A antrópico								
Sítio Raimundo com Terra Preta Arqueológica sem roçado (TPA/SR)								
A ₁	0-9	10YR2/1	4	53	134	392	261	155
A ₂	9-21	10YR2/1	6	65	155	438	261	68
AB	21-41	10YR3/1	5	69	111	286	272	257
BA	41-61	10YR4/6	46	69	104	172	208	401
Bt ₁	61-88	10YR5/6	11	44	65	180	317	383
Bt ₂	88-113	10YR5/8	9	54	69	193	256	420
Bt ₃	113-143+	7,5YR5/6	7	49	55	145	244	489
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico abruptico, textura arenosa/média, A moderado								
Área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR)								
A ₁	0-14	10YR3/3	7	118	224	385	198	68
AB	14-38	10YR4/3	17	129	217	392	168	77
BA	38-63	10YR5/6	5	98	125	297	247	228
Bt ₁	63-93	10YR5/8	4	85	140	211	174	386
Bt ₂	93-106	10YR6/8	2	90	97	264	206	341
Bt ₃	106-143+	10YR6/8	4	89	123	227	245	312
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico abruptico antropogênico, textura arenosa/argilosa, A antrópico								
sítio Conceição com Terra Preta Arqueológica com roçado (TPA/CR)								
A ₁	0-7	10YR2/1	18	239	217	302	199	25
A ₂	7-18	10YR2/2	21	140	180	309	253	97
AB	18-50	10YR2/2	10	93	107	197	175	418
BA	50-89	10YR5/8	14	74	69	130	186	527
Bt ₁	89- 109	10YR4/6	4	76	125	203	236	356
Bt ₂	109-129+	10YR4/6	3	74	81	220	204	418
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A chernozêmico								
Área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR - roçado Martinho)								
A	0-9	10YR3/2	4	204	324	353	57	58
AB	9-29	10YR3/3	0	121	240	412	150	77
BA	29-45	10YR4/4	7	155	208	386	156	88
Bt ₁	45-74	10YR5/8	4	110	147	264	286	189
Bt ₂	74-97	10YR5/8	4	66	101	189	230	410
Bt ₃	97-117+	10YR5/8	10	93	97	185	184	431

ANEXO B- Composição mineralógica nos perfis de solo

Horiz.	quartzo	caulinita	hematita + goethita		muscovita	anatásio	matéria orgânica	outros
			%					
Sítio Raimundo com Terra Preta Arqueológica sem roçado (TPA/SR)								
A ₁	21	50	3	0	2	20	3	
A ₂	19	60	4	0	2	13	2	
AB	14	72	4	0	2	6	2	
BA	8	80	5	1	2	4	1	
Bt ₁	9	78	5	1	2	3	1	
Bt ₂	4	83	5	1	2	4	2	
Área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR)								
A ₁	16	64	4	0	2	13	1	
AB	24	63	4	0	2	7	0	
BA	11	77	5	0	2	6	0	
Bt ₁	10	78	5	1	2	4	1	
Bt ₂	10	79	5	0	2	4	1	
Bt ₃	12	77	5	0	2	4	1	
Sítio Conceição com Terra Preta Arqueológica com roçado (TPA/CR)								
A ₁	28	47	4	0	3	17	2	
A ₂	26	56	4	0	3	10	1	
AB	10	77	5	0	2	5	2	
BA	8	78	5	1	2	4	2	
Bt ₁	8	79	5	1	2	4	2	
Bt ₂	8	78	5	1	2	4	2	
Área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR)								
A	47	30	3	0	3	16	2	
AB	48	37	3	0	4	8	0	
BA	25	62	5	0	3	5	1	
Bt ₁	7	79	6	1	2	4	1	
Bt ₂	10	78	6	0	2	4	1	
Bt ₃	7	81	6	0	2	4	0	

ANEXO C- Concentração dos elementos maiores (%) nos horizontes nos perfis de solo

horizonte	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	P. Fogo
	%										
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico antropogênico, textura média/argilosa, A antrópico											
Sítio Raimundo com Terra Preta Arqueológica sem roçado (TPA/SR)											
A ₁	44,8	20,0	3,3	0,11	0,19	0,88	0,09	0,03	2,10	0,19	27,3
A ₂	46,9	23,6	3,7	0,09	0,14	0,60	0,11	0,02	2,30	0,17	21,5
AB	47,0	28,3	4,3	0,03	0,09	0,21	0,21	< 0,01	2,20	0,12	16,4
BA	45,6	31,9	4,7	0,01	0,05	0,09	0,01	0,12	1,80	0,10	15,5
Bt ₁	47,2	31,5	4,6	0,01	0,05	0,07	< 0,01	0,16	1,80	0,08	14,5
Bt ₂	43,6	33,2	4,7	0,01	0,04	0,07	< 0,01	0,13	1,80	0,08	15,6
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico abruptico, textura arenosa/média, A moderado											
Área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR)											
A ₁	46,0	25,4	3,9	0,01	0,05	< 0,01	0,09	0,04	2,10	0,07	21,5
AB	52,8	24,9	3,9	0,01	0,05	< 0,01	0,10	< 0,01	2,00	0,07	16,1
BA	46,4	30,3	4,6	0,01	0,06	< 0,01	0,06	< 0,01	2,10	0,08	16,2
Bt ₁	46,8	31,0	4,6	0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	0,06	1,90	0,06	15,0
Bt ₂	47,0	31,1	4,7	0,01	0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	2,00	0,06	14,6
Bt ₃	47,6	30,4	4,6	0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	0,03	2,00	0,07	14,8
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico abruptico antropogênico, textura arenosa/argilosa, A antrópico											
Sítio Conceição com Terra Preta Arqueológica com roçado (TPA/CR)											
A ₁	50,0	18,4	3,6	0,01	0,17	0,64	0,08	< 0,01	2,69	0,14	23,1
A ₂	52,5	22,0	4,1	0,08	0,12	0,26	0,09	0,02	2,82	0,13	17,8
AB	45,7	30,3	4,8	0,02	0,07	0,08	0,08	0,02	1,99	0,09	15,4
BA	45,6	31,2	5,1	0,01	0,06	0,06	0,01	0,14	1,79	0,09	15,0
Bt ₁	44,9	31,5	5,2	0,01	0,06	0,05	0,02	0,08	1,76	0,12	15,4
Bt ₂	45,7	31,2	5,1	0,01	0,05	0,04	0,03	0,13	1,77	0,10	15,3
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A chernozêmico											
Área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR-roçado Martinho)											
A ₁	60,5	11,8	2,6	0,04	0,10	0,25	0,07	0,01	3,11	0,08	20,2
AB	65,1	14,7	3,2	0,04	0,06	0,03	0,07	< 0,01	3,56	0,08	13,3
BA	54,0	24,6	4,8	0,02	0,06	0,02	0,11	< 0,01	2,55	0,07	13,5
Bt ₁	44,7	31,7	6,0	0,01	0,04	0,01	< 0,01	0,09	1,87	0,07	15,6
Bt ₂	46,0	30,9	5,8	0,01	0,03	0,02	0,01	0,04	1,91	0,08	14,9
Bt ₃	44,9	31,8	5,9	0,01	0,03	0,03	< 0,01	< 0,01	1,90	0,08	15,1

ANEXO D- Concentração dos elementos As, Se e Hg totais e trocáveis ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) nos horizontes nos perfis de solo

horizonte	As	Se	Hg	As trocável	Se trocável	Hg trocável
$\mu\text{g.kg}^{-1}$						
Sítio Raimundo com Terra Preta Arqueológica sem roçado (TPA/SR)						
A ₁	1580	500	188	93,0	< 0,3	4,0
A ₂	2200	280	215	81,4	< 0,3	3,9
AB	5660	220	235	14,8	< 0,3	4,6
BA	2560	130	230	28,3	< 0,3	4,5
Bt ₁	1100	180	257	1,0	< 0,3	5,1
Bt ₂	3860	180	267	4,9	< 0,3	5,6
Área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR)						
A ₁	1260	330	230	66,3	< 0,3	4,1
AB	930	340	237	27,9	< 0,3	7,2
BA	1050	350	259	18,5	< 0,3	10,6
Bt ₁	1190	260	289	< 0,4	< 0,3	4,0
Bt ₂	1410	210	278	< 0,4	< 0,3	4,1
Bt ₃	1150	150	292	< 0,4	< 0,3	5,6
Sítio Conceição com Terra Preta Arqueológica com roçado (TPA/CR)						
A ₁	1170	240	220	< 0,4	< 0,3	3,5
A ₂	1200	180	187	< 0,4	< 0,3	4,0
AB	360	170	237	< 0,4	< 0,3	4,1
BA	2650	130	252	< 0,4	< 0,3	4,0
Bt ₁	2480	120	243	< 0,4	< 0,3	3,5
Bt ₂	2180	100	207	< 0,4	< 0,3	4,6
Área Adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR- roçado Martinho)						
A	1400	290	203	< 0,4	< 0,3	3,5
AB	840	270	199	< 0,4	< 0,3	3,3
BA	1360	370	229	< 0,4	< 0,3	5,9
Bt ₁	2110	490	234	< 0,4	< 0,3	5,6
Bt ₂	2380	230	247	< 0,4	< 0,3	5,5
Bt ₃	2140	340	232	< 0,4	< 0,3	6,2

ANEXO E- Valores dos índices de fertilidade nos perfis de solo

Hor.	Ph		K ⁺	Na ⁺	Ca	Mg	Al ³⁺	CTC	H ⁺ +Al ³⁺	(SB)	(V)	(m)	C _{orgânico}	N _{total}	P	Mn	Zn	Fe
	H ₂ O	KCl	cmol _c .kg ⁻¹								%		g.kg ⁻¹		mg.kg ⁻¹			
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico antropogênico, textura média/argilosa, A antrópico																		
Sítio Raimundo com Terra Preta Arqueológica sem roçado (TPA/SR)																		
A ₁	5,5	5,1	0,06	0,09	10,2	2,7	0,2	18,3	5,3	13,0	71	1	62,84	5,42	11	253	3	14
A ₂	5,6	4,9	0,03	0,06	8,0	1,5	0,1	14,0	4,4	9,6	68	1	43,48	3,75	6	132	2	14
AB	5,5	4,6	0,01	0,03	5,7	1,0	0,2	10,3	3,6	6,7	65	2	19,81	1,71	5	59	1	22
BA	5,2	4,5	0,01	0,02	3,9	0,8	0,3	7,1	2,4	4,7	66	6	7,62	0,66	7	8	1	46
Bt ₁	5,3	4,7	0,01	0,02	4,1	0,7	0,4	6,8	2,0	4,9	71	7	4,57	0,39	4	1	1	40
Bt ₂	5,4	4,8	0,05	0,05	3,6	0,6	0,4	6,0	1,8	4,3	71	9	3,81	0,33	4	<0,1	<0,05	43
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico abruptico, textura arenosa/média, A moderado																		
Área adjacente ao sítio Raimundo sem roçado (AD/SR)																		
A ₁	3,8	3,8	0,03	0,04	2,4	0,5	2,4	6,1	3,1	3,0	49	45	24,39	2,10	4	2	<0,05	254
AB	4,2	3,9	0,02	0,03	2,1	0,5	2,6	5,2	2,5	2,6	51	50	18,67	1,61	2	1	1	451
BA	4,4	4,0	0,01	0,03	2,5	0,5	2,2	4,8	1,8	3,1	63	42	15,24	1,31	2	2	1	273
Bt ₁	4,6	4,0	0,004	0,02	3,1	0,4	1,8	4,1	0,6	3,5	85	34	4,57	0,39	1	<0,1	1	57
Bt ₂	4,6	4,1	0,004	0,01	2,6	0,5	1,6	3,3	0,2	3,1	93	34	4,19	0,36	1	<0,1	<0,05	31
Bt ₃	4,6	4,1	0,004	0,01	2,4	0,5	1,6	3,0	0,1	2,9	95	36	3,43	0,30	1	<0,1	<0,05	23
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico abruptico antropogênico, textura arenosa/argilosa, A antrópico																		
Sítio Conceição com Terra Preta Arqueológica com roçado (TPA/CR)																		
A ₁	6,4	6,3	0,04	0,06	7,5	1,8	0,1	12,6	3,2	9,4	75	1	37,32	3,22	24	187	2	20
A ₂	5,2	4,6	0,03	0,04	5,6	1,2	0,2	10,9	4,1	6,9	63	2	27,06	2,33	5	133	1	39
AB	5,1	4,3	0,02	0,04	4,3	0,9	0,2	8,7	3,4	5,3	61	4	13,72	1,18	2	26	0	45
BA	5,3	4,6	0,03	0,05	3,4	0,9	0,4	6,2	1,8	4,4	71	7	8,00	0,69	5	1	<0,05	35
Bt ₁	5,1	4,2	0,02	0,05	3,3	0,7	0,7	5,0	1,0	4,0	80	15	6,48	0,56	9	9	<0,05	35
Bt ₂	5,1	4,2	0,01	0,03	2,8	0,6	0,8	4,2	0,7	3,5	83	19	5,72	0,49	7	7	<0,05	32
Argissolo Amarelo Tb Eutrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A chernozêmico																		
Área Adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR – roçado Martinho)																		
A	4,7	4,2	0,01	0,03	3,0	0,7	0,4	5,5	1,8	3,7	68	9	15,24	1,31	5	19	<0,05	63
AB	4,0	3,8	0,02	0,03	2,6	0,6	1,2	4,0	0,8	3,2	80	27	14,86	1,28	4	7	1	187
BA	4,6	3,9	0,16	0,19	2,8	0,6	1,0	4,3	0,6	3,7	86	21	12,19	1,05	4	2	1	150
Bt ₁	4,8	4,1	0,004	0,02	2,4	0,5	1,3	3,5	0,6	2,9	82	31	7,62	0,66	1	<0,1	<0,05	54
Bt ₂	4,8	4,2	0,02	0,03	2,5	0,5	1,1	4,3	1,2	3,0	71	27	3,81	0,33	2	<0,1	2	31
Bt ₃	5,0	4,3	0,01	0,03	3,9	0,5	0,6	5,3	1,0	4,4	82	12	3,05	0,26	2	<0,1	<0,05	30

ANEXO F- Matriz de correlação de alguns índices de fertilidade com a granulometria (AG=areia grossa; AM=areia média; AF=areia fina) nos perfis de solo com TPA sem e com roçado (TPA/SR= sítio Raimundo; TPA/CR= sítio Conceição).

	pH	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	P	C.O	Mn	Zn	Fe	V	SB	AG	AM	AF	silte	argila			
TPA/SR	pH	1																				
	K	0,44	1																			
	Na	0,67	0,90	1																		
	Ca	0,72	0,55	0,85	1																	
	Mg	0,55	0,62	0,87	0,97	1																
	Al	-0,76	-0,08	-0,49	-0,82	-0,68	1															
	H+Al	0,73	0,42	0,77	0,98	0,92	-0,91	1														
	P	0,20	0,52	0,71	0,79	0,91	-0,51	0,78	1													
	C.O	0,70	0,58	0,87	1,00	0,97	-0,80	0,97	0,82	1												
	Mn	0,68	0,88	0,99	0,88	0,90	-0,53	0,80	0,74	0,89	1											
	Zn	-0,04	0,49	0,11	-0,41	-0,36	0,62	-0,49	-0,39	-0,38	0,06	1										
	Fe	-0,90	-0,35	-0,70	-0,91	-0,79	0,93	-0,94	-0,52	-0,89	-0,73	0,42	1									
	V	0,02	0,65	0,45	0,14	0,23	0,40	-0,08	0,09	0,14	0,39	0,43	0,07	1								
	SB	0,69	0,58	0,87	1,00	0,98	-0,78	0,97	0,82	1,00	0,89	-0,39	-0,89	0,18	1							
	AG	0,18	-0,32	-0,15	0,04	-0,06	-0,50	0,25	0,07	0,07	-0,10	-0,24	-0,20	-0,91	0,01	1						
	AM	0,67	0,22	0,58	0,82	0,71	-0,93	0,89	0,62	0,83	0,59	-0,51	-0,84	-0,34	0,79	0,54	1					
AF	0,89	0,44	0,76	0,91	0,78	-0,89	0,92	0,54	0,91	0,77	-0,34	-0,96	-0,01	0,89	0,22	0,90	1					
silte	0,23	-0,09	-0,06	0,03	-0,04	0,05	-0,07	-0,36	-0,04	-0,06	-0,09	-0,17	0,46	0,02	-0,68	-0,32	0,03	1				
argila	-0,86	-0,31	-0,67	-0,89	-0,75	0,93	-0,92	-0,50	-0,88	-0,68	0,46	0,96	0,09	-0,86	-0,26	-0,92	-0,99	-0,06	1			
TPA/CR	pH	1																				
	K	0,78	1																			
	Na	0,74	0,82	1																		
	Ca	0,84	0,83	0,58	1																	
	Mg	0,91	0,90	0,68	0,98	1																
	Al	-0,55	-0,79	-0,46	-0,82	-0,81	1															
	H+Al	0,32	0,61	0,19	0,75	0,68	-0,93	1														
	P	0,93	0,61	0,70	0,71	0,77	-0,27	0,08	1													
	C.O	0,80	0,80	0,49	0,99	0,96	-0,81	0,78	0,67	1												
	Mn	0,79	0,77	0,47	0,97	0,94	-0,72	0,71	0,70	0,99	1											
	Zn	-0,42	-0,52	-0,17	-0,81	-0,71	0,88	-0,95	-0,22	-0,82	-0,75	1										
	Fe	-0,84	-0,48	-0,57	-0,51	-0,60	0,04	0,16	-0,93	-0,48	-0,54	-0,05	1									
	V	0,11	-0,33	0,03	-0,33	-0,26	0,77	-0,85	0,40	-0,34	-0,24	0,72	-0,60	1								
	SB	0,86	0,85	0,60	1,00	0,99	-0,83	0,74	0,72	0,99	0,96	-0,79	-0,53	-0,32	1							
	AG	0,92	0,79	0,60	0,97	0,97	-0,69	0,59	0,84	0,96	0,96	-0,68	-0,69	-0,11	0,97	1						
	AM	0,72	0,70	0,52	0,93	0,87	-0,63	0,65	0,71	0,93	0,95	-0,72	-0,49	-0,18	0,91	0,91	1					
AF	0,49	0,39	0,10	0,77	0,66	-0,43	0,58	0,52	0,82	0,88	-0,67	-0,37	-0,12	0,74	0,77	0,90	1					
silte	-0,17	0,04	-0,07	0,10	0,01	0,16	0,08	0,01	0,16	0,28	0,00	0,00	0,10	0,07	0,07	0,42	0,54	1				
argila	-0,67	-0,64	-0,39	-0,90	-0,83	0,57	-0,62	-0,67	-0,92	-0,96	0,69	0,50	0,14	-0,88	-0,89	-0,98	-0,95	-0,49	1			

ANEXO G- Matriz de correlação de alguns índices de fertilidade com a granulometria (AG=areia grossa; AM=areia média; AF=areia fina) nos perfis de solo Argissolo sem e com roçado (AD/SR= área adjacente ao sítio Raimundo; AD/CR= roçado Martinho).

	pH	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	P	C.O	Mn	Zn	Fe	V	SB	AG	AM	AF	silte	argila	
AD/SR	pH	1																		
	K	-1,00	1																	
	Na	-0,89	0,90	1																
	Ca	0,50	-0,50	-0,32	1															
	Mg	-0,36	0,36	0,13	-0,86	1														
	Al	-0,81	0,82	0,90	-0,57	0,27	1													
	H+Al	-0,94	0,95	0,97	-0,52	0,30	0,95	1												
	P	-0,98	0,98	0,89	-0,40	0,35	0,73	0,90	1											
	C.O	-0,95	0,95	0,96	-0,55	0,37	0,94	1,00	0,92	1										
	Mn	0,80	-0,81	-0,90	0,61	-0,45	-0,9	-0,93	-0,78	-0,94	1									
	Zn	-0,11	0,10	-0,30	-0,17	0,45	-0,4	-0,21	0,16	-0,16	0,34	1								
	Fe	-0,66	0,67	0,78	-0,66	0,35	0,97	0,86	0,57	0,85	-0,92	-0,50	1							
	V	0,88	-0,89	-0,96	0,53	-0,29	-0,98	-0,99	-0,84	-0,98	0,96	0,33	-0,92	1						
	SB	0,40	-0,40	-0,19	0,99	-0,85	-0,47	-0,41	-0,30	-0,43	0,49	-0,22	-0,58	0,41	1					
	AG	-0,81	0,81	0,74	-0,76	0,45	0,92	0,88	0,69	0,87	-0,83	-0,16	0,91	-0,89	-0,70	1				
	AM	-0,88	0,87	0,81	-0,49	0,13	0,86	0,89	0,78	0,86	-0,71	-0,13	0,75	-0,86	-0,43	0,89	1			
	AF	-0,88	0,88	0,80	-0,74	0,54	0,91	0,93	0,80	0,93	-0,88	-0,06	0,88	-0,92	-0,66	0,97	0,84	1		
	silte	0,26	-0,23	-0,26	-0,13	0,47	-0,4	-0,31	-0,11	-0,24	0,07	0,32	-0,32	0,31	-0,12	-0,42	-0,55	-0,33	1	
	argila	0,91	-0,91	-0,83	0,77	-0,54	-0,9	-0,94	-0,84	-0,95	0,89	0,04	-0,87	0,92	0,69	-0,96	-0,88	-0,97	0,23	1
AD/CR	pH	1																		
	K	-0,13	1																	
	Na	-0,08	1,00	1																
	Ca	0,44	-0,08	-0,03	1															
	Mg	-0,43	0,21	0,22	-0,03	1														
	Al	-0,39	0,11	0,06	-0,74	-0,50	1													
	H+Al	0,19	-0,41	-0,39	0,18	0,53	-0,72	1												
	P	-0,52	0,35	0,35	0,05	0,95	-0,47	0,45	1											
	C.O	-0,74	0,24	0,24	-0,33	0,87	-0,06	0,15	0,83	1										
	Mn	0,71	-0,54	-0,54	0,15	-0,84	0,14	-0,06	-0,91	-0,90	1									
	Zn	0,59	-0,53	-0,47	0,46	0,00	-0,51	0,28	-0,24	-0,18	0,41	1								
	Fe	-0,90	0,51	0,48	-0,31	0,44	0,35	-0,41	0,57	0,74	-0,83	-0,61	1							
	V	-0,10	0,52	0,52	0,13	-0,37	0,43	-0,93	-0,27	-0,09	-0,06	-0,13	0,42	1						
	SB	0,33	0,18	0,23	0,95	0,18	-0,77	0,16	0,28	-0,13	-0,12	0,33	-0,11	0,18	1					
	AG	-0,21	0,27	0,31	0,04	0,93	-0,53	0,40	0,81	0,80	-0,74	0,24	0,32	-0,19	0,24	1				
	AM	-0,52	0,12	0,13	-0,16	0,97	-0,36	0,44	0,88	0,94	-0,83	0,04	0,50	-0,32	0,02	0,92	1			
	AF	-0,80	0,45	0,44	-0,33	0,77	0,08	-0,10	0,78	0,96	-0,95	-0,34	0,89	0,16	-0,09	0,70	0,83	1		
	silte	0,29	-0,15	-0,17	-0,33	-0,91	0,74	-0,63	-0,94	-0,66	0,74	-0,02	-0,31	0,39	-0,50	-0,79	-0,81	-0,56	1	
	argila	0,64	-0,34	-0,34	0,40	-0,80	-0,03	0,00	-0,71	-0,97	0,85	0,12	-0,72	-0,05	0,19	-0,81	-0,89	-0,95	0,52	1

ANEXO H- Concentrações dos elementos maiores (%) dos horizontes A dos solos do Sítio Conceição e roçado Martinho.

%	Sítio Conceição com roçado (TPA/CR)				Área Adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR)			
	direção				direção			
	N	S	E	W	N	S	E	W
SiO ₂	53,86	58,41	57,67	59,55	62,54	58,41	56,49	51,36
Al ₂ O ₃	21,11	15,98	17,66	18,22	14,84	18,20	17,77	20,26
Fe ₂ O ₃	4,20	3,45	3,62	3,79	3,17	3,52	3,57	3,97
TiO ₂	2,75	2,95	3,03	3,20	2,90	2,37	2,90	2,54
CaO	0,27	0,33	0,29	0,11	0,07	0,02	0,04	0,03
P ₂ O ₅	0,12	0,13	0,11	0,12	0,07	0,07	0,08	0,09
MgO	0,10	0,13	0,10	0,09	0,06	0,05	0,05	0,05
K ₂ O	0,07	< 0,01	0,09	0,06	0,09	< 0,01	0,07	0,08
MnO	0,05	0,08	0,08	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02
Na ₂ O	0,03	0,04	< 0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,04
P.F	17,19	18,02	17,1	14,66	15,36	17,22	18,6	20,84
Total	99,74	99,52	99,74	99,86	99,15	99,87	99,65	99,28

ANEXO I- Composição química dos elementos traços (mg.kg⁻¹) dos horizontes A dos solos do Sítio Conceição e roçado Martinho.

mg.kg ⁻¹	Sítio Conceição com roçado (TPA/CR)				Área Adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR)			
	direção				Direção			
	N	S	E	W	N	S	E	W
Zr	2765	3553	3312	3778	3981	2772	3720	2802
Ba	95	102	120	98	78	72	82	80
Hf	77	98	92	103	109	75,5	101	75
Y	62	73	74	78	66	51	66	57
Sr	54	54	58	54	44	39	46	44
Th	43	43	45	47	38	33	39	36
Ni	90	40	40	100	30	40	40	50
Zn	30	70	< 30	40	< 30	< 30	< 30	< 30
U	8	9,1	9,2	9,8	9,4	6,9	9	7,2
Pb	18	26	6	19	8	6	< 5	24
Sn	8	8	7	10	8	8	7	8
Rb	3	3	5	4	< 2	< 2	< 2	< 2
Cu	< 10	10	10	20	< 10	< 10	< 10	< 10
Cr	160	130	160	150	140	130	130	160
V	114	99	101	109	87	92	97	103
Nb	66	70	72	77	71	57	69	62
Ga	35	28	29	31	27	31	31	34
Co	3	3	3	3	3	2	2	2
W	4	4	4	7	5	4	4	4
Ta	5,1	5,5	5,6	6,1	5,5	4,4	5,3	4,7
Sc	13	14	14	15	11	10	12	11
Mo	2	2	2	2	2	2	2	3
Ge	1	1	1	1	1	1	1	1
Sb	0,8	1,2	1	0,9	1,1	0,8	0,8	1,1
Cs	0,6	0,7	0,9	0,7	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Tl	0,1	0,1	0,1	0,1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

ANEXO J- Composição química dos elementos terras raras (mg.kg⁻¹) dos horizontes A dos solos do Sítio Conceição e do roçado Martinho.

Sítio Conceição com roçado (TPA/CR)					Área adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR)			
mg.kg ⁻¹	direção				Direção			
	N	S	E	W	N	S	E	W
La	71,5	63,6	68,2	69,6	56,2	54,9	60,6	60,1
Ce	108,0	96,4	104,0	106,0	84,1	82,4	90,1	90,2
Pr	11,0	10,2	10,8	11,0	9,0	8,6	9,7	9,5
Nd	33,4	31,7	34,1	34,2	28,7	26,2	29,8	29,1
Sm	5,9	5,8	6,2	6,3	5,3	4,6	5,6	5,1
Eu	1,3	1,3	1,3	1,4	1,2	1,0	1,2	1,1
Gd	6,0	6,5	6,7	6,9	5,8	4,8	5,8	5,2
Tb	1,3	1,5	1,5	1,6	1,3	1,0	1,3	1,1
Dy	8,5	9,9	10,3	10,7	8,9	6,9	8,9	7,7
Ho	1,9	2,2	2,3	2,4	2,1	1,6	2,0	1,7
Er	6,8	7,9	8,1	8,4	7,4	5,6	7,1	6,0
Tm	1,2	1,4	1,4	1,5	1,3	1,0	1,3	1,1
Yb	8,2	9,9	9,7	10,4	9,2	6,9	8,9	7,5
Lu	1,4	1,6	1,6	1,7	1,5	1,1	1,5	1,2

ANEXO K- Concentração de As, Se e Hg totais e trocáveis no sítios Conceição e sua área adjacente e no sítio Raimundo.

	direções	As total	As trocável	Se total	Se trocável	Hg total	Hg trocável
		μg.kg ⁻¹					
Sítio Conceição com TPA roçado (TPA/CR)	N	988	< 0,4	296	< 0,3	251	3,5
	S	976	< 0,4	311	< 0,3	252	3,5
	E	2676	< 0,4	311	< 0,3	264	5,6
	W	519	< 0,4	275	< 0,3	251	9,2
	NE	385	< 0,4	316	< 0,3	251	9,2
	NW	3524	< 0,4	170	< 0,3	260	4,6
	SE	4155	< 0,4	300	< 0,3	251	4,1
	SW	2540	< 0,4	275	< 0,3	250	4,5
Área Adjacente ao sítio Conceição com roçado (AD/CR- roçado Martinho)	N	638	< 0,4	135	< 0,3	253	7,6
	S	1624	< 0,4	173	< 0,3	250	6,2
	E	859	< 0,4	212	< 0,3	250	3,4
	W	1359	< 0,4	299	< 0,3	250	4,1
	NE	2638	< 0,4	215	< 0,3	250	4,1
	NW	866	< 0,4	206	< 0,3	250	6,2
	SE	953	< 0,4	223	< 0,3	250	3,5
	SW	1151	< 0,4	291	< 0,3	251	5,1
Sítio Raimundo com TPA sem roçado (TPA/SR)	N	5000	na	na	na	131	na
	S	4000	na	na	na	115	na
	E	5000	na	na	na	164	na
	W	5000	na	na	na	141	na
	NE	6000	na	na	na	112	na
	NW	4000	na	na	na	123	na
	SE	6000	na	na	na	130	na
	SW	4000	na	na	na	107	na
	S2*	4000	na	na	na	137	na

S2 é uma perpendicular à direção Sul como mostra a figura 6; na= não analisado

ANEXO L-Valores médios dos índices de fertilidade nos horizontes A das transversais nos Sítios Raimundo e Conceição e no roçado Martinho.

Direç.	Ph		K ⁺	Na ⁺	Ca	Mg	Al ³⁺	CTC	H ⁺ +Al ³⁺	(SB)	(V)	(m)	C	N _{total}	P	Mn	Zn	Fe
	H ₂ O	KCl	cmol _c .kg ⁻¹						%	g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹					
Solo com Terra Preta Arqueológica sem roçado (Sítio Raimundo-TPA/SR)																		
N	5,4	4,5	0,04	0,07	2,6	1,1	0,8	10,4	6,6	3,8	34	22	22,21	1,91	3	41	0,7	127
S	5,7	4,8	0,05	0,07	3,3	1,4	0,6	10,4	5,5	4,9	46	14	20,34	1,75	5	66	1,7	41
E	4,8	4,3	0,05	0,06	2,3	0,9	3,5	13,1	9,7	3,4	25	53	20,88	1,80	3	41	0,8	116
W	5,4	4,7	0,30	0,35	3,2	1,3	1,3	11,0	6,0	5,1	45	25	22,04	1,90	7	49	1,2	64
NE	5,1	4,3	0,05	0,07	2,4	0,9	1,3	12,4	9,0	3,4	28	28	19,39	1,67	4	47	1,2	91
SW	5,7	4,8	0,05	0,08	3,7	1,3	0,5	11,3	6,1	5,2	45	11	24,26	2,09	12	73	2,6	30
NW	5,3	4,4	0,04	0,06	2,2	0,6	0,9	9,4	6,5	2,9	30	27	19,64	1,69	3	35	0,4	102
SE	4,9	4,1	0,04	0,04	1,4	0,4	3,6	12,9	11,0	1,9	13	70	17,52	1,51	5	41	1,2	118
S2	5,9	5,0	0,07	0,09	4,5	1,5	0,4	10,6	4,5	6,1	57	7	26,33	2,27	23	122	3,4	17
Roçado Conceição com Terra Preta Arqueológica (TPA/CR)																		
N	5,6	5,0	0,03	0,03	4,0	0,9	0,4	8,2	3,2	5,0	61	7	16,38	1,41	4	75	<0,05	51
S	5,9	4,8	0,03	0,04	5,0	1,4	0,3	9,9	3,5	6,4	65	4	28,20	2,43	4	132	<0,05	43
E	5,7	4,7	0,03	0,04	4,9	0,7	0,3	9,4	3,7	5,7	61	5	26,67	2,30	5	114	0,5	62
W	5,4	4,1	0,02	0,03	2,4	0,6	0,6	7,4	4,4	3,0	40	17	15,10	1,30	4	23	<0,05	86
NE	5,8	4,6	0,02	0,03	4,4	0,6	0,5	8,1	3,1	5,0	62	9	14,48	1,25	4	61	<0,05	76
SW	5,8	4,6	0,02	0,03	4,3	0,7	0,6	8,1	3,1	5,0	62	11	25,15	2,17	4	81	<0,05	46
NW	5,3	4,0	0,01	0,03	2,9	0,7	0,8	7,3	3,7	3,6	50	17	13,72	1,18	3	19	<0,05	67
SE	5,5	4,5	0,03	0,05	4,9	0,9	0,4	9,5	3,6	5,9	62	6	14,48	1,25	4	190	0,6	78
Roçado Martinho sem Terra Preta Arqueológica (AD/CR)																		
N	4,9	3,9	0,01	0,03	2,2	0,6	1,3	6,3	3,5	2,9	45	31	15,24	1,31	3	2	<0,05	161
S	4,4	3,6	0,02	0,03	2,6	0,5	2,0	7,8	4,7	3,1	40	39	22,86	1,97	7	1	<0,05	192
E	4,4	3,6	0,03	0,04	2,7	0,5	1,9	8,1	4,9	3,2	40	37	24,39	2,10	3	2	<0,05	222
W	4,3	3,5	0,02	0,03	3,3	0,5	1,6	9,0	5,1	3,9	43	29	23,73	2,05	3	1	<0,05	235
NE	4,7	3,8	0,01	0,02	2,1	0,5	2,3	6,0	3,4	2,7	44	46	14,86	1,28	2	3	<0,05	229
SW	4,3	3,5	0,01	0,02	2,8	0,5	1,9	8,7	5,4	3,3	38	37	19,05	1,64	4	<0,1	<0,05	201
NW	4,4	3,7	0,02	0,03	2,9	0,5	2,2	7,8	4,4	3,4	43	39	16,77	1,45	3	1	<0,05	207
SE	4,4	3,6	0,02	0,03	2,4	0,5	1,5	7,4	4,5	2,9	39	34	27,05	2,33	2	<0,1	<0,05	207

ANEXO M- Concentrações médias dos elementos essenciais (macro e micronutrientes) contidas nas películas (PL), cascas (C), polpas (P), folhas (F), fase líquida e extrato sólido do tucupi da mandioca cultivada em solo com TPA e na área adjacente (Argissolo), sendo o extrato sólido o valor recalculado.

Unid.	Elemento	TPA						AD (Argissolo)					
		Polpa	Casca	Película	Folha	Tucupi (fase líquida mg.L ⁻¹)	Tucupi (recalculado mg.kg ⁻¹)	Polpa	Casca	Película	Folha	Tucupi (fase líquida mg.L ⁻¹)	Tucupi (recalculado mg.kg ⁻¹)
%	K	0,27	0,31	0,40	0,77	0,43	na	0,39	0,36	0,37	0,79	0,94	664,1
	Mg	0,15	0,23	0,25	0,59	0,135	na	0,15	0,22	0,19	0,57	0,159	235,3
	Ca	0,08	0,43	0,77	1,28	2,19	na	0,13	0,33	0,63	1,04	2,03	99,9
	P	0,06	0,07	0,05	0,30	0,04	na	0,10	0,09	0,05	0,29	0,05	169,9
	S	0,02	0,09	0,09	0,33	na	na	0,05	0,06	0,07	0,27	na	na
mg.kg ⁻¹	Fe	10,0	20,0	1652,5	125,0	1,83	na	15,0	32,5	892,5	127,5	1,82	1,61
	Mn	9,0	33,5	229,5	268,5	0,08	na	8,3	22,5	87,5	190,5	0,082	2,29
	Zn	6,3	18,0	28,1	50,3	0,274	na	10,3	19,4	24,1	52,5	0,308	1,10
	B	2,4	13,3	15,3	34,8	na	na	17,5	21,3	26,8	48,5	na	0,13
	Cu	1,79	3,01	8,59	10,29	0,012	na	2,81	2,72	7,54	8,16	0,013	0,68
	Ni	0,39	0,40	0,95	2,03	0,093	na	0,25	0,33	0,88	1,80	0,094	0,09
	Mo	0,01	0,14	0,16	0,45	na	na	0,06	0,56	0,25	0,26	na	0,003
Co	0,01	0,01	0,12	0,05	0,002	na	0,01	0,01	0,06	0,04	0,002	0,001	

na= não analisado

ANEXO N- Concentrações médias dos elementos traços e tóxicos contidas nas películas, cascas, polpas e folhas da mandioca cultivada em solo com TPA e em área adjacente (Argissolo).

Unid.	Elemento	TPA						AD (Argissolo)					
		Polpa	Casca	Película	Folha	Tucupi (fase líquida mg.L ⁻¹)	Tucupi (extrato sólido mg.kg ⁻¹)	Polpa	Casca	Película	Folha	Tucupi (fase líquida mg.L ⁻¹)	Tucupi (recalculado mg.kg ⁻¹)
mg.kg ⁻¹	Na	140,0	102,5	370,0	52,5	0,2	na	167,5	77,5	197,5	87,5	0,2	48,68
	Ba	4,4	15,3	21,0	7,8	0,003	na	3,2	5,9	8,6	6,7	0,004	0,43
	Sr	2,8	10,7	17,7	19,9	0,003	na	3,6	7,5	13,2	15,7	0,003	0,20
	Cr	1,9	2,0	5,8	2,0	0,041	na	2,6	2,0	4,4	2,0	0,047	0,05
	Sc	0,20	0,13	0,38	0,15	na	na	0,30	0,18	0,28	0,10	na	na
	Cs	0,12	0,16	0,16	0,33	na	na	0,18	0,20	0,13	0,40	na	na
	Pb	0,07	0,10	1,77	0,21	0,01	na	0,05	0,07	1,11	0,14	0,012	0,02
	Sn	0,02	0,02	0,44	0,02	0,007	na	0,04	0,05	0,31	0,09	0,007	0,002
	Cd	0,01	0,01	0,06	0,01	< 0,001	na	0,02	0,01	0,02	0,01	< 0,001	0,001
	Zr	0,01	0,03	3,47	0,08	na	na	<.01	0,01	3,15	0,16	na	na
	Ce	0,01	0,01	1,08	0,03	na	na	0,01	0,02	0,50	0,05	na	na
	Al	<0,01	100,0	3500,0	150,0	0,029	na	<0,01	<0,01	2000,0	300,0	0,035	<0,01
	U	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	na	na	<.01	<.01	0,02	<.01	na	na
	V	<2	<2	5,3	<2	0,005	na	2,0	<2	3,5	<2	0,007	<2,0
µg.kg ⁻¹	Se	100	100	250	230	< 0,001	na	100	100	250	280	< 0,001	0,006
	Hg	2,6	1,4	53,8	29,2	< 0,0002	na	4,7	4,8	29,2	20,0	< 0,0002	0,007
	As	< 100	100	430	100	0,003	na	< 100	500	200	< 100	0,004	< 0,1

na= não analisado

ANEXO O- Matriz de correlação não paramétrica inter-elementos do cabelo dos doadores em Caxiuana.

	elementos essenciais														adicionais				tóxicos																	
	S	Ca	Zn	Mg	Cu	Se	Sr	Mn	B	I	Cr	V	Co	Mo	P	Fe	Na	K	Pb	Bi	Al	Ba	Hg	Ni	Sn	Sb	As	Cd	Ag	U	Th					
S	1,00																																			
Ca	-0,52	1,00																																		
Zn	0,08	0,51	1,00																																	
Mg	-0,68	0,92	0,36	1,00																																
Cu	0,05	0,15	-0,27	0,11	1,00																															
Se	-0,01	0,28	0,24	0,19	0,02	1,00																														
Sr	-0,66	0,85	0,32	0,89	0,27	0,49	1,00																													
Mn	-0,44	0,41	-0,14	0,52	0,45	-0,60	0,29	1,00																												
B	-0,54	-0,08	-0,28	0,19	-0,31	-0,68	-0,03	0,53	1,00																											
I	-0,01	-0,18	-0,20	-0,16	-0,02	0,14	-0,19	-0,26	-0,26	1,00																										
Cr	-0,20	0,30	0,24	0,13	0,07	-0,39	0,09	0,41	0,22	-0,63	1,00																									
V	-0,36	0,03	-0,67	0,06	0,36	-0,22	0,10	0,48	0,35	-0,40	0,42	1,00																								
Co	-0,39	0,06	-0,32	0,19	0,50	-0,50	0,11	0,83	0,48	-0,20	0,29	0,54	1,00																							
Mo	-0,39	0,10	-0,08	0,39	-0,23	0,14	0,37	0,16	0,50	-0,38	-0,27	0,16	0,21	1,00																						
P	0,53	-0,11	0,23	-0,24	-0,12	0,62	-0,16	-0,57	-0,71	0,28	-0,54	-0,44	-0,38	-0,04	1,00																					
Fe	-0,11	-0,63	-0,66	-0,44	-0,01	-0,24	-0,41	0,09	0,40	0,09	-0,21	0,41	0,52	0,35	0,01	1,00																				
Na	-0,16	-0,42	-0,21	-0,19	0,00	-0,65	-0,33	0,40	0,59	0,24	-0,11	-0,09	0,60	0,13	-0,33	0,58	1,00																			
K	-0,07	-0,75	-0,48	-0,53	-0,04	-0,44	-0,46	0,02	0,50	0,14	-0,15	0,09	0,39	0,16	-0,32	0,77	0,81	1,00																		
Pb	-0,24	-0,18	0,11	-0,17	0,00	-0,30	-0,05	0,22	0,37	-0,47	0,59	0,24	0,53	0,09	-0,35	0,40	0,44	0,53	1,00																	
Bi	0,56	-0,12	0,43	-0,39	0,32	0,01	-0,23	-0,12	-0,52	-0,27	0,40	-0,20	0,06	-0,51	0,26	-0,17	-0,05	-0,05	0,45	1,00																
Al	-0,35	-0,07	-0,44	0,17	0,33	0,08	0,19	0,35	0,20	0,27	-0,47	0,24	0,62	0,51	0,14	0,69	0,48	0,40	0,06	-0,32	1,00															
Ba	-0,69	0,70	0,22	0,81	0,07	0,35	0,90	0,31	0,25	-0,49	0,20	0,28	0,19	0,65	-0,26	-0,21	-0,28	-0,31	0,14	-0,31	0,18	1,00														
Hg	-0,27	0,63	0,05	0,65	0,69	-0,15	0,53	0,76	0,00	0,04	0,09	0,15	0,51	-0,07	-0,26	-0,34	0,07	-0,34	-0,22	-0,03	0,27	0,31	1,00													
Ni	-0,32	0,31	0,21	0,21	0,27	-0,47	0,18	0,62	0,32	-0,55	0,90	0,41	0,61	-0,18	-0,57	-0,05	0,20	0,05	0,74	0,44	-0,16	0,25	0,31	1,00												
Sn	-0,04	-0,49	-0,39	-0,30	0,35	-0,44	-0,21	0,28	0,39	0,04	-0,11	0,11	0,58	0,10	-0,37	0,50	0,75	0,80	0,47	0,12	0,40	-0,14	0,13	0,21	1,00											
Sb	-0,28	-0,14	-0,59	-0,14	0,35	-0,30	-0,10	0,45	0,30	-0,25	0,38	0,84	0,73	0,04	-0,25	0,60	0,18	0,30	0,49	0,07	0,37	0,08	0,09	0,51	0,37	1,00										
As	0,31	0,13	-0,21	-0,05	0,53	0,17	0,07	0,12	-0,39	-0,52	0,35	0,60	0,10	-0,14	0,13	-0,11	-0,61	-0,44	-0,07	0,35	-0,13	0,11	0,18	0,22	-0,24	0,43	1,00									
Cd	0,64	-0,52	0,11	-0,68	-0,51	0,01	-0,75	-0,67	-0,38	0,39	-0,19	-0,47	-0,63	-0,50	0,49	-0,02	-0,10	0,00	-0,24	0,22	-0,44	-0,80	-0,64	-0,43	-0,35	-0,37	-0,17	1,00								
Ag	-0,40	0,54	0,50	0,55	-0,44	0,39	0,44	-0,20	-0,10	0,50	-0,28	-0,56	-0,43	0,02	0,18	-0,47	-0,16	-0,41	-0,41	-0,40	-0,07	0,24	0,09	-0,32	-0,48	-0,60	-0,59	0,10	1,00							
U	-0,34	-0,22	-0,64	0,04	0,41	-0,02	0,10	0,30	0,24	0,44	-0,54	0,27	0,55	0,34	-0,06	0,67	0,54	0,54	-0,03	-0,42	0,91	0,04	0,28	-0,24	0,56	0,34	-0,21	-0,41	-0,11	1,00						
Th	-0,15	-0,59	-0,61	-0,29	-0,30	-0,13	-0,33	-0,14	0,46	0,36	-0,59	0,07	0,07	0,48	-0,03	0,75	0,51	0,69	-0,06	-0,62	0,56	-0,19	-0,40	-0,53	0,32	0,05	-0,47	0,11	-0,05	0,66	1,00					

ANEXO P- Concentrações dos elementos essenciais, adicionais e tóxicos e suas médias ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) em cabelo de pessoas (N=24) das famílias TPA e AD em Caxiuana.

Pessoas	idade (anos)	Elementos essenciais												Elementos adicionais				Elementos tóxicos														
		S	Ca	Zn	Mg	Cu	Se	Mn	Sr	B	I	Cr	V	Co	Mo	P	Fe	Na	K	Pb	Al	Ba	Bi	Hg	Ni	Sn	Sb	Cd	Ag	Th	As	U
A	58	39178	423	142	63,25	46,46	1,86	4,29	2,11	< 0.5	1,01	0,57	0,07	0,04	0,03	160	26,53	6,07	2,75	40,07	12,89	5,41	0,26	2,76	1,90	0,24	0,34	0,09	0,09	0,001	0,037	0,002
B	41	39425	312	104	31,50	11,72	2,43	3,37	1,44	< 0.5	0,54	1,03	0,29	0,05	0,03	161	23,00	1,83	2,75	25,64	6,53	5,07	1,07	4,25	0,98	0,08	0,29	0,02	0,01	0,001	0,049	0,002
C	27	39502	351	143	36,31	12,79	4,42	1,19	2,48	0,51	0,89	0,52	0,12	0,03	0,03	169	16,73	8,24	2,06	7,63	16,07	5,54	1,87	4,66	0,27	0,12	0,08	0,08	< 0.01	0,001	0,038	0,004
D	38	38788	536	209	135,48	12,22	1,81	6,04	3,77	< 0.5	0,54	0,58	0,09	0,12	0,03	164	27,80	3,21	2,85	12,47	7,21	8,76	1,67	3,70	0,27	0,16	0,04	0,03	< 0.01	0,001	0,028	0,002
E	37	40343	685	239	55,34	17,19	2,00	0,48	1,18	1,16	0,96	0,82	0,10	0,01	0,06	255	19,54	6,83	9,96	9,72	10,81	2,19	0,18	1,77	0,80	< 0.05	0,04	0,03	0,07	< 0.001	0,086	0,004
F	36	41243	249	106	13,02	12,72	1,28	1,14	0,77	1,69	0,85	3,31	0,10	0,08	0,41	166	42,80	19,47	14,09	52,09	15,29	1,10	3,99	5,25	3,64	0,17	0,37	0,11	0,06	0,002	0,154	0,004
G	7	37568	253	114	26,24	10,41	2,76	0,92	2,33	< 0.5	0,56	0,94	0,17	0,05	0,04	168	25,20	< 1	< 1	8,52	15,53	15,08	0,56	2,20	1,28	0,08	0,04	0,06	0,04	0,002	0,026	0,002
H	7	66384	255	182	10,58	12,80	3,23	0,44	0,35	< 0.5	1,26	0,94	0,16	0,02	0,04	220	47,15	3,69	4,85	8,27	9,47	0,81	2,38	5,73	0,25	0,11	0,07	0,01	0,01	0,001	0,070	0,002
I	5	46308	173	150	8,88	10,89	3,34	0,30	0,24	0,51	0,65	0,60	0,09	0,01	0,03	174	23,20	4,16	2,01	9,20	6,37	0,49	3,38	2,79	0,14	0,06	0,06	< 0.01	0,01	0,001	0,046	0,001
J	3	39200	201	94	28,63	13,09	2,92	0,86	1,96	< 0.5	0,86	0,53	0,19	0,05	0,04	164	25,87	< 1	< 1	5,73	13,60	16,01	0,54	4,13	0,28	0,12	0,04	0,05	< 0.01	0,002	0,029	0,004
K	0,7	46248	244	324	10,89	11,98	1,64	0,28	0,20	1,99	1,02	0,72	0,18	0,03	0,04	170	40,74	1,72	< 1	89,93	13,95	0,70	137,23	0,86	0,34	0,24	0,30	0,05	0,03	0,002	0,092	0,006
L	10	44061	210	182	15,56	13,37	3,85	0,45	0,68	0,52	0,93	0,68	0,29	0,01	0,02	196	105,70	2,96	2,39	3,38	15,59	2,08	0,54	3,28	0,10	< 0.05	0,01	0,01	0,01	0,007	0,114	0,006
M	8	40147	392	300	41,06	12,78	2,63	3,94	2,31	< 0.5	0,64	0,58	0,25	0,10	0,05	161	46,95	< 1	1,36	146,33	11,51	8,23	3,44	3,36	0,67	0,25	0,39	0,07	0,05	0,001	0,028	0,002
N	12	39097	333	157	41,86	8,81	3,88	1,00	2,24	< 0.5	0,53	0,55	0,12	0,01	0,07	168	20,79	1,45	1,37	16,08	11,51	8,58	0,19	2,89	0,08	0,05	0,01	0,03	< 0.01	0,002	0,034	0,002
O	11	39830	239	163	23,25	10,98	2,62	2,45	1,40	< 0.5	0,47	1,05	0,15	0,07	0,04	163	34,11	< 1	< 1	123,06	10,37	5,25	3,43	3,12	1,43	0,25	0,22	0,06	0,04	0,001	0,035	0,002
Média	20	42488	324	174	36,12	14,55	2,71	1,81	1,56	1,06	0,78	0,89	0,16	0,04	0,06	177	35,07	5,42	4,22	37,21	11,78	5,69	10,71	3,38	0,83	0,15	0,15	0,05	0,04	0,002	0,058	0,003
P	49	40115	245	121	17,74	12,66	3,21	2,65	0,74	< 0.5	0,56	0,71	0,12	0,03	0,03	162	20,79	2,94	1,33	345,54	8,24	2,27	0,59	5,38	0,12	0,21	0,07	0,01	0,01	0,003	0,060	0,003
Q	42	39096	357	167	89,86	66,97	3,03	6,63	2,54	< 0.5	0,80	0,35	0,11	0,09	0,03	165	15,70	8,33	2,11	28,68	6,93	6,64	0,16	6,22	3,73	0,12	0,10	0,03	0,03	0,001	0,028	0,001
R	21	40156	274	137	40,66	24,66	2,52	2,04	2,52	< 0.5	0,56	1,23	0,16	0,06	0,07	166	26,47	1,14	< 1	15,12	41,59	9,94	1,15	2,90	2,46	0,35	0,19	0,11	0,18	0,001	0,034	0,005
T	19	39694	392	167	46,13	11,19	2,25	4,43	1,75	< 0.5	0,75	0,71	0,10	0,07	0,04	166	17,51	< 1	1,05	16,91	15,89	4,60	1,47	5,75	0,79	0,13	0,07	0,09	< 0.01	0,001	0,031	0,003
U	12	42026	158	109	18,55	11,79	2,39	2,12	0,88	< 0.5	0,72	0,49	0,13	0,05	0,04	164	28,83	< 1	< 1	24,58	12,57	3,05	1,50	4,19	0,33	0,35	0,14	0,04	0,01	0,002	0,034	0,004
V	9	40992	196	111	27,02	12,14	2,72	2,82	1,35	< 0.5	0,67	0,52	0,16	0,06	0,05	164	40,95	< 1	< 1	25,45	20,85	4,18	0,95	3,99	0,25	0,21	0,06	0,02	0,01	0,003	0,036	0,005
W	6	40322	147	124	14,04	8,53	2,61	0,49	0,30	< 0.5	0,97	0,54	0,09	0,01	0,03	166	36,48	< 1	< 1	23,93	9,85	0,57	0,61	2,06	0,08	0,13	0,04	< 0.01	< 0.01	0,003	0,022	0,003
X	3	39481	184	88	22,12	11,43	3,03	2,73	1,04	< 0.5	0,75	0,50	0,24	0,09	0,05	170	62,00	< 1	< 1	50,49	29,23	4,22	0,99	3,52	0,38	0,23	0,39	0,04	0,02	0,003	0,039	0,006
Z	1	44158	204	266	10,45	12,22	2,60	0,88	0,36	1,09	1,11	0,59	0,20	0,04	0,06	169	37,95	1,50	< 1	144,03	52,80	0,87	25,86	3,28	0,24	0,44	0,23	0,05	0,11	0,003	0,081	0,011
Média	18	40671	239,6	143	31,84	19,07	2,71	2,75	1,28	1,09	0,76	0,63	0,14	0,05	0,04	166	31,85	3,48	1,50	74,97	21,99	4,04	3,70	4,14	0,93	0,24	0,14	0,05	0,05	0,002	0,041	0,005

■ Família TPA; □ Família AD

ANEXO Q - Concentrações médias dos elementos tóxicos e essenciais no cabelo indivíduos humanos de Caxiuanã.

$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Familia TPA		Familia AD		Referência ^a	Normal ^b	
	Crianças (N=9)	Adultos (N=6)	Crianças (N=5)	Adultos (N=4)			
S	44316	39747	41396	39765	39965-46000	733	
Ca	256	426	177	317	190-684	170 – 4690	
Zn	185	157	140	148	140-239	53,7 – 327	
Mg	23	55,8	18,4	48,6	13-73	1,49 – 567	
Cu	11,7	18,9	11,2	28,9	10-32	6,0 – 293	
Se	3	2,3	2,7	2,8	0,8-1,5	0,002 – 6,6	
Sr	1,3	2	0,8	1,9	0,6-4,3	1,7 – 860	
Mn	1,2	2,7	1,8	3,9	0,15-1,2	0,04 – 24	
B	1	1,1	1,1	< 0,5	<0,3	0,88 – 0,98	
I	0,8	0,8	0,8	0,7	0,05-0,6	0,03 – 4,2	
Cr	0,7	1,1	0,5	0,7	<0,3	0,08 – 2,5	
V	0,2	0,1	0,2	0,1	0,004-0,03	0,04 – 160	
Co	0,04	0,1	0,05	0,1	0,003-0,03	0,07 – 1,7	
Mo	0,04	0,1	0,05	0,04	0,02-0,05	0,03 – 2,16	
Adicionais	P	176,1	179,2	166,4	165	161-257	88,9 – 773
	Fe	41,1	26,1	41,2	20,1	7,0-18	10 – 900
	Na	2,8	7,6	1,5	4,1	n.a	0,02 – 2,02
	K	2,4	5,7	< 1	1,5	n.a	4 – 700
Tóxicos	Pb	45,6	24,6	53,7	101,6	<9,3	0,004 – 95
	Bi	16,9	1,5	6	0,8	<0,03	Na
	Al	12	11,5	25,1	18,2	<14	0,1 – 36
	Ba	6,4	4,7	2,6	5,9	<4,0	0,76 – 1,41
	Hg	3,2	3,7	3,4	5,1	<2,3	0,3 - 12,2
	Ni	0,5	1,3	0,3	1,8	<0,6	0,002 – 4,05
	Sn	0,1	0,2	0,3	0,2	<0,35	0,036 – 8,3
	Sb	0,1	0,2	0,2	0,1	<0,03	0,05 – 0,06
	As	0,1	0,1	0,04	0,04	<0,15	0,03 – 25
	Cd	0,04	0,1	0,04	0,1	<0,3	0,04 – 5,3
	Ag	0,03	0,1	0,04	0,1	<0,4	0,16 – 0,7
	U	0,003	0,003	0,01	0,003	<0,02	na
	Th	0,002	0,001	0,003	0,002	<0,005	na

na = não analisado; ^a valor de referência do Laboratório de ICP-MS e ICPAES na PUC-Rio; ^b valores “normais” segundo Pozebon et al. (1999).