

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE SOLOS SUPERFICIAIS DA ZONA
OESTE DA CIDADE DE SÃO PAULO NO CONTEXTO DA GEOQUÍMICA URBANA**

Jade Butturi de Oliveira

Orientadora: Profa. Dra. Christine Laure Marie Bourotte

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF 2017 / 25)

SÃO PAULO
2017

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE SOLOS SUPERFICIAIS DA ZONA
OESTE DA CIDADE DE SÃO PAULO NO CONTEXTO DA GEOQUÍMICA URBANA**

De acordo com

Jade Butturi de Oliveira

Prof. Dra. Christine Laure Marie Bourotte

RESUMO

A geoquímica urbana procura avaliar os compartimentos ambientais a fim de compreender o impacto da urbanização no meio ambiente e o quanto isto pode interferir na saúde pública ou nos ecossistemas relacionados. Os solos superficiais possuem uma grande importância no contexto geoquímico, uma vez que fornecem materiais para a poeira de rua e particulado atmosférico, além de se comportar como um filtro para as águas superficiais que adentram o subsolo.

Trabalhos vem sendo feitos por todo o mundo avaliando os solos superficiais e tem demonstrado resultados interessantes, onde quantidades consideráveis de metais e outros elemento-traço são encontradas nos solos devido aos desgastes de peças de veículos automotores ou provindos de materiais de construções das vias ou de edificações próximas. Elementos do grupo da platina ou terras raras também estão sendo estudados devido à sua ascendente presença em novos produtos tecnológicos, como catalisadores de veículos, ligas metálicas de alto valor agregado, sistemas eletrônicos ou materiais cada vez mais comuns aos habitantes da cidade.

Neste trabalho foram considerados 12 pontos de amostragem de solos superficiais urbanos (0-10 cm) coletados na zona oeste de São Paulo e mais 25 pontos coletados no *campus* da Cidade Universitária da USP. As amostras foram caracterizadas por sua granulometria (peneiramento), mineralogia (DRX) e composição química de 55 elementos (ICP-MS). Os resultados da análise química foram tratados do ponto de vista espacial, onde foram confeccionados mapas com as concentrações obtidas, e do ponto de vista estatístico, onde análises por *cluster* e PCA foram executadas.

Os solos superficiais de São Paulo são compostos ~51,1% por areias (2,00mm-0,062mm), 24,1% por silte (0,062mm-0,002mm) e 24,8% de argila (<0,002mm). A mineralogia principal é composta por quartzo, feldspatos, micas, (essencialmente caulinita, vermiculitas e illitas) e gibbsita. A mineralogia secundária, encontrada em somente algumas amostras, é composta por óxidos de ferro, rutilo, anfibólios e borax. Na cidade universitária os resultados das análises químicas apresentaram concentrações menores do que diversos índices, são eles: os valores orientadores da CETESB (2016), as concentrações médias de elementos-traço em solos superficiais urbanos mundiais e os estudos prévios realizados em São Paulo. Somente as concentrações de alguns elementos se mostraram enriquecidas em relação às concentrações médias da crosta. Nas análises estatísticas, um grupo de elementos se destacou por apresentar provável aporte antrópico, ele é composto por Ag, Au, Cr, Ni, Pb, Hg. Os outros elementos foram associados com fontes terrígenas.

O estudo demonstra ainda que variáveis como maior histórico de ocupação e urbanização e maior circulação de veículos são determinantes na presença de teores de elementos-traço em solos superficiais urbanos.

ABSTRACT

Urban geochemistry aims to understand the impact of urbanization in the environment and its impact on public health and the surrounding ecosystem. To evaluate this impact, topsoil has an important role over urban ecosystem, because of its interaction with other environmental compartments, like air particulates and street dust, apart from fact that topsoil acts as a filter with the runoff water that enters the soil.

Studies all over the world are evaluating urban topsoil and getting interesting results. High concentrations of metals and many other elements in urban soils have been associated with the abrasion of vehicular pieces or civil construction waste . Other trace elements such as Platinum Group Elements used in automobile catalytic converter, or Rare Earth Elements present in metal alloys with high added value, electronic systems or substances increasingly used by citizens have also been focused in urban geochemistry studies.

In this work, 12 urban topsoil (0-10cm) have been sampled in the west zone of São Paulo, and other 25 samples in the campus of São Paulo University (USP). Granulometry, mineralogical (X-ray Diffraction) and chemical (ICP-MS) analyses were performed in these samples. Results have also been analysed through statistical analyses (cluster and PCA analysis) and elemental concentration maps have been elaborated.

Topsoils are composed almost by ~51,1% of sand (2,00-0,062mm) and 24,1% of silt (0,062mm-0,002mm) and 24,8% of clay (<0,002mm). The main mineralogy is quartz, feldspar, mica, gibbsite and clay minerals (essentially kaolinite, but also vermiculite and illite). Other minerals like iron oxides, rutile, amphiboles and borax were also found in some samples.

In the USP campus, the chemical results showed lower concentration than reference values: (CETESB, 2016), trace elements average concentration in world topsoils and previous studies performed in São Paulo. Statistical analysis of campus topsoils samples highlighted one group of elements (Ag, Au, Cr, Ni, Pb and Hg) related to punctual antropic inputs. The other elements were associated to crustal sources.

This study also demonstrated that urbanization history and vehicle traffic are determinant to understand the trace elements concentrations found in urban topsoils.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. METAS E OBJETIVOS | 2 |
| 3. TRABALHOS PRÉVIOS | 3 |
| 3.1. Geoquímica dos solos urbanos | 3 |
| 3.2. Elementos-traço em solos superficiais urbanos | 5 |
| 3.2.1. Elementos do Grupo da Platina | 8 |
| 3.2.2. Elementos Emergentes | 9 |
| 3.2.3. Estudo geoquímico de solos superficiais em São Paulo | 11 |
| 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 16 |
| 4.1. Urbanização | 17 |
| 4.2. Geologia | 20 |
| 4.3. Pedologia | 22 |
| 4.4. Clima | 23 |
| 4.5. Cidade Universitária da USP | 24 |
| 5. MATERIAIS E MÉTODOS | 26 |
| 5.1. Levantamento bibliográfico | 26 |
| 5.2. Pontos de amostragem | 26 |
| 5.3. Coleta de amostras na zona oeste da cidade de São Paulo | 28 |
| 5.4. Preparação das amostras coletadas | 29 |
| 5.5. Análise Granulométrica | 29 |
| 5.6. Caracterização Mineralógica: Difração de raios X | 30 |
| 5.7. Análise química: ICP-MS | 31 |
| 5.8. Mapa de concentrações: Quantum Gis ® | 32 |
| 5.9. Análise estatística: Statistic® | 32 |
| 6. RESULTADOS OBTIDOS | 34 |
| 6.1. Inserção dos pontos de amostragem na cidade de São Paulo. | 34 |
| 6.2. Granulometria | 36 |

| | |
|---|----|
| 6.3. Mineralogia : Difração de raios X | 37 |
| 6.4. Química: ICP-MS | 39 |
| 6.5. Mapas de Concentrações | 41 |
| 6.6. Análise de Estatística | 41 |
| 7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 44 |
| 8. CONCLUSÕES | 50 |
| BIBLIOGRAFIA | 51 |
| ANEXOS | I |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Gráfico com concentrações médias de elementos químicos na crosta, solos naturais e solos urbanos. Os elementos com maiores concentrações nos solos urbanos estão nomeados. Dados de Alekseenko e Alekseenko (2014)..... | 7 |
| Figura 2 – Fluxos dos Elementos Terras Raras em solos (construído a partir de Aide e Aide, 2012). | 11 |
| Figura 3 – Localização das áreas de estudo prévias da cidade de São Paulo. | 15 |
| Figura 4 – Mapas urbanísticos de São Paulo. (A) Histórico de urbanização da cidade de São Paulo. (B) Uso e ocupação do solo para a cidade de São Paulo. | 19 |
| Figura 5 – Mapa geológico da Cidade de São Paulo. Fonte: Prefeitura de São Paulo. | 21 |
| Figura 6 - Mapa de maciços de solo e rocha SEMPLA-SVMA. | 22 |
| Figura 7 – Caracterização climática da cidade de São Paulo. (A) Média da temperatura em São Paulo (1933-2016). (B) Gráfico com quantidades de dias com umidade relativa do ar abaixo de 30% (1958-2016). (C) Médias de precipitação anual total (1933-2015). (D) Número anual de dias com precipitação (1933-2015). Fonte: Gráficos do Boletim Climatológico IAG/USP (2016)..... | 24 |
| Figura 8 – Mapa de localização de pontos de coleta na zona oeste de São Paulo e na cidade universitária da USP. Fonte: Googlemaps (2017) | 27 |
| Figura 9 – Exemplos de locais de amostragem. (A) SS003SP – Canteiro lateral na Av. Paulista. (B) SS002SP – Canteiro central na Av. Consolação. (C) SS001SP – Praça da Sé, bairro comercial e de serviços. (D) SS011SP – Praça General Oliveira Alvares, em bairro residencial. | 28 |
| Figura 10 – Esquema amostragem composta. Pontos em vermelho representam locais com coleta de solo com trado manual, com 1,5 m de distância entre sí. Foto de um furo de 0-10cm de profundidade realizado com trado manual de aço inoxidável (SS015SP) | 29 |
| Figura 11 – Categorias das concentrações normalizadas | 32 |
| Figura 12 – Gráfico ternário com dispersão das porcentagens em peso de cada amostra coletada..... | 36 |
| Figura 13 – Boxplots para concentrações de elementos-traço dos solos superficiais da Cidade Universitária. | 41 |
| Figura 15 – Dendograma de cluster para elementos analisados (n=47). | 42 |
| Figura 16 – Gráficos de distribuição das variaáveis em relação às componentes principais para análise de PCA. (A)Componentes 1 e 2. (B) Componentes 1 e 3. (C) Componentes 2 e 3. | 43 |
| Figura 17 – Diagrama com evolução intempérica de minerais primários de rochas (McBride, 1994). | 44 |
| Figura 18- Gráficos com concentrações de elementos-traço em solos superficiais na cidade de São Paulo. Valores presentes na Tabela 18 | 46 |

Figura 19 – Comparação das concentrações (mg/kg) médias obtidas na cidade universitária da USP e valores sintetizados por (Aleksenko e Aleksenko, 2014)..... 47

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Concentrações ($\mu\text{g}/\text{kg}$) de platina e paládio em solos. Compilação de dados de Jackson, Sampson, e Prichard (2007). | 9 |
| Tabela 2 – Valores orientadores da CETESB (2016) para metais em solos. Valores em (mg/kg) | 13 |
| Tabela 3 - Distância interplanar (001) para grupos de argiominerais nos diferentes procedimentos realizados em DRX. | 31 |
| Tabela 4 – Média, mediana e desvio padrão para frações granulométricas do conjunto total das amostras (total), das amostras da Zona Oeste e das amostras da Cidade Universitária da USP. (Std=desvio Padrão). | 37 |
| Tabela 5 - Minerais encontrados por DRX nas frações finas ($>0,002\text{mm}$) amostras da zona oeste de São Paulo. | 38 |
| Tabela 6 - Minerais encontrados por DRX nas frações bulk ($>2,00\text{mm}$) das amostras da Cidade Universitária da USP. | 38 |
| Tabela 7 – Concentrações média, mediana, máxima, mínima e desvio padrão (std.) de elementos-traço para pontos da Cidade Universitária e respectivos valores de referência da CETESB (2016). Sublinhados valores acima do VQR e em negrito valores acima do VP. | 39 |
| Tabela 8 – Concentração mínimas, médias e máximas de estudos de solos superficiais em São Paulo. | 40 |
| Tabela 9 – Informações para cada componente do PCA. | 42 |
| Tabela 10 - Comparação de valores médios de concentrações de EGP na Cidade Universitária e no mundo. Dados de (Jackson, Sampson, & Prichard, 2007). Concentrações em $\mu\text{g}/\text{kg}$. | 47 |
| Tabela 11 – Fatores de enriquecimento médios e máximos das concentrações da Cidade Universitária em relação às concentrações da crosta de Wedephol (1995) com base nos teores de escândio. | 48 |

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Elementos e suas potenciais fontes de distribuição antrópicas. EGP= Elementos do grupo da Platina (Pt, Pd, Rh). ETR =Elementos Terras Raras (La, Ce, Sc, Y). Segundo Chambers et al. (2016) e Silva et al. (2009). 6

Quadro 2 - Características urbanas dos pontos de amostragem. Histórico de Urbanização com referência capítulo 35

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1 – Tabela de pontos de coleta da zona oeste de São Paulo e pontos da Cidade Universitária. | I |
| Anexo 2 – Comprovante de rastreamento de amostras. | IV |
| Anexo 3 – Resultados de análise química de solos superficiais no interior do campus da Cidade Universitária da USP. LD = Limite de Detecção. | VI |
| Anexo 4 – Mapas de concentração de elementos-traço na Cidade Universitária da USP. | IX |
| Anexo 5 - Resultados da análise granulométrica dos solos superficiais da Zona oeste de São Paulo e Cidade Universitária. | XIV |

1. INTRODUÇÃO

A geoquímica urbana é um tema importante para compreender a qualidade de vida dos habitantes da cidade e os impactos promovidos por eles no meio. Qualificar estes impactos exige uma caracterização ampla de diversos compartimentos ambientais e estudos da interação destes. Assim, é possível ter um melhor conhecimento sobre os ciclos geoquímicos no complexo ambiente urbano.

Os solos superficiais agem como fonte e sorvedouro de elementos-traço, pois fornecem materiais para a poeira de rua e particulado atmosférico, além de se comportar como um filtro para as águas superficiais que adentram o subsolo. Os solos também sofrem um aporte de materiais antrópicos que podem conter grandes quantidades de elementos-traço. Em alguns casos teores de materiais antrópicos podem ser nocivos aos seres vivos.

Para avaliar a contaminação de um solo ou os efeitos antrópicos sobre este é necessário ter conhecimento dos teores naturais de elementos-traço de cada região, uma vez que diferentes fatores podem influenciar na presença destes no ambiente. Para promover este conhecimento são confeccionados mapas geoquímicos das cidades, onde características de uso e ocupação urbanas são tão importantes quanto as características físicas locais (geologia, pedologia e clima), o que faz com que cada cidade apresente uma poluição específica, relativa à história de cada local (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

A cidade de São Paulo possui uma urbanização recente, onde a maior parte do seu território foi ocupado durante o século XX, com presença de indústrias e uma política de mobilidade voltada para o transporte individual em veículos. Estas características somadas à grande população torna São Paulo uma cidade única e interessante no ponto de vista geoquímico para compreender os impactos da urbanização.

Este trabalho procura caracterizar os solos superficiais da zona oeste da cidade de São Paulo com o olhar geoquímico, visando avaliar a influência da urbanização sobre este compartimento. Para tal, amostras de solos superficiais foram coletadas na zona oeste de São Paulo de acordo com uma malha pré-estabelecida e foram caracterizadas quanto a sua granulometria, mineralogia (DRX), composição química (ICP-MS) e os resultados foram analisados estatisticamente e espacialmente.

2. METAS E OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver as capacidades de planejamento, estratégia e integração de conhecimentos para contribuir com a solução de um problema real e relevante.

O tema escolhido faz parte de um projeto de pesquisa que está sendo organizado pelas professoras Christine Bourotte e Veridiana Martins e procura compreender o ciclo geoquímico dos elementos no contexto urbano da cidade de São Paulo. Além disso, este trabalho está articulado ao projeto de Iniciação Científica (Programa Unificado de Bolsas da USP) desenvolvido pela autora de 2015 a 2016 e intitulado *Caracterização físico-química, mineralógica e da fração solúvel de poeira de rua e implicações ambientais*, relacionado a linha de pesquisa da orientadora e um projeto FAPESP (Nº 2010/20835-1) atualmente finalizado. Os resultados obtidos pela Iniciação Científica foram apresentados no 24º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP, 48º Congresso Brasileiro de Geologia e 16º Congresso Brasileiro de Geoquímica.

Neste contexto, o presente trabalho visa a caracterização física e química dos solos superficiais urbanos, que consistem em um compartimento ambiental pouco estudado anteriormente na cidade de São Paulo.

Para cumprir as metas do trabalho de formatura, dentro do tema escolhido foram elencadas as seguintes metas específicas:

- Caracterização granulométrica dos solos superficiais.
- Estudo da composição mineralógica dos solos superficiais.
- Quantificação dos elementos-traço nos solos superficiais.
- Avaliação da variação espacial das concentrações de elementos-traço na área de estudo, levando em consideração múltiplas variáveis, como geologia, pedologia, clima, uso e ocupação do solo e história de ocupação.
- Discussão da origem dos elementos-traço quantificados e das implicações ambientais.

3. TRABALHOS PRÉVIOS

3.1. Geoquímica dos solos urbanos

Os estudos geoquímicos em ambientes urbanos têm investigado a caracterização química e física de matrizes sólidas (e/ou material particulado), como solos superficiais, solos, poeiras domésticas (poeira acumulada em ambientes internos como em casas e sótãos), poeira de rua, sedimentos, particulado atmosférico, entre outros; ou líquidas, como águas de escoamento superficial, águas de chuva, rios e lagos.

Em 2016 ocorreu o primeiro encontro do Urban Geochemistry Working Group, (grupo de trabalho de geoquímica urbana) da International Association of GeoChemistry (IAGC). Neste encontro, pesquisadores de várias localidades do mundo se reuniram com o objetivo de discutir, sintetizar as informações já existentes e estabelecer perspectivas para esta temática. Entre as metas propostas estão os objetivos de reconhecer as variáveis de tempo e espaço que regem a presença de substâncias e contaminantes em ambientes urbanos, distinguir e quantificar os vetores de transferência, fontes e destino e finalmente integrar os estudos no contexto global das mudanças climáticas (Chambers, et al., 2016).

Na Europa, os autores Demetriades e Birke (2015A) propuseram métodos para o mapeamento geoquímico de ambientes urbanos com o objetivo de aliar todas as pesquisas relacionadas ao tema para fins de comparações ou integração dos conhecimentos e dados obtidos. Os autores avaliam os estudos da geoquímica urbana nas diversas cidades européias como um passo para compreender melhor o ambiente urbano e as consequências das atividades humanas.

Os solos urbanos são de grande importância para o contexto da geoquímica urbana. Além de promoverem a integração entre os diversos compartimentos ambientais (tais como particulado atmosférico, poeiras de rua e sedimentos urbanos), os solos estão em contato direto com o cotidiano dos habitantes das cidades (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

Os solos são os produtos da pedogênese sobre material rochoso intemperizado que não sofreu erosão. Atualmente está bastante claro dentro da ciência da pedologia que os solos não herdam exclusivamente as características da rocha pretérita, mas são respostas de processos geoquímicos supérgenos relacionados à vegetação, clima, topografia e biosfera. A pedogênese é capaz de reorganizar ao longo do tempo os materiais superficiais da crosta, resultado de um processo que exige duração temporal e promove uma estrutura própria. Dentro deste contexto são formados quatro horizontes principais classificados de A a C, sendo A e C os horizontes de transição, respectivamente, para a camada orgânica superficial (também chamado de horizonte O) e para a rocha propriamente dita. O horizonte B é o solo em essência, composto predominantemente pela fase mineral resultada da alteração intempérica química da rocha, com argilas e hidróxidos de ferro e alumínio (Lepsch, 2010).

Apesar de ser um processo único, a pedogênese pode formar solos diversos, com características distintas de textura (arenosa, argilosa), cor (vermelho, amarelo, cinza), estrutura (maciço ou em horizontes) e quantidade de matéria orgânica. Para tanto, a pedogênese conta com os processos importantes de perda, ganho, transformação e transporte de material (Lepsch, 2010).

Para avaliar a composição geoquímica de um solo natural, grande parte dos estudos se concentram na análise do horizonte B dos solos, um vez que representa de forma mais significativa os processos de alteração, retirada e colocação de materiais durante a pedogênese. Entretanto Reimann e Caritat (2005) discutem o quanto os resultados das análises nesse perfil podem variar de acordo com a profundidade da amostragem e a forma de tratamento estatística empregada. Os autores afirmam que para uma determinação certa de que uma área está ou não contaminada, ou seja, apresenta concentrações de substâncias superiores ao fundo geoquímico (ou *background*) natural, o local deve ser amplamente estudado para compreender como todos os processos agem sobre a superfície terrestre local.

Reimann e Caritat (2005) demonstraram que parte das elevadas concentrações de elementos-traço no norte europeu, não é causada por fatores antrópicos, mas podem variar entre processos pedogênicos, biogênicos, supérgenos ou geológicos. A distinção entre a origem natural ou antrópica de teores elevados não é tarefa fácil. Os autores ressaltam que os fatores de enriquecimento, comumente utilizados para este fim, não demonstram eficácia, e que portanto comparações a partir do mapeamento geoquímico da área seriam o melhor caminho para dar maior pertinência às análises.

As atividades das cidades podem promover diversas situações atípicas ao ambiente capazes de alterar os ciclos biogeoquímicos locais. Conseqüentemente as atividades urbanas podem ser em muitos casos a resposta para anomalias de determinadas substâncias em um solo. Exemplos de situações atípicas causadas em atividade comuns às cidades são as alterações climáticas (inversões térmicas, mudança nos regimes de chuvas, chuvas ácidas), mudanças físicas (retirada e colocação de materiais para terraplanagem, a impermeabilização do solo ou o depósito de lixos) e mudanças biológicas (retirada ou troca da vegetação).

A dificuldade de tratar estes solos em ambientes urbanos se estende para além do desconhecimento de suas propriedades geoquímicas. Wong, Li e Thornton (2006) afirmam que os solos superficiais urbanos frequentemente são constituídos por uma mistura de solos ou estão remexidos de forma que não apresentam o perfil pedogenético natural. Dessa forma não apresentam relações com o substrato geológico, mas constituem um substrato exclusivo do ambiente urbano.

3.2. Elementos-traço em solos superficiais urbanos

Os solos urbanos possuem peculiaridades que os distinguem dos solos naturais em geral. Devido à grande população humana que habita e circula sobre estes terrenos, grandes quantidades de solos e sedimentos são removidos, colocados ou remexidos para construção de infraestruturas que atendam as necessidades da sociedade. Todas estas mudanças no ambiente promovem a chamada tecnosfera que somada ao aporte passivo em larga escala de materiais estranhos ao ciclo geoquímico natural daquele ambiente, trazidos pelo uso de equipamentos tecnológicos provocam grande impacto sobre o ambiente (Silva et al. 2006).

Nos solos urbanos, as fontes antrópicas de substâncias estão em grande parte relacionadas à materiais de construção para edificações, infraestrutura viária, ao tráfego de veículos, componentes veiculares e processos industriais e de manufatura (Szyrkowska et al., 2009). A proveniência veicular vem sendo comprovada a partir de estudos geoquímicos dos solos superficiais próximos de grandes vias de tráfego (Duarte e Pasqual, 2000; (Szyrkowska et al. 2009; Cannon e Horton, 2009; Rauch e Morrison, 2008; Huang et al., 1994; Alekseenko e Alekseenko, 2014; Jarvis et al., 2001).

Elementos-traço são elementos químicos presentes em baixas concentrações (mg/kg) em solos e plantas (Guilherme, et al., 2005). Podem ter funções biológicas, porém em altas concentrações podem ser tóxicos ao ambiente. Os impactos da distribuição destes materiais somente serão danosos caso as substâncias estejam quimicamente biodisponíveis para entrar nos organismos. O risco à saúde pública, portanto, implica que sua forma física e química além de outras características do meio, como pH, temperatura, condições de umidade e o tipo de solo tratado, sejam favoráveis à absorção pelos seres e a mobilidade destas substâncias (Silva et al., 2006). Consequentemente para determinar o real risco de uma contaminação deve-se avaliar a biodisponibilidade da substância pelos organismos e seus teores nocivos para a saúde (Parizanganeh et al., 2010). Existem indicações por exemplo, de que metais de origem antropogênica liberados em solos possuem uma fitodisponibilidade relativamente maior do que aqueles geogênicos (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

A determinação da concentração primária dos elementos no solo ou fundo geoquímico (*background*) se faz necessária para compreender se trata-se de uma contaminação antrópica ou uma concentração natural, e caso seja antrópica, determinar a proveniência com o objetivo de tratar a contaminação a partir de sua fonte. Chambers et al. (2016) sintetizaram as principais fontes antrópicas de elementos maiores e traços em solos urbanos distinguidas em trabalhos ao redor do mundo. O Quadro 1 sintetiza estas informações juntamente com algumas funções biológicas para seres humanos.

Quadro 1 - Elementos e suas potenciais fontes de distribuição antrópicas. EGP= Elementos do grupo da Platina (Pt, Pd, Rh). ETR =Elementos Terras Raras (La, Ce, Sc, Y). Segundo Chambers et al. (2016) e Silva et al. (2009).

| ELEMENTOS | FONTE | FUNÇÃO BIOLÓGICA |
|-----------|---|--|
| Na | Sal de rua; águas de uso da agricultura (águas residuais) | Manutenção do equilíbrio hidroeletrolítico |
| Ca | Materiais de construção, concreto, cimento, <i>drywall</i> e rochas carbonáticas | Regulação da atividade de membranas celulares |
| Al | Veículos automotores, coagulantes para tratamento de águas | |
| Fe | Aço de construções, peças de veículos automotores | Componente da hemoglobina. |
| N | Combustíveis fósseis, esgoto, águas residuais, fertilizantes | Constituinte de proteínas |
| P | Fertilizantes, detergentes, esgoto, desperdício de comida | Componete de ossos e dentes. Constituinte de ATP (trifosfato de adenosina) |
| S | Combustíveis fósseis, <i>drywall</i> , coagulantes para tratamento de águas | Constituinte de enzimas e tecidos |
| Ag | Joalheria, agentes microbianos, purificação de águas, equipamento medicinal | |
| As | Tratamento de madeiras, pesticidas | <i>Tóxico</i> |
| B | Fibras de vidro, produtos de limpeza | |
| Br | Retardantes de fogo, pesticidas, aditivos de gasolina | <i>Tóxico quando em Br⁻</i> |
| Cd | Baterias recarregáveis, pigmentos e revestimento, fotovoltaicos | |
| Cr | Pintura soldada, sinalizações amarelas de rua, conservantes de madeira, pesticidas | |
| Cu | Freios de veículos, construções ou telhamento, fiação elétrica, PVC, tratamento de madeiras, pesticidas | Constituinte de enzimas |
| F | Aditivo em água para consumo | Manutenção dentária e óssea |
| Gd | Agentes de contraste magnético | |
| Hg | Carvão vegetal, lâmpadas fluorescentes compactas, baterias de botão. | Tóxico |
| Li | Farmacêuticos | |
| Mn | Desgaste de peças automotoras, rejeitos de biocombustão, produção de aço, incineradores | Participa em reações enzimáticas. |
| Pb | Pinturas, gasolina, encanamentos e soldas, baterias automotivas, incineradores de desperdício urbano, produção de cimento | Tóxico |
| Zn | Aço galvanizado, brick, pneus, PVC, incineração de resíduos desgaste de peças automotoras | Constituinte de tecidos e controle de crescimento. Papel no sistema imunológico. |
| Ce, Ni, v | Pinturas em soldas | V- Regulação de enzimas Ni- para controle do crescimento |
| EGP | Catalisadores de veículos | |
| ETR | Tecnologias diversas (catalisadores, baterias, luzes, farmacêuticos e fins medicinais) | La - tóxico |

Alekseenko e Alekseenko (2014) promoveram uma síntese das concentrações médias de elementos químicos em solos urbanos com dados publicados de 300 cidades nos continentes da Europa, Ásia, África, Oceania e América. Os autores acreditam que a determinação das concentrações químicas médias são necessárias para compreender o impacto antropogênico e seus efeitos sobre o desenvolvimento dos organismos vivos. Os dados finais obtidos pelos autores mostram que solos urbanos tendem a ter concentrações maiores para elementos de número atômico grandes (acima de 70 aproximadamente) em relação as concentrações em solos naturais não urbanos e as concentrações médias da crosta. Em compensação, os elementos de números atômicos menores podem apresentar ou não concentrações médias maiores na crosta ou em solos naturais em relação aos solos superficiais urbanos. A Figura 1 apresenta um gráfico onde estão visíveis as concentrações dos elementos químicos de acordo com o seu número atômico para valores da crosta, solos naturais e solos urbanos, com destaque para os elementos com maiores concentrações nos solos urbanos.

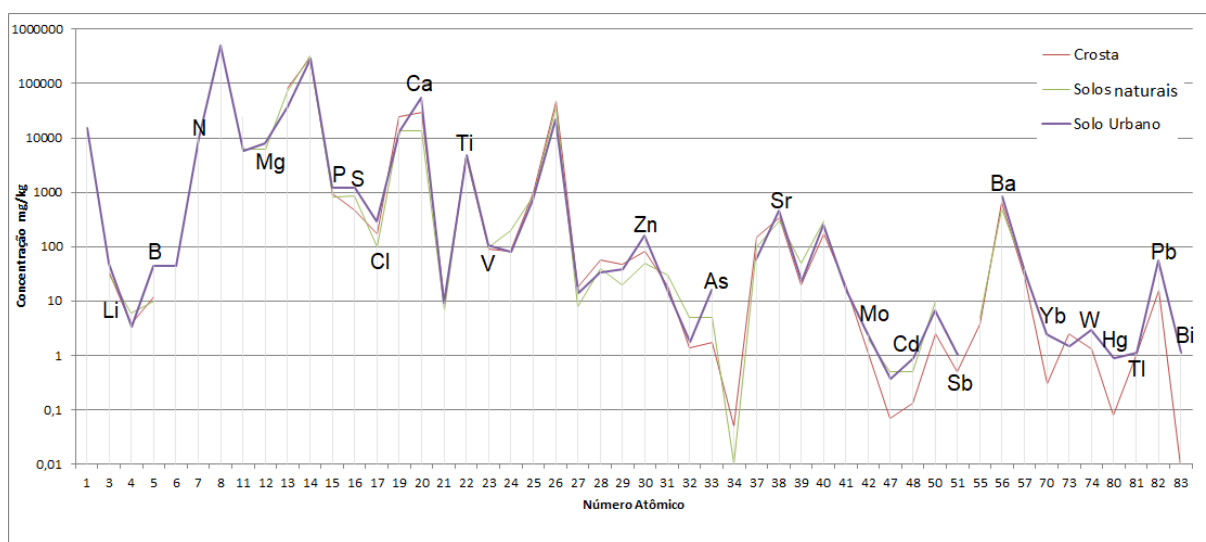


Figura 1 - Gráfico com concentrações médias de elementos químicos na crosta, solos naturais e solos urbanos. Os elementos com maiores concentrações nos solos urbanos estão nomeados. Dados de Alekseenko e Alekseenko (2014).

Contudo, obter concentrações médias de elementos-traço nos solos superficiais urbanos não é suficiente para avaliar dispersão destes elementos e os seus possíveis impactos no ambiente. Desta forma, estudos procuram compreender distribuição das concentrações de elementos-traço a partir da elaboração de mapas geoquímicos.

Um mapeamento geoquímico na cidade de Nápoles, na Itália, foi realizado a partir da análise de 982 amostras e concentrações dos elementos de acordo com suas proveniências. Desta forma, foram identificados diferentes associações de elementos de origem antrópica como chumbo-cobre-zinco, platina-antimônio-chumbo, prata-mercúrio-ouro, de origem geológica como urânio-tório-potássio e relacionados com os processos supérgenos manganês-cobalto-ferro (Albanese, et al., 2015).

O estudo realizado em Berlim, Alemanha, contou com a análise de 4000 amostras de solos coletadas na cidade. Os autores elaboraram mapas de distribuição para a metrópole e categorizaram os elementos em três diferentes grupos também segundo sua origem: I – Antrópogênica, que incluem as fontes oriundas de materiais de construção (Sr, F, La, Y, Ca), de origem industrial (Cr, Mg, Ni, Mn, Co), de transportes (As, Hg), e de compostagem em áreas verdes (Ag, Cd, P); II – Antrópogênicas com acumulações a partir de barreiras geoquímicas naturais, como mudanças no ambiente, que alteram fatores físico-químicos importantes, tais como pH, Eh ou por estímulo biogênico (V, Be, Co, Al, Ba, Ti); e III- Acumulações naturais, que incluem processos geológicos e pedológicos (Na, K, Rb, Al) (Birke e Rauch, 2000).

Em um estudo realizado na cidade de Xuzhou na China, Wang et al., (2005) encontraram solos superficiais com concentrações de metais pesados acima de valores considerados naturais de origem antrópica. A partir de análise estatística multivariável dos resultados, mostraram que metais como Hg, Cr, Sb, As, Bi, Pd, Pt, Au, Ni, Cd, Br, Zn, Cu, S, Pb, Se, Mo, Sc, e Ag eram de origem antrópica, enquanto que Al, Ti, Ga, Li, V, Co, Mn e Be eram provenientes de fontes naturais.

3.2.1. Elementos do Grupo da Platina

Os Elementos do Grupo da Platina (EGP) são platina (Pt), paládio (Pd), ródio (Rd), rutênio (Rh), irídio (Ir) e ósmio (Os). Estes elementos possuem propriedades similares, como condutividade elétrica, caráter catalítico, estabilidade à altas temperaturas e capacidade de formar íons complexos quando solubilizados. Os elementos Ru, Os, Ir e Rh são encontrados em pouco minerais e em quantidades irrisórias, portanto, não são comerciáveis. Já os elementos Rd, Pt e Pd possuem demandas no mercado e seus usos giram em torno da aplicação de pequenas quantidades em compostos especializados de alto valor agregado (Alves et al., 2010).

Sua biodisponibilidade é alta, o que gera riscos para os seres humanos e o ambiente uma vez que são cada vez mais encontrados nos diversos compartimentos urbanos (Rauch e Morrison, 2008). Jackson, Sampson, e Prichard (2007) elencam três principais fontes antrópicas de EGPs no ambiente: os catalizadores automotivos (que representam 39,8% da platina e 80,9% do paládio consumidos no mundo segundo (Johnson Matthey Precious Metals Management, 2016), os efluentes medicinais e industriais, e implantes dentários. Apesar de não elencado como fonte potencial, o ramo da joalheria é responsável por 30,9% e 2,2% do consumo mundial de platina e paládio, respectivamente (Johnson Matthey Precious Metals Management, 2016).

Silva et al., (2009) explicam que estes metais ficam impregnados na superfície dos catalisadores e o desgaste natural destas peças libera partículas metálicas muito finas e angulosas. Os autores também demonstraram que os catalisadores brasileiros não

apresentam concentrações de platina, mas somente paládio, diferente dos catalisadores de outros países. Através de imagens de MEV em catalisadores usados, os autores demonstraram que este objeto se erode com o tempo e perde parte dos metais que o compõem, mas também ganha peso a partir da incrustação de outros materiais em grande parte provindos da combustão.

A presença de partículas antrópicas de EGPs no meio urbano está concentrada em uma faixa de 0-10m a partir da via de tráfego (Jarvis et al., 2001) e em maior proporção nos cruzamentos das vias, onde veículos são obrigados a diminuir ou parar (Jackson et al., 2007). Estes elementos podem ter suas concentrações variando no tempo, fato relacionado às precipitações atmosféricas, pois mais de 30% do paládio em poeiras de ruas e solos superficiais são solúveis e conseqüentemente tem alta mobilidade (Jarvis et al., 2001).

Jackson et al. (2007) propõem um ciclo geoquímico dos EGPs para os ambientes urbanos. No ciclo apresentado, os solos possuem entrada de EGP a partir de particulado atmosférico e da poeira de rua, além disso o solo fornece parte destes elementos às gramas (nome dado por ser a fonte de amostra analisada, mas que abrange a componente de bioabsorção do material). Na Tabela 1 estão apresentados os valores mínimo, máximo e média feitos a partir 277 amostras sintetizados por Jackson et al., (2007) através de diversos trabalhos.

Tabela 1 – Concentrações ($\mu\text{g}/\text{kg}$) de platina e paládio em solos. Compilação de dados de *Jackson, Sampson, e Prichard (2007)*.

| | CONCENTRAÇÕES | | |
|----------------|---|--------------|---------------|
| | ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | |
| | Mínimo | Média | Máximo |
| PLATINA | 0,00 | 20,3 | 330 |
| PALÁDIO | 0,00 | 18,8 | 126 |

3.2.2. Elementos Emergentes

Elementos de baixas concentrações na crosta terrestre vem sendo progressivamente mais presentes no cotidiano das cidades, pois são utilizados em sistemas eletrônicos de alta tecnologia como em aparelhos celulares, sistemas de iluminação, ligas metálicas de alto valor agregado ou até na fabricação de aeronaves. Estes elementos serão chamados neste trabalho de Elementos Emergentes por serem um consumo atual e em ascensão. Entre os elementos aqui discutidos estão o lantânio (La), cério (Ce) e háfnio (Hf), do grupo dos Lantanídeos; urânio (U) e tório (Th), do grupo dos Actinídeos; cério (Cs) e rubídio (Rb), grupo dos Metais Alcalinos; telúrio (Te), um Semi-metal; gálio (Ga), bismuto (Bi), tálio (Tl), germânio (Ge), índio (In) e escândio (Sc) dos elementos Pós-transição; e o nióbio (Nb), tântalo (Ta),

rênio (Re) ítrio (Y), vanádio (V) e tungstênio (W), dos metais de transição. Os elementos do grupo dos lantanídeos junto com escândio e ítrio formam os chamados Elementos Terras Raras (ETR), que possuem propriedades físico-químicas semelhantes e são comumente discutidos de forma integrada.

Nas pesquisas em geoquímica urbana, os elementos emergentes não são somente estudados devido a sua presença crescente no cotidiano da população, mas porque estão sendo detectados nos diversos compartimentos ambientais em concentrações superiores as naturais e não são completamente compreendidos quanto aos seus impactos e conexões com o ambiente (Wang e Liang, 2015).

Parte destes elementos são chamados de TCE - *technology-critical elements* (elementos tecnologia-crítica) por uma ação que une cientistas da União Européia. São compostos pelos elementos La, Ce, Te, Ga, Tl, Ge, In, Nb, Ta e Y, quantificados neste estudo, mais os elementos Rh, Os, Ir, Ru, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb e Lu. O grupo de estudo propõem três principais focos de trabalho: superar os desafios dos procedimentos analíticos relacionados aos TCE, uma vez que atualmente não são estabelecidos procedimentos claros para sua determinação e as suas quantificações são caras, inviabilizando monitoramentos; compreender os ciclos biogeoquímicos dos TCE, que consistem não somente em quantificar e entender as interações ambientais, como também ajudar em questões de exploração, extração, manufaturação e reciclagem dos TCE; e por último compreender a toxologia dos TCE para com humanos e ecossistemas, além de estabelecer mecanismos de ação para remediar futuros casos de exposição a estes elementos (Cobelo-García, et al., 2015).

Elementos Terras Raras - ETR

Aide e Aide (2012) procuram analisar os ETR como ferramenta para compreender a gênese dos solos, e para tanto estudaram a movimentação destes elementos entre os compartimentos ambientais e os processos que provocam essas movimentações. De acordo com os autores, a dinâmica dos ETR nos solos é complexa e envolve diversos fatores físico-químicos para acontecer e para sintetizar elencam sete caminhos onde os ETR são encontrados e possíveis processos que agem sobre eles (Figura 2). Os ETR, portanto, podem se encontrar adsorvidos nas argilas (1); podem sofrer uma complexação inorgânica e dessa forma ou serem incorporados a colóides inorgânicos (2) ou serem solubilizados, o que, dependendo das condições do solo permitem que permaneçam nos solos em soluções aquosas como íons inorgânicos (3) ou sejam precipitados em sais complexos (4); podem sofrer uma complexação orgânica, o que os permite solubilizar e dependendo das condições permanecer nos solos na forma de compostos orgânicos (húmus) (5) ou permanecer solubilizados como íon (6); por último pode ser bioabsorvido por plantas (7).

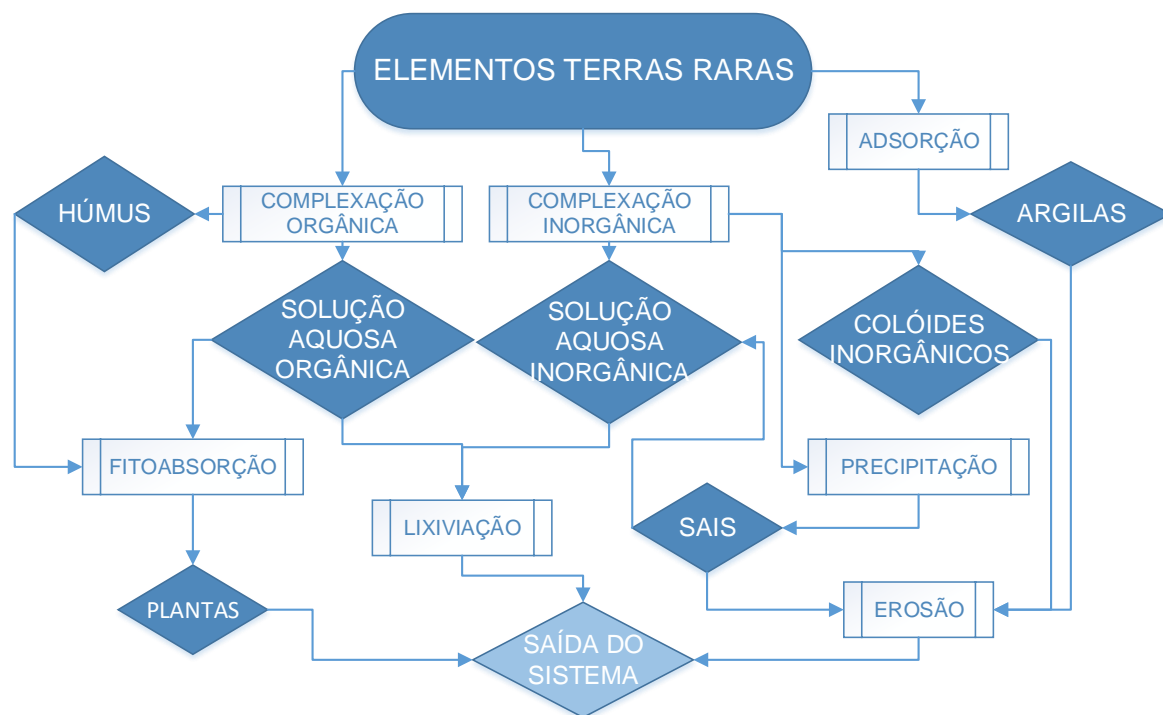


Figura 2 – Fluxos dos Elementos Terras Raras em solos (construído a partir de Aide e Aide, 2012).

A liberação antropogênica de ETR em solos geralmente está associada a mineração (Wang e Liang, 2015). Mas, Huang et al., (1994) analisaram partículas emitidas por veículos na combustão de gasolina à procura de um possível marcador desta atividade, diferente do chumbo (parâmetro comumente utilizado) e concluiu que apesar de serem emitidas partículas que contenham ETR, principalmente concentradas nas frações finas, estes elementos não são bons marcadores de tráfego, já que apresentam concentrações muito baixas e já são encontrados na natureza, principalmente em rochas graníticas e gnáissicas, onde o mineral de maior concentração de ETR é a monazita (Alloway, 1995).

Os solos superficiais urbanos ainda possuem poucos estudos dedicados à quantificação de elementos emergentes e à busca de elementos de suas origem. De Miguel, et al. (1997) e Adachi e Tainosho (2004) avaliaram estes elementos em poeiras de rua e concluíram tratem-se de concentrações naturais provindas do embasamento granítico. Em compensação, no particulado atmosférico Sternbeck et al., (2002) concluíram que a presença de ETR podem ser assinaturas de partículas de aeronaves.

3.2.3. Estudo geoquímico de solos superficiais em São Paulo

Estudos geoquímicos de solos urbanos brasileiros ainda são escassos. Com o objetivo de promover a normalização e fiscalização de áreas contaminadas, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) estabelece valores limites de concentrações de alguns elementos químicos e substâncias orgânicas em solos. Estes índices devem ser capazes de diferenciar solos que mantenham suas qualidades originais daqueles com concentrações

superiores ao natural ou daqueles com teores de contaminantes nocivos ao ecossistema e aos seres vivos. Ao estabelecer estes valores foram levadas em considerações as formas de exposição do solo ao meio, conseqüentemente as diferentes formas de uso do solo resultam em diferentes valores de qualidade, onde terrenos industriais podem apresentar concentrações mais elevadas das substâncias analisadas do que terrenos para moradia ou com fins agrícolas (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2016). Estes índices, não tratam especificamente de solos superficiais, mas solos generalizados e com preocupações especiais para o transporte de contaminantes pelo fluxo subterrâneo de água. Além disso, os índices procuram abranger os solos de todo o estado de São Paulo, não enfocando os mecanismos do cotidiano urbano como fonte de contaminantes.

Os valores da CETESB (2016) estão apresentados na Com enfoque na em solos superficiais na cidade de São Paulo, foram feitos alguns estudos com solos superficiais de parques e avenidas da cidade. Os estudos abrangem os elementos As, Ba, Co, Cr, Sb, Se, Zn, Cu, Pb, V, Ni, U, Th e grupo dos lantanídeos. A Figura 3 apresenta um mapa com os locais onde foram quantificados elementos-traço em solos superficiais na cidade de São Paulo.

e para cada elemento-traço são estabelecidos 3 índices:

- VQR: valores de referência que representam as concentrações naturais esperadas para solos. Amostras com teores acima deste valor estão possivelmente recebendo um aporte externo do elemento.
- VP: Os valores de prevenção são concentrações limites nas quais solos com concentrações abaixo desses índices mantém suas qualidades. Teores acima deverão ser monitorados, pois apresentam um aporte externo possivelmente tóxico.
- VI: o valor de intervenção representa a concentração máxima tolerável, cujos valores acima representam possível risco a saúde pública e ao ambiente e conseqüentemente necessitam de remediação. A CETESB (2016) diferencia este índice de acordo com o uso do solo, com fins agrícolas, residenciais ou industriais.

Com enfoque na em solos superficiais na cidade de São Paulo, foram feitos alguns estudos com solos superficiais de parques e avenidas da cidade. Os estudos abrangem os elementos As, Ba, Co, Cr, Sb, Se, Zn, Cu, Pb, V, Ni, U, Th e grupo dos lantanídeos. A Figura 3 apresenta um mapa com os locais onde foram quantificados elementos-traço em solos superficiais na cidade de São Paulo.

Ribeiro, et al. (2009), Ticianelli et al. (2009) e Ribeiro et al. (2012A) avaliaram as concentrações de elementos-traço de solos superficiais adjacentes a grandes avenidas da cidade e procuram avaliar a influência do tráfego de veículos. No primeiro estudo, com solos superficiais das marginais Pinheiros e Tietê, os elementos Ba, Cu, Pb e Zn apresentaram concentrações acima do índice de normalidade da CETESB. Além disso, o elemento Mo apresenta concentração dentro do padrão esperado, e Zr e S são quantificados, apesar de

não possuírem índices de qualidade. Como conclusão da pesquisa, os autores associaram o enxofre e o bário à queima de combustível diesel, o zinco, cobre e chumbo a lubrificantes e a combustão da gasolina e o molibdênio e o zircônio com o desgaste de peças de veículos.

Tabela 2 – Valores orientadores da CETESB (2016) para metais em solos. Valores em (mg/kg)

| SUBSTÂNCIA | VRQ | VP | VI | | |
|------------|------|-----|---------------------|-------------|------------|
| | | | Agrícola | Residencial | Industrial |
| | | | mg.kg ⁻¹ | | |
| As | 3,5 | 15 | 35 | 55 | 150 |
| Ba | 75 | 120 | 500 | 1300 | 7300 |
| Cd | 0,5 | 1,3 | 3,6 | 14 | 160 |
| Pb | 17 | 72 | 150 | 240 | 4400 |
| Co | 13 | 25 | 35 | 65 | 90 |
| Cu | 35 | 60 | 760 | 2100 | 10000 |
| Cr | 40 | 75 | 150 | 300 | 400 |
| Hg* | 0,05 | 0,5 | 1,2 | 0,9 | 7 |
| Mo | 4 | 5 | 11 | 29 | 180 |
| Ni | 13 | 30 | 190 | 480 | 3800 |
| Ag | 0,25 | 2 | 25 | 50 | 100 |
| Se | 0,25 | 1,2 | 24 | 81 | 640 |
| Zn | 60 | 86 | 1900 | 7000 | 10000 |
| Sb | 0,5 | 2 | 5 | 10 | 25 |

Ticianelli et al. (2009) avaliaram as concentrações de As, Ba, Co, Cr, Sb and Zn em solos superficiais (0-5cm) na Av. Rebouças/Consolação, Av. 23 de Maio, e Av. Tiradentes, três avenidas movimentadas de São Paulo. Os resultados estavam com concentrações acima do limites de intervenção estabelecidos pela CETESB em alguns pontos na cidade para zinco e antimônio e uma ampla distribuição de altos teores de bário. Os autores consideram as concentrações de zinco e antimônio como de proveniência veicular, porém discutem a proveniência do bário como natural ou de compostos organometálicos adicionado para redução de fumaça na queima de combustíveis em veículos.

O estudo de Ribeiro et al. (2012), sintetiza o apresentado pelos dois outros trabalhos e adiciona dados da Av. Jacu Pêssego e Av. Radial Leste. Para todas as avenidas são discutidas os teores de As, Ba, Co, Cr, Sb e Zn encontrados. Os autores, a partir de análise estatística concluem que o Ba e Zn estão associados e são originados da fundição do cobre, uso de substâncias agrícolas, incineração de resíduos ou produção de aço, vidro ou madeira prensada.

Figueiredo et al. (2011A) e Figueiredo et al. (2009A) estudaram os solos superficiais em parques públicos da cidade de São Paulo, além de uma série de 4 trabalhos apresentados no

INAC de 2007 que caracterizaram de forma mais detalhada os valores de metais nos solos dos parques Ibirapuera (Figueiredo et al., 2007), Buenos Aires (Gumiero et al., 2007) Aclimação (Pavese et al., 2007) e Alfredo Volpi (Camargo et al., 2007). Os dois primeiros estudos incluem análises de solos dos parques do Carmo, Chico Mendes, Cidade de Toronto, Guarapiranga, Luz, Raposo Tavares, Raul Seixas, Rodrigo Gáspari, Trianon e Vila dos Remédios.

No trabalho de Figueiredo et al. (2011A) foi demonstrado que existe uma relação positiva entre a concentração dos elementos e o tempo em que estão expostos ao tráfego de veículos, conseqüentemente os solos próximos aos bairros centrais de São Paulo apresentavam valores maiores de concentração. Além disso, o estudo verificou que os elementos As, Ba, Cr e Zn estão em concentrações maiores que os limites de normalidade da CETESB, o que indica possíveis ações antropogênicas e a necessidade de monitoramento das áreas.

Em Figueiredo et al. (2009A), os elementos Cu, Sb e Pb foram adicionados aos dados apresentados e estes elementos também apresentam concentrações superiores aos índices de normalidade da CETESB. Além disso, foram confeccionados mapas com linhas de isoconcentrações dos elementos. A partir dos mapas, é possível perceber que os focos de maiores teores de metais estão próximos ao centro, com maiores concentrações para os parques Buenos Aires e Trianon para As, Ba, Cr e Pb, e no Parque da Luz para o Zn, e Aclimação e Ibirapuera para Cu e Sb.

As concentrações de vanádio nos parques de São Paulo foram avaliadas por Figueiredo et al. (2011B). Todas as concentrações encontradas para o elemento estão acima da normalidade proposta pela CETESB. Os autores também afirmam que o vanádio provém da combustão dos carros uma vez que apresenta maiores concentrações nos parques mais centrais: Aclimação, Buenos Aires e Trianon.

Morcelli (2004), Ribeiro et al. (2012B), fizeram estudos sobre EGPs nos solos superficiais próximos a avenidas de São Paulo e revelaram concentrações maiores do que as concentrações normais para a crosta terrestre segundo Wedepohl (1995). Também foi observada uma relação direta entre as maiores concentrações e proximidade com as vias de tráfego. Entretanto a diferença temporal entre os estudos revela um aumento significativo dos valores de concentração de elementos do grupo da platina, no qual o estudo de 2011 apresentou valores que chegaram a ser 7 vezes maiores do que o de 2004 para o paládio e até 12 vezes para a platina. Por outro lado, a razão entre as concentrações de platina e paládio se mantiveram próximas, com valores de 0,3 em média.

Figueiredo et al. (2009B) determinam as concentrações de ETR nos solos dos mesmos parques analisados por Figueiredo et al. (2011). Os elementos foram normalizados de acordo com as concentrações em condritos e os resultados não se mostraram enriquecidos, e conseqüentemente não foram encontradas relações com um aporte veicular, mas as

concentrações encontradas devem estar contidas nas rochas sedimentares terciárias da Bacia de São Paulo.

Por último, o trabalho de Ticianelli et al. (2013) estuda as concentrações de U, Th e elementos do grupo dos lantanídeos em solos de avenidas de São Paulo (mesmas que Ribeiro et al., 2012). Os valores foram comparados à estudos brasileiros (concentrações inferiores de U, mas similares de Th) e trabalhos internacionais, (valores estrangeiros inferiores aos nacionais). Mesmo com esta distinção entre os valores comparados, os autores acreditam em uma proveniência geogênica. Os valores de lantanídeos normalizados de acordo com os valores de condritos mostraram fatores de enriquecimentos que não ultrapassam o valor de 2, conseqüentemente não são valores altos e os autores afirmam que não são provenientes de fontes antrópicas, mas sim geológicas.

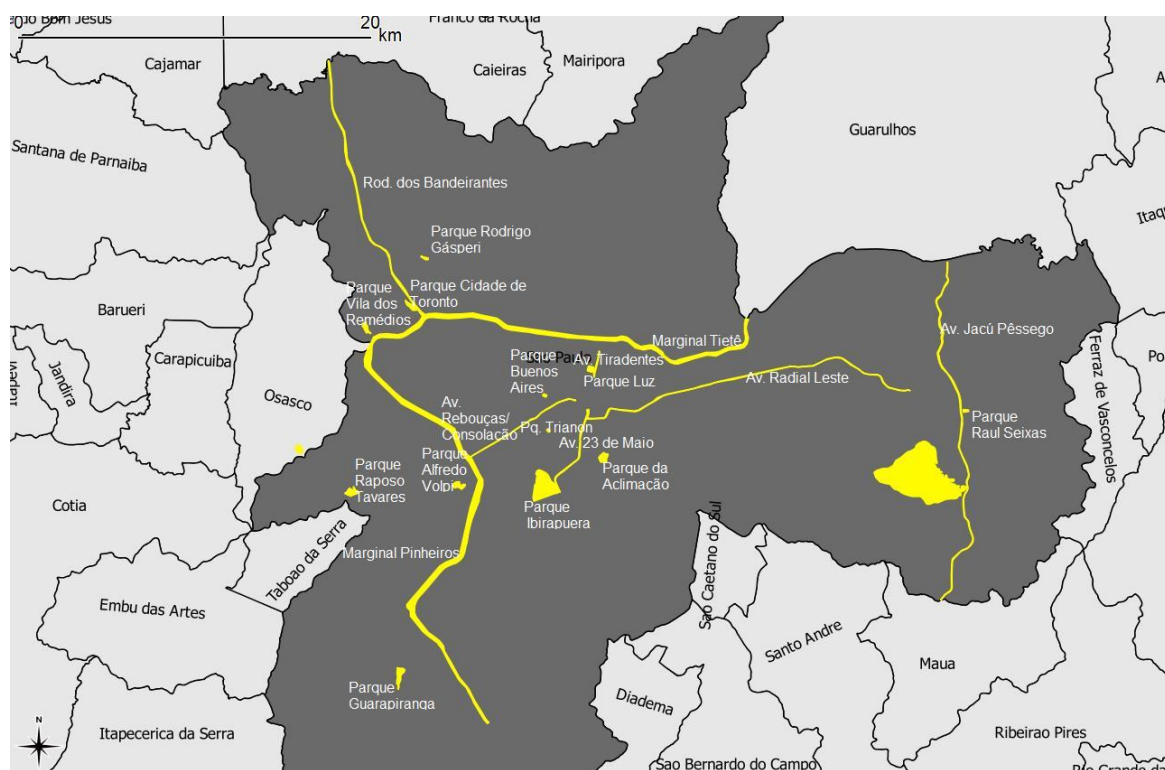


Figura 3 – Localização das áreas de estudo prévias da cidade de São Paulo.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Compreender as especificidades da área de estudo pode ser determinante para a boa análise dos dados obtidos. O contexto urbano apresenta características determinantes que devem ser cuidadosamente investigadas, uma vez que interagem entre si de forma peculiar. O contexto geológico, pedológico e climático promovem informações importantes sobre a situação onde está inserido o trabalho, assim como a dinâmica de urbanização da cidade e seu histórico de ocupação (Filippelli et al., 2015).

São Paulo é a capital do Estado de São Paulo, o município brasileiro de maior impacto econômico mundial e responsável pelo maior percentual municipal de contribuição para a economia brasileira com 10,7% do PIB no ano de 2013 (IBGE, 2013). Devido ao seu grande desenvolvimento industrial, comercial e de serviços financeiros, a cidade atrai não somente investidores e capital econômico, como também uma grande população.

A cidade, fundada em 1554 por padres jesuítas começou como base para partida das Bandeiras e desenvolveu um histórico de habitação mais intenso somente depois do século XIX com a expansão da cafeicultura. Esta última promoveu uma intensa imigração europeia e posteriormente a emigração de pessoas providas de outros estados brasileiros.

A população estimada pelo IBGE para a cidade de São Paulo para 2016 é acima de 12 milhões de habitantes, o que faz dela a maior população do Brasil e estar entre as 10 maiores do mundo. Desta população 99,1% é urbana, o que implica em uma grandes infraestruturas para abrigar e fornecer as necessidades para todos os habitantes. Obras de saneamento básico, abastecimento de água e a grande quantidade de edifícios e construções civis afetam o meio ambiente criando interações específicas deste meio.

Um aspecto importante para São Paulo está relacionada a sua frota de veículos automotores. A mobilidade na cidade se dá em grande parte pelo transporte individual por veículos automotores. A frota municipal é extremamente elevada, com 7.805.127 veículos registrados em 2016 (IBGE, 2016). As consequências da quantidade de veículos se refletem na qualidade de vida dos habitantes e na qualidade dos compartimentos ambientais, tais como a atmosfera e a poluição do ar oriunda da queima de combustíveis e do tráfego veicular e a impermeabilização do solo com a colocação de asfaltos e construções.

Um destaque pode ser dado à grande impermeabilização do solo no meio urbano. Esta não conta somente com a pavimentação das vias de locomoção, como também com a construção de moradias e edifícios que retiram os solos expostos para colocação de calçamentos. Jacintho et al. (2009) em um estudo através de sensoriamento remoto, chegaram a estimativa de que nas regiões mais urbanizadas da cidade de São Paulo a impermeabilização do solo varia entre 53,7% e 84,3%.

A dimensão da área impermeabilizada reflete diretamente no escoamento superficial, na qual grandes quantidades de água não são absorvidas pelo solo, provocando não somente a alteração do ciclo hidrológico e conseqüentemente do clima, como também o transporte de

poluentes depositados sobre o substrato impermeabilizado diretamente para os canais e rios das cidades. Os impactos da impermeabilização do solo urbano, portanto se refletem no aumento significativo de substâncias anômalas nos rios urbanos (Martínez, 2010).

As áreas onde ainda estão expostos solos na cidade de São Paulo são em geral parque, praças, quintais e canteiros de ruas e avenidas. Cada local será afetado de forma distinta pela urbanização. Os solos em parques, por exemplo, estarão mais afastados do tráfego de carros, enquanto os canteiros de ruas receberão grande aporte de materiais desta fonte. Ao mesmo tempo, a cidade possui áreas com diferentes ocupações e usos que refletirão de forma distinta na distribuição de elementos-traço.

4.1. Urbanização

A localização de São Paulo aconteceu devido à combinação de marcantes aspectos físicos, geográficos e políticos que se deram ao longo da história. Inicialmente a instalação da Vila de São Paulo no planalto de Piratininga foi realizada devido a sua topografia que permitia a vigilância de possíveis ataques indígenas, e a proximidade com o Rio Tamanduateí que permitia a fácil obtenção de água. Estes aspectos entretanto poderiam ser encontrados em outras localidades próximas, como na Vila de Santo André, porém foram as políticas diferenciadas da câmara municipal local de aproximação com os indígenas que permitiu um desenvolvimento mais tranquilo da vila paulistana em relação à outras ao redor, uma vez que estas promoviam a escravização de indígenas e conseqüentemente sofriam constantes ataques de tribos.

Estas vilas vivam essencialmente da cultura extrativista até séc. XVIII, e, posteriormente com o avanço da exploração de ouro em Minas Gerais e a instalação do porto de Santos, a localização geográfica de São Paulo foi ideal para garimpeiros e para o transporte do minério (séc. XIX). Em 1823 São Paulo se torna uma Cidade Imperial onde foi instalada a Academia de Direito do Largo São Francisco em 1827 em grande parte financiada pela cultura do açúcar e do café que começava a se instalar na zona rural. Em meados do séc. XIX indústrias de tecidos, chapéus e sabões se instalaram na cidade e no final do século a imigração italiana aumentou consideravelmente a população, que chegou a 240 mil habitantes, 8 vezes maior do que 30 anos antes (Rodríguez, 1998). Na Figura 4A é possível distinguir o território ocupado até 1881, logo antes desta grande expansão populacional e a posterior ocupação rumo às periferias.

O grande e rápido aumento populacional ocorrido até 1900 exigiu atitudes dos governantes para lidar com os problemas de infraestruturas urbanas. Foi em 1886 o primeiro código de obras do Município que previa regulamentação das obras de saneamento e higiene e a criação de maior infraestrutura viária, com a abertura de ruas e loteamentos. Entretanto, muitas obras de infraestrutura urbana estavam mais preocupadas com o embelezamento da cidade do que com o real planejamento da urbanização e adequação das áreas ocupadas.

A partir da metade do séc. XX a cidade passa a ser um polo industrial e conta com 2 milhões de habitantes, as prefeituras passam à investir massivamente em obras de infraestrutura viárias tanto para escoamento de carga, quanto para a mobilidade urbana, cujo plano consistia na criação de avenidas radiais a partir do centro com a construção de grandes corredores como a Av. 23 de maio, Av. Nove de Julho, Av. do Estado e a Av. Cruzeiro do Sul. As planícies às margens dos rios Pinheiros, Tietê e de seus afluentes eram terrenos úmidos e alagadiços, e conseqüentemente não habitados, dessa forma foram escolhidos para comportar o plano urbanístico que promoveu a canalização e retificação dos rios. (Ferraz et al., 2009)

Em 1975, depois de sérios problemas sanitários e urbanísticos, o governo do Estado de São Paulo cria a EMPLASA (Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo Sociedade Anônima) com o objetivo de formular e auxiliar nas diretrizes de desenvolvimento da região metropolitana. A cidade de São Paulo antes de grande foco industrial passa para principal polo financeiro sul-americano, o que provoca que fábricas e indústrias sejam realocadas para cidades interioranas do Estado e os bairros onde eram encontradas passam a ter moradias ou se tornarem centros comerciais (Barra Funda, Mooca, Bexiga, Vila Leopoldina, etc.). Além disso, a verticalização das moradias concentra cada vez mais a população em áreas cada vez menores trazendo problemas para questões de mobilização urbana (Rodriguez, 1998).

A Figura 4B apresenta os diferentes tipos de uso e ocupação do solo para cidade de São Paulo. A partir do mapa é possível perceber que São Paulo possui seu terreno fragmentado em diferentes usos e entre eles os residenciais, industriais e comerciais que podem ser subdivididos em categorias, como por exemplo as edificações entre horizontais e verticais, ou de baixo e alto padrão, as zonas industriais associadas à armazéns ou serviços. As regiões industriais são claramente controladas pela presença de vias de escoamento de carga terrestre, ou seja, nas proximidades com as marginais ou grande avenidas, enquanto isso, os bairros mais afastados do centro são em geral residenciais horizontais de médio a alto padrão.

Conseqüentemente nas últimas décadas, a cidade não está somente passando por um aumento do território urbanizado, mas também está constantemente sofrendo alterações na forma de ocupação do solo, como é possível verificar na Figura 4C que apresenta a região central da cidade como macroárea de reestruturação e requalificação em comparação às zonas de ocupação mais recente, que possuem urbanização consolidada ou em consolidação.

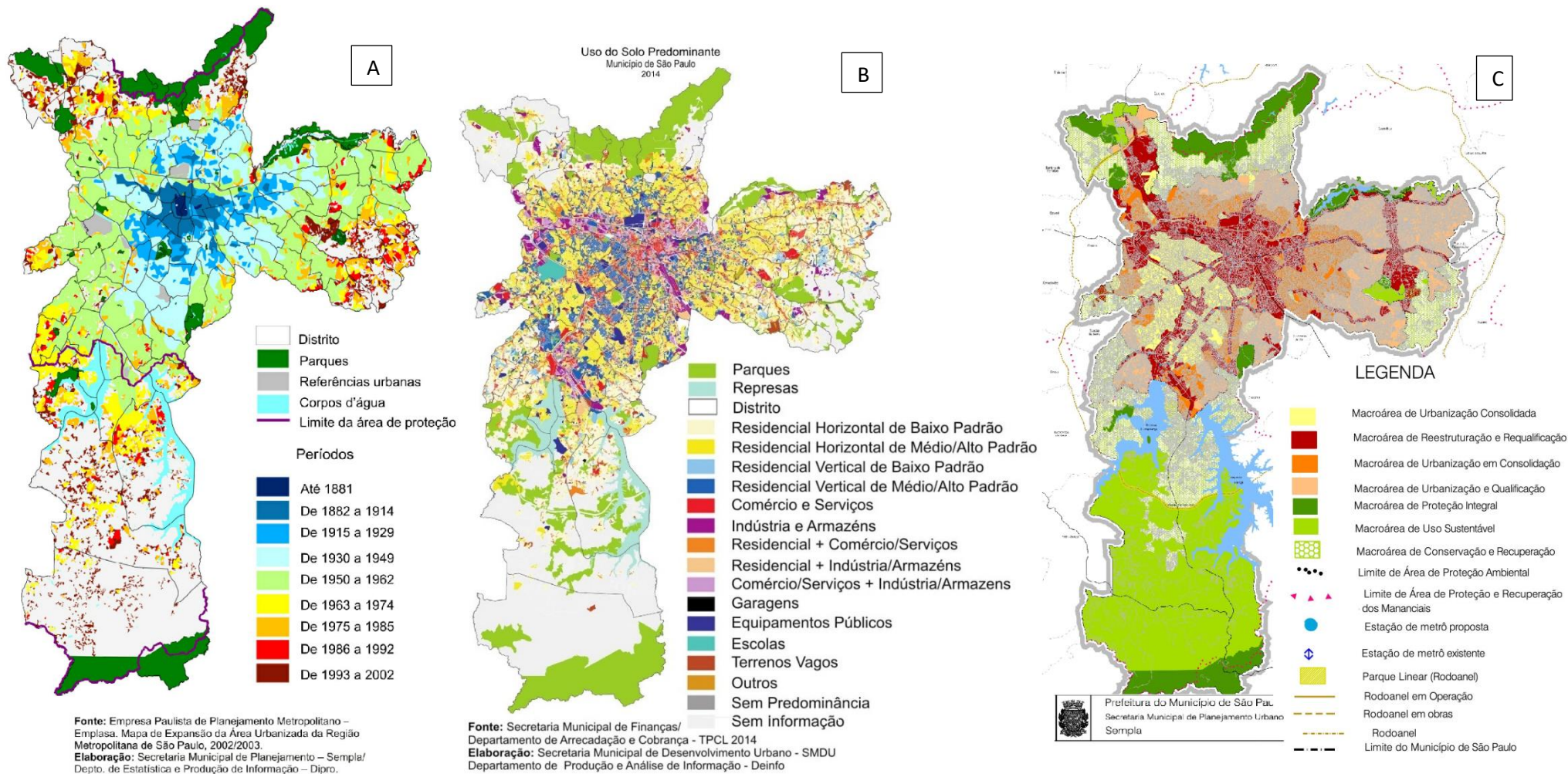


Figura 4 – Mapas urbanísticos de São Paulo. (A) Histórico de urbanização da cidade de São Paulo. (B) Uso e ocupação do solo para a cidade de São Paulo. (C) Zoneamento de São Paulo.

4.2. Geologia

A geologia do município de São Paulo é muitas vezes estudada devido aos aspectos geotécnicos e hidrogeológicos que afetam a vida na cidade (Gurgueira, 2013; Campos et al., 2002). O contexto geológico foi detalhado por Rodriguez (1998) em seu mapeamento em escala 1: 125 000 da região metropolitana de São Paulo. Neste trabalho o autor apresenta as unidades encontradas na região e as descreve dentro do contexto geológico, tectônico e geotécnico definindo áreas de possível deslizamento e enchentes. As principais unidades encontradas estão descritas a seguir, assim como o mapa geológico está exposto na Figura 5.

a. Embasamento pré-cambriano

Complexo Costeiro

Migmatitos e gnaisses graníticos porfiroblásticos milonitizados limitados e norte pela falha de Cubatão. Idade Proterozoico Superior.

Complexo Embu

Corpos de direção NE-SW compostos por xistos, filitos, migmatitos, gnaisses migmatizados e lentes de quartzito, anfíbolitos e rochas calcissilicáticas. Limitado à norte pelas falhas de Taxaquara e Jaguari e a sul pela falha de Cubatão. Embasamento da bacia de São Paulo e Taubaté. Idade Proterozoico superior.

Grupos São Roque e Serra do Itaberaba

Filitos, metarenitos e quartzitos, com ocorrências secundárias de anfíbolitos, metacalcários, dolomitos, xistos porfiroblásticos e rochas calcissilicáticas. Limitado a sul por falhas Taxaquara e Jaguari e pelo complexo Embu e a norte pela falha de Jundiuvira. Idade do Proterozoico médio.

Grupo Amparo

Metassedimentos, rochas gnáissicas e migmatíticas limitadas a sul pelo sistema de falhas Jundiuvira. Idade Tranzamazônica.

Suites Graníticas

Batólitos e stocks de granitoides responsáveis pela sustentação das serras da Cantareira, Itaqui, Itapeti e Caucaia.

b. Sedimentos Cenozoicos das bacias de São Paulo e Taubaté

Formação Resende

Depósitos de leque aluviais, com conglomerados polimíticos, brechas, diamictitos e lamitos com lentes arenosas. Depósitos oligocênicos.

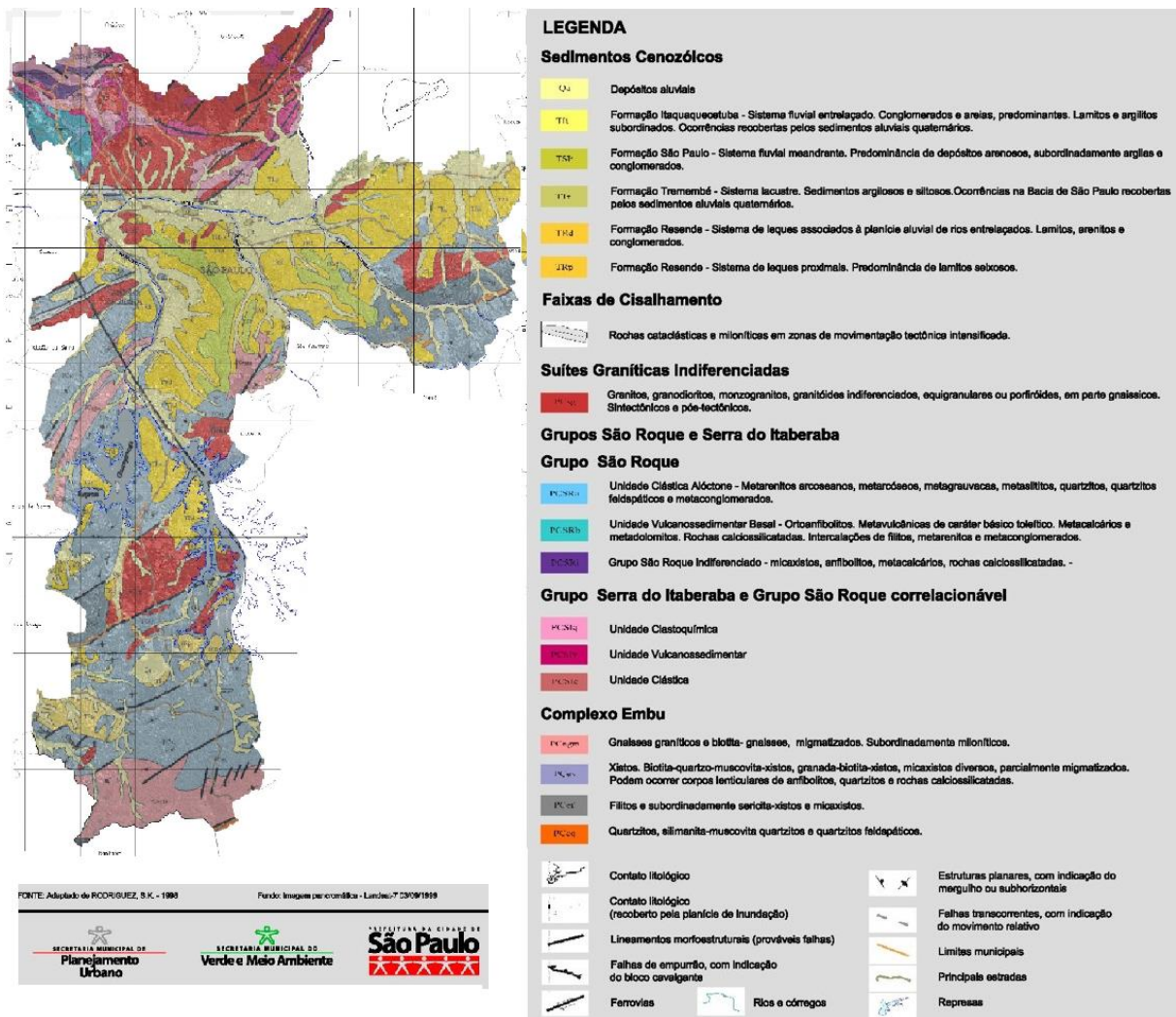


Figura 5 – Mapa geológico da Cidade de São Paulo. Fonte: Prefeitura de São Paulo.

Formação Tremembé

Sedimentos lacustres. Argilitos e rochas argilosiltosa com coloração preta a cinza esverdeadas. Idade Oligocênica.

Formação São Paulo

Sedimentos de sistema fluvial meandrante. Areias grossas a medias que variam para siltes e argilas. Apresentam couraças lateríticas que sustentam o espigão central de São Paulo. Idade Oligocênica.

Formação Itaquaçecetuba

Sedimentos fluviais entrelaçados. Areias médias a grossas, mal selecionadas de estratificação cruzada acanalada e tabular, com níveis conglomeráticos e lamíticos.

Sedimentos Quaternários

Sedimentos atuais trazidos pelos rios Tietê e Pinheiros, com depósitos mais antigos datados do Plesitoceno.

c. Tectônica

A Bacia de São Paulo e Taubaté estão inseridas no contexto da tectônica terciária pertencentes ao Rifte Continental do Sudeste do Brasil. Dessa forma, as bacias sedimentares

se desenvolveram sobre rochas metamórficas, em grande parte do Complexo Embu, mas também sobre os granitóides das suítes intrusivas presentes na região.

As principais feições estruturais são zonas de cisalhamento com direções ENE, como as falhas de Jundiuvira, Taxaquara, Jaguari, Parateí e Cubatão, que são condicionantes para a sedimentação das bacias de São Paulo e Taubaté devido a sua característica dextral provocando grande feições transpressionais e sua reativação após o Jurássico.

4.3. Pedologia

O estudo pedológico na cidade de São Paulo é dificultado pela questão da ocupação urbana, uma vez que os solos sofrem constantes modificações, como terraplanagens, aterros e construções diversas, que os remexem, e alteram os perfis de alteração. Devido a esta dificuldade, a IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) em seu mapa pedológico do estado de São Paulo (Oliveira et al., 1999), classifica a maior parte do território da capital como área urbanizada, sem qualquer classificação ou distinção pedológica.

Contudo, a preocupação geotécnica na cidade é constante, uma vez que para fins de construções civis e prevenção de desastres, o conhecimento das propriedades do subsolo são essenciais. Dessa forma, o mapa de Maciços e Rochas realizado pelo SEMPLA – SVMA, ilustra de melhor forma os solos presentes na cidade, mesmo que sempre relacionando com o substrato geológico e o comportamento geotécnico (Figura 6).

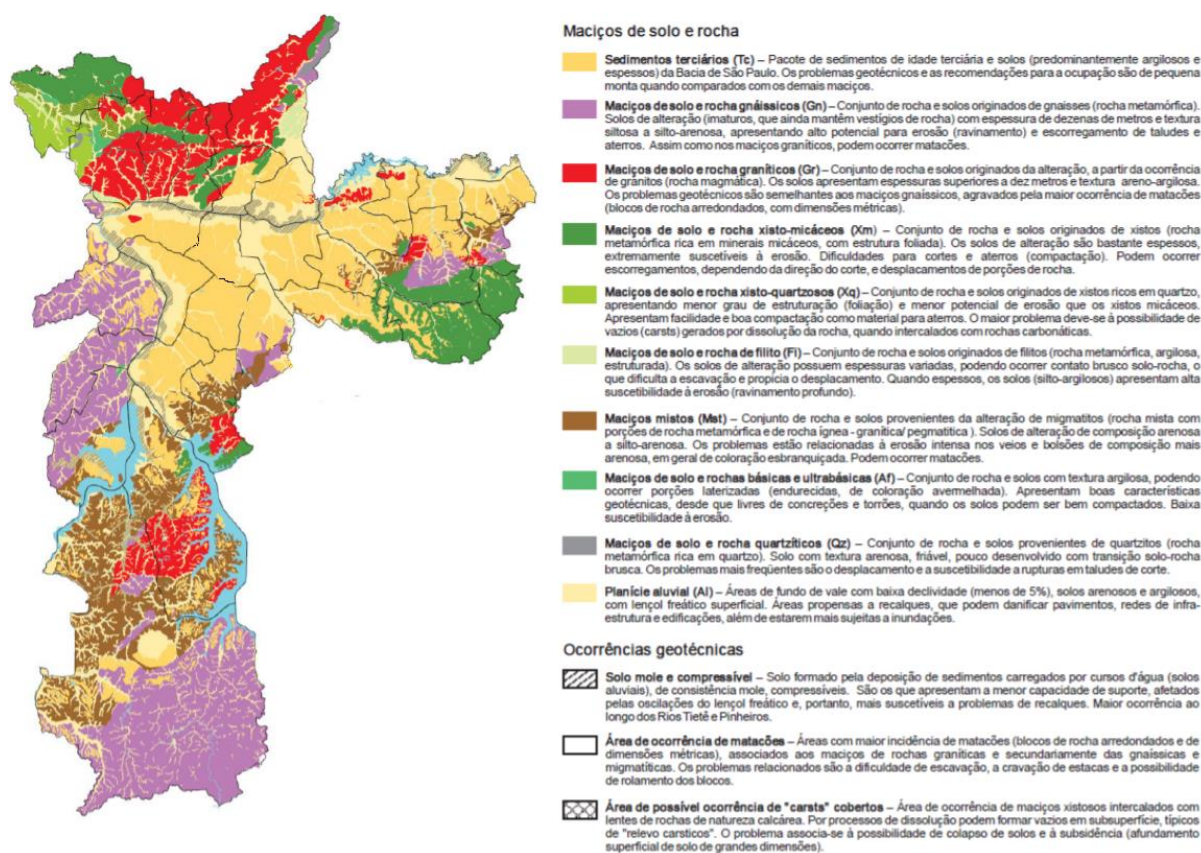


Figura 6 - Mapa de maciços de solo e rocha SEMPLA-SVMA.

A zona oeste de São Paulo e, conseqüentemente, os pontos de coleta deste trabalho, apresentam três das classificações encontradas no mapa, a de Sedimentos terciários (Tc), onde se encontram sedimentos da Bacia de São Paulo e seus solos derivados; Maciços de solos e rochas gnaissicas (Gn), com solos imaturos de textura siltosa e silte-arenosa de espessuras maiores; e Planície aluvial (Al), onde estão sedimentos trazidos pelo rio Pinheiros e seus afluentes de granulometrias arenosas e argilosas.

4.4. Clima

Ao longo das últimas 7 décadas o clima na cidade de São Paulo tem mudado devido às modificações do ambiente. A intensa urbanização que ocorre na cidade promove alterações nos regimes pluviométricos, sendo esta a maior preocupação nas políticas públicas municipais, entretanto alterações nos níveis de qualidade do ar também são significativas.

Os parâmetros a serem analisados a seguir dividem o clima em alguns fatores individuais, porém que possuem relações intrínsecas entre si. São eles a temperatura do ar, a precipitação, a umidade relativa e vento (Comitê Municipal de Mudança do Clima e Ecoeconomia e Grupos de Trabalho de Transporte, Energia, Construções, Uso do Solo, Resíduos e Saúde).

Os dados foram obtidos através de boletins climáticos promovidos pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (Seção Técnica de Serviços Meteorológicos, 2016).

a. Temperatura do Ar

A temperatura do ar na cidade de São Paulo vem apresentando uma leve ascensão conforme os anos. Os dados obtidos na estação climático do IAG-USP no relatório de climático de 2016 apresenta valores registrados desde 1933 e apesar das variações anuais que giram em torno de 2°C, apresenta a linha de tendência média crescente, na qual no início do século XX a média seria de 17°C e hoje de 19°C. A Figura 7A apresenta gráfico onde é possível observar esta variação temporal da temperatura.

a. Umidade relativa do ar

A média climatológica para umidade do ar relativa é de 81,2% para São Paulo. Os valores inferiores a 30% são considerados de baixa qualidade e tendem a acontecer com maior intensidade nos meses de julho, agosto, setembro e outubro. Na Figura 7B é possível observar que a quantidade de dias em que estes índices baixos são atingidos tem aumentado desde 1958 com menos de 15 dias no começo das medições e média de mais de 20 dias anuais nos últimos anos.

b. Precipitação

A chuvas na cidade de São Paulo também apresentam um crescimento das médias anuais apesar da variação intrínseca do fator. O gráfico C na Figura 7 apresenta as médias anuais desde 1933 e é possível observar que até 1950, era raro a existência

de anos em que a média de precipitação superasse os 1500 mm, porém a partir da metade do século este fato além de se tornar comum, foram presenciados anos com médias maiores que 2000 mm. Ao mesmo tempo que a média anual sobe, o número de dias em que há precipitação na cidade decresce (Figura 7D), apesar de os dados não oferecerem uma correlação de confiança significativa, entende-se que os episódios chuvosos se tornaram mais intensos e menos frequentes.

Os valores de precipitação em mm/dia tendem a ter maior intensidade em dezembro, janeiro e fevereiro (verão) e menor valor em nos meses de inverno (jun, jul, ago).

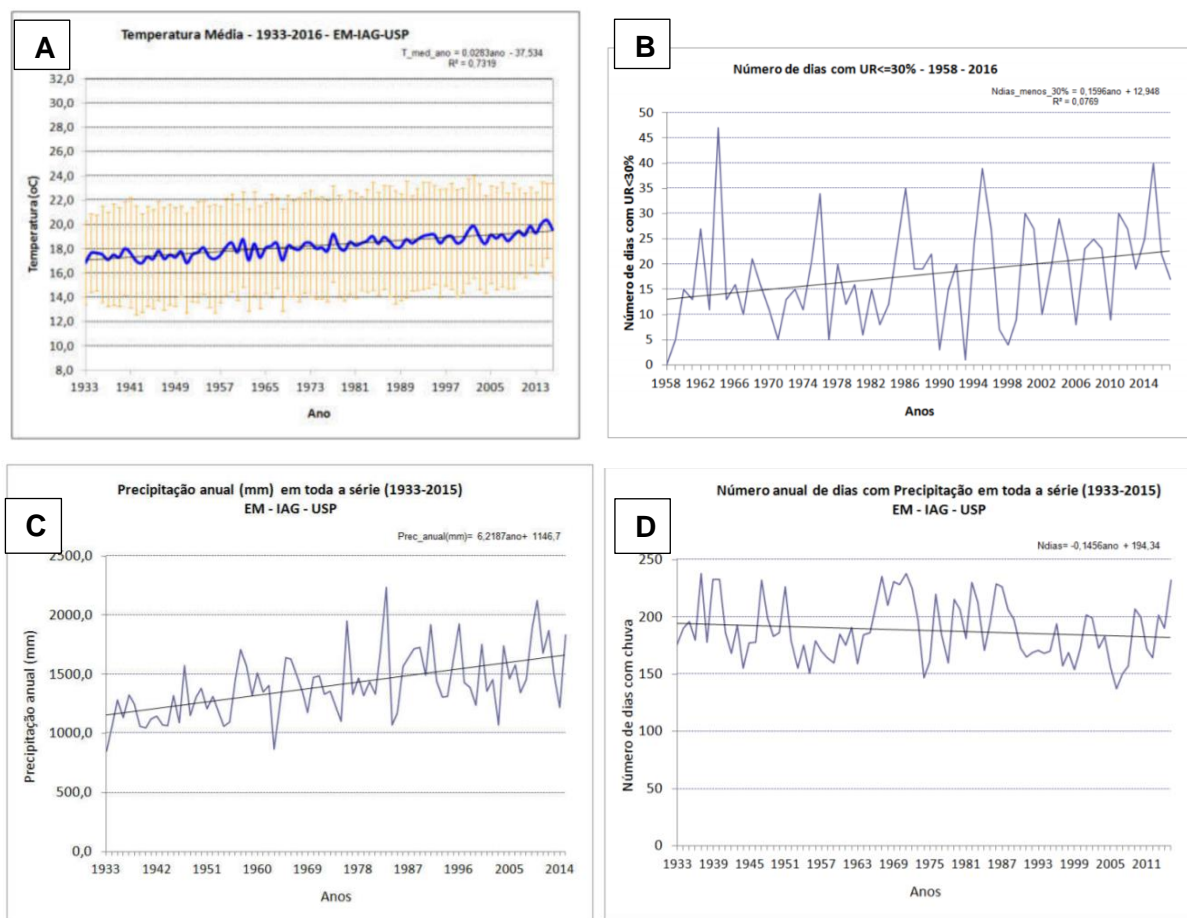


Figura 7 – Caracterização climática da cidade de São Paulo. (A) Média da temperatura em São Paulo (1933-2016). (B) Gráfico com quantidades de dias com umidade relativa do ar abaixo de 30% (1958-2016). (C) Médias de precipitação anual total (1933-2015). (D) Número anual de dias com precipitação (1933-2015). Fonte: Gráficos do Boletim Climatológico IAG/USP (2016).

4.5. Cidade Universitária da USP

A Cidade Universitária da Universidade de São Paulo localizada na zona Oeste de São Paulo possui uma infraestrutura viária bastante ampla com avenidas largas e de boa qualidade. Devido a suas qualidades viárias e proximidade com avenidas externas de grande circulação, como a Av. Escola Politécnica, Av. Corifeu de Azevedo Marques e a Marginal Pinheiros, em média 40 mil veículos circulam por seus limites todos os dias, transportando

cerca de 100 mil pessoas (Prefeitura do Campus da USP, 2016). O campus Butantã da Universidade de São Paulo possui somente 3 entradas para veículos e seu terreno possui um desnível de 75m, com altitudes variando entre 725 e 800m. Contém uma raia olímpica, rio, lago, bosques e uma área bastante arborizada. Apesar disso, com muitos espaços amplos e de boa qualidade, o campus está inserido na cidade de São Paulo e não deixa de ter as características da megalópole.

A unidade territorial da subprefeitura do Butantã, na qual está inserida a Cidade Universitária, apresenta índices de qualidade de meio ambiente bons quando comparados com outras partes da cidade, como 41,32 m² de cobertura vegetal por habitante, comparado com 23,39 m² de Pinheiros e 6,66m² da região da Sé (SMUL/DEINFO, 2015).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho buscou-se usar como referência a metodologia estabelecida pela Associação Geológica Europeia (EuroGeoSurvey), que em 2015 lançou um manual para o mapeamento de solos superficiais em ambientes urbanos (Demetriades e Birke, 2015B).

Os dados obtidos a partir da pesquisa bibliográfica e do trabalho de iniciação científica da autora possibilitaram ampliar o espaço amostral dos resultados e serão discutidos juntamente com os dados obtidos neste trabalho. Os resultados prévios apresentados no Relatório de Progresso e incorporados a este trabalho foram apresentados no XVI Congresso Brasileiro de Geoquímica (2017) e Congresso Brasileiro de Geologia (2016).

Houve problemas com o transporte das amostras para análise química que provocaram que estas não chegassem a tempo para esta monografia. Os resultados da análise química apresentados e discutidos foram coletados previamente.

5.1. Levantamento bibliográfico

Foram levantamento de artigos científicos relacionados com o tema e elaborada uma síntese sobre o estudo de solos superficiais em áreas urbanas, focando o conteúdo em estudos geoquímicos.

5.2. Pontos de amostragem

Foram 11 amostras coletadas no setor oeste da malha de amostragem pré-estabelecida para toda a cidade de São Paulo, durante 3 dias de trabalho de campo. Estes pontos foram nomeados de acordo com a seguinte regra SS+número do ponto+SP.

Além destes pontos de amostragem, foram considerados também os 25 pontos de amostragem de solos superficiais previamente coletados no campus da Cidade Universitária da USP com os quais a autora trabalhou durante a pesquisa de previamente e um ponto de coleta de solo natural e não remexido no interior de reserva da USP, que será considerado como ponto de referência com o objetivo de possuir uma base comparativa entre um solo natural e os solos urbanos. Estes pontos foram nomeados de acordo com a seguinte regra SSUSP+número do ponto, com exceção do ponto de solo natural que não está incluso na numeração e é chamado de SSUSP. Estas amostras apesar de se localizarem na zona oeste de São Paulo, ao longo do projeto poderão ser diferenciadas como amostras da Cidade Universitária da USP, distinguindo-as das amostras que seguem a malha pré-estabelecida da cidade. Estas últimas serão chamadas de amostras da zona oeste de São Paulo.

O total de amostras somam 37 amostras contidas na zona oeste de São Paulo. Os pontos de coleta com as suas características estão apresentados no Anexo 1. A Figura 8 apresenta a localização dos pontos na zona oeste da cidade de São Paulo, destacando os pontos da

Mapa de pontos na zona oeste de São Paulo.

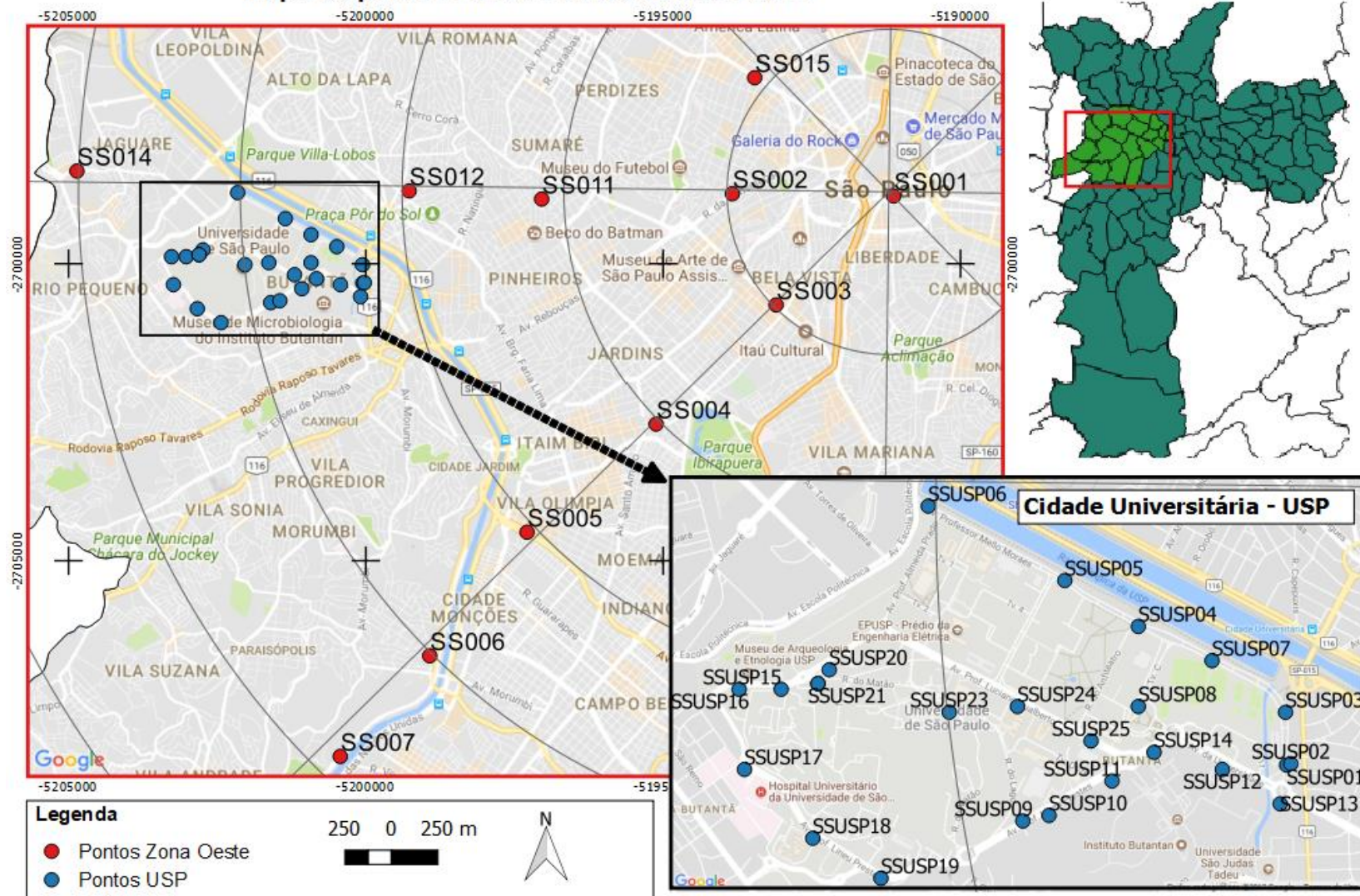


Figura 8 – Mapa de localização de pontos de coleta na zona oeste de São Paulo e na cidade universitária da USP. Fonte: *Googlemaps (2017)*.

cidade universitária e os demais pontos da malha, Já a Figura 9 apresenta 4 pontos de amostragem em contextos urbanos distintos.



Figura 9 – Exemplos de locais de amostragem. (A) SS003SP – Canteiro lateral na Av. Paulista. (B) SS002SP – Canteiro central na Av. Consolação. (C) SS001SP – Praça da Sé, bairro comercial e de serviços. (D) SS011SP – Praça General Oliveira Alvares, em bairro residencial.

5.3. Coleta de amostras na zona oeste da cidade de São Paulo

O processo de coleta contou com registro fotográfico da área e o registro das coordenadas exatas do ponto de coleta por GPS. As características de cada local tais como tipo de ocupação (jardim em área residencial, canteiro em via de tráfego de veículos, praça pública etc.) foram anotadas em caderneta. A coleta foi realizada respeitando um período sem ocorrência de chuva de pelo menos 7 dias consecutivos.

As amostras de solo superficial (0-10 cm) foram coletadas com trado manual em aço inoxidável e auxílio de pás de plástico. A amostra, em cada ponto de coleta, é constituída por 5 sub-amostras coletadas em uma área aproximada de 1,5 m² segundo o esquema apresentado na Figura 10.



Figura 10 – Esquema amostragem composta. Pontos em vermelho representam locais com coleta de solo com trado manual, com 1,5 m de distância entre si. Foto de um furo de 0-10cm de profundidade realizado com trado manual de aço inoxidável (SS015SP) .

5.4. Preparação das amostras coletadas

As amostras foram secadas ao ar livre e os fragmentos orgânicos, como folhas, galhos ou pequenos insetos e outros tipos de materiais, como grãos do tamanho maior que 2,00mm, fragmentos de plástico entre outros, foram retirados manualmente.

As amostras foram quarteadas e separadas em diferentes alíquotas para cada tipo de análise laboratorial. Para a análise química foram separadas duas alíquotas de 5g por amostra homogeneizada, quarteada e peneirada em malha de náilon de 2,0 mm de abertura, sendo uma alíquota da fração fina (<0,062mm) e outra da fração total (*bulk*), posteriormente pulverizadas em almofariz de ágata. Foram separados 50g de amostra homogeneizada e quarteada para a análise granulométrica e a fração argila foi recuperada no final do processo de pipetagem para confeccionar lâminas para serem analisadas por difração de raios X (somente para amostras da zona oeste de São Paulo). As amostras (fração *bulk*) da Cidade Universitária da USP foram pulverizadas em almofariz de ágata para serem analisadas por difração de raios X.

5.5. Análise Granulométrica

A análise granulométrica das amostras foi executada no Laboratório de Sedimentologia do IGc-USP com base nos procedimentos descritos por Melo et al. (2004). Foram utilizados os procedimentos de pipetagem e peneiramento, adequados para amostras com grande amplitude granulométricas.

O primeiro procedimento consistiu com separação das frações finas (<0,062mm) ou seja silte e argila por decantação fracionada em água estacionária no processo de pipetagem. Este método pressupõe a velocidade constante de decantação do sedimento em coluna de água e, portanto, determina a granulometria das partícula com base no seu tempo de decantação no fluido. Para evitar a floculação das partículas finas que alteram a velocidade de decantação, foi adicionado o defloculante pirofosfato de sódio.

Posteriormente foi realizada a lavagem do sedimento no processo de elutriação. Esta etapa tem como objetivo retirar o material fino remanescente na amostra e evitar que se fixe ao redor dos grãos de areia e erroneamente aumentar o tamanho da partícula. As partículas foram secas em estufa depois da elutriação para realização da etapa seguinte.

Por último, o peneiramento em agitador mecânico da faixa de 2,00 a 0,062 mm, foi realizado com 11 peneiras empilhadas com malha decrescente do topo até a base e permaneceu 20 min em vibrador ajustado a 70% de sua capacidade máxima de vibração. A fração retida em cada peneira foi pesada e registrada. Assim, com base nas massas material recolhido na pipetagem e nas peneiras foi possível realizar a distribuição granulométrica em massa das amostras.

5.6. Caracterização Mineralógica: Difração de raios X

Para as amostras da zona Oeste de São Paulo, a análise mineralógica foi realizada somente para as argilas, e para as amostras no interior da Cidade Universitária da USP foram analisadas na fração *bulk*. A análise por difração de raios X foi realizada no Laboratório de difração de raios X do IGC-USP, onde foi utilizado o difratômetro Bruker Modelo D8 Advance Da Vinci 10 e seu resultado foi interpretado a partir do programa de computador TOPAS 4.1.

Para a análise da fração *bulk*, as alíquotas já separadas foram pulverizadas em almofariz de ágata e dispostas sobre suportes equivalentes ao difratômetro usado.

Para completa determinação dos minerais argilosos e seguindo procedimentos similares aos propostos por Albers et al. (2002). Somente as lâminas de argila (da Zona Oeste de São Paulo) foram analisadas segundo estes procedimentos, que incluem a passagem por três vezes na difração de raios X. Cada uma das etapas de preparação da amostra para análise está descrita a seguir:

- Geral: 50g de cada amostra foram desagregados em água destilada junto com 1g de pirofosfato de sódio para análise granulométrica em proveta de 1 litro. Após o processo de pipetagem com duração de 2h, foi retirado por pipeta 10 ml da parte superior da proveta e depositada sobre lâmina de vidro. A lâmina previamente identificada permaneceu coberta para secagem ao ar livre. A análise destas lâminas oferece resultados que exigem as etapas seguintes para distinguir os argilominerais, pois alguns grupos apresentam as mesmas distâncias interplanares nestas condições.

- Glicolagem: as lâminas analisadas permaneceram 12 horas em recipiente fechado com etilenoglicol, sem contato direto com a substância, porém emerso em ar saturado dela. Este procedimento tem o objetivo de avaliar a entrada de voláteis na estrutura das argilas e assim determinar as esmectitas. As análises no difratômetro foram executadas em pares, para que as lâminas não permaneçam mais de 20 min fora do ambiente glicolado antes da análise.

- Aquecimento: por último, as lâminas foram secas em forno à 500°C por 4 horas. Este procedimento permite a distinção entre as vermiculitas que possuem água no interior da estrutura, e as cloritas.

Todo o processo permitiu a distinção dos argilominerais para a Zona Oeste de São Paulo, que apresentam variações da distância interplanar (001) de acordo com cada procedimento descrito segundo a Tabela 3.

Tabela 3 - Distância interplanar (001) para grupos de argilominerais nos diferentes procedimentos realizados em DRX.

| | DISTÂNCIA INTERPLANAR (Å) | | |
|---------------------|---------------------------|-----------|----|
| | Geral | Glicolada | |
| CAULINITA | 7 | 7 | - |
| ILITA (MICA) | 10 | 10 | 10 |
| CLORITA | 14 | 14 | 14 |
| VERMICULITA | 14 | 14 | 10 |
| ESMECTITA | 14 | 17 | 10 |

5.7. Análise química: ICP-MS

Todas as amostras, em alíquotas de 5g, foram encaminhadas ao laboratório ACME *Analytical Laboratories - Bureau Veritas*, para quantificação dos elementos-traço por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*/ Espectrometria de Massa com Fonte de Plasma Induzido). O método por ICP-MS tem a capacidade de determinar rapidamente concentrações pequenas de elementos inorgânicos em pequenas porções de amostras, o que o torna eficiente para determinação de elementos-traço (Thomas, 2004).

A preparação das amostras foi realizada no laboratório de geoquímica do IGC-USP e para este processo analítico contou com a separação da fração *bulk* e fração fina em peneira de nylon. A fração *bulk* foi pulverizada em almofariz de ágata. No laboratório particular, as amostras são digeridas durante 1 hora dentro de um *heating block* em aqua regia modificada, que consiste em uma solução composta por porções iguais de HCl, HNO₃ e água deionizada. São quantificados 55 elementos químicos: As, Au, Bi, Co, Cd, Cu, Ca, Fe, Mo, Mn, Ni, P, Pb, Sb, Sr, Th, U, V, Zn, La, Cr, Mg, Ba, Ti, B, Al, Na, K, W, Sc, Tl, S, Hg, Se, Te, Ga, Cs, Ge, Hf, Nb, Rb, Sn, Ta, Zr, Y, Ce, In, Re, Be, Li, Pd, Pt.

As amostras da Cidade Universitária tiveram suas análises realizadas no ano de 2012. No caso das 12 amostras (fração *bulk* e fração fina) coletadas na zona oeste de São Paulo foram enviadas no final do mês de setembro para o laboratório, cuja sede localiza-se na Argentina. Infelizmente, até o presente momento (mais de um mês corrido), as amostras ainda estão retidas na alfândega e poderão ser encaminhadas ao laboratório somente após sua liberação (Anexo 2). Nestas condições, as análises não puderam ser realizadas ainda e portanto não poderão ser apresentadas.

5.8. Mapa de concentrações: Quantum Gis ®

Para entender a distribuição espacial das concentrações químicas nos pontos da Cidade Universitária, foram efetuados mapas com auxílio dos *softwares* AutoCad ® e QuantumGis®. O mapa base foi realizado previamente em AutoCad® com auxílio de imagens de satélite e posteriormente georreferenciado no SIG. O mapa distribui espacialmente os pontos e apresenta tamanhos de circunferências em intervalos iguais para todos os elementos de acordo com as suas concentrações normalizadas. as concentrações foram normalizadas de acordo com seguinte regra:

Equação 1
$$X = \frac{C - \bar{C}}{Std.},$$

onde X é o valor normalizado, C é a concentração do elemento em cada ponto, \bar{C} é a média das concentrações em todos os pontos e Std. é o desvio padrão da população de cada elemento. A normalização é necessária uma vez que os dados de concentrações químicas apresentam ordens de grandezas diferentes entre si, o que influencia de forma negativa na análise. As categorias estão apresentadas na Figura 11.

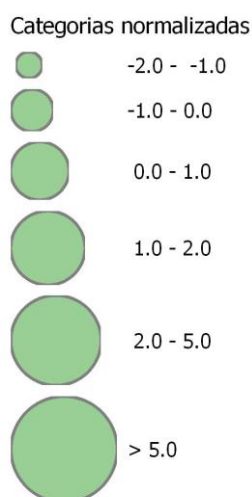


Figura 11 – Categorias das concentrações normalizadas

5.9. Análise estatística: Statistic®

A análise estatística dos resultados obtidos para as amostras coletadas na Cidade Universitária foram realizadas a partir do *software* Statistica®. As ferramentas utilizadas no programa foram: estatística básica, onde foram promovidas informações de média e mediana e histogramas para cada elemento analisado dentro da população de 25 amostras da Cidade Universitária; Boxplot, que produziu um gráfico onde é possível avaliar a distribuição de todos dos pontos para todos elementos; *Cluster* (análise de agrupamento), que elencou e agrupou os elementos de acordo com distâncias estatísticas; e PCA (*Principal Components Analysis*), que ofereceu agrupamento de acordo com as variâncias de cada ponto de amostragem ou cada variável.

Os elementos Re, Ta, Ge, Pd Na e W não foram adicionados às análises estatísticas, pois apresentaram valores abaixo dos limites de detecção do aparelho de ICP-MS para pelo menos 75% dos pontos analisados, os demais pontos cujas concentrações são inferiores ao limite de detecção foram retirados das análises individualmente. Os dados de concentrações químicas foram analisados de duas formas de acordo com cada ferramenta a ser utilizada. Para execução de estatísticas básicas as concentrações foram usadas de forma original, já para as análises de cluster e PCA foram usadas as concentrações normalizadas, assim como descrito na Equação 1

As análises em *cluster* são utilizadas em trabalhos de geoquímica urbana, pois podem agrupar os elementos de acordo com às similaridades nas concentrações entre os pontos de coleta. O método, portanto, encara as concentrações dos elementos como pontos euclidianos e gera uma matriz de acordo com as distâncias entre estes pontos. A partir desta matriz, as distâncias são avaliadas e agrupadas. A distância entre cada elemento, portanto, representa o grau de associação entre estes, sendo que quanto menor a distância, maior o grau de associação. Geralmente são gerados dendrogramas que facilitam a visualização dos agrupamentos criados, como usado por Lee et al. (2006).

O método de PCA vem sendo utilizado nos estudos de solos urbanos por proporcionar possível associação entre elementos capazes de diferenciar suas origens. A análise por componentes principais gera funções (componentes) que explicam o maior percentual possível de variância dos dados, dessa forma é possível avaliar o quanto cada variável (elemento) está associada para explicar uma mesma variância, conseqüentemente é possível formar grupos de variâncias semelhantes. O método, entretanto, exige que a soma dos percentuais das componentes seja maior do que 50% para ter uma veracidade aceitável, sendo que quanto maior este número, mais significativo a análise. Além disso, para uma componente ser significativa, ele precisa representar mais de 10% das variações dos dados. Boruvka et al. (2005) promoveram uma interessante análise de solos superficiais, no qual conclui que PCA junto com outras ferramentas podem auxiliar em interpretações valiosas para o estudo geoquímico.

As concentrações de metais emergentes foram comparadas aos teores de definições por Wedephol (1995) para a crosta terrestre. A avaliação foi feita através de seus fatores de enriquecimento pela concentração de escândio, Sc (Amorim, 2012; Shinagawa, et al., 2015). O cálculo do fator de enriquecimento é expresso pela Equação 2:

Equação 2

$$FE = \frac{X_{amostra}/X_{referência}}{Sc_{amostra}/Sc_{referência}}$$

onde X representa a concentração do elemento avaliado e Sc a concentração de escândio.

6. RESULTADOS OBTIDOS

O presente trabalho busca amostrar solos superficiais em ambiente urbano, no caso, a cidade de São Paulo e realizar análises granulométricas, mineralógicas e químicas para determinação das principais características do material estudado bem como a quantificação dos compostos de interesse (elementos-traço). Os resultados obtidos foram também tratados do ponto de vista estatístico, e foram elaborados mapas de concentrações de elementos-traço além de discutir os resultados com base nos dados secundários sintetizados pela autora.

6.1 Inserção dos pontos de amostragem na cidade de São Paulo.

Os pontos de amostragem abrangem diferentes características da cidade de São Paulo, e incluem variações dos aspectos de ocupação, mas também diferenças físicas do substrato. Estas características distintas podem ser determinantes para compreender às variações no substrato superficial. As características de cada ponto de amostragem relacionados aos mapas e aspectos apresentados estão apresentados no Quadro 2 (página 40).

Os resultados mostram que os pontos de coleta no interior do *campus* da USP possuem características urbanas iguais, ou seja, o campus que foi inaugurado em 1934 possui uso escolar de urbanização consolidada. De forma distinta, as características físicas do substrato do *campus* variam entre os sedimentos aluviais quaternários trazidos pelo Rio Pinheiros, ou os sedimentos terciários da Bacia de São Paulo e Taubaté, ou os solos desenvolvidos sobre o embasamento cristalino gnáissico do Complexo Embu.

Os outros pontos amostrados na zona oeste de São Paulo possuem características urbanas distintas, onde o histórico de urbanização é mais antigo quanto mais próximo ao centro, sendo somente o ponto SS001SP ocupado antes de 1881 e os pontos SS012SP e SS014SP ocupados depois de 1950 até 1952. Quanto ao uso e ocupação do solo, os locais de amostragem variam entre comercial e de serviços (4 pontos), somente residenciais (3 pontos), residenciais e comerciais (3 pontos) e um ponto (SS006SP) apresentando uso residencial e para indústrias e armazéns. O uso residencial pode variar de forma horizontal (2 pontos) ou vertical (1 ponto), mas mantendo de médio à alto padrão. A maior parte dos pontos de coleta da Zona Oeste de São Paulo estão localizados dentro do zoneamento de reestruturação e requalificação, além disso existe uma relação, onde os pontos em bairros de uso residencial horizontal estão dentro do zoneamento consolidado. O ponto SS014SP é o único que está em uma área de urbanização em consolidação.

Quadro 2 - Características urbanas dos pontos de amostragem. Histórico de Urbanização com referência capítulo 3.2.3. Estudo geoquímico de solos superficiais *em São Paulo*

| AMOSTRAS | HISTÓRICO DE URBANIZAÇÃO | USO E OCUPAÇÃO DO SOLO | ZONEAMENTO | GEOLOGIA | LITOLOGIA |
|----------------|--------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| SS001SP | Até 1881 | Comércio e Serviços | Reestruturação e requalificação | Fm. Resende | Sedimentos terciários |
| SS002SP | 1882 - 1914 | Residencial + Comércio e Serviços | Reestruturação e requalificação | Fm. São Paulo | Sedimentos terciários |
| SS003SP | 1882 - 1914 | Residencial + Comércio e Serviços | Reestruturação e requalificação | Fm. São Paulo | Sedimentos terciários |
| SS004SP | 1930 - 1949 | Comércio e Serviços | Urbanização consolidada | Depósitos aluviais | Sedimentos terciários |
| SS005SP | 1930 - 1949 | Comércio e Serviços | Reestruturação e requalificação | Depósitos aluviais | Planice aluvial |
| SS006SP | 1950 - 1962 | Residencial + Indústrias e Armazéns | Reestruturação e requalificação | Depósitos aluviais | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SS007SP | 1993 - 2002 | Comércio e Serviços | Reestruturação e requalificação | Depósitos aluviais | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SS011SP | 1930 - 1949 | Residencial horizontal de médio/alto padrão | Urbanização consolidada | Fm. São Paulo | Sedimentos terciários |
| SS012SP | 1950 - 1952 | Residencial horizontal de médio/alto padrão | Urbanização consolidada | Fm. Resende | Sedimentos terciários |
| SS014SP | 1950 - 1952 | Residencial + Comércio e Serviços | Urbanização em consolidação | Fm. Resende | Sedimentos terciários |
| SS015SP | 1982 - 1914 | Residencial vertical de médio/alto padrão | Reestruturação e requalificação | Suítes graníticas indiferenciadas | Sedimentos terciários |
| SSUSP | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Itaquaquecetuba | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SSUSP01 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Depósitos aluviais | Planice aluvial |
| SSUSP02 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Depósitos aluviais | Planice aluvial |
| SSUSP03 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Depósitos aluviais | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SSUSP04 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Itaquaquecetuba | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SSUSP05 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Itaquaquecetuba | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SSUSP06 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Itaquaquecetuba | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SSUSP07 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Itaquaquecetuba | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SSUSP08 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Itaquaquecetuba | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SSUSP09 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Complexo Embu | Maçiços de solo e rocha gnáissica |
| SSUSP10 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Complexo Embu | Maçiços de solo e rocha gnáissica |
| SSUSP11 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Complexo Embu | Maçiços de solo e rocha gnáissica |
| SSUSP12 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Depósitos aluviais | Planice aluvial |
| SSUSP13 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Depósitos aluviais | Planice aluvial |
| SSUSP14 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Depósitos aluviais | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SSUSP15 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Resende | Maçiços de solo e rocha gnáissica |
| SSUSP16 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Resende | Sedimentos terciários |
| SSUSP17 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Resende | Sedimentos terciários |
| SSUSP18 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. São Paulo | Sedimentos terciários |
| SSUSP19 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Complexo Embu | Maçiços de solo e rocha gnáissica |
| SSUSP20 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Resende | Maçiços de solo e rocha gnáissica |
| SSUSP21 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Resende | Maçiços de solo e rocha gnáissica |
| SSUSP22 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Resende | Maçiços de solo e rocha gnáissica |
| SSUSP23 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Complexo Embu | Maçiços de solo e rocha gnáissica |
| SSUSP24 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Itaquaquecetuba | Planice aluvial/ solo mole e compressível |
| SSUSP25 | 1930 - 1949 | Escolas | Urbanização consolidada | Fm. Itaquaquecetuba | Planice aluvial/ solo mole e compressível |

6.2. Granulometria

Os solos superficiais coletados apresentam em média 51,1% do peso das partículas contidos na fração areia (2,00-0,062mm) e os demais 48,9% da fração fina, sendo esta dividida em 24,8% silte (0,062-0,002mm) e 24% argilas (<0,002mm). Na Figura 12 está visível a distribuição granulométrica das partículas entre as frações areia, silte e argila. As medianas apresentam valores próximos às médias e o desvio padrão com relação à média para cada granulometria varia entre 8,2 para areia, 5,4 para silte e 7,3 para a argila.

O ponto de amostragem com maior percentual de areia está incluso na Cidade Universitária da USP (SSUSP22) com mais de 80% nesta fração e a amostra com maior conteúdo de argila (SS011SP - Sumaré) possui aproximadamente 60% do peso nesta fração com somente 25,2% de areia.

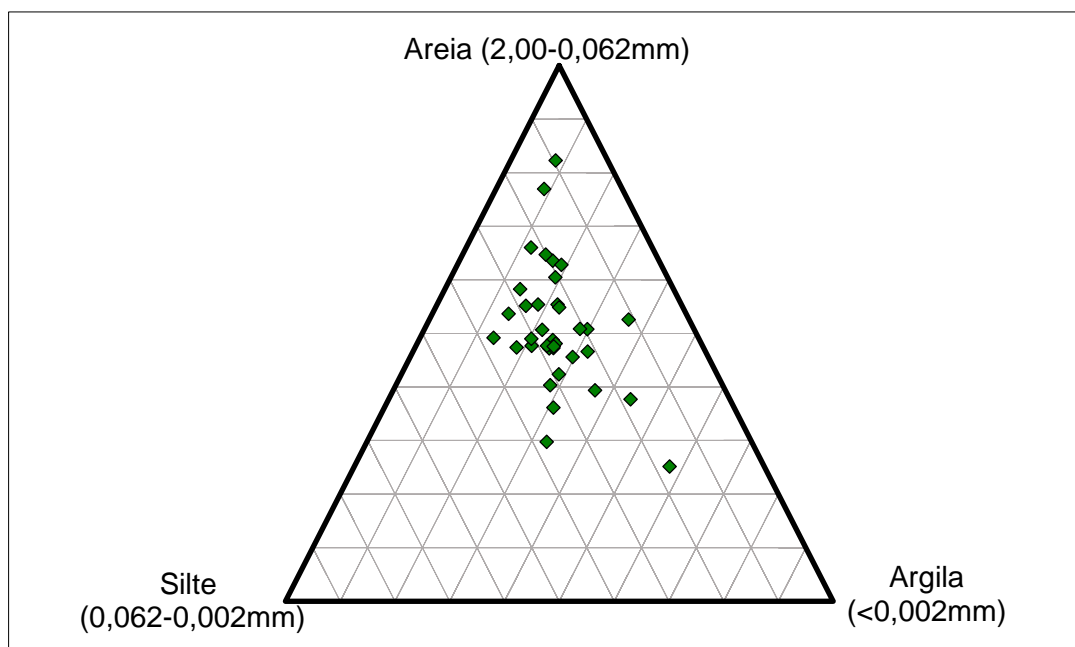


Figura 12 – Gráfico ternário com dispersão das porcentagens em peso de cada amostra coletada.

Os dados não apresentam variação significativa entre as amostras coletadas na zona oeste de São Paulo e aquelas coletadas no interior do campus da USP, como é possível observar na Tabela 4 onde há somente uma pequena variação nas proporções de finos, com os solos da USP apresentando 7% a menos na fração silte.

Tabela 4 – Média, mediana e desvio padrão para frações granulométricas do conjunto total das amostras (total), das amostras da Zona Oeste e das amostras da Cidade Universitária da USP. (Std=desvio Padrão).

| | | AREIA (2,00-0,062MM) | SILTE (0,062-0,002MM) | ARGILA (<0,002MM) |
|----------------------------------|---------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| TOTAL N=37 | Média | 51,1 | 24,8 | 24,0 |
| | Mediana | 49,1 | 26,3 | 23,2 |
| | Std. | 8,20 | 5,46 | 7,31 |
| ZONA OESTE N=11 | Média | 51,1 | 26,7 | 22,0 |
| | Mediana | 49,2 | 27,4 | 22 |
| | Std. | 6,28 | 4,52 | 4,93 |
| USP N=26 | Média | 51,1 | 19,7 | 29,0 |
| | Mediana | 49,9 | 18,8 | 30,0 |
| | Std. | 11,7 | 4,78 | 11,5 |

6.3. Mineralogia : Difração de raios X

A mineralogia das amostras foi determinada a partir de análises de difração de raios X. As amostras dos solos superficiais coletadas no interior da USP foram analisadas quanto à sua fração bulk e as amostras da zona oeste somente para sua fração argila. Esta diferenciação ocorreu com o objetivo de determinar com maior precisão os minerais argilosos presentes nas amostras devido a sua maior capacidade de adsorção de substâncias do que os minerais primários encontrados nos solos superficiais em sua fração total. Há uma homogeneidade de minerais primários presentes, no qual quartzo (QTZ), feldspato (G.FDS), minerais do grupo da caulinita (KAO) e gibbsita (GIB) estão presentes em todas as amostras avaliadas. Secundariamente estão presentes argilas com pico em 14Å (vermiculita ou clorita), anfibólios (G. ANF), óxidos de ferro (hematitas e goethitas), borato de sódio (Borax) e rutilo.

Os minerais foram tratados de acordo com os grupos dos quais pertencem, como o grupo da caulinita, do feldspato, do anfibólio, dos óxidos de ferro ou mesmo os argilominerálias com pico em 14Å que precisariam passar por processo de secagem para diferenciar os grupos da vermiculita e da clorita (processo não aplicado às amostras de *bulk* da Cidade Universitária). Nas tabelas 5 e 6 estão os dados da mineralogia obtidos.

Tabela 5 - Minerais encontrados por DRX nas frações finas (>0,002mm) amostras da zona oeste de São Paulo.

MINERALOGIA FRAÇÃO ARGILA DA SOLOS ZONA OESTE

| | Caulinita | Vermiculita | Gibbsita | Amorfo | Mica (ilita) |
|----------------|-----------|-------------|----------|--------|--------------|
| SS001SP | X | X | X | | |
| SS002SP | X | X | X | | X |
| SS003SP | X | X | X | X | |
| SS004SP | X | X | X | X | X |
| SS005SP | X | X | X | X | X |
| SS006SP | X | X | X | | X |
| SS007SP | X | | | | X |
| SS011SP | X | X | X | | X |
| SS012SP | X | X | X | X | X |
| SS014SP | X | X | X | | X |
| SS015SP | X | X | X | X | X |
| SSUSP | X | | X | | X |

Tabela 6 - Minerais encontrados por DRX nas frações bulk (>2,00mm) das amostras da Cidade Universitária da USP.

| | QTZ | G. MICA | KAO | G. FDS | GIB | 14 Å | G. ANF | HEM/GTH | BORAX | RUTILO |
|----------------|-----|---------|-----|--------|-----|------|--------|---------|-------|--------|
| SSUSP01 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP02 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP03 | X | X | X | X | X | X | | X | | |
| SSUSP04 | X | X | X | X | X | X | | | | |
| SSUSP05 | X | X | X | X | X | | X | | | |
| SSUSP06 | X | X | X | X | X | | | X | X | |
| SSUSP07 | X | X | X | X | X | | | X | | |
| SSUSP08 | X | X | X | X | X | X | | | | |
| SSUSP09 | X | X | X | X | X | | X | | | |
| SSUSP10 | X | X | X | X | X | | | X | | |
| SSUSP11 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP12 | X | X | X | X | X | X | | X | X | |
| SSUSP13 | X | X | X | X | X | | | | | X |
| SSUSP14 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP15 | X | X | X | X | X | X | | | | |
| SSUSP16 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP17 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP18 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP19 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP20 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP21 | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| SSUSP22 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP23 | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| SSUSP24 | X | X | X | X | X | | | | | |
| SSUSP25 | X | X | X | X | X | | | | | |

6.4. Química: ICP-MS

As concentrações químicas para todas as amostras estão apresentadas por completo no Anexo 3. Os elementos Re, Ta, Ge, W, Na e B apresentaram mais de 90% dos pontos de coleta com concentrações abaixo dos respectivos valores de detecção do aparelho ICP-MS. Portanto estes elementos foram desconsiderados para as análises. Os demais elementos que possuem pontos com concentrações abaixo no nível de detecção foram tratados de forma que sempre que possível os pontos indetectáveis fossem desconsiderados.

Na Tabela 7 estão apresentadas as concentrações médias, máximas, mínimas e medianas dos elementos-traço que possuem valores de qualidade estabelecidos pela CETESB (2016) e os seus respectivos índices. Para os valores de intervenção (VI) estão apresentados os destinados para solos residenciais, pois além de corresponderem ao verdadeiro uso de grande parte dos pontos de amostragem, como é possível ver na classificação do Quadro 2 (página 35) são geralmente os valores intermediários entre os índices para solos agrícolas e industriais, como é possível ver na página 13.

Tabela 7 – Concentrações média, mediana, máxima, mínima e desvio padrão (std.) de elementos-traço para pontos da Cidade Universitária e respectivos valores de referência da CETESB (2016). Sublinhados valores acima do VQR e em negrito valores acima do VP.

| | SOLOS DA CIDADE UNIVERSITÁRIA | | | | | CETESB (2016) | | |
|------------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|------|------------------------|------|--------|
| | Máx. | Mín. | Mediana | Média | Std. | VQR | VP | VI (R) |
| | (mg.kg ⁻¹) | | | | | (mg.kg ⁻¹) | | |
| As | <u>8,70</u> | 2,10 | <u>5,30</u> | <u>5,10</u> | 1,60 | 3,50 | 15,0 | 55,0 |
| Co | <u>14,6</u> | 1,60 | 3,10 | 3,70 | 2,60 | 13,0 | 25,0 | 65 |
| Cd | 2,96 | 0,18 | 0,35 | <u>0,60</u> | 0,60 | 0,50 | 1,30 | 14,0 |
| Cu | 31,3 | 11,8 | 18,8 | 19,5 | 5,40 | 35,0 | 60,0 | 2100 |
| Mo | 1,59 | 0,45 | 0,94 | 0,90 | 0,25 | 4,00 | 5,00 | 29,0 |
| Ni | 66,6 | 4,50 | 6,70 | 11,2 | 15,0 | 13,0 | 30,0 | 480 |
| Pb | 75,9 | <u>17,4</u> | <u>38,2</u> | <u>40,8</u> | 13,8 | 17,0 | 72,0 | 240 |
| Sb | <u>0,56</u> | 0,13 | 0,33 | 0,30 | 0,10 | 0,50 | 2,0 | 10,0 |
| Zn | <u>275</u> | 38,5 | <u>74,0</u> | <u>94,6</u> | 49,8 | 60,0 | 300 | 1000 |
| Cr | 153 | 24,6 | 37,5 | <u>42,2</u> | 23,3 | 40,0 | 75,0 | 300 |
| Ba | <u>75,5</u> | 30,8 | 43,2 | 48,5 | 14,4 | 75,0 | 120 | 1300 |
| Hg* | <u>197</u> | 22,0 | <u>68,0</u> | <u>79,0</u> | 39,2 | 50,0 | 500 | 900 |

*µg.kg⁻¹

As médias das concentrações de elementos-traço foram comparadas aos teores sintetizados por Alekseenko e Alekseenko (2014) de solos urbanos no mundo e todos os valores encontrados estão menores do que os da literatura. Da mesma forma, as concentrações foram comparadas aos valores de estudos prévios de solos superficiais em São Paulo e os teores de elementos-traço da Cidade Universitária da USP são novamente inferiores (Tabela 8).

Tabela 8 – Concentração mínimas, médias e máximas de estudos de solos superficiais em São Paulo.

| REFERÊNCIA | | RIBEIRO ET AL. (2009) | | | FIGUEIREDO ET AL. (2011A) | | | TICIANELLI ET AL. (2009) | | | FIGUEIREDO ET AL. (2009A) | | | RIBEIRO ET AL. (2012B) | | | PRESENTE TRABALHO | | |
|------------|---------|--------------------------|------|------|----------------------------|------|------|---------------------------|------|------|---------------------------|------|------|------------------------|------|------|--------------------------|------|------|
| MÉTODO | | INAA | | | INAA | | | INAA | | | INAA | | | INAA | | | ICP-MS | | |
| LOCAL | | Avenidas | | | Parques | | | Avenidas | | | Parques | | | Avenidas | | | Cidade Universitária USP | | |
| | Unidade | Mín | Méd. | Máx | Mín | Méd | Máx | Mín | Méd | Máx | Mín | Méd | Máx | Mín | Méd | Máx | Mín | Méd | Máx |
| As | mg/kg | | | | 1,20 | 9,62 | 24,0 | 3,34 | 12,8 | 20,5 | 7,00 | 17,2 | 26,0 | 1,90 | 12,6 | 57,0 | 2,10 | 5,10 | 8,70 |
| Ba | mg/kg | 37,0 | 230 | 504 | 284 | 691 | 102 | 185 | 283 | 472 | 129 | 189 | 259 | 105 | 319 | 713 | 30,8 | 48,5 | 75,5 |
| Cr | mg/kg | | | | 21,0 | 49,8 | 70,0 | 20,6 | 67,1 | 102 | 41,0 | 70,5 | 97,0 | 34,0 | 77,7 | 185 | 24,6 | 42,2 | 153 |
| Cu | mg/kg | 10,0 | 53,0 | 137 | | | | | | | 23,0 | 59,2 | 101 | | | | 11,8 | 19,5 | 31,3 |
| Mo | mg/kg | 1,00 | 4,00 | 7,00 | | | | | | | | | | | | | 0,45 | 0,90 | 1,59 |
| Pb | mg/kg | 7,00 | 44,0 | 120 | | | | | | | 51,0 | 102 | 180 | | | | 17,4 | 40,8 | 75,9 |
| Zn | mg/kg | 35,0 | 140 | 361 | 15,0 | 81,5 | 179 | 58,4 | 273 | 499 | 41,0 | 125 | 219 | | | | 38,5 | 94,6 | 275 |
| Co | mg/kg | | | | | | | 2,20 | 3,60 | 4,90 | | | | 2,20 | 6,40 | 13,3 | 1,60 | 3,70 | 14,6 |
| Sb | mg/kg | | | | | | | 1,00 | 3,20 | 6,80 | 1,40 | 3,50 | 5,50 | 0,79 | 2,74 | 6,80 | 0,13 | 0,32 | 0,56 |
| MÉTODO | | TICIANELLI ET AL. (2013) | | | FIGUEIREDO ET AL. (2009B). | | | FIGUEIREDO ET AL. (2011B) | | | MORCELLI (2004) | | | RIBEIRO ET AL. (2012B) | | | | | |
| LOCAL | | INAA | | | INAA | | | FRX | | | INAA, FRX, ICP-MS | | | ICP-MS | | | | | |
| | Unidade | Mín | Méd | Máx | Mín | Méd | Máx | Mín | Méd | Máx | Mín | Méd | Máx | Mín | Méd | Máx | | | |
| U | mg/kg | 1,60 | | 19,0 | | | | | | | | | | | | | 0,90 | 1,60 | 2,20 |
| Th | mg/kg | 4,00 | | 37,0 | | | | | | | | | | | | | 3,90 | 10,5 | 16,1 |
| La | mg/kg | 15,0 | 33,3 | 77,0 | 5,90 | 36,5 | 85,0 | | | | | | | | | | 5,80 | 14,1 | 25,5 |
| Ce | mg/kg | 32,0 | 76,1 | 196 | 24,0 | 85,1 | 174 | | | | | | | | | | 25,3 | 47,6 | 94,2 |
| V | mg/kg | | | | | | | 41 | 123 | 216 | | | | | | | 17,0 | 58,5 | 91,0 |
| Pt | µg/kg | | | | | | | | | | 0,30 | | 17,0 | 1,00 | 27,2 | 208 | 3,0 | 6,10 | 24,0 |
| Pd | µg/kg | | | | | | | | | | 1,10 | | 58,0 | 3,30 | 54,0 | 378 | 10,0 | 33,9 | 115 |

6.5. Mapas de Concentrações

Os mapas de concentrações para cada elemento quantificado estão apresentados no Anexo 4.

6.6. Análise de Estatística

As análises estatísticas promoveram uma melhor compreensão da variação dos dados da análise química. Os dados estão apresentados a seguir.

O gráfico de Boxplot da Figura 13 demonstra a variação entre as concentrações dos elementos-traço. A partir do gráfico, que apresenta o eixo Y em escala logarítmica estão visíveis o intervalo interquartil (25%-75% dos dados) no interior das caixas, o alcance das concentrações dentro do intervalo não-outlier e os pontos outliers de cada elemento, que representam valores 50% maiores do que a diferença interquartil.

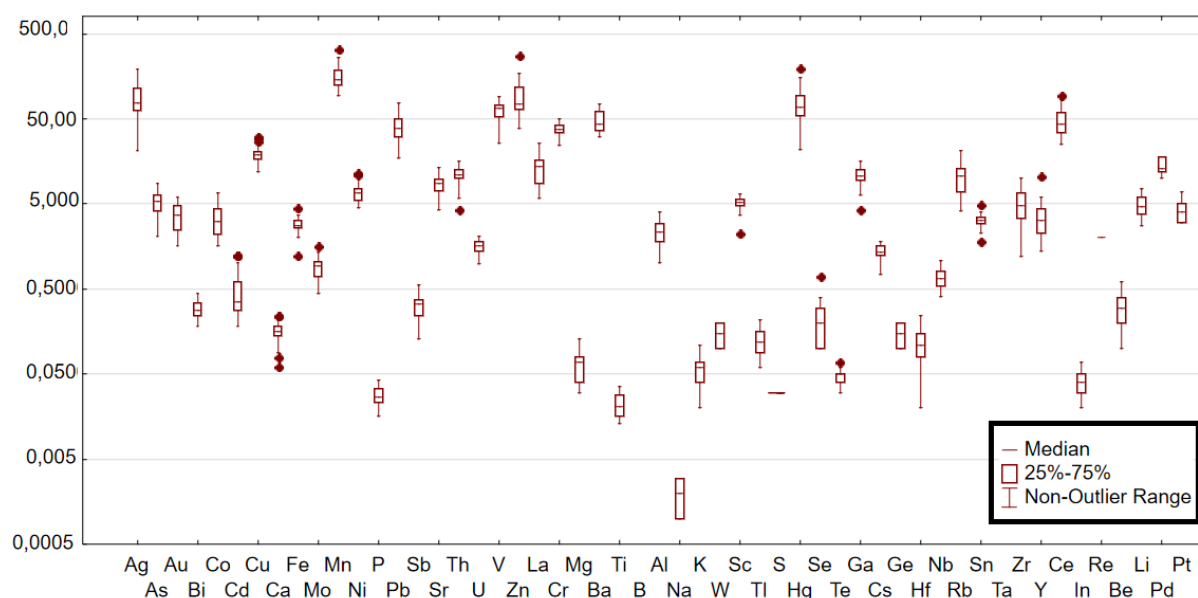


Figura 13 – Boxplots para concentrações de elementos-traço dos solos superficiais da Cidade Universitária.

A análise de cluster foi realizada com dados normalizados de 47 elementos e o dendograma obtido está apresentado na Figura 14. Com ele é possível observar que os dados normalizados ofereceram distâncias pequenas de vínculo entre as variáveis (todas abaixo de 2).

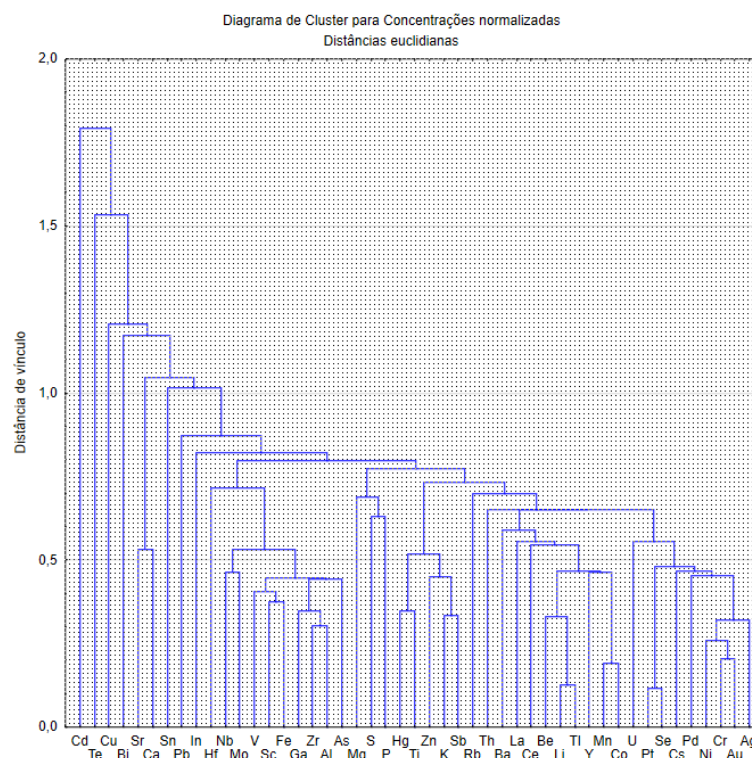


Figura 14 – Dendrograma de *cluster* para elementos analisados (n=47).

Os gráficos de PCA estão presentes na Figura 15 e possuem as informações de percentual de variância por componente descritos na Tabela 9. Os resultados mostraram uma grande dispersão dos dados, onde as 4 componentes principais explicam somente 62% da variância dos dados. Apesar de baixo, o valor está acima dos 50%, o que torna a análise satisfatória.

Tabela 9 – Informações para cada componente do PCA.

| COMPONENTE | PORCENTAGEM | SIGNIFICATIVO | PORCENTAGEM ACUMULADA |
|--------------|-------------|---------------|-----------------------|
| Componente 1 | 28,08% | Sim | 28,08% |
| Componente 2 | 14,16% | Sim | 42,24% |
| Componente 3 | 12,90% | Sim | 55,14% |
| Componente 4 | 7,62% | Não | 62,76% |

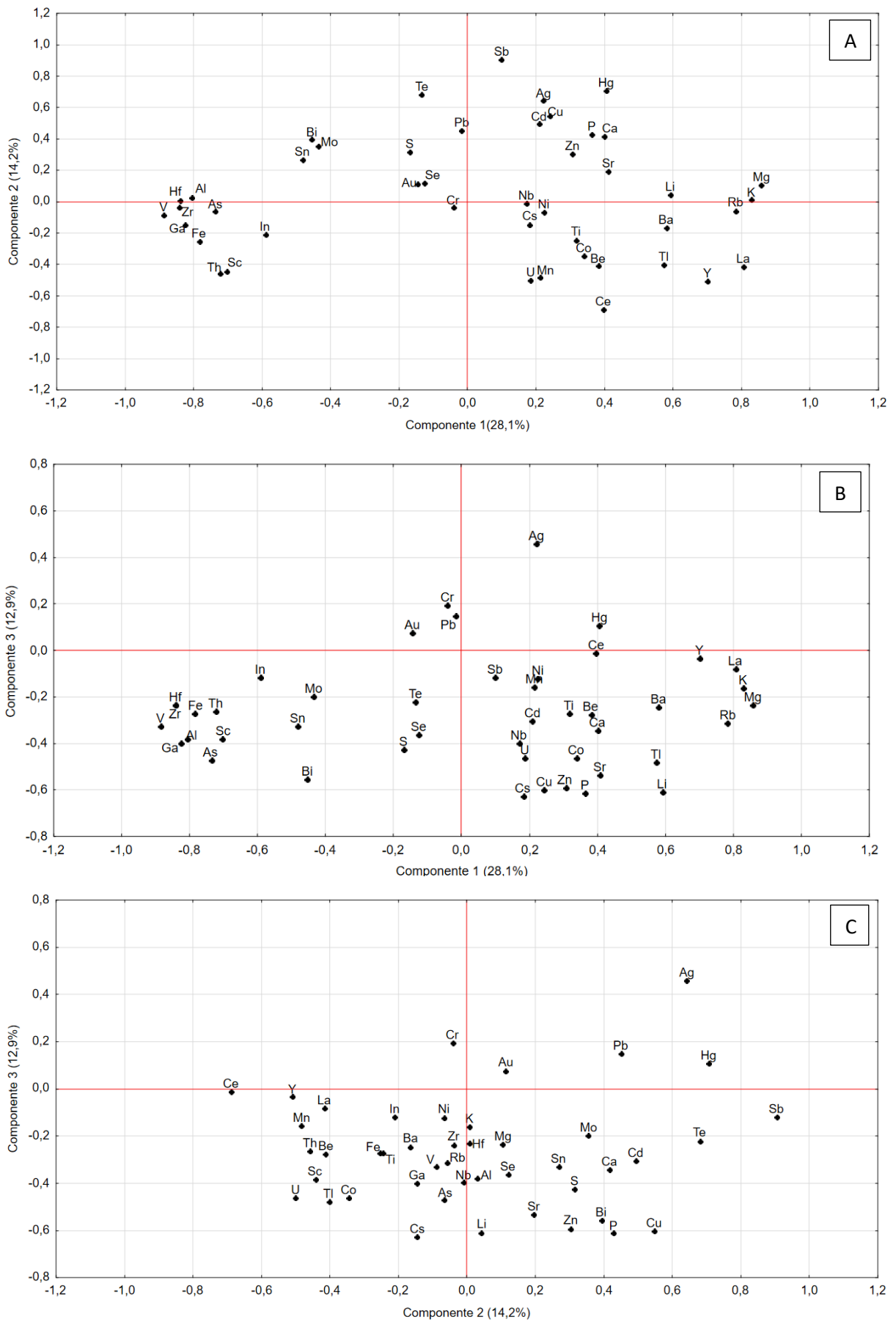


Figura 15 – Gráficos de distribuição das variáveis em relação às componentes principais para análise de PCA. (A) Componentes 1 e 2. (B) Componentes 1 e 3. (C) Componentes 2 e 3.

7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apesar dos pontos de coleta de solos superficiais deste trabalho cobrirem uma grande área da cidade e possivelmente não serem os perfis de alteração superficiais originais dos locais de coleta, os resultados da caracterização granulométrica e mineralógica demonstram que os solos se mantêm com mineralogias essencialmente iguais, assim como proporções granulométricas semelhantes ($51,1\% \pm 8,2$ de areia, e $24,8\% \pm 5,46$ de silte e $24\% \pm 7,31$ de argila).

Os solos da zona oeste da cidade são compostos por minerais primários como quartzo, feldspatos, e minerais secundários como caulinitas e gibbsita. Foram também identificados outros argilominerais (vermiculita e ilita), anfibólios, óxidos de ferro (hematitas e goethitas), borato de sódio (Borax) e rutilo, relacionados com a litologia da área.

Os argilominerais dos solos superficiais da Zona Oeste de São Paulo são produtos comuns da intempérie de minerais primários de rochas cristalinas. Na Figura 16 estão ilustrados simplificadaamente os possíveis caminhos e produtos intempéricos dos minerais primários em rochas cristalinas. O esquema sintetizado por McBride (1994) aponta que os minerais intempéricos encontrados nos solos superficiais provêm de minerais primários de rochas cristalinas, incluindo minerais máficos como anfibólios e piroxênios.

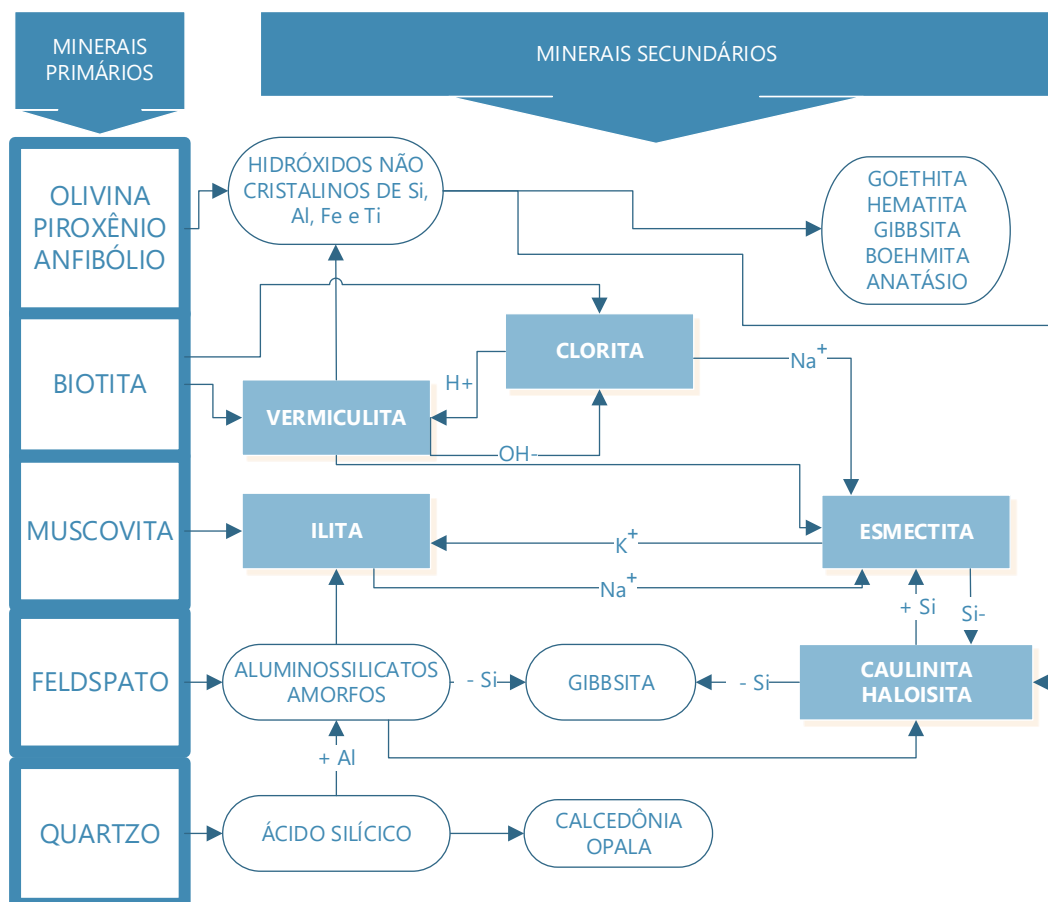


Figura 16 – Diagrama com evolução intempérica de minerais primários de rochas (McBride, 1994).

Levando em consideração a geologia da área, espera-se que parte dos solos sejam derivados do embasamento cristalino. Entretanto, como os minerais máficos e seus derivados foram encontrados em somente 8 das 25 amostras da fração *bulk* da Cidade Universitária, e considerando que os pontos que apresentaram anfibólios ou óxidos de ferro não estão diretamente sobrepostos ao embasamento cristalino (muitos casos estão sobre formações sedimentares, ou sedimentos quaternários) não é possível afirmar que todos os solos sejam derivados deste maciço. Ademais, seriam necessárias amostragens sistemáticas em diversas profundidades para comprovar a derivação do embasamento.

Os desvios padrão somente ultrapassaram o valor de 10 para 20% dos elementos analisados, são eles o Ag, Au, Mn, Ni, Pb, V, Zn, Cr, Ba, Hg e Ce. Os elementos Ag e o Au possuem as maiores variações encontradas entre a concentração máxima e sua média, atingindo teores para Ag de 1203 µg/kg no ponto SSUSP22 em comparação à média de 139 µg/kg (valor 88,5% superior) e 995,8 µg/kg para o Au no ponto SSUSP24 em comparação à média de 44 µg/kg (valor 95,6% superior). Além destes dois elementos, o Ni, Cd, Co e Cr são os únicos que apresentam pontos com concentração mais de 70% superior às suas médias, com 83,5% para o Ni, 80,0% para o Cd, 74,5% para o Co e 72,4% para o Cr. O restante dos elementos apresentaram valores próximos aos 50%, e somente os elementos U, S e Cs possuem diferenças menores que 20%.

De acordo com Chambers, et al. (2016) (apresentado no Quadro 1 página 6), os elementos Cd, Ni e Cr são utilizados em pinturas de soldas, sendo este último ainda utilizado nas tintas amarelas nas vias de tráfego. O ponto SSUSP17 é o que apresenta as maiores concentrações de Ni e Cr, o que pode significar que estão associados. Os elementos Co, Zn e Mn são utilizados em peças de veículos e a Ag e o Au são comuns em joalherias ou pequenos sistemas eletrônicos (Au). Todos estes elementos podem estar presentes no ambiente devido ao desgaste e deterioração dos materiais citados.

As médias das concentrações de elementos-traço da Cidade Universitária são baixas em relação a todos os valores comparados. O contexto urbano do *campus* pode ter proporcionado isto, uma vez que seu terreno foi ocupado somente depois de 1930 para instalação da USP, sem um histórico de indústrias ou atividades que possivelmente deixassem uma assinatura química no ambiente. Além disso, apesar do fluxo de 40 mil veículos por dia dentro da Cidade Universitária (Prefeitura do Campus, 2016) o tráfego é inferior ao encontrado em outras porções da cidade, como nas avenidas onde foram amostrados nos estudos comparados (Ribeiro et al., 2009; Ribeiro et al., 2012; Morcelli, 2004; Ticianelli R., 2013).

Com relação aos índices da CETESB (2016), somente as concentrações mais elevadas dos elementos Cd, Ni, Pb e Cr superam o Valor de Prevenção (VP), porém possuem concentrações médias próximas ao Valor de Qualidade (VQR). Todos os outros pontos amostrados não atingem o índice VP, mas os elementos As, Cd, Pb, Zn, Cr e Hg possuem

médias que superam o índice VQR. Por último, nenhum ponto atinge o Valor de Intervenção (VI). Estes resultados podem ser vistos na Tabela 7 da página 39.

Os valores da Cidade Universitária também se encontram inferiores aos elementos previamente estudados na cidade de São Paulo apresentados na Tabela 8 (página 40). A média deste estudo somente é superior para o Zn em comparação ao trabalho nos parques da cidade de Figueiredo et al. (2011A). A diferença entre estes estudos pode ser observada na Figura 17. Vale ressaltar que os métodos analíticos empregados nestes estudos prévios (maioria utilizando INAA) são diferentes dos utilizados neste trabalho (ICP-MS), o que pode refletir em diferenças nas concentrações.

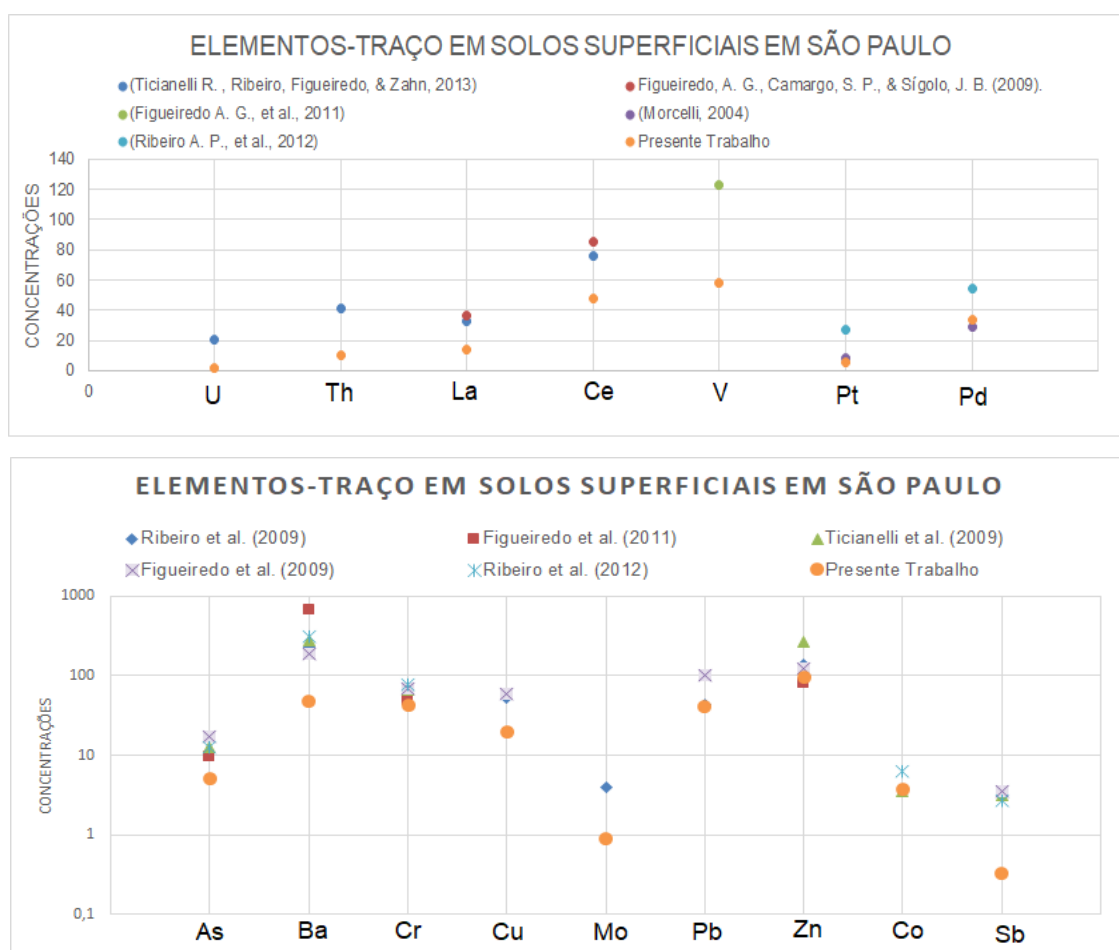


Figura 17- Gráficos com concentrações de elementos-traço em solos superficiais na cidade de São Paulo.

As médias das concentrações da Cidade Universitária são consideravelmente menores que os todos valores sintetizados por Alekseenko e Alekseenko (2014) de elementos em solos superficiais urbanos. A diferença pode ser observada na Figura 18. As concentrações dos autores chegam ser mais de 10 vezes maiores do que as médias deste trabalho para os elementos Ca, Mg, Sr, Ba, Ti, Na, K, W, Ge, Nb, Zr, Be e Li.

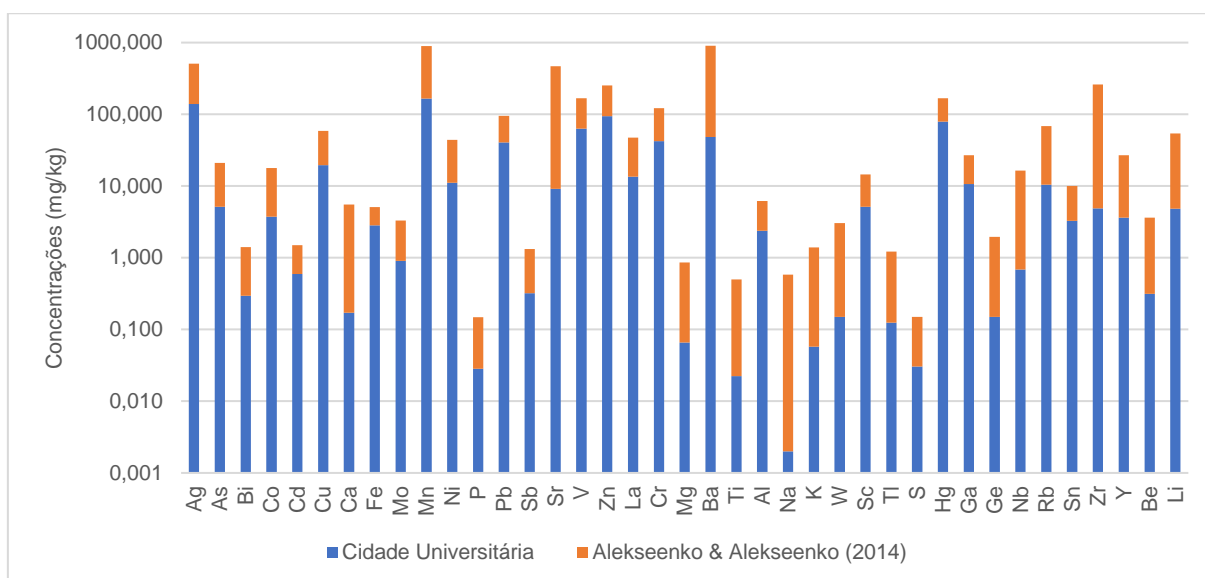


Figura 18 – Comparação das concentrações médias (mg/kg) obtidas na cidade universitária da USP e valores sintetizados por (Alekseenko e Alekseenko, 2014).

As médias de concentrações em solos superficiais mundiais de elementos do grupo da platina de Jackson et al. (2007) também são valores superiores aos encontrados nas Cidade Universitária. Nos resultados deste trabalho o paládio apresenta a média próxima do valor de Jackson et al. (2007), porém possui uma variação dos dados alta, com um máximo de 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Em compensação, a platina possui concentração média de 4,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, o que é relativamente baixa em comparação a 20,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dos solos mundiais. Apesar disso, possui uma pequena margem de desvio das concentrações, chegando à concentração máxima de somente 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Os valores podem ser comparados na Tabela 10.

Tabela 10 - Comparação de valores médios de concentrações de EGP na Cidade Universitária e no mundo. Dados de (Jackson, Sampson, & Prichard, 2007). Concentrações em $\mu\text{g}/\text{kg}$.

| | PALÁDIO | | | PLATINA | | |
|-----------------------|-----------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | Média | Mínimo | Máximo | Média | Mínimo | Máximo |
| | ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | | | | |
| CIDADE UNIVERSITÁRIA | 17,7 | <10,0 | 40,0 | 4,20 | <2,00 | 7,00 |
| JACKSON ET AL. (2007) | 18,8 | 0,00 | 126 | 20,3 | 0,00 | 330 |

Os resultados dos fatores de enriquecimento estão apresentados na Tabela 11 e mostram que metade dos elementos analisados se apresentam enriquecidos nos solos superficiais em relação às concentrações da crosta (>1), porém somente os elementos Au, Cd, Pt e Pd apresentam fatores de enriquecimento das médias maiores que 10. Além destes, os elementos Ag, As, Zn, Hg, Pb possuem pontos com fatores de enriquecimento acima de 10.

Tabela 11 – Fatores de enriquecimento médios e máximos das concentrações da Cidade Universitária em relação às concentrações da crosta de *Wedephol (1995)* com base nos teores de escândio.

| FATOR DE ENRIQUECIMENTO | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|----------|-----------|-------|--------|-----------|--------|--------|
| Elemento | Média | Máximo | Elemento | Média | Máximo | Elemento | Média | Máximo |
| La | 1,39 | 3,02 | Sr | 0,09 | 0,21 | Fe | 2,04 | 2,51 |
| Tl | 0,74 | 1,83 | Th | 4,09 | 5,14 | Mo | 2,57 | 5,51 |
| Ga | 2,21 | 3,18 | V | 2,01 | 2,42 | Mn | 0,72 | 1,22 |
| Y | 0,47 | 1,56 | Zn | 4,52 | 13,01 | Ni | 0,62 | 4,53 |
| Ce | 2,53 | 4,93 | Cr | 1,04 | 4,61 | P | 0,00 | 0,00 |
| Zr | 0,07 | 0,15 | Mg | 0,09 | 0,26 | Pb | 8,55 | 33,22 |
| Ti | 0,17 | 0,35 | Ba | 0,26 | 0,61 | Sb | 0,00 | 0,01 |
| Nb | 0,11 | 0,25 | Al | 0,93 | 1,55 | Rb | 0,41 | 1,19 |
| Ag | 6,16 | 124,99 | K | 0,08 | 0,22 | Sn | 4,40 | 7,59 |
| As | 9,40 | 15,75 | S | 0,14 | 0,21 | In | 2,59 | 4,31 |
| Au | 54,95 | 1.118,09 | Hg | 6,13 | 35,82 | Be | 0,40 | 0,79 |
| Bi | 1,08 | 2,65 | Se | 0,01 | 0,02 | Li | 0,83 | 1,83 |
| Co | 0,48 | 1,87 | Te | 0,03 | 0,1 | Pd | 137,16 | 372 |
| Cd | 18,36 | 91,08 | Cs | 1,27 | 2,30 | Pt | 32,72 | 72 |
| Cu | 2,42 | 5,47 | Hf | 0,07 | 0,13 | Ca | 0,14 | 0,45 |

| | | |
|---------|--------|--------|
| Legenda | > 1,00 | >10,00 |
|---------|--------|--------|

Apesar deste enriquecimento com relação as concentrações da crosta terrestre, as baixas concentrações de elementos-traço em comparação à todas as referências avaliadas revelam que os solos da Cidade Universitária possuem baixas concentrações.

As análises estatísticas fornecem informações interessantes que reforçaram os elementos já destacados nas análises comparativas anteriores. A partir do dendograma de *cluster* na Figura 14, é possível determinar alguns grupos de similaridade. Um dos grupos destacados contém os elementos Ag, Au, Ni, Cr. Tratam-se dos mesmos elementos que possuem pontos com concentrações 70% superiores às concentrações médias. Estes elementos também se agrupam nas análises de PCA, onde no gráfico C da Figura 15 (página 43) apresentam valores maiores do que 0 para a componente 3.

Os elementos Pb e Hg também possuem valores maiores do que 0 para a componente 3 na Figura 15C. Estes dois elementos são enriquecidos com relação à crosta, com fatores de enriquecimentos que chegam a superar o valor de 30 para seus ponto com concentração mais elevada. Estes elementos podem estar relacionados a um aporte antrópico, uma vez que são materiais possíveis de serem encontrados em materiais de uso antrópico, em veículos para o Pb e lâmpadas e queima de carvão para o Hg.

Entretanto, as análises de *cluster* e de PCA mostraram que os demais grupos devem ter origem terrígena, pois associam elementos emergentes com elementos de maior presença na crosta. É o caso, por exemplo, dos elementos Hf, Al, V, Zr, As, Ga, Fe, In, Sc e Th que se agrupam no gráfico A e B da Figura 15 (página 43), com valores próximos à -0,8 na componente 1. As concentrações de Fe nos resultados da Cidade Universitária devem estar

relacionadas a mineralogia local, uma vez que nos solos foram identificados óxidos de ferro por DRX. Além disso, o elemento Sc é pouco móvel em solos e comum de ser usado como valor de referência para cálculos de fatores de enriquecimento (como neste trabalho; Amorim, 2012; Shinagawa, et al., 2015). Conseqüentemente, este grupo deve estar relacionado com concentrações terrígenas dos elementos.

Além do Fe, os elementos Ti, B, Na, Al, K e Ca também devem ter uma proveniência terrígena, uma vez que são encontrados na mineralogia das amostras no rutilo (TiO_2), borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), feldspatos e argilominerias. Estes elementos passam a se tornar prováveis indicadores de grupos de origem terrígena nas análises estatísticas.

Os pontos com maiores frequências de concentrações elevadas foram o SSUSP16 com 5 elementos (Ag, Bi, Co, Cu, Zn), e o ponto SSUSP12 com os elementos Ti, Nb, Mg, K, Rb, Li. Apesar disso, a distribuição espacial no *campus* não apresenta um critério claro de ordenamento. Provavelmente devido às baixas concentrações e à origem terrígena dos elementos.

As concentrações químicas avaliadas se apresentam baixas, com elementos em sua maioria com concentrações de origem terrígena, porém para presença de concentrações pontuais de origem antrópicas para os elementos Ag, Au, Cr, Ni, Cd, Pt e Pd.

8. CONCLUSÕES

Os solos superficiais da zona oeste da cidade de São Paulo são compostos essencialmente pelos mineirais primários quartzo, feldspato, micas e secundários gibsita e argilominerais (caulinitas, ilitas e vermiculitas). Também são encontrados anfibólios, óxidos de ferro, rutilo e sais em alguns pontos analisados. Os solos tem aproximadamente 50% do peso na fração granulométrica areia (2,00mm-0,062mm).

As concentrações químicas foram analisadas para os pontos da Cidade Universitária da USP e forneceram valores médios inferiores à diversos parâmetros analisados, entre eles os valores de orientação da CETESB (2016), às médias mundiais de solos superficiais e os dados de trabalhos anteriores realizados na cidade de São Paulo. Os fatores de enriquecimento analisados mostram que metades são enriquecidos em relação aos valores médios da crosta.

As análises estatísticas de PCA e dendogramas de *cluster* agruparam os elementos Ag, Au, Pb, Cr, Ni, Cd e Hg, o que, junto com as análises dos fatores de enriquecimento foi interpretado como um grupo de elementos com possíveis aportes antrópicos.

A área do campus representa uma região da cidade de São Paulo com impacto antrópico menos significativo que o restante da cidade considerando que está inserido num bairro de urbanização mais recente, sem histórico prévio de uso industrial e com tráfego de veículos provavelmente menos intenso.

No entanto, novos estudos para melhor compreender os impactos da urbanização em outras áreas da cidade de São Paulo e a interação dos solos superficiais com outros compartimentos ambientais, como poeiras de rua, particulado atmosférico e águas superficiais, são ainda necessários.

BIBLIOGRAFIA

- Adachi, K., & Tainosho, Y. (2004). Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Elsevier Environment International* 30, pp. 1009–1017.
- Aide, M. T., & Aide, C. (2012). Rare Earth Elements: their importance in understanding soil genesis. *ISRN Soil Science*, 2012, pp. 1-11.
- Albanese, S., Cicchella, D., Vivo, B., Lima, A., Civitillo, D., Consenza, A., & Grezzi, G. (2015). Advancements in urban geochemical mapping of Naples Metropolitan Area: Colour composite maps and results from an urban brownfield site. Em A. Demetriades, & M. Birke, *Urban Geochemical Mapping Manual* (pp. 410-423). Bruxelas.
- Albers, A., Melchiades, F., Machado, R., Baldo, J., & Boschi, A. (Jan/Fev/Mar de 2002). Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. *Cerâmica*, 48, pp. 34-37.
- Alekseenko, V., & Alekseenko, A. (2014). The abundances of chemical elements in urban soils. *Elsevier - Journal of Geochemical Exploration*, pp. 245–249.
- Alloway, B. (1995). *Heavy Metals in Soils* (2ª ed.). Glasgow: Blackie Academic & Professional.
- Alves, F., Silva, P. P., & Guerra, W. (Out/Dez de 2010). Metais do grupo da platina: história, propriedades e aplicações. *Química - Sociedade Portuguesa de Química*, 119, pp. 27-33.
- Amaral, M. A. (2012). *Poluição dos solos por metais pesados na zona urbana de Ponta Delgada: implicações na saúde pública*. Ponta Delgada: Universidade dos Açores.
- Amorim, E. (2012). *Avaliação das concentrações de metais e outros elementos de interesse em amostras de sedimentos dos estuários de Santos/São Vicente e Cananéia, Estado de São Paulo, Brasil*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN.
- Birke, M., & Rauch, U. (2000). Urban Geochemistry: Investigations in the Berlin Metropolitan Area. *Environmental Geochemistry and Health*, pp. 233-248.
- Boruvka, L., Vacek, O., & Jehlicka, J. (2005). Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, 128, pp. 289-300.
- Calderano Filho, B., Camargo, M., Rossi, M., & Oliveira, J. (1999). *Mapa pedológico do estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPASolos.
- Camargo, S. P., Figueiredo, A. G., Pavese, A. C., Gumiero, F. C., & Enzweiler, J. (2007). Metal assesment in urban park soils in São Paulo 4. Alfredo Volpi (Morumbi Park). *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007*.
- Campos, J., Ferreira, L. M., Filho, J. A., & Kakasu, M. (2002). Síntese do conhecimento hidrogeológico da bacia de de São Paulo. *XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, pp. 1-14.
- Cannon, W., & Horton, J. D. (2009). Soil geochemical signature of urbanization and industrialization – Chicago, Illinois, USA. *Applied Geochemistry*, 24, pp. 1590–1601.
- Chambers, L., Chin, Y.-P., Filippelli, G., Gardner, C., Herndon, E., Long, D., . . . Widom, E. (2016). Developing the scientific framework for urban geochemistry. *Elsevier*, pp. 1-20.
- Cobelo-García, A., Filella, M., Croot, P., Frazzoli, C., Laing, G., Ospina-Alvarez, N., . . . Zimmermann, S. (2015). COST action TD1407: network on technology-critical elements (NOTICE)—from environmental processes to human health threats. *Environ Sci Pollut Res*. doi:10.1007/s11356-015-5221-0

- Comitê Municipal de Mudança do Clima e Ecoeconomia e Grupos de Trabalho de Transporte, Energia, Construções, Uso do Solo, Resíduos e Saúde. (2011). *Diretrizes para o plano de ação da cidade de São Paulo para a mitigação e adaptações às mudanças climáticas*. São Paulo: Prefeitura de São Paulo.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (19 de março de 2016). *Valores orientadores para solo e água subterrânea*. Obtido de Qualidade do solo: <http://solo.cetesb.sp.gov.br/solo/valores-orientadores-para-solo-e-agua-subterranea/>
- De Miguel, E., Lamas, J. F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Royset, O., & Vadset, M. (1997). Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: Unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*, pp. 2733-2740.
- Demetriades, A., & Birke, M. (2015). *Urban Geochemical Mapping Manual* (1 ed.). Bruxelas: EuroGeoSurveys.
- Demetriades, A., & Birke, M. (2015). *Urban Topsoil Geochemical Mapping Manual (URGE II)*. Bruxelas: EuroGeoSurveys.
- Dias, C., Casarini, D. C., & Lemos, M. M. (2001). *Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB.
- Duarte, R. P., & Pasqual, A. (2000). Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. *Energia na Agricultura*, pp. 46-58.
- Ferraz, C., Abreu, L., & Scarpelin, J. (2009). Entre Rios. São Paulo, Brasil.
- Figueiredo, A. G., Camargo, S. P., & Sígolo, J. B. (2009). Determination of REE in Urban park soils from São Paulo city form fingerprint of traffic emission contamination. *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009*.
- Figueiredo, A. G., Camargo, S. P., Pavese, A. C., Gumiero, F. C., Enzweiler, J., & Sígolo, J. B. (2007). Metal assessment in urban park soils in São Paulo. 1. Ibirapuera park. *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007*.
- Figueiredo, A. G., Enzweiler, J., Sígolo, J. B., Camargo, S. P., Gumiero, F. C., & Pavese, A. (2011). Avaliação da Concentração de Vanádio em Solos de Parques da Cidade de São Paulo. *XII congresso Brasileiro de Geoquímica e III Simposio de Geoquímica de Países do Mercosul*, pp. 39-42.
- Figueiredo, A. G., Tocchini, M., & Santos, T. F. (2011). Metals in playground soils of São Paulo city, Brazil. *Procedia Environmental Sciences*, pp. 303-309.
- Figueiredo, A., Enzweiler, J., Camargo, S., Sígolo, J., Gumiero, F., Pavese, A., & Milian, F. (2009). Metal contamination in urban park soils of São Paulo. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, pp. 423-429.
- Filippelli, G., Risch, M., Laidlaw, M., Nichols, D., & Crewe, J. (2015). Geochemical legacies and the future health of cities: A tale of two neurotoxins in urban soils. *Elementa*, pp. 1-19.
- Google. (2017). *Google Maps*. Obtido em 08 de Setembro de 2017, de <https://www.google.com.br/maps>
- Guilherme, L. G., Marques, J., Pierangeli, M. P., Zuliani, D. Q., Campos, M. L., & Marchi, G. (2005). Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos Ci. Solo*, pp. 345-390.

- Gumiero, F. C., Figueiredo, A. G., Sígolo, J., Camargo, S. P., Enzweiler, J., Pavese, A., & Milian, F. M. (2007). Concentração de metais em solos de parques urbanos em São Paulo. 2. Parque Buenos Aires. *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007*.
- Gurgueira, M. D. (2013). *Correlação de Dados Geológicos e Geotécnicos na Bacia de São Paulo*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Huang, X., Olmez, I., & Aras, N. K. (1994). Emissions of trace elements from motor vehicles: potential marker elements and source composition profile. *Atmospheric Environment*, 28, pp. 1385-1391.
- IBGE. (2010). *Censo Demográfico*. Obtido em 19 de março de 2017, de www.censo.2010.ibge.gov.br
- IBGE. (2013). *Produto Interno Bruto a preços correntes e Produto Interno Bruto per capita segundo as Grandes Regiões, as Unidades da Federação e os Municípios - 2010-2013*. Obtido em 25 de 06 de 2017, de Produto Interno Bruto dos Municípios 2010-2013 - Tabelas Completas: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2010_2013/default_xls.shtm
- IBGE. (2016). *IBGE Cidades*. Obtido em 25 de junho de 2017, de <http://cod.ibge.gov.br/493>
- Jacinto, L. d., Almeida, T. I., & Gouveia, S. S. (25-30 de abril de 2009). Estimativa da impermeabilização do solo urbano da cidade de São Paulo combinando dados demográficos e de sensoriamento remoto. *Anais XIV Simp[osio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 707-714.
- Jackson, M., Sampson, J., & Prichard, H. (Julho de 2007). Platinum and palladium variations through the urban environment: Evidence from 11 sample types from Sheffield, UK. *Science of the total environment*, 385, pp. 117-131.
- Jarvis, K., Parry, S., & Piper, J. (2001). Temporal and Spatial Studies of autocatalyst-Derived Platinum, Rhodium, and Palladium and Selected Vehicle-Derived Trace Elements in the Environment. *Environ Scienc and Technology* , pp. 1031-1036.
- Johnson Matthey Precious Metals Management. (2016). *PGM Market Report November 2016*. Hertfordshire: PGM Market Reports.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants* (3^o ed.). Florida: CRC Press.
- Lee, C. S.-l., Li, X., Shi, W., Cheung, S.-n., & Thornton, I. (2006). Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics. *Science of the Total Environment*, 356, pp. 45-61.
- Lepsch, I. F. (2010). *Formação e Conservação dos Solos* (2^o ed.). São Paulo: Oficina de Texto.
- Martínez, L. L. (2010). *Distribuição de poluição difusa por sedimentos urbanos em áreas urbanas*. Tese de mestrado, Porto Alegre.
- McBride, M. B. (1994). *Environmental Chemistry of Soils*. Nova Iorque: Oxford University Press.
- Melfi, A., & Pedro, G. (1977). Estudo Geoquímico dos Solos e Formações Superficiais do Brasil . *Revista Brasileira de Geociências*, pp. 271-286.
- Melo, M., Sinfrônio, E., Giannini, P., Fachini, M., & Victorino, M. (2004). *Manual de procedimentos analíticos*. São Paulo: Labsed - Laboratório de Sedimentologia da USP.

- Morcelli, A., Figueiredo, J., Kakazu, M., Enzweiler, J., & Sigolo, J. (2004). PGEs and other traffic related elements in roadside soils from São Paulo, Brazil. *Sci. Total Environ*, pp. 81-91.
- Morcelli, C. P. (2004). *Elementos do grupo da platina (Pt, Pd, Rh) emitidos por conversores catalíticos de automóveis: um estudo realizado em solos localizados às margens da rodovia dos Bandeirantes no Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas energéticas e nucleares, São Paulo.
- Morcelli, C., Figueiredo, A., Sarkis, J., Kakazu, M., Enzweiler, J., & Sigolo, J. (2004). PGEs and other traffic related elements in roadside soils from São Paulo, Brazil. *Sci Total Environ*, 81-91.
- Parizanganeh, A., Hajisoltani, P., & Zamani, A. (2010). Concentration, Distribution and Comparison of Total and Bioavailable Metals in Top Soils and Plants Accumulation in Zanjan Zinc Industrial Town-Iran. *Procedia Environmental Sciences*, pp. 167-174.
- Pavese, A. C., Figueiredo, A. G., Camargo, S. P., Felipe, C. G., Enzweiler, J., & Milian, F. M. (2007). Concentração de metais em solos de parques urbanos em São Paulo. 3. Parque da Aclimação. *2007 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007*.
- Pérez, D. V., Manzatto, C. V., & Wasserman, M. V. (2006). Geoquímica dos solos Brasileiros: Situação Atual. Em C. d. Silva, B. R. Figueiredo, E. M. Capitani, & F. G. Cunha, *Geologia Médica no Brasil* (pp. 36-42). Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil.
- Prefeitura do Campus. (4 de Janeiro de 2016). Página Mobilidade no Campus . <http://www.puspc.usp.br/?p=4149>.
- Prefeitura do Campus da USP. (4 de jan de 2016). *Página Campus Sustentável*. Obtido de Prefeitura do Campus: www.puspc.usp.br/?page_id=3911
- Rauch, S., & Morrison, G. (Agosto de 2008). Environmental Relevance of the Platinum-Group Elements. *Elements*, pp. 259-263.
- Reimann, C., & Caritat, P. (2005). Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Elsevier*, pp. 91-107.
- Ribeiro, A. P., Figueiredo, A. G., Nammoura-Neto, G. M., Silva, N. C., Ticianelli, R. B., Camargo, S. P., & Enzweiler, J. (2009). Spatial Distribution of trace elements in topsoil adjacent to main avenues of São Paulo city, Brazil. *International Nucleas Atlantic Conference - INAC 2009*.
- Ribeiro, A. P., Figueiredo, A. G., Ticianelli, R. B., Nammoura-Neto, G. M., Silva, N. C., Kakazu, M. H., & Zahn, G. (2012). Metals and semi-metals in street soils of São Paulo city, Brazil. *Radioanal Nucl Chem*, pp. 137-142.
- Ribeiro, A., Figueiredo, A., Sarkis, J., Hortellani, M., & Markert, B. (2012). First study on anthropogenic Pt, Pd, and Rh levels in soils from major avenues of São Paulo City, Brazil. *Environ Monit Assess*, pp. 7373–7382.
- Rodriguez, S. K. (1998). *Geologia Urbana da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo: USP.
- Seção Técnica de Serviços Meteorológicos. (2016). *Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG/USP*. IAG/USP, Seção Técnica de Serviços Meteorológicos. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.
- Shinagawa, E. H., Figueira, R. C., Silva, C. R., Ribeiro, A., Trevisani, T. H., & Montone, R. C. (2015). Avaliação espaço-temporal do fator de enriquecimento de metais e semi-metals em

- amostras de solo após incêndio na Estação Antártica Comandante Ferraz. *XV Congresso Brasileiro de Geoquímica*. Brasília.
- Silva, C. d., Figueiredo, B. R., Capitani, E. M., & Cunha, F. G. (2006). *Geologia Médica no Brasil*. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil.
- Silva, R., Viana, M., & Mohallem, N. (2009). Caracterização textural, morfológica e estrutural de catalisadores automotivos novos e usados. *Cerâmica*, pp. 170-176.
- SMUL/DEINFO. (2015). *Cobertura Vegetal Município de São Paulo, Subprefeituras e Distritos Municipais*. São Paulo: Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente – SVMA.
- Sternbeck, J., Sjodin, A., & Andréasson, K. (2002). Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension—results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment*, pp. 4735-4744.
- Szynkowska, M., Pawlaczyk, A., Leśniewska, E., & Paryjczak, T. (2009). Toxic Metal Distribution in Rural and Urban Soil Samples Affected by Industry and Traffic. *Polish J. of Environ*, 18, pp. 1141-1150.
- Thomas, R. (2004). *Practical Guide to ICP-MS*. Nova Iorque: Marcel Dekker, Inc.
- Thornton, I. (1990). Soil contamination in urban areas. *Elsevier*, pp. 121-140.
- Ticianelli, R. B., Ribeiro, A. P., Figueiredo, A. G., Nammoura-Neto, G. M., & Silva, N. C. (2009). Metals in soil adjacent to avenues of highly dense traffic of São Paulo city, Brazil. *ABEN*. Rio de Janeiro.
- Ticianelli, R., Ribeiro, A., Figueiredo, A., & Zahn, G. (2013). U, Th and lanthanides in streetsoils of São Paulo city, Brazil. *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2013*.
- Varrica, D., Dongarrà, G., Sabatino, G., & Monna, F. (2003). Inorganic Geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy. *Environmental Geology*, pp. 222-230.
- Wang, L., & Liang, T. (2015). Geochemical fractions of rare earth elements in soil around a mine tailing in Baotou, China. *Sci. Rep.* 5. doi:10.1038/srep12483
- Wang, X. S., Quin, Y., & Sang, S. X. (2005). Accumulation and sources of heavy metals in urban topsoils: a case of study from the city of Xuzhou, China. *Environ Geology*, pp. 101-107.
- Wedephol, H. K. (1995). The composition of the continental crust. *Elsevier Science*, p. 1217;1232.
- Wong, C. S., Li, X., & Thornton, I. (2006). Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environmental Pollution - Elsevier*, pp. 1-16.
- WorldBank. (19 de Março de 2017). *Health Nutrition and Population Statistics: population estimation and projections*. Obtido de Databank:
<http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=health-nutrition-and-population-statistics:-population-estimates-and-projections>
- Zhang, G.-L., Zhu, Y.-G., & Fu, B.-J. (2003). Quality changes of soils in urban and suburban areas and its eco-environmental impacts—A review. *Acta Ecologica Sinica*, 03.

ANEXOS

Anexo 1 – Tabela de pontos de coleta da zona oeste de São Paulo e pontos da Cidade Universitária.

| PONTO | DATA | X | Y | ELEVAÇÃO | LOCAL | LOCALIDADE | CARACTERÍSTICAS |
|-------|------------|--------|---------|----------|-----------------------------|---|--|
| SS015 | 13/05/2017 | 331186 | 7396261 | 756 | Praça Marechal Deodoro | Praça entre Rua das Palmeiras, Av. Angélica e Elevado Presidente João Goulart. | Amostragem em solo coberto com grama e exposto. Presença parcial de árvores. Solo com grama está mais compacto. Pedras em superfície 0-2 cm. |
| SS001 | 13/05/2017 | 333354 | 7394466 | 779 | Praça da Sé | Praça Clóvis Beviláqua. Ao lado de Rua Anita Garibaldi. Em frente ao Corpo de Bombeiros e Palácio da Justiça. | Solo úmido e fofo. Concreto abaixo. Coberto por grama e presença de pequenos lixos. |
| SS002 | 13/05/2017 | 330861 | 7394473 | 855 | Cemitério da Consolação | Canteiro Central da rua da Consolação. Próximo a entrada de Rua Pedro Taques e alça de acesso ao Cemitério da Consolação | Solo remexido. Pedras em 0-5 cm de profundidade. Grama na parte de cima. Canteiro 50 cm acima da rua. |
| SS011 | 13/05/2017 | 327937 | 7394356 | 774 | Sumaré | Canteiro de encruzilhada próximo à Praça General Oliveira Alvares. Passagem de carros da Rua Abegoaria e acesso para Rua João Moura | Solo argiloso com grama. Remexido com pedras angulosas até 10 cm. |
| SS003 | 13/05/2017 | 331556 | 7392771 | 824 | Av. Paulista | Canteiro elevado em calçada com fluxo em avenida sentido Paraíso. | Solo pouco compacto com grama superficial. Sem árvore. Canteiro 80 cm acima da rua. |
| SS004 | 28/05/2017 | 329724 | 7390917 | 808 | Av. Brigadeiro Luis Antônio | Coleta em cruzamento com Rua Oliveira Dias. Local próxima à faixa de pedestre. | Porções apresentam bastante areia e outras com terra bastante escura. pedras 0-5 cm. Solo com gramado, sem árvore. |
| SS005 | 28/05/2017 | 327771 | 7389232 | 734 | Av. Bandeirantes | Canteiro central lado sentido aeroporto. Próximo à Pt. Engenheiro Ari Torres. | Solo úmido com grama na parte superior. |
| SS006 | 28/05/2017 | 326291 | 7387314 | 783 | Rua George Eastmen | Praça Prof. João Alves da Silva. Encontro de ruas Luis Gonzaga de Azevedo Neto, George Eastmen e Av. Duquesa de Goiás. Próximo à Ponto de taxi. | Praça jardinada com manta de recobrimento do solo e muitos seixos de rio (ornamentais). Gramado sem árvores. |
| SS007 | 28/05/2017 | 324927 | 7385750 | 753 | Marginal Pinheiros | Canteiro lateral de Marginal Pinheiros com alça de acesso à hipermercado extra, sentido Parque Burle Marx. | Sedimentos alóctones bastante arenosos, com provável proveniência de material construtivo ou aterro da marginal. Pedras em 0-10 cm. |
| SS012 | 28/05/2017 | 325887 | 7394458 | 726 | Pan Americana | Rotatória em praça Raymundo Martins Castro. Cruzamento de ruas Caraúna e Endê. | Solo fino, argiloso pouco remexido. apresenta estruturas formato cristalino reliquiar de minerais (feldspatos). Pouco fluxo de carros. Gramas sem árvores. |
| SS014 | 26/06/2017 | 320752 | 7394701 | 752 | Continental | Rotatória próxima ao shopping Continental em praça Willian Kalil | Solo remexido, sem clastos, arenoso, pouco compacto. |

Anexo 1 – (continuação) Tabela de pontos de coleta da zona oeste de São Paulo e pontos da Cidade Universitária.

| PONTO | DATA | X | Y | ELEVAÇÃO | LOCAL | LOCALIDADE | CARACTERÍSTICAS |
|----------------|------|--------|---------|----------|----------------------|--|---|
| SSUSP01 | 2015 | 325189 | 7393031 | 721 | Cidade Universitária | Área gramada. Ponto de ônibus, sentido Portaria 1 Av. Melo Moraes | Solo compactado, homogêneo, avermelhado a amarronzado |
| SSUSP02 | 2015 | 325212 | 7393038 | 724 | Cidade Universitária | Área gramada. Ponto de ônibus, próximo ao acesso a CPTM | Solo argiloso, marrom com presença de raízes, torna-se mais avermelhado a 20 cm de profundidade |
| SSUSP03 | 2015 | 325180 | 7393314 | 723 | Cidade Universitária | Área gramada. Ponto de ônibus, av. Melo Moraes, beirando a Raia olímpica, na altura do CRUSP | Solo argiloso com seixos de quartzo, de coloração marrom avermelhado, tornando-se mais avermelhado a 20 cm de profundidade. Raízes. |
| SSUSP04 | 2015 | 324380 | 7393766 | 723 | Cidade Universitária | Área gramada. Último ponto de ônibus, av. Melo Moraes, antes da Portaria 2 | Solo argiloso, marrom escuro, alguns seixos de quartzo, de 10 a 20 cm, presença de argila um pouco mais avermelhada em algumas sub-amostras |
| SSUSP05 | 2015 | 323980 | 7394008 | 726 | Cidade Universitária | Portaria 2 | Solo argiloso, marrom escuro, alguns seixos de quartzo, de 10 a 20 cm, presença de argila um pouco mais avermelhada em algumas sub-amostras |
| SSUSP06 | 2015 | 323238 | 7394399 | 725 | Cidade Universitária | Canteiro central, altura do CEPEUSP, na Av. Melo Moraes | Solo marrom alaranjado, argiloso |
| SSUSP07 | 2015 | 324780 | 7393587 | 729 | Cidade Universitária | Gramado, próximo a Reitoria e acesso ao estacionamento | Solo marrom avermelhado, fofo, de coloração mais rosada a 20 cm. Raízes. |
| SSUSP08 | 2015 | 324385 | 7393336 | 772 | Cidade Universitária | Av. Prof. Lineu Prestes, altura da biblioteca do conjunto de química, área gramada, ponto de ônibus. | Solo avermelhado, argiloso, mais rosado a 20 cm. Raízes |
| SSUSP09 | 2015 | 323769 | 7392713 | 771 | Cidade Universitária | Av. Prof. Lineu Prestes, altura do Instituto de química, área gramada, ponto de ônibus. | Solo avermelhado, argiloso, mais rosado a 20 cm. Raízes |
| SSUSP10 | 2015 | 323910 | 7392745 | 747 | Cidade Universitária | Av. Prof. Lineu Prestes, altura da FFLCH, área gramada, ponto de ônibus. | Solo marrom avermelhado, argiloso |
| SSUSP11 | 2015 | 324248 | 7392934 | 728 | Cidade Universitária | Av. da universidade, gramado, ponto de ônibus, altura da Faculdade de Educação | Solo marrom, um pouco mais arenoso mas mais argiloso e avermelhado de 10 a 20 cm |
| SSUSP12 | 2015 | 324843 | 7393003 | 723 | Cidade Universitária | Av. da universidade, gramado, ponto de ônibus, academia de polícia, Portaria 1 | Solo muito escuro, argiloso. Raízes abundantes. |
| SSUSP13 | 2015 | 325157 | 7392822 | 734 | Cidade Universitária | Av. Lineu Prestes, gramado, ponto de ônibus na altura da Casa de Cultura Japonesa | Solo marrom alaranjado, argiloso, fofo. |
| SSUSP14 | 2015 | 324473 | 7393091 | 741 | Cidade Universitária | Avenida Prof. Almeida Prado, ponto de ônibus Prefeitura do Campus | Solo muito seco, rosado e mais avermelhado a 20 cm de profundidade, presença de raízes. |
| SSUSP15 | 2015 | 322456 | 7393405 | 753 | Cidade Universitária | Avenida Prof. Almeida Prado, ponto de ônibus MAE | Solo argiloso e avermelhado. |

Anexo 1 – (continuação) Tabela de pontos de coleta da zona oeste de São Paulo e pontos da Cidade Universitária.

| PONTO | DATA | X | Y | ELEVAÇÃO | LOCAL | LOCALIDADE | CARACTERÍSTICAS |
|----------------|------|--------|---------|----------|----------------------|---|--|
| SSUSP16 | 2015 | 322229 | 7393402 | 776 | Cidade Universitária | Av. Prof. Lineu Prestes, canteiro central, Hospital Universitário | Solo seco e compactado, rosado. |
| SSUSP17 | 2015 | 322263 | 7392972 | 788 | Cidade Universitária | Av. Prof. Lineu Prestes, canteiro central, Odontologia | Solo marrom alaranjado e argiloso. |
| SSUSP18 | 2015 | 322636 | 7392607 | 796 | Cidade Universitária | Av. Prof. Lineu Prestes, gramado, Instituto de Biociências | Solo marrom alaranjado, brita a 20 cm de profundidade. |
| SSUSP19 | 2015 | 323007 | 7392396 | 800 | Cidade Universitária | Av. Prof. Lineu Prestes, acesso pedestre a Vila Indiana | Solo superficial marrom se tornando mais avermelhado a 20 cm de profundidade. |
| SSUSP20 | 2015 | 322714 | 7393513 | 741 | Cidade Universitária | Avenida Prof. Almeida Prado, ponto de ônibus COCESP | Solo marrom avermelhado. |
| SSUSP21 | 2015 | 322654 | 7393438 | 749 | Cidade Universitária | Rua do Matão, Clube dos Funcionários | Solo marrom a avermelhado, fragmentos de plástico |
| SSUSP22 | 2015 | 322654 | 7393438 | 736 | Cidade Universitária | Rua do Lago, ponto de ônibus do Instituto Oceanográfico | Solo marrom acinzentado, escuro, arenoso, fragmentos de plástico, concreto e tufo de pelos |
| SSUSP23 | 2015 | 323365 | 7393293 | 733 | Cidade Universitária | Av. Prof. Luciano Gualberto, ponto de ônibus, Instituto de Geociências | Solo superficial marrom se tornando mais avermelhado de 10 a 20 cm |
| SSUSP24 | 2015 | 323733 | 7393328 | 744 | Cidade Universitária | Av. Prof. Luciano Gualberto, Reitoria, canteiro central | Solo compactado marrom a avermelhado |
| SSUSP25 | 2015 | 324132 | 7393148 | 729 | Cidade Universitária | Av. Prof. Luciano Gualberto, ponto de ônibus IAG/Escola Politécnica, plataforma de concreto abaixo de 10 cm | Solo marrom a avermelhado |

Anexo 2 – Comprovante de rastreamento de amostras.

Seguimento, Acompanhamento, Rastreamento, Seguir Enco...

<http://www.dhl.com.br/pt/express/rastreamento.html?AWB=...>

Nós utilizamos cookies no nosso site. Os cookies são utilizados para melhorar a funcionalidade e a utilização do nosso site. Para saber mais sobre cookies, sobre a forma como os utilizamos e sobre como alterar as suas definições de cookies, clique aqui. Ao utilizar este site sem alterar as suas definições você aceita a nossa utilização de cookies.



Português English

Centro de Contato

Perfil do País

DHL Global

Rastreamento de Remessa Expresso DHL

Este é o caminho mais rápido para verificar o status da sua remessa. Não é preciso ligar para o Atendimento ao Cliente - os resultados do rastreamento on-line te oferecem o status detalhado em tempo real, assim como sua velocidade através da rede DHL.

Todas as remessas de importação, não caracterizadas como documentos, estão sujeitas a impostos e tributos, inclusive as remessas de compras realizadas via Internet.

Obrigado por utilizar a DHL Express.

Resumo dos Resultados

Conhecimento Aéreo:
2536994585

Evento de Liberação

Quarta-feira, Novembro 01, 2017 em 10:25

Área de Origem do Serviço:

SAO PAULO NORTH - SAO PAULO - BRAZIL

A data de entrega estimada não está disponível no momento. Por favor, tente novamente mais tarde.
1 Peça

Mais detalhes:

Próximo passo:

Área de Destino do Serviço:

CUYO (MENDOZA) - MENDOZA - ARGENTINA

| Quarta-feira, Novembro 01, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
|--|--------------------------|-------------|-------------|
| 32 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:25 | |
| Terça-feira, Outubro 31, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 31 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:25 | |
| Segunda-feira, Outubro 30, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 30 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:25 | |
| Sexta-feira, Outubro 27, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 29 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:25 | |
| Quinta-feira, Outubro 26, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 28 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 11:17 | 1 Peça |
| Quarta-feira, Outubro 25, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 27 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 11:44 | 1 Peça |
| Terça-feira, Outubro 24, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 26 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 11:12 | 1 Peça |
| Segunda-feira, Outubro 23, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 25 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:42 | 1 Peça |
| Sexta-feira, Outubro 20, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 24 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:37 | 1 Peça |
| Quinta-feira, Outubro 19, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 23 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 09:57 | 1 Peça |
| Quarta-feira, Outubro 18, 2017 | Localidade | Hora | Peça |
| 22 Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 09:26 | 1 Peça |

Anexo 2– (continuação) Comprovante de rastreamento de amostras.

Seguimento, Acompanhamento, Rastreamento, Seguir Enco...

<http://www.dhl.com.br/pt/express/rastreamento.html?AWB=...>

Nós utilizamos cookies no nosso site. Os cookies são utilizados para melhorar a funcionalidade e a utilização do nosso site. Para saber mais sobre cookies, sobre a forma como os utilizamos e sobre como alterar as suas definições de cookies utilizando este site sem alterar as suas definições você aceita a nossa utilização.

| Quinta-feira, Outubro 12, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
|--|--|--------------------------|-------------|-------------|
| 20 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:22 | 1 Peça |
| Quarta-feira, Outubro 11, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 19 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:26 | 1 Peça |
| Terça-feira, Outubro 10, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 18 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:17 | 1 Peça |
| Segunda-feira, Outubro 09, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 17 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 11:59 | 1 Peça |
| Sexta-feira, Outubro 06, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 16 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:05 | 1 Peça |
| Quinta-feira, Outubro 05, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 15 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:41 | 1 Peça |
| Quarta-feira, Outubro 04, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 14 | Despachante notificado para providenciar liberação. | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 13:29 | |
| 13 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:50 | 1 Peça |
| Terça-feira, Outubro 03, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 12 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:40 | 1 Peça |
| Segunda-feira, Outubro 02, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 11 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:55 | 1 Peça |
| Sexta-feira, Setembro 29, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 10 | Status alfandegário atualizado | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 15:30 | |
| 9 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 10:18 | 1 Peça |
| Quinta-feira, Setembro 28, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 8 | Status alfandegário atualizado | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 14:30 | |
| 7 | Evento de Liberação | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 12:25 | 1 Peça |
| 6 | Envio em processo de liberação alfandegária. BUENOS AIRES - ARGENTINA | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 12:25 | 1 Peça |
| 5 | Chegada do envio a uma instalação de trânsito da DHL em BUENOS AIRES - ARGENTINA | BUENOS AIRES - ARGENTINA | 11:53 | 1 Peça |
| 4 | Saiu das instalações da DHL em SAO PAULO NORTH - BRAZIL | SAO PAULO NORTH - BRAZIL | 05:04 | 1 Peça |
| 3 | Processado em SAO PAULO NORTH - BRAZIL | SAO PAULO NORTH - BRAZIL | 03:37 | 1 Peça |
| 2 | Chegada do envio a uma instalação de trânsito da DHL em SAO PAULO NORTH - BRAZIL | SAO PAULO NORTH - BRAZIL | 01:06 | 1 Peça |
| Quarta-feira, Setembro 27, 2017 | | Localidade | Hora | Peça |
| 1 | Envio recolhido. | SAO PAULO NORTH - BRAZIL | 13:59 | 1 Peça |

Se você preferir falar com alguém pessoalmente sobre a localização de sua remessa, favor entrar em contato Serviço ao Cliente.

Anexo 3 – Resultados de análise química de solos superficiais no interior do *campus* da Cidade Universitária da USP. LD = Limite de Detecção.

| ELEMENTO | Ag | As | Au | Bi | Co | Cd | Cu | Ca | Fe | Mo | Mn | Ni | P | Pb | Sb | Sr | Th | U |
|----------------|------|-----|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-----|------|-------|-------|------|------|------|-----|
| UNIDADE | PPB | PPM | PPB | PPM | PPM | PPM | PPM | % | % | PPM | PPM | PPM | % | PPM | PPM | PPM | PPM | PPM |
| LD | 2 | 0,1 | 0,2 | 0,02 | 0,1 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 1 | 0,1 | 0,001 | 0,01 | 0,02 | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| SSUSP01 | 72 | 6,7 | 4,4 | 0,42 | 2,3 | 0,51 | 20,00 | 0,18 | 3,61 | 1,17 | 124 | 5,9 | 0,025 | 26,36 | 0,36 | 10,7 | 11,7 | 1,5 |
| SSUSP02 | 75 | 7,3 | 3,7 | 0,32 | 3,3 | 0,25 | 18,38 | 0,15 | 4,48 | 1,09 | 142 | 5,7 | 0,023 | 35,35 | 0,35 | 6,6 | 12,8 | 1,7 |
| SSUSP03 | 65 | 3,3 | 2,0 | 0,24 | 3,6 | 0,25 | 17,34 | 0,17 | 2,65 | 0,71 | 143 | 6,4 | 0,032 | 52,24 | 0,29 | 9,0 | 10,7 | 2,0 |
| SSUSP04 | 91 | 4,3 | 4,2 | 0,26 | 4,4 | 0,61 | 20,94 | 0,19 | 2,41 | 0,73 | 234 | 7,2 | 0,036 | 46,68 | 0,33 | 10,3 | 9,1 | 1,8 |
| SSUSP05 | 62 | 5,7 | 4,8 | 0,34 | 3,1 | 0,29 | 19,06 | 0,24 | 2,99 | 1,05 | 135 | 7,5 | 0,035 | 35,44 | 0,37 | 19,4 | 12,0 | 2,1 |
| SSUSP06 | 64 | 5,4 | 2,6 | 0,27 | 2,9 | 0,28 | 17,31 | 0,15 | 2,68 | 0,83 | 105 | 6,6 | 0,029 | 37,01 | 0,32 | 7,2 | 10,9 | 1,9 |
| SSUSP07 | 339 | 6,6 | 18,7 | 0,34 | 2,2 | 0,20 | 20,40 | 0,08 | 3,69 | 0,99 | 145 | 5,5 | 0,026 | 49,64 | 0,35 | 4,2 | 16,1 | 1,7 |
| SSUSP08 | 65 | 6,1 | 2,5 | 0,28 | 4,5 | 0,35 | 16,33 | 0,06 | 3,44 | 0,68 | 334 | 5,1 | 0,017 | 75,86 | 0,23 | 4,5 | 15,2 | 1,5 |
| SSUSP09 | 86 | 7,1 | 2,4 | 0,35 | 1,8 | 0,38 | 15,97 | 0,11 | 3,40 | 1,00 | 149 | 4,5 | 0,021 | 47,57 | 0,28 | 5,3 | 13,0 | 1,2 |
| SUSP10 | 52 | 5,3 | 3,2 | 0,22 | 2,5 | 0,34 | 16,89 | 0,13 | 3,18 | 0,78 | 136 | 5,0 | 0,022 | 37,30 | 0,24 | 7,3 | 12,4 | 1,7 |
| SSUSP11 | 52 | 4,7 | 2,5 | 0,24 | 3,0 | 0,31 | 12,06 | 0,17 | 2,97 | 0,98 | 163 | 5,5 | 0,024 | 33,82 | 0,24 | 11,4 | 15,4 | 1,7 |
| SSUSP12 | 116 | 2,3 | 4,8 | 0,22 | 4,2 | 0,76 | 27,08 | 0,16 | 2,03 | 0,67 | 189 | 7,1 | 0,039 | 45,83 | 0,52 | 9,5 | 5,8 | 1,8 |
| SSUSP13 | 93 | 5,4 | 2,4 | 0,27 | 1,6 | 0,29 | 19,56 | 0,09 | 3,21 | 0,94 | 118 | 5,3 | 0,033 | 41,44 | 0,35 | 5,4 | 10,8 | 1,5 |
| SSUSP14 | 21 | 2,9 | 1,6 | 0,18 | 4,4 | 0,19 | 11,78 | 0,18 | 2,03 | 0,45 | 226 | 6,7 | 0,016 | 17,40 | 0,13 | 8,1 | 8,7 | 1,3 |
| SSUSP15 | 42 | 4,6 | 2,2 | 0,26 | 4,0 | 0,28 | 12,81 | 0,16 | 2,90 | 0,70 | 173 | 5,7 | 0,030 | 24,59 | 0,18 | 7,7 | 10,0 | 2,0 |
| SSUSP16 | 108 | 8,7 | 5,9 | 0,44 | 14,6 | 0,51 | 31,34 | 0,10 | 2,81 | 0,74 | 181 | 56,5 | 0,035 | 24,64 | 0,17 | 8,9 | 14,2 | 1,9 |
| SSUSP17 | 151 | 4,1 | 3,6 | 0,18 | 3,8 | 0,35 | 19,33 | 0,16 | 2,27 | 1,59 | 114 | 66,6 | 0,020 | 21,96 | 0,28 | 8,8 | 10,1 | 1,4 |
| SSUSP18 | 33 | 3,4 | 1,9 | 0,19 | 5,6 | 0,18 | 12,06 | 0,15 | 2,54 | 0,62 | 260 | 7,8 | 0,022 | 31,06 | 0,13 | 7,6 | 11,2 | 1,7 |
| SSUSP19 | 121 | 4,8 | 4,0 | 0,33 | 2,4 | 1,24 | 28,75 | 0,16 | 2,86 | 1,07 | 137 | 6,8 | 0,030 | 52,64 | 0,46 | 6,9 | 10,8 | 1,4 |
| SSUSP20 | 76 | 6,5 | 4,2 | 0,37 | 1,7 | 1,21 | 19,52 | 0,17 | 2,62 | 1,13 | 125 | 7,2 | 0,025 | 38,18 | 0,37 | 8,2 | 12,0 | 1,2 |
| SSUSP21 | 63 | 6,3 | 13,5 | 0,37 | 4,8 | 1,23 | 16,80 | 0,22 | 2,90 | 1,05 | 211 | 10,2 | 0,025 | 28,25 | 0,33 | 9,5 | 13,7 | 1,4 |
| SSUSP22 | 1203 | 2,1 | 3,2 | 0,31 | 1,8 | 1,01 | 18,80 | 0,24 | 1,25 | 0,64 | 108 | 5,1 | 0,027 | 67,60 | 0,56 | 9,8 | 4,3 | 1,0 |
| SSUSP23 | 193 | 4,0 | 5,8 | 0,35 | 6,8 | 2,96 | 30,96 | 0,37 | 2,76 | 0,76 | 229 | 11,2 | 0,038 | 55,81 | 0,39 | 20,0 | 8,7 | 1,5 |
| SSUSP24 | 92 | 4,7 | 995,8 | 0,28 | 1,7 | 0,28 | 18,26 | 0,14 | 2,80 | 1,01 | 94 | 7,0 | 0,034 | 50,25 | 0,34 | 8,7 | 10,4 | 1,4 |
| SSUSP25 | 138 | 6,3 | 6,0 | 0,33 | 2,2 | 0,52 | 25,68 | 0,35 | 2,62 | 1,35 | 153 | 10,8 | 0,042 | 41,88 | 0,48 | 13,5 | 9,8 | 1,6 |

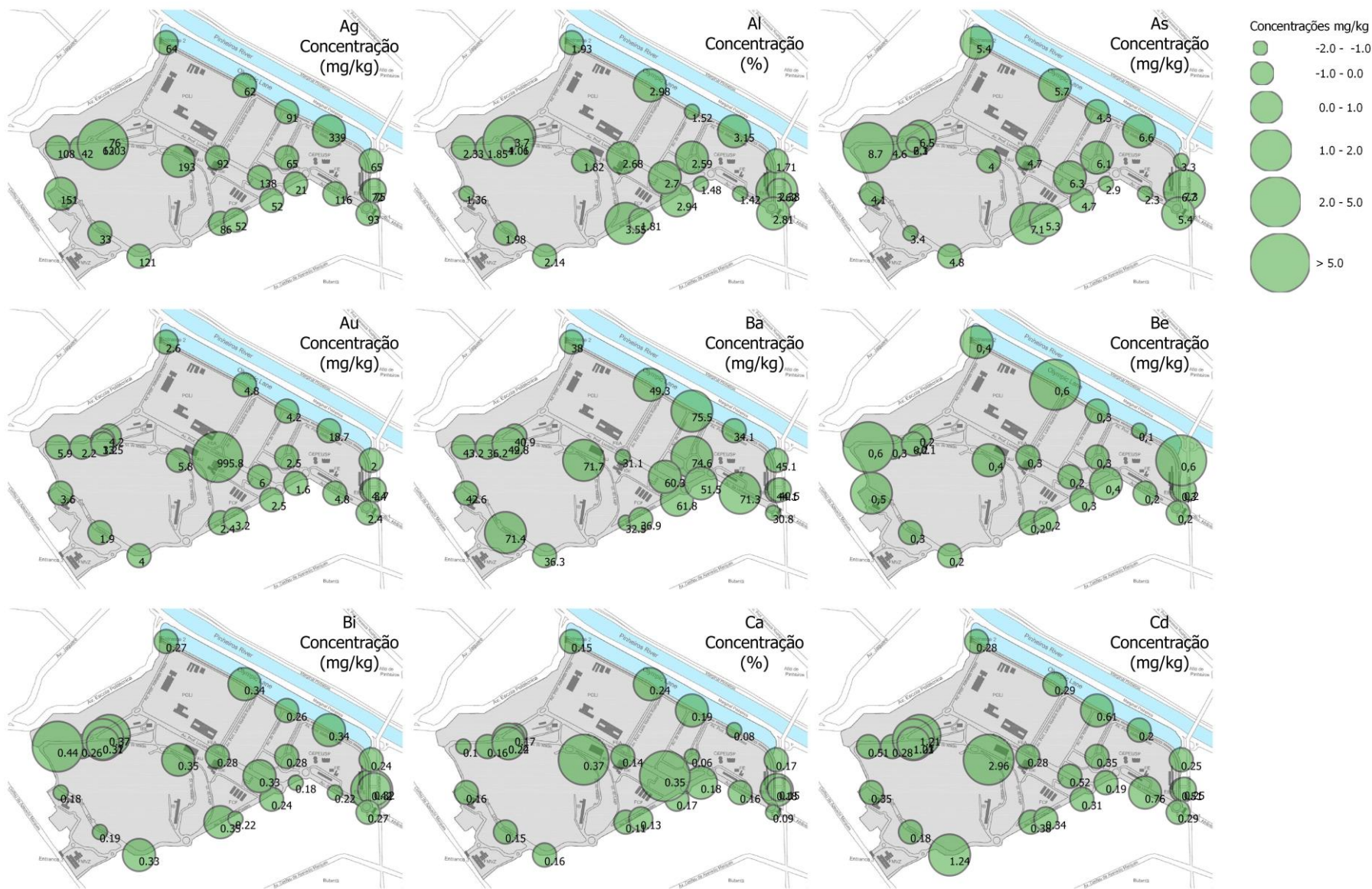
Anexo 3 – (continuação) Resultados de análise química de solos superficiais no interior do *campus* da Cidade Universitária da USP. LD = Limite de Detecção.

| ELEMENTO | Zn | La | Cr | Mg | Ba | Ti | B | Al | Na | K | W | Sc | TI | S | Hg | Se | Te | Ga |
|----------|-------|------|-------|------|------|-------|-----|------|--------|------|------|-----|------|-------|-----|------|-------|------|
| UNIDADE | PPM | PPM | PPM | % | PPM | % | PPM | % | % | % | PPM | PPM | PPM | % | PPB | PPM | PPM | PPM |
| LD | 0,1 | 0,5 | 0,5 | 0,01 | 0,5 | 0,001 | 20 | 0,01 | 0,001 | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,02 | 0,02 | 5 | 0,1 | 0,02 | 0,1 |
| SSUSP01 | 82,9 | 8,7 | 41,1 | 0,07 | 44,1 | 0,024 | <20 | 3,62 | <0.001 | 0,06 | <0.1 | 6,0 | 0,12 | 0,03 | 87 | 0,1 | 0,04 | 14,4 |
| SSUSP02 | 64,8 | 7,5 | 50,5 | 0,04 | 40,5 | 0,028 | <20 | 2,38 | <0.001 | 0,04 | <0.1 | 6,6 | 0,09 | 0,03 | 40 | 0,4 | 0,05 | 11,3 |
| SSUSP03 | 69,5 | 16,5 | 32,9 | 0,07 | 45,1 | 0,026 | <20 | 1,71 | <0.001 | 0,05 | <0.1 | 5,1 | 0,14 | 0,03 | 55 | 0,1 | 0,03 | 9,9 |
| SSUSP04 | 146,6 | 22,0 | 30,7 | 0,09 | 75,5 | 0,022 | <20 | 1,52 | <0.001 | 0,07 | <0.1 | 4,3 | 0,17 | 0,03 | 63 | <0.1 | 0,03 | 8,2 |
| SSUSP05 | 90,8 | 16,1 | 38,1 | 0,07 | 49,3 | 0,025 | <20 | 2,98 | <0.001 | 0,06 | <0.1 | 6,1 | 0,15 | 0,03 | 65 | 0,3 | 0,04 | 12,7 |
| SSUSP06 | 62,0 | 13,9 | 34,1 | 0,06 | 38,0 | 0,019 | <20 | 1,93 | 0,001 | 0,05 | <0.1 | 5,1 | 0,14 | 0,03 | 73 | 0,1 | 0,05 | 8,8 |
| SSUSP07 | 63,9 | 8,2 | 41,5 | 0,03 | 34,1 | 0,029 | <20 | 3,15 | <0.001 | 0,03 | <0.1 | 6,0 | 0,06 | 0,03 | 63 | 0,1 | 0,06 | 13,9 |
| SSUSP08 | 68,4 | 10,6 | 46,7 | 0,03 | 74,6 | 0,019 | <20 | 2,59 | <0.001 | 0,02 | <0.1 | 6,1 | 0,17 | 0,03 | 68 | 0,3 | 0,04 | 12,2 |
| SSUSP09 | 68,2 | 5,8 | 44,6 | 0,03 | 32,5 | 0,013 | <20 | 3,55 | <0.001 | 0,03 | <0.1 | 5,2 | 0,11 | 0,03 | 83 | 0,3 | 0,06 | 13,2 |
| SUSP10 | 63,5 | 11,1 | 33,1 | 0,04 | 36,9 | 0,021 | <20 | 1,81 | <0.001 | 0,04 | <0.1 | 5,6 | 0,09 | 0,03 | 55 | <0.1 | 0,03 | 9,6 |
| SSUSP11 | 52,5 | 16,7 | 41,2 | 0,09 | 61,8 | 0,019 | <20 | 2,94 | <0.001 | 0,08 | <0.1 | 5,8 | 0,16 | 0,02 | 95 | 0,2 | 0,05 | 12,8 |
| SSUSP12 | 169,5 | 16,1 | 28,8 | 0,13 | 71,3 | 0,032 | <20 | 1,42 | 0,003 | 0,11 | 0,1 | 3,7 | 0,22 | 0,03 | 152 | 0,2 | <0.02 | 6,4 |
| SSUSP13 | 74,1 | 8,6 | 35,9 | 0,03 | 30,8 | 0,013 | <20 | 2,81 | <0.001 | 0,04 | <0.1 | 5,5 | 0,09 | 0,04 | 108 | <0.1 | 0,05 | 11,3 |
| SSUSP14 | 38,5 | 25,5 | 30,6 | 0,10 | 51,5 | 0,036 | <20 | 1,48 | 0,002 | 0,09 | <0.1 | 4,5 | 0,13 | <0.02 | 22 | 0,2 | 0,03 | 7,8 |
| SSUSP15 | 52,8 | 18,4 | 34,6 | 0,07 | 36,2 | 0,032 | <20 | 1,85 | 0,001 | 0,06 | <0.1 | 5,3 | 0,08 | 0,03 | 27 | <0.1 | <0.02 | 10,6 |
| SSUSP16 | 274,9 | 15,8 | 37,5 | 0,06 | 43,2 | 0,024 | <20 | 2,33 | <0.001 | 0,07 | <0.1 | 5,2 | 0,18 | 0,03 | 93 | 0,4 | <0.02 | 10,1 |
| SSUSP17 | 72,3 | 16,0 | 152,6 | 0,07 | 42,6 | 0,016 | <20 | 1,36 | 0,002 | 0,08 | <0.1 | 4,2 | 0,11 | 0,03 | 127 | 0,1 | 0,03 | 6,7 |
| SSUSP18 | 47,8 | 16,2 | 37,9 | 0,07 | 71,4 | 0,016 | <20 | 1,98 | 0,001 | 0,07 | <0.1 | 5,0 | 0,19 | 0,02 | 42 | 0,2 | <0.02 | 9,4 |
| SSUSP19 | 135,7 | 13,2 | 36,6 | 0,08 | 36,3 | 0,028 | <20 | 2,14 | 0,002 | 0,08 | <0.1 | 5,3 | 0,10 | 0,03 | 104 | 0,2 | 0,11 | 9,8 |
| SSUSP20 | 117,3 | 8,3 | 36,9 | 0,05 | 40,9 | 0,016 | <20 | 3,70 | <0.001 | 0,03 | <0.1 | 4,8 | 0,08 | 0,03 | 63 | 0,1 | 0,05 | 14,3 |
| SSUSP21 | 122,8 | 8,1 | 41,4 | 0,05 | 42,8 | 0,020 | <20 | 4,06 | <0.001 | 0,03 | <0.1 | 5,7 | 0,10 | 0,03 | 40 | 0,3 | 0,05 | 16,1 |
| SSUSP22 | 108,1 | 10,7 | 24,6 | 0,08 | 49,0 | 0,014 | <20 | 1,01 | 0,003 | 0,06 | <0.1 | 2,2 | 0,06 | 0,02 | 197 | 0,2 | 0,07 | 4,2 |
| SSUSP23 | 132,8 | 18,0 | 34,6 | 0,12 | 71,7 | 0,030 | <20 | 1,82 | 0,003 | 0,07 | <0.1 | 5,2 | 0,16 | 0,04 | 117 | 0,1 | 0,04 | 9,6 |
| SSUSP24 | 74,0 | 10,5 | 45,5 | 0,04 | 31,1 | 0,015 | <20 | 2,68 | <0.001 | 0,05 | <0.1 | 5,7 | 0,08 | 0,04 | 53 | 0,3 | 0,05 | 12,5 |
| SSUSP25 | 110,7 | 14,3 | 41,8 | 0,08 | 60,3 | 0,020 | <20 | 2,70 | <0.001 | 0,07 | 0,2 | 4,6 | 0,12 | 0,04 | 83 | 0,7 | 0,11 | 11,2 |

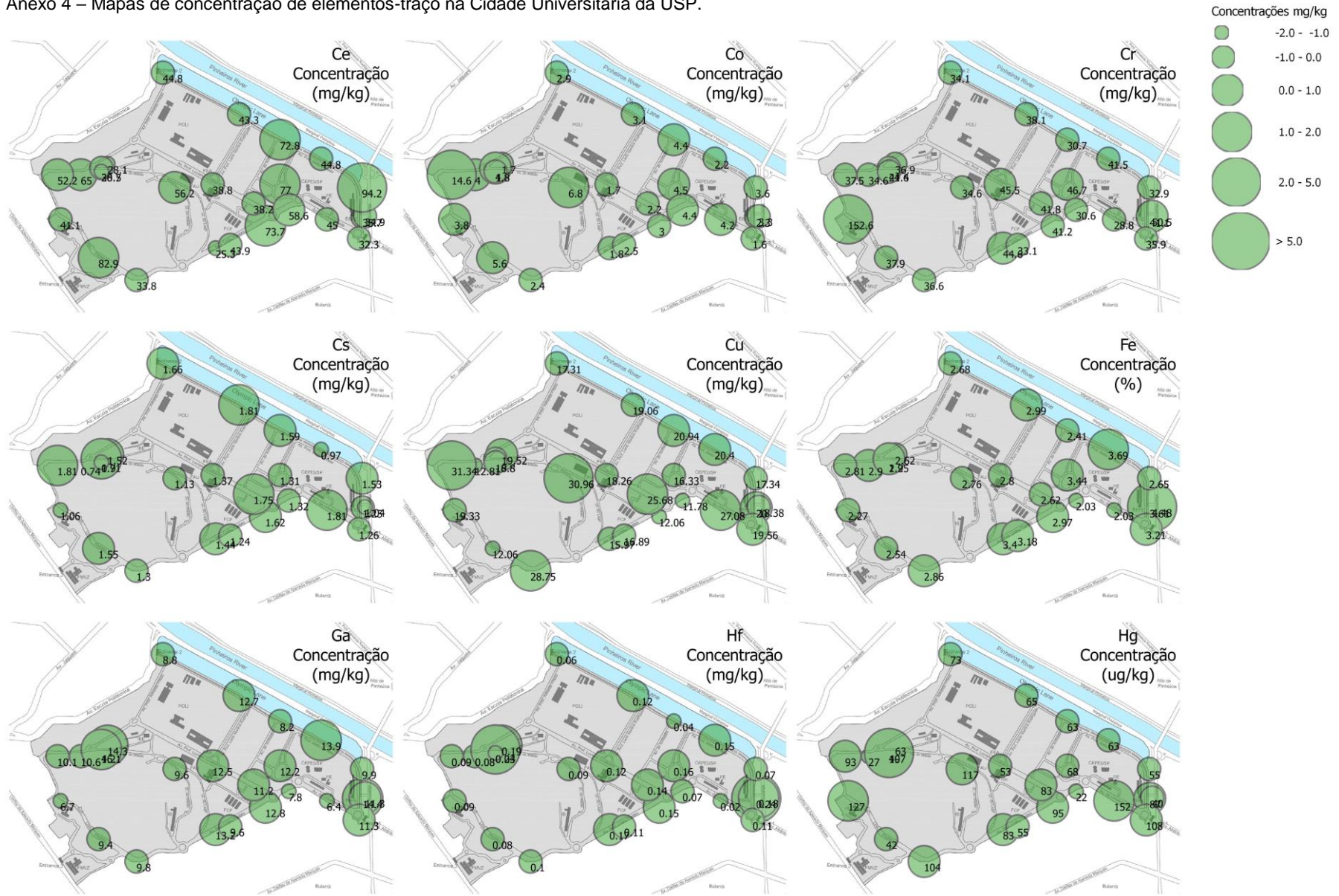
Anexo 3 – (continuação) Resultados de análise química de solos superficiais no interior do *campus* da Cidade Universitária da USP. LD = Limite de Detecção.

| ELEMENTO | GE | HF | NB | RB | SN | TA | ZR | Y | CE | IN | RE | BE | LI | PD | PT | V | CS |
|----------|------|------|------|------|-----|-------|------|-------|------|-------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| UNIDADE | PPM | PPM | PPM | PPM | PPM | PPM | PPM | PPM | PPM | PPM | PPB | PPM | PPM | PPB | PPB | PPM | PPM |
| LD | 0,1 | 0,02 | 0,02 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,01 | 0,1 | 0,02 | 1 | 0,1 | 0,1 | 10 | 2 | 2 | 0,02 |
| SSUSP01 | <0.1 | 0,24 | 0,81 | 10,6 | 3,8 | <0.05 | 8,0 | 2,58 | 35,7 | 0,03 | <1 | 0,3 | 4,6 | 14 | 3 | 85 | 1,25 |
| SSUSP02 | <0.1 | 0,18 | 0,83 | 6,6 | 2,9 | <0.05 | 6,7 | 1,91 | 34,9 | 0,06 | <1 | 0,2 | 2,9 | <10 | 5 | 91 | 1,04 |
| SSUSP03 | <0.1 | 0,07 | 0,72 | 9,3 | 2,7 | <0.05 | 2,2 | 4,12 | 94,2 | 0,04 | <1 | 0,6 | 5,7 | <10 | <2 | 57 | 1,53 |
| SSUSP04 | <0.1 | 0,04 | 0,66 | 14,2 | 2,8 | <0.05 | 2,0 | 5,97 | 72,8 | 0,04 | <1 | 0,3 | 6,0 | 40 | 6 | 51 | 1,59 |
| SSUSP05 | <0.1 | 0,12 | 0,94 | 12,4 | 3,3 | <0.05 | 5,2 | 4,16 | 43,3 | 0,06 | <1 | 0,6 | 6,1 | <10 | <2 | 72 | 1,81 |
| SSUSP06 | <0.1 | 0,06 | 0,83 | 10,8 | 3,6 | <0.05 | 2,7 | 4,00 | 44,8 | 0,03 | <1 | 0,4 | 5,9 | <10 | <2 | 59 | 1,66 |
| SSUSP07 | <0.1 | 0,15 | 0,71 | 5,8 | 5,4 | <0.05 | 6,5 | 2,25 | 44,8 | 0,04 | <1 | 0,1 | 2,8 | 10 | <2 | 84 | 0,97 |
| SSUSP08 | <0.1 | 0,16 | 0,50 | 4,1 | 3,5 | <0.05 | 6,9 | 2,01 | 77,0 | 0,04 | <1 | 0,3 | 3,3 | 12 | <2 | 77 | 1,31 |
| SSUSP09 | <0.1 | 0,17 | 0,66 | 6,6 | 2,7 | <0.05 | 7,0 | 1,39 | 25,3 | 0,07 | <1 | 0,2 | 3,5 | <10 | <2 | 77 | 1,44 |
| SUSP10 | <0.1 | 0,11 | 0,55 | 7,7 | 3,4 | <0.05 | 5,2 | 3,16 | 43,9 | 0,03 | <1 | 0,2 | 3,3 | <10 | <2 | 69 | 1,24 |
| SSUSP11 | 0,1 | 0,15 | 0,60 | 14,7 | 3,3 | <0.05 | 7,0 | 4,92 | 73,7 | 0,04 | <1 | 0,3 | 5,9 | <10 | 4 | 66 | 1,62 |
| SSUSP12 | <0.1 | 0,02 | 1,09 | 21,4 | 2,9 | <0.05 | 1,5 | 4,44 | 45,0 | 0,02 | <1 | 0,2 | 7,6 | <10 | 5 | 41 | 1,81 |
| SSUSP13 | <0.1 | 0,11 | 0,60 | 6,9 | 4,0 | <0.05 | 5,2 | 1,88 | 32,3 | 0,05 | <1 | 0,2 | 3,8 | <10 | <2 | 72 | 1,26 |
| SSUSP14 | <0.1 | 0,07 | 0,59 | 12,5 | 1,8 | <0.05 | 3,5 | 10,55 | 58,6 | 0,03 | <1 | 0,4 | 3,9 | <10 | <2 | 41 | 1,32 |
| SSUSP15 | <0.1 | 0,08 | 0,83 | 9,9 | 3,0 | <0.05 | 3,5 | 3,38 | 65,0 | 0,05 | <1 | 0,3 | 3,7 | <10 | 3 | 60 | 0,74 |
| SSUSP16 | <0.1 | 0,09 | 0,46 | 14,9 | 3,1 | <0.05 | 4,1 | 5,71 | 52,2 | 0,04 | <1 | 0,6 | 6,3 | <10 | 5 | 53 | 1,81 |
| SSUSP17 | <0.1 | 0,09 | 0,55 | 14,7 | 2,3 | <0.05 | 3,4 | 4,16 | 41,1 | 0,02 | <1 | 0,5 | 3,9 | <10 | 3 | 42 | 1,06 |
| SSUSP18 | <0.1 | 0,08 | 0,78 | 12,9 | 2,9 | <0.05 | 3,4 | 5,33 | 82,9 | 0,05 | <1 | 0,3 | 5,7 | <10 | 3 | 51 | 1,55 |
| SSUSP19 | <0.1 | 0,10 | 0,78 | 12,4 | 4,8 | <0.05 | 4,8 | 2,80 | 33,8 | 0,05 | <1 | 0,2 | 4,0 | 18 | 4 | 69 | 1,30 |
| SSUSP20 | <0.1 | 0,19 | 0,58 | 5,1 | 3,2 | <0.05 | 8,9 | 1,80 | 28,1 | 0,06 | <1 | 0,2 | 4,7 | <10 | <2 | 68 | 1,52 |
| SSUSP21 | <0.1 | 0,23 | 0,52 | 5,6 | 3,4 | <0.05 | 10,0 | 1,73 | 30,7 | 0,05 | <1 | <0.1 | 6,0 | <10 | <2 | 79 | 1,71 |
| SSUSP22 | <0.1 | 0,04 | 0,41 | 8,5 | 2,4 | <0.05 | 1,2 | 2,35 | 28,5 | <0.02 | <1 | 0,2 | 4,4 | <10 | 4 | 26 | 0,90 |
| SSUSP23 | 0,2 | 0,09 | 0,65 | 10,7 | 3,4 | <0.05 | 3,4 | 5,06 | 56,2 | 0,03 | 2 | 0,4 | 6,0 | 12 | 3 | 59 | 1,13 |
| SSUSP24 | <0.1 | 0,12 | 0,55 | 8,9 | 3,0 | <0.05 | 4,6 | 2,24 | 38,8 | 0,05 | <1 | 0,3 | 4,4 | <10 | 7 | 71 | 1,37 |
| SSUSP25 | <0.1 | 0,14 | 0,88 | 13,0 | 3,8 | <0.05 | 5,4 | 2,75 | 38,2 | 0,02 | <1 | 0,2 | 6,1 | <10 | 4 | 65 | 1,75 |

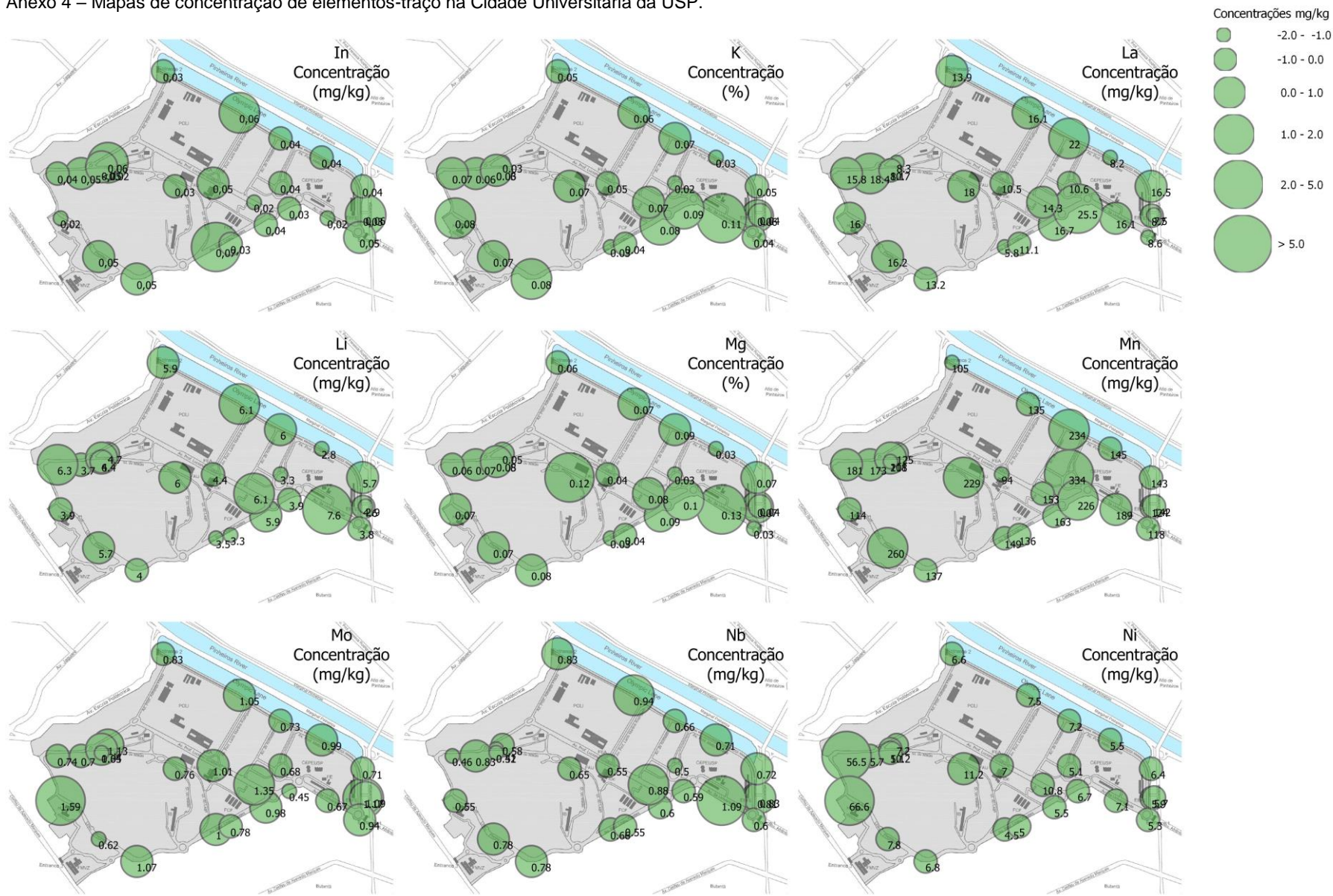
Anexo 4 – Mapas de concentração de elementos-traço na Cidade Universitária da USP.



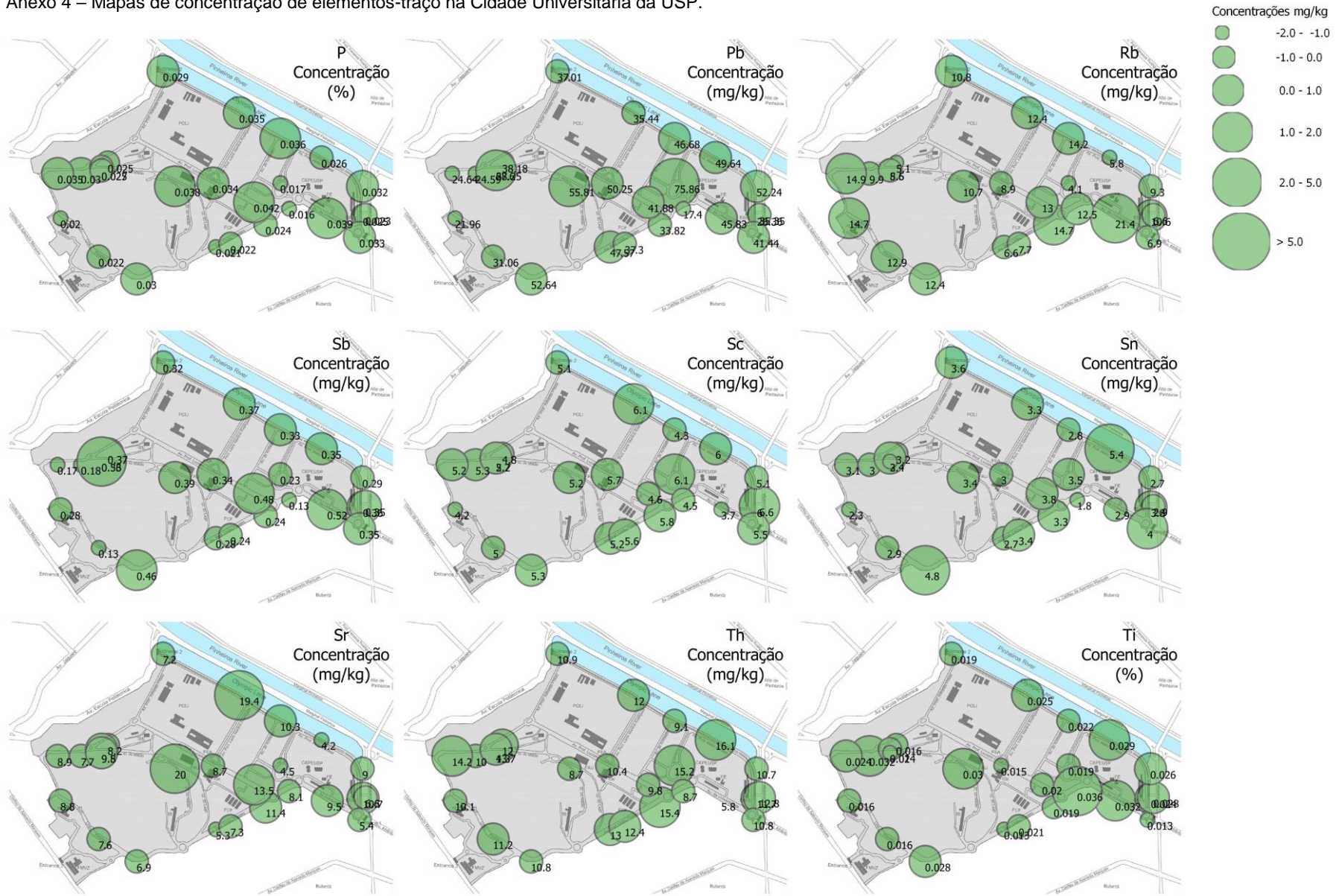
Anexo 4 – Mapas de concentração de elementos-traço na Cidade Universitária da USP.



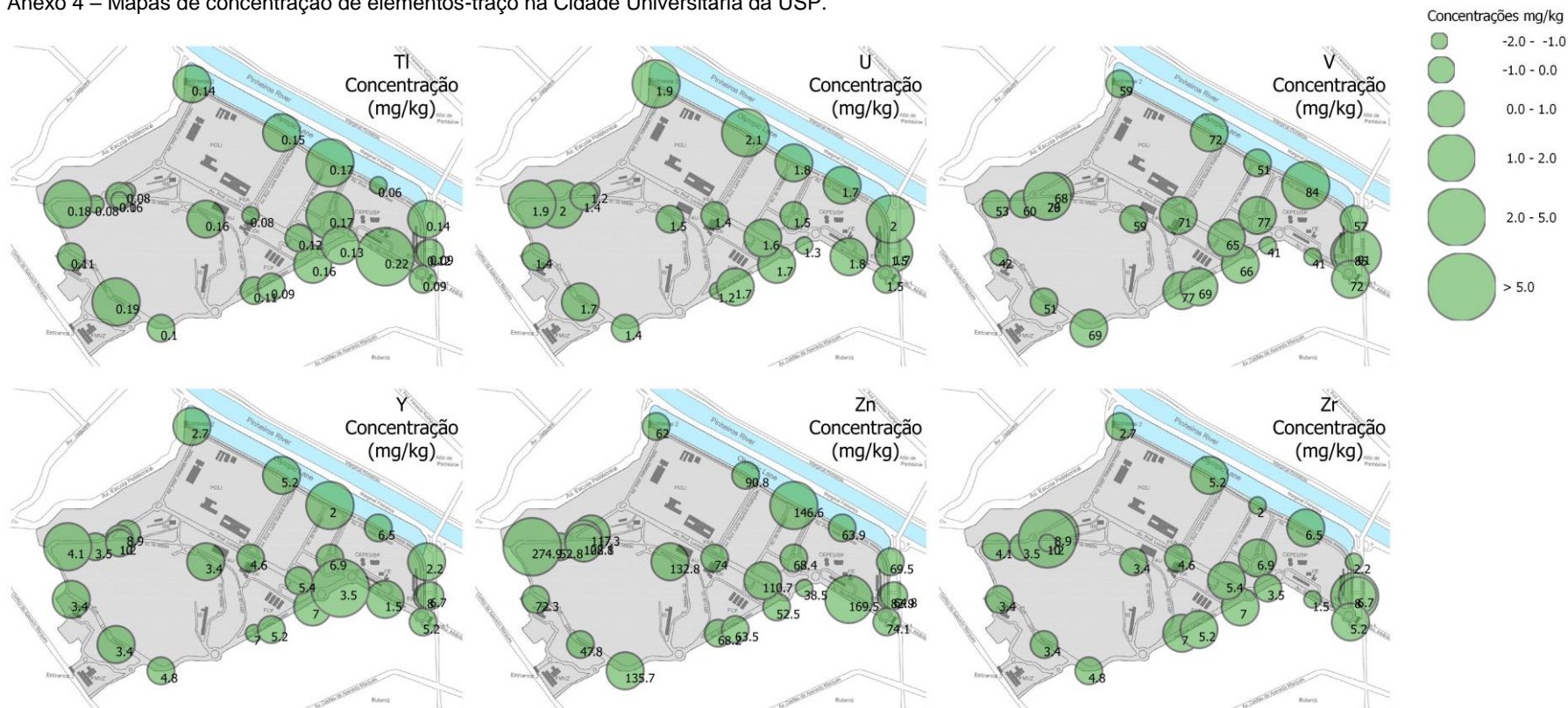
Anexo 4 – Mapas de concentração de elementos-traço na Cidade Universitária da USP.



Anexo 4 – Mapas de concentração de elementos-traço na Cidade Universitária da USP.



Anexo 4 – Mapas de concentração de elementos-traço na Cidade Universitária da USP.



Anexo 5 - Resultados da análise granulométrica dos solos superficiais da Zona oeste de São Paulo e Cidade Universitária.

| Profundidade 0-10 cm | AREIA (2,00- 0,062MM) | SILTE (0,062- 0,002MM) | ARGILA (<0,002MM) |
|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| PONTOS | (%) | | |
| SS01SP | 52,6 | 11,0 | 36,4 |
| SS02SP | 39,4 | 23,8 | 36,8 |
| SS03SP | 47,2 | 28,2 | 24,6 |
| SS04SP | 63,6 | 19,4 | 17,0 |
| SS05SP | 66,1 | 22,1 | 11,8 |
| SS06SP | 40,3 | 31,5 | 28,2 |
| SS07SP | 77,0 | 14,2 | 8,70 |
| SS11SP | 25,2 | 17,3 | 57,6 |
| SS12SP | 37,7 | 18,1 | 44,2 |
| SS14SP | 64,7 | 18,1 | 15,1 |
| SSUSP | 46,6 | 21,5 | 31,9 |
| SSUSP01 | 47,3 | 27,4 | 25,3 |
| SSUSP02 | 48,8 | 26,9 | 24,4 |
| SSUSP03 | 47,7 | 29,6 | 21,1 |
| SSUSP04 | 55,2 | 28,5 | 16,3 |
| SSUSP05 | 48,1 | 26,6 | 25,3 |
| SSUSP06 | 50,7 | 27,8 | 21,5 |
| SSUSP07 | 36,2 | 33,0 | 30,8 |
| SSUSP08 | 42,4 | 28,6 | 28,7 |
| SSUSP09 | 45,6 | 23,9 | 29,6 |
| SSUSP10 | 47,7 | 28,4 | 23,9 |
| SSUSP11 | 50,8 | 19,6 | 29,7 |
| SSUSP12 | 53,7 | 32,3 | 13,9 |
| SSUSP13 | 50,9 | 20,8 | 28,3 |
| SSUSP14 | 62,8 | 18,2 | 19,0 |
| SSUSP15 | 49,2 | 37,3 | 13,4 |
| SSUSP16 | 49,0 | 30,6 | 20,4 |
| SSUSP17 | 60,5 | 20,6 | 19,0 |
| SSUSP18 | 47,6 | 27,2 | 25,2 |
| SSUSP19 | 55,4 | 22,6 | 22,0 |
| SSUSP20 | 58,3 | 28,1 | 13,7 |
| SSUSP21 | 54,9 | 22,6 | 22,5 |
| SSUSP22 | 82,3 | 9,57 | 8,18 |
| SSUSP23 | 29,8 | 37,4 | 32,8 |
| SSUSP24 | 47,4 | 34,1 | 18,5 |
| SSUSP25 | 55,4 | 26,0 | 18,4 |
| MÉDIA | 51,1 | 24,8 | 24,0 |
| MEDIANA | 49,1 | 26,3 | 23,2 |
| DESVIO PAD | 8,20 | 5,45 | 7,31 |