

Conteúdo

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas.....	vi
1. Introdução.....	1
2. Fundamentação conceptual.....	4
2.1. O solo	4
2.2. Constituição do solo.....	6
2.3. Composição do solo	6
2.4. Textura e estrutura do solo.....	8
2.5. Tipos ou classificação dos solos	9
2.6. Contaminação do solo.....	10
2.6.1. Contaminação industrial	11
2.6.2. Contaminação urbana.....	11
2.6.3. Contaminação agrícola.....	12
3. Enquadramento regional	14
3.1. Geográfico e administrativo.....	14
3.2. Geologia	14
3.3. Geomorfologia	16
3.4. Clima e Solos	18
4. Metodologia.....	21
4.1. Amostragem.....	21
4.2. Características dos pontos de amostragem	23
4.3. Preparação de amostras	24
5. Resultados e discussão.....	28
5.1. Avaliação dos erros	28
5.2. Valores de pH e condutividade elétrica dos solos da região do Kuito.....	30
5.3. Composição química	33
Figura 16- Comparações de teores dos elementos maiores em solos regionais e urbanos.....	36
Figura 17- Comparações de teores dos elementos traços em solos regionais e urbanos.....	38
5.4. Estimação da contaminação dos solos urbanos	41
6. Conclusões	43
7. Referências bibliográficas	45

Agradecimentos

Agradeço a Deus Pai todo-poderoso por me conceder saúde e vida para enfrentar estes desafios. Sem Ele não seria possível a sua concretização, a colaboração pronta e amiga de todos aqueles que, direta ou indiretamente, tudo fizeram e prestaram desinteressadamente ajuda, que permitiu contornar as dificuldades encontradas na elaboração desse trabalho, com o pensamento de continuar e nunca desistir.

Meus agradecimentos vão para a Prof.^a Doutora Manuela da Vinha a quem quero expressar o meu profundo reconhecimento, sua competência, dedicação e paciência tutorando este trabalho com muita alegria e paz. Quero agradecer também à Dr.^a Marina Cabral Pinto, minha coorientadora, que sempre esteve disponível em todas as etapas que foi solicitada.

Agradecendo também aos digníssimos professores da UC, em particular do Departamento de Ciência da Terra, em especial aos Professores. Dr. Nelson, servindo de Pai quando a necessidade obriga e Lídia Catarino na realização das análises por FRX.

Estimados colegas do mestrado do Lubango, Benguela, Kuanza Sul, Namibe, Huambo e Bié Desejando-lhes muita força e sorte no desempenho das suas funções.

Os meus agradecimentos vão a minha família extensa em especial esposa, filhos os meus queridos pais, amigos por tudo o que fizeste, obrigado pela ajuda.

Tuapandula tchiwa.

Resumo

Os processos de urbanização causam perturbações significativas na geoquímica dos solos, introduzindo-lhes elementos químicos poluidores, além de lhes modificarem as suas propriedades físico-químicas. O processo de expansão das zonas urbanizadas em Angola e em particular no Kuito tem sido muito rápido. Neste trabalho foram investigadas quais as diferenças entre o solo regional da região do Kuito e o solo na área urbana com o objectivo de se determinar como e quanto, a urbanização tem modificado a geoquímica dos solos nesta região e se essas modificações têm também provocado contaminação química do solo urbano.

Os solos na região da cidade do Kuito, Angola, são ferrassolos e arenossolos, pouco evoluídos que se desenvolveram sobre depósitos de cobertura, depósitos eólicos do Grupo do Calaári e laterites. O pH e a condutividade elétrica do solo urbano (5,8 e 7,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$) são significativamente superiores aos valores medidos no solo regional (7,4 e 267 $\mu\text{S}/\text{cm}$). O solo urbano possui teores de Al_2O_3 e Cr menores e teores de CaO, K_2O , Cl, S, Zn e Sr significativamente maiores do que o solo regional.

O solo urbano possui teores de Ba, Sn, Cu, Pb e As mais elevados do que o solo regional. O solo urbano está nalguns locais contaminado em Cu, Pb, Ba V, e Zn não devendo ser usados para fins residenciais. Dois locais na cidade do Kuito são fontes pontuais importantes de contaminação dos solos.

No trabalho mostra-se que a urbanização tem modificado as propriedades físico-químicas e a composição do solo na cidade do Kuito. Os problemas são devidos à falta de sistemas de recolha de lixos urbanos e industriais e de saneamento básico. Tal situação causa uma degradação dos solos e a contaminação das águas subterrâneas.

Palavras-chave: Angola, solos, geoquímica, contaminação, urbanização

Abstract

The urbanization processes cause significant modifications in the geochemistry of the soil, introducing into them polluting chemicals, and modifying their physicochemical properties. The process of expansion of urban areas in Angola and in particular in Kuito, has been very fast. In this study we investigated the differences between regional soil in Kuito area and the soil in the urban area, in order to determine how and how much, urbanization has changed the geochemistry of the soil in this region and these if these modifications are also causing chemical contamination of the urban land.

The soils in the region of Kuito, Angola, are ferrassols and arenosols little evolved that developed on recent of deposits, aeolian deposits of the Kalahari Group and laterites. The pH and conductivity of urban soil (5.8 and 7.2 $\mu\text{S} / \text{cm}$) are significantly higher than those measured in the regional soil (7.4 and 267 $\mu\text{S} / \text{cm}$). The urban soil has contents of Al_2O_3 and Cr lower and contents of CaO, K_2O , Cl, S, Zn and Sr significantly higher, than the regional soil.

The urban soil has contents of Ba, Sn, Cu, Pb and As higher than the regional soil. In same places, the urban soil is contaminated in Cu, Pb, Ba, V, and Zn should not be used for residential purposes. Two locations in Kuito city are important point sources of soil contamination.

This work shows that urbanization has modified the physical-chemical properties and chemical composition of the soil in the city of Kuito. The problems are due to lack of a municipal and industrial wastes collection system and of and a sanitation system. This situation causes a degradation of soil and also groundwater contamination.

Key-words: Angola, soils, Geochemistry, contamination, urbanization.

Índice de Figuras

Figura1- Perfil do solo e respetivos horizontes (Jones, A., Breuning et al, 2013).....	5
Figura 2- Digrama de classificação da textura do solo (FAO, 2006).....	9
Figura 3- Degradação do solo, devido actividade agrícola (FAO, 2015).....	13
Figura 4- Resultado do mal uso do solo através da actividade agropecuária.....	13
Figura 5- a) Mapa da localização do Bié/Angola b) mapa do Kuito (INE 2014).....	14
Figura 6- Excerto da carta geológica do Kuito, área de investigação	15
Figura 7- Esboço hipsométrico da Carta Geológica de Angola (Araújo et al., 1992 ^a).....	16
Figura 8- Topografia (A) de acordo com (Sadalmelik , 2007): e unidades geomorfológicas de Angola (B) de acordo com (González& Francisco, 1982). 1-Faixa Litoral; 2-Zona de Transição; 3- Cadeia Marginal de Montanha; 4- Depressão de Cassenge; 5-Macico do Alto Zambeze; 6- Zona Planáltica; 7- Escarpa com desnível a 200m.....	17
Figura 9- Excerto do Atlas dos Solos de África para Angola: ARfi ferrossolos, FRha arenossolos (FAO, 2013).....	19
Figura 10- Método de colheita de solo em zona de pouca vegetação.....	21
Figura 11-Imagem do GoogleEarth com a localização dos pontos de amostragem.....	21
Figura 12- Imagem do Google Earth com a localização dos pontos de amostragem na zona urbana.....	22
Figura 13- Preparação das amostras. a) Esboroamento e crivagem por peneira de nylon 2mm; b) e c) quarteamento; d) os dois quartos desprezados, guardados para referência....	24
Figura 14- a) Espectrómetro portátil utilizado nas análises químicas das amostras de solos; b) medidor pH (Hanna modelo pH21 calibrado com solução pH 4 e pH79; c) amostras límpidas para CE; d) analisando a condutividade eléctrica.....	25
Figura 15- Representação gráfica do pH e de condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) nas amostras analisadas de solos do Kuito.....	31
Figura 16- Comparações de teores dos elementos maiores em solos regionais e urbanos...35	
Figura 17- -Comparações de teores dos elementos traços em solos regionais e urbanos....37	
Figura 18- Diagrama de dispersão	39

Índice de Tabelas

Tabela 1- Composição usual das camadas superficiais de um solo.....	7
Tabela 2- Classificação das partículas de um solo de acordo com o seu tamanho.....	9
Tabela 3-- Dados de temperatura e precipitação atmosféricas na cidade do Kuito.....	18
Tabela 4- Locais de amostragem de solo (coordenadas: graus, minutos decimal) latitude e longitude.....	20
Tabela 5-Valores de repetições para estimulação do erro na determinação do pH.....	27
Tabela 6- Valores de repetições para estimulação do erro na determinação da condutividade elétrica	27
Tabela 7- Resultados das análises por fluorescência de raios-X, realizadas em amostras duplas.....	28
Tabela 8- Determinação do pH e condutividade elétrica e aplicação do teste t-Student em solos Kuito.....	30
Tabela 9- Elementos maiores (% em peso de óxido) e elementos traço (mg/kg) dos solos regionais do Kuito.....	33
Tabela 10- Elementos maiores (% em peso de óxido) e elementos traço (mg/kg) dos solos urbanos do Kuito.....	34
Tabela 11- Resultados do teste t-Student para 95% de probabilidade	35
Tabela 12- Valores Máximos Admitidos em diferentes países do Mundo (mg/kg).....	40

1. Introdução

Nos últimos anos, as discussões em torno das questões ambientais ligadas aos estudos de solos despertaram a atenção do Homem, nomeadamente quais os efeitos que as suas atividades causam ao meio natural e no espaço urbano. Essas ações antrópicas, fruto das transformações da modernidade, modificaram as relações dos grupos sociais com o ambiente natural e os solos, sendo o suporte da vida e do bem-estar humano, têm sido vítima das degradações antrópicas, que causam grandes transformações no meio urbano. O solo torna-se um recurso não renovável à escala humana, na medida em que as taxas de degradação podem ser rápidas e os processos de formação e regeneração são extremamente lentos.

O planeamento é de fundamental importância para que não haja a degradação dos recursos naturais e para que os problemas no espaço urbano não interfiram na qualidade de vida da população local, já que os solos fornecem o substrato para as raízes, retêm água o tempo suficiente para esta água ser utilizada pelas plantas e fixam nutrientes essenciais para a vida. Na realidade, a maioria da biodiversidade terrestre ocorre no interior do solo e não sobre.

As características de um solo resultam da ação conjugada dos fatores clima, organismos (vegetais e animais), rocha mãe, relevo e tempo, designados conjuntamente por fatores pedogenéticos ou fatores de formação do solo. Entre estes fatores vieram também a ser considerados o Homem e a água existente no solo (Blum, 2005).

O solo é um sistema muito dinâmico que desempenha inúmeras funções e presta serviços vitais para as humanas e a sobrevivência dos ecossistemas. Essas funções que são a produção de biomassa, o armazenamento e transformação de nutrientes, o controlo do fluxo da água, a ação protetora da qualidade da água subterrânea, o habitat de uma infinidade de seres e a reserva de biodiversidade. É também o substrato para grande parte das atividades humanas, fornecendo matérias-primas, meio de suporte, material de construção, servindo de

reservatório de carbono e conservando o património geológico e arqueológico (Blum, 2005).

O solo é recurso natural não renovável à escala humana, pois no mundo a procura de terra é cada vez maior, tanto para agricultura como para o crescimento das cidades devido ao crescimento populacional. Tal proporciona muita pressão sobre as terras agrícolas, a poluição do ambiente e degradação da terra que leva à desertificação. Além disso a sua degradação faz aumentar a produção de gases com efeito de estufa. Essas pressões afetam as propriedades dos solos, e é ainda insuficiente conhecimento dos seus efeitos, sendo grandes as incertezas. Há a necessidade de informação do conhecimento do estado em que se encontra a terra (Batjes, 2013).

A contaminação dos solos constitui um dos problemas mais graves que a humanidade enfrenta, afetando a qualidade de vida dos seres vivos, em especial dos seres humanos. O presente trabalho reflete sobre a problemática da degradação dos solos, sendo um estudo preliminar realizado na área da cidade do Kuito, Angola, onde um estudo deste género nunca foi, para nosso conhecimento, realizado, apesar de já existirem vários deste tipo, desenvolvidos por todo o mundo (e.g. Bruand, 2002; Cannon & Horton, 2009; Guo et al., 2012; Fan, 2014).

Este estudo está relacionado com a contaminação do solo urbano na cidade do Kuito, em termos comparativos, com o solo não urbano a que se designou regional. O objetivo do presente estudo é avaliar quanto a urbanização modificou os solos nesta cidade. Os objetivos específicos foram:

Caracterizar, do ponto de vista do pH, condutividade elétrica e composição química, as amostras recolhidas em locais selecionados da cidade do Kuito, sendo 10 recolhidas dentro da área urbana da cidade e 10 no solo regional ainda não afetado pela urbanização.

Comparar os resultados obtidos nos dois tipos de amostragem e testar se as diferenças encontradas são ou não significativas.

Avaliar se existe contaminação nas amostras dos solos estudados, comparando com valores de referência retirados da literatura.

Identificar as fontes de contaminação, considerando as amostras estudadas.

O presente estudo desenvolve o tema "O efeito da urbanização na geoquímica dos solos de Kuito (Angola), uma avaliação preliminar". A frequência do Curso de Mestrado na área de Ambiente e Ordenamento do Território permitiu, entre outros, efetuar uma reflexão sobre os problemas ambientais dos solos da cidade do Kuito.

Tendo em conta o crescimento populacional e a sua diversificação, por um lado, e o aumento considerável na ocupação dos espaços (sobretudo terrenos) e obras de construção civil, por outro, considerou-se pertinente um estudo sobre o impacto ambiental de todos os processos envolvidos. Aliou-se ainda o facto da insuficiência bibliográfica relacionada com temas sobre estudo de solos na cidade do Kuito.

A partir das técnicas utilizadas e dos resultados, assim como pela experiência pessoal, considerou-se muito importante e necessário o desenvolvimento do tema com amplitude e profundidade, e sobretudo, de forma lógica e sistemática.

2. Fundamentação conceptual

2.1. O solo

O solo é um corpo natural localizado na superfície da crosta terrestre, sendo originado das ações conjugadas da meteorização física e química da rocha, sob influência da atividade biológica. Todas estas alterações modificam os materiais superficiais, dando origem a diferentes camadas paralelas designadas por horizontes do solo. Estes resultam da alteração e migração dos constituintes do solo, em resposta à movimentação da água e do ar do solo. Os horizontes podem variar mais ou menos acentuadamente na sua profundidade e constituição (Hillel, 2003).

A soma dos horizontes define o perfil do solo. Como a ação pedogenética, tal como perturbação de seres vivos, infiltração de água, entre outros, é variável ao longo do perfil, o desenvolvimento de alguns horizontes pode não ocorrer. Quanto mais distante da rocha mãe, mais intensa e/ou antiga foi a ação pedogenética (FAO, 2006).

A formação do solo é um processo lento, gradual e constante dando origem a diferentes horizontes, sendo os mais desenvolvidos representados esquematicamente na figura 1.

- 1) Horizonte H: formado por material orgânico não decomposto ou parcialmente decomposto, saturado de água durante um largo período de tempo ou drenado artificialmente.
- 2) Horizonte O: também composto por matéria orgânica decomposta ou parcialmente decomposta mas saturado de água por um curto período de tempo. Inclui ainda uma pequena percentagem de fração mineral.
- 3) Horizonte A: formado à superfície ou abaixo do horizonte O. É composto por matéria orgânica húmida com origem na decomposição de restos de seres vivos e matéria mineral formando uma camada de cor escura.
- 4) Horizonte E: é caracterizado pela perda aluvial de alumínio-silicatos, ferro, alumínio, deixando uma concentração de silte e areia. A maior parte da estrutura de rocha original encontra-se destruída sendo geralmente diferenciada do horizonte B pela cor mais clara e

textura mais grossa. Encontra-se normalmente entre O e B mas a sua posição pode ser variável e pode não existir.

5) Horizonte B: horizonte mineral localizado abaixo dos horizontes A, E, O ou H, onde as características da rocha original se encontram completamente destruídas. Pode ser formado pela concentração aluvial de argilas, ferro, alumínio, húmus, carbonatos, gesso ou sílica. É característico pela acumulação relativa ou residual desses óxidos ou minerais de argila menos solúveis que os carbonatos.

6) Horizonte C: composto por material rochoso não consolidado (diferente ou igual ao material que deu origem ao solo), sem as características referenciadas nos anteriores horizontes, pouco afetado por processos pedogenéticos.

7) Horizonte R: constituído pela rocha mãe e a partir do qual se formaram os horizontes supra jacentes, pode conter fissuras provocadas pelas raízes e ocupadas por argilas.

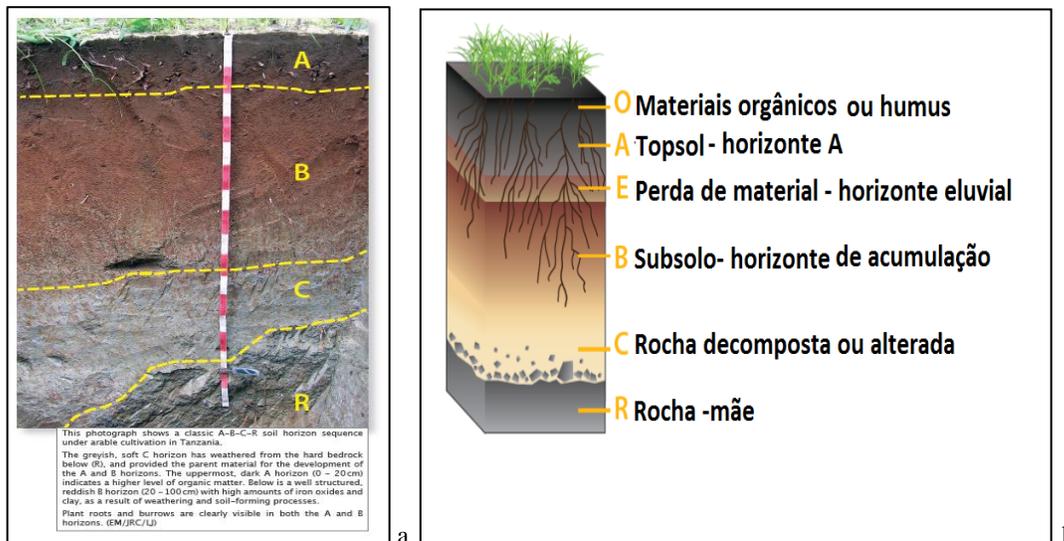


Figura 1. a) Foto do perfil do solo e respetivos horizontes; b) representação esquemática do perfil do solo, modificado de Jones et al. (2013).

2.2. Constituição do solo

O solo é constituído principalmente por matéria mineral sólida, à qual está associada matéria orgânica parcialmente transformada. Pode porém ser quase desprovido de material orgânico, ou, ao contrário, ser formado principalmente por esta, com pouca matéria mineral. A matéria mineral sólida do solo inclui em proporções extremamente variáveis, fragmentos de rocha meteorizada, minerais primário e minerais de origem secundária. Estes são resultantes da alteração dos primeiros, nomeadamente os designados minerais de argila, os óxidos e hidróxidos de ferro, manganês e alumínio e também carbonatos de cálcio e magnésio (Andrews et al., 2003), podendo também conter sulfatos. As partículas sólidas possuem formas e dimensões extraordinariamente variáveis desde calhau e cascalho até materiais tão fino que apresenta propriedades coloidais.

A matéria orgânica do solo é constituída por restos de plantas e outros organismos, em estado mais ou menos avançado de decomposição, devido principalmente à atividade de microrganismos. Grande parte da matéria orgânica no solo está no estado coloidal. O solo é habitado por grande número de micro e macro organismo com atividade (Andrews et al., 2003).

O solo caracteriza-se pela composição, características e comportamento dos seus constituintes. Em qualquer dos casos contém proporções variáveis de água com substâncias dissolvidas e ar. Para muitos fins é conveniente considerar solo como uma mistura de matérias sólida, líquida e gasosa, sendo tratado como um sistema anisotrópico em que se distinguem essas fases: sólida (matéria mineral), líquida (solução do solo) e fase gasosa (atmosfera do solo).

2.3. Composição do solo

Matéria mineral do solo é constituída principalmente por silicatos ou seja oxigénio, silício, alumínio e ferro. Na maior parte dos solos, os óxidos de silício, alumínio e ferro somados constituem 90% ou mais do peso da fração inorgânica, dominando largamente o dióxido de silício, com 50 a 75% (Costa, 2011).

O cálcio, magnésio, sódio, potássio, titânio, fósforo, manganês, enxofre, cloro constituem, em geral, menos de 10% do peso seco da fração mineral do solo. Contudo, solos desenvolvidos em calcários possuem elevada proporção de carbono e cálcio, onde a matéria mineral é constituída essencialmente por carbonatos de cálcio e magnésio.

A fração orgânica dos solos de textura fina ou média possui 20% a 30% de matéria orgânica. A percentagem de nitrogénio total em relação ao peso seco do solo situa-se por via de regra entre 0,05% e 0,5% e na maior parte dos casos, entre 0,05% e 0,25%, (Costa, 2011).

A fração gasosa ou atmosfera do solo é um constituinte de maior importância, exercendo influência sobre as suas propriedades e características, pois é responsável pela natureza e intensidade das reações químicas e biológicas que se processam no solo. Afeta, assim, as características deste, tais como a proporção e tipo de matéria orgânica, o pH, o Eh, forma e quantidade dos elementos nutritivos.

A fração gasosa do solo localiza-se nos poros, do mesmo modo que a água, e a sua quantidade encontra-se dependente da quantidade desta, que depende das condições atmosféricas. Qualquer variação no teor de água determina, necessariamente, uma variação inversa no conteúdo do ar. Nas camadas superficiais do solo a sua fração gasosa tem uma composição geral semelhante à do ar atmosférico, no entanto difere deste nitidamente quanto a teor dos diversos constituintes (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição usual da atmosfera das camadas superficiais de um solo

Constituinte	Ar do solo %(em volume)	Ar atmosférico %(em volume)
Oxigénio.....	15,0-20,5	21,00
Anidrido carbónico.....	0,2-4,5	0,03
Azoto.....	79,0 – 81,0	79,00
Vapor de água.....	Saturado	Variável
Diversos.....	Variável	1,00

(Extraído de Costa, 2011).

A fração líquida ou solução do solo é essencialmente a água, com grande quantidade de sais dissolvidos, que desempenha ação importantíssima na génese e evolução do solo e é indispensável para a vida das plantas. É absorvida pelas raízes e transpirada pela parte aérea das plantas. O teor em água num determinado momento é geralmente determinado por secagem em estufa a 105°C até peso constante. Não se considera, portanto, alguma água que o solo ainda contém a esta temperatura e que abrange a água nas superfícies das partículas de minerais de argilas (Costa, 2011).

De acordo com Briggs (1897) referido em Costa (2011) a água do solo pode classificar-se em:

- a) Água higroscópica – água fixada por adsorção nas superfícies dos coloides;
- b) Água capilar – água sujeita a fenómenos de capilaridade no solo, constituindo películas contínuas em torno das partículas terrosas e nos microporos, e deslocando-se com preenchimento destes espaços intersticiais.
- c) Água gravitacional – água que não é retida pelo solo, deslocando-se apenas nos macroporos sob a acção da gravidade (a não ser que encontre camadas impermeáveis). Nos solos grosseiros o húmus quando em insuficiente proporções, corrige o fraco poder de retenção para água, ao passo que aumenta o alcance dos movimentos desta em solos insaturados de água, além disso, dando-lhe algum corpo e coesão, pode reduzir um tanto a excessiva facilidade de infiltração da água gravitacional e também o excessivo arejamento.

2.4. Textura e estrutura do solo

A matéria mineral que constitui os solos apresenta-se sob a forma de grãos de dimensões variáveis, com diferentes designações. Para as designações das dimensões usa-se ou a escala de Atterberg, ou a escala referida pela FAO (2006) e apresentada na Tabela 2. São essas dimensões e a sua proporção que definem a textura do solo. A textura de um dado solo é assim a proporção relativa, de lotes constituídos por partículas minerais de dimensões compreendidas entre certos limites (Figura 2).

que apresentam propriedades físicas, químicas e biológicas semelhantes, como por ex. a classificação da FAO, que usa o padrão internacional para a classificação dos solos aprovado pela União Internacional da Ciência do Solo, o WRB (World Reference Base).

A textura permite classificar os solos de acordo com o diagrama da figura 2. No que respeita à origem, os solos podem dividir-se em residuais e transportados. Os primeiros são os que resultam da desintegração e ou decomposições “in situ” da rocha que lhes deu origem. Os solos transportados (solos sedimentares) serão aqueles que se formam a maior ou menor distância da rocha mãe, após terem sido transportados pela água, vento, glaciares, e gravidade, originando a formação de solos com características próprias em função do agente de transporte (solos coluvionares, aluvionares, glaciários e eólicos).

Das classificações destinadas a aplicações do solo destaca-se a chamada classificação unificada que agrupa os solos existentes em classes, com objetivo de facilitar os estudos de caracterização como também antever o comportamento diante das solicitações a que serão submetidos. Esta classificação é a usada pela engenharia.

2.6. Contaminação do solo

A contaminação do solo é um dos principais problemas ambientais da atualidade. Durante séculos, o Homem pouco se preocupou com a colocação de lixos urbanos, produtos químicos e resíduos industriais de forma racional. Resultado disso é uma grande quantidade de terrenos contaminados. A Lei nº31/2014 da Legislação Angolana, no artigo 2º na sua alínea e), faz referência a algumas questões ligadas à contaminação dos solos nomeadamente: “Evitar a contaminação do solo, eliminando ou minorando os efeitos de substâncias poluentes, a fim de garantir a salvaguarda da saúde humana e do ambiente”. Mesmo com a Lei em vigor, as práticas de deposições de qualquer tipo de lixo são muito comuns nas populações do município do Kuito, pois não há sistema organizado de recolha e tratamento de lixos na cidade, correndo então inúmeros casos de aterros ou depósitos clandestinos, além dos lixos urbanos espalhados pela cidade e nas proximidades de atividades industriais.

Além disso, há ainda a agravar a situação o facto de não haver um sistema de recolha e tratamento de efluentes líquidos, sendo os esgotos domésticos e industriais vazados diretamente no solo e em fossas rotas.

Através destas práticas contaminam-se facilmente os solos e águas, podendo ocorrer a produção de metano pela degradação anaeróbica da fração orgânica dos lixos, acumulando-se em bolsas no solo, criando risco de explosão (Lima, 1995).

2.6.1. Contaminação industrial

Produtos químicos, combustíveis, metais pesados e outros elementos são descartados no solo das fábricas ou proximidades. Estes elementos, com o tempo, penetram no solo contaminando-o. Estas áreas ficam impróprias para a construção de residências (casas e prédios), pois os contaminantes do solo podem provocar doenças nas pessoas. O tratamento destes solos é possível, porém demanda a utilização de muitos recursos, além de ser um processo demorado. Outro problema grave provocado por este tipo de resíduo é a contaminação da água. Uma vez no solo, estes resíduos provenientes das indústrias (químicos) podem atingir lençóis freáticos contaminando a água.

Hzumi (1983) complementa dizendo que a contaminação das águas nas zonas urbanas reduz geralmente a altura do lençol freático, devido o consumo de água e a impermeabilização da superfície. Com a superfície impermeabilizada, há um aumento na quantidade e velocidade do escoamento superficial.

2.6.2. Contaminação urbana

A urbanização crescente promove uma separação dos espaços, cada vez mais nas zonas rurais, e faz perder a noção da importância do solo como suporte de vida do planeta. A urbanização modifica a estrutura do solo, causa-lhe compactação, provoca alterações do pH, do regime de temperatura, das atividades dos organismos do solo e interrompe o ciclo de nutrientes. A compactação do solo, diminui a sua porosidade e a sua capacidade de

infiltração, aumentando o potencial de cheias, pois o escoamento superficial substitui a infiltração (Pedron et al., 2004).

Terrenos que são áreas de lixeiras apresentam vários problemas. Além da contaminação por diversos tipos de poluentes podem apresentar riscos de explosão, pois o processo de decomposição de lixo orgânico gera gases inflamáveis que ficam presos nos solos.

Nas últimas décadas tem havido grande aumento da produção e consumo de produtos eletrónicos (monitores, telefones, baterias, televisores, impressoras, etc.) que depositados nas lixeiras libertam, com o passar do tempo vários elementos químicos que contaminam o solo. Equipamentos que usam elementos radioativos (máquinas de raio-X, por exemplo), podem deixar o solo contaminado por séculos (Menezes, 2000).

Assim sendo, uma área contaminada pode ser definida como um local onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados, de forma planeada ou accidental. Nessa área os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se no ar, nas águas superficiais, no solo, nos sedimentos, ou nas águas subterrâneas alterando suas características naturais ou qualidades e determinando impactos negativos ou risco sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores (Nevers, 1995). Os resíduos industriais, dispostos de forma inadequada, sem qualquer tratamento, podem contaminar o solo, alterando suas características físicas e químicas transformando-se numa serie ameaça a saúde pública e também num problema de ordem estética

2.6.3. Contaminação agrícola

As atividades agrícolas, apresentam um elevado risco de degradação do solo (Figuras 3 e 4), sobretudo, as agropecuárias intensivas, se não tiverem tratamento de efluentes, cujo efeito no solo depende da concentração dos efluentes e do modo de dispersão. Na agricultura intensiva utilizam-se grandes quantidades de pesticidas e adubos, podendo

provocar a acidez dos solos, que por sua vez facilita a mobilidade dos metais pesados. Os sistemas de rega, por incorreta implantação e uso, podem originar a salinização do solo e/ou a toxicidade das plantas com excesso de nutrientes.



Figura 3 – Degradação de solos através de actividade agrícola (FAO, 2015).



Figura 4 – Resultado do mal uso do solo na agropecuária (FAO, 2015).

3. Enquadramento regional

3.1. Geográfico e administrativo

A província do Bié ocupa uma superfície de 70.314 km² e tem uma população estimada em 1.338.923 habitantes sendo 636.370 do sexo masculino e 702.553 do sexo feminino (Censo 2014). A maioria da população dedica-se à agricultura. O município do Kuito é o mais populoso, concentrando 32% da população total da província, com uma densidade de 88 habitantes por km². O município do Kuito é constituído por 5 comunas que são Kunje, Trumba, Chicala, Kambandua e Kuito comuna sede (Figura 5).

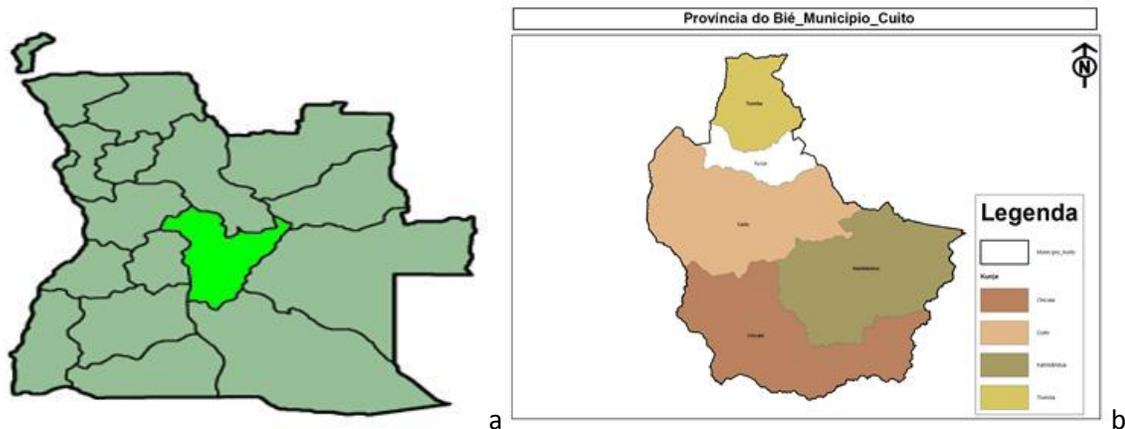


Figura 5- a) Mapa da localização da Província do Bié em Angola; b) Mapa do município do Kuito e respectivas comunas: Chicala, Kambandua, kuito, Kunhe, Trumba, (INE, 2014).

3.2 Geologia

As unidades litológicas da região em estudo estão representadas na figura 6, que é um excerto simplificado, retirado da Folha 3 da carta “Geologia de Angola” (Carvalho, 1980), à escala 1:1000000. As rochas mais antigas fazem parte do Complexo Granito-Migmatito de idade provável neo-arcaica. Estas rochas estão muito meteorizadas e são cobertas por formações sedimentares detríticas de idades recentes.

Estas rochas são cobertas por depósitos sedimentares detríticos, de origem continental, que fazem parte do Grupo do Calaári, de idade eocénica a pliocénica. São depósitos eólicos arenosos, com argila e óxidos de ferro de cor amarela ou alaranjada. Possuem além do quartzo zircão, turmalina, rútilo, estauroilite e cianite (Araújo et al., 1992).

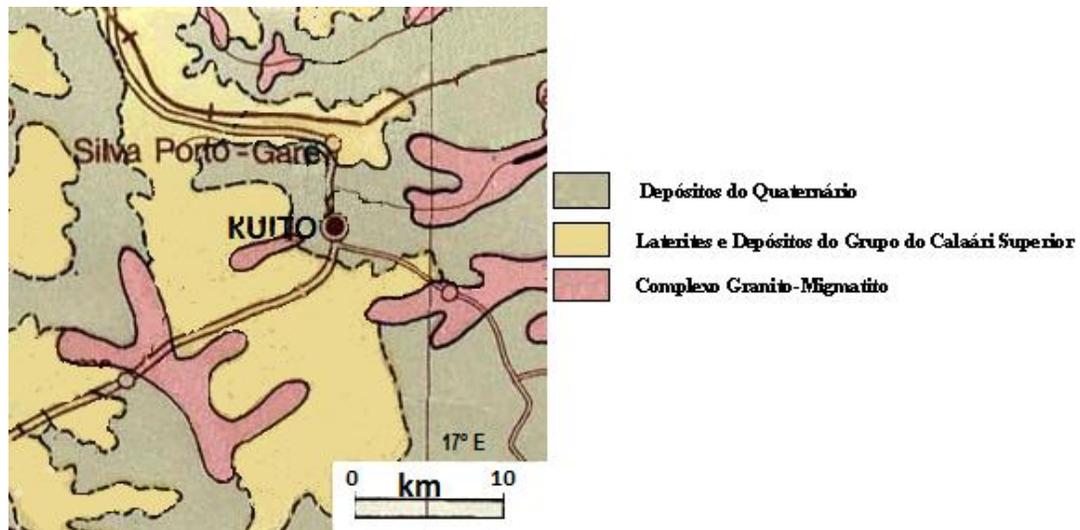


Figura 6- Excerto modificado e simplificado da carta geológica “Geologia de Angola” (Folha 3) de Carvalho (1980), à escala 1/1 000 000 com representação das principais litologias aflorantes na região do Kuito

As laterites são atribuídas ao Paleocénico-Eocénico e ter-se-ão formado na peneplanície pós-cretácica. A sua cor é escura ou avermelhada e a sua degradação origina os ferrasolos (Araújo et al., 1992). Os depósitos do Quaternário são sedimentos detríticos indiferenciados, areias e argilas, que constituem aluviões e depósitos resultantes da erosão das unidades do Grupo do Calaári (Araújo et al., 1992).

Nas proximidades da cidade afloram também pequenas manchas não representadas na figura 6, de rochas sedimentares detríticas continentais de idade Carbónica e Cretácica de acordo com Carvalho (1980).

3.3 Geomorfologia

Angola é maioritariamente constituída por um maciço de rochas cristalinas onde as altitudes ultrapassam os 1000 m, orlada a oeste por uma faixa litoral onde as altitudes são inferiores a 300 m (Figura 7), de acordo como esboço hipsométrico da Carta Geológica de Angola (Araújo et al., 1992a) e com o Mapa Topográfico de Angola (Figura 8A).

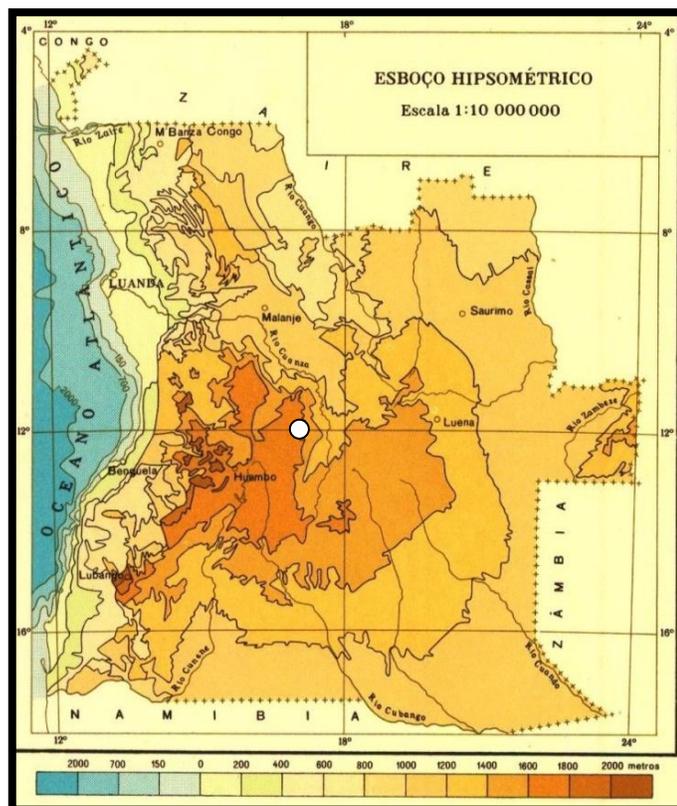


Figura 7- Altitudes do relevo angolano. Extraído de Carta Geológica de Angola (Araújo et al.,1992a).O círculo mostra o Kuito.

No seu Mapa Geomorfológico de Angola, Marques (1976) considerou as seguintes grandes unidades geomorfológicas: (I) o planalto antigo; (II) a cadeia marginal de montanhas; (III) a zona de transição; (IV) a orla meridional da bacia do Congo, com a depressão do

Cassange, a depressão Cuanza-Luanda e a depressão de Cassai; (V) a orla setentrional da bacia do Calaári, com a depressão do Cuvelai-Lueque, a depressão do Cubango e a depressão do Cunene; (VI) a bacia do Zambeze, com o maciço do alto do Zambeze, (VII) a orla litoral e (VIII) o deserto do Namibe. Este esquema foi parcialmente mantido por González & Francisco (1982), mas com algumas modificações (Figura 8B).

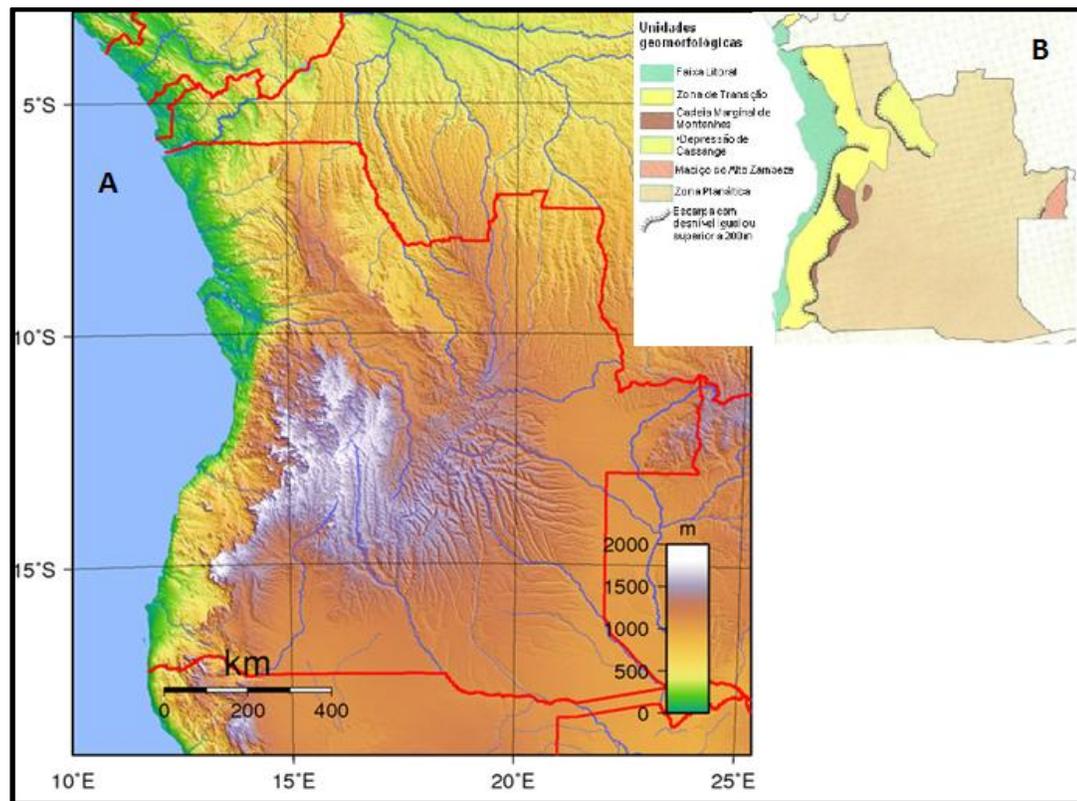


Figura 8. Topografia(A) de acordo com (Sadalmelik , 2007); e unidades geomorfológicas de Angola (B) de acordo com (González & Francisco, 1982). verde forte:-Faixa Litoral; amarelo: Zona de Transição; castanho escuro: Cadeia Marginal de Montanha; verde claro: Depressão de Cassange; rosa: Maciço do Alto Zambeze; castanho claro: Zona Planáltica.

A Província do Bié localiza-se maioritariamente no planalto antigo, que é uma superfície extensa, que representa um resíduo da aplanção do Cretácico Superior e que foi soerguida

no fim do Mesozóico ou princípio do Cenozóico. Na Província do Bié o relevo planáltico, com uma altitude média superior a 1.000 m e superior a 1.500 m no quadrante SW, sendo paisagem recortada por vários cursos de água importantes que definem as bacias hidrográficas do Kuanza, Kubango, Luando, Kuemba, Kutato, Cuiva, Kuquema, Ngumbo, Cuchi, Cunhiga, Kunje e Kune, que possuem as suas cabeceiras no planalto antigo (Figura 8A).

3.4. Clima e Solos

O clima caracteriza-se por ser quente e húmido e de inverno seco. De acordo com o portal Weatherbase.com, a temperatura média anual é de 18° C (últimos 10 anos), sendo as temperaturas mais altas de 31 °C e registadas nos meses de Agosto a Outubro, para o período dos 6 últimos anos (Tabela 3). A temperatura mais baixa de -5 °C, nos últimos 5 anos foi registada no mês de Junho. De acordo com o mesmo portal a média anual das temperaturas mais altas é de 25 °C e a média anual das temperaturas mais baixas é de 12 °C. As precipitações médias anuais são de 1.220 mm, para os últimos 10 anos sendo os meses mais chuvosos os de Outubro a Março (Tabela 3). Durante os meses de Junho a Agosto não se verifica precipitação.

Tabela 3- Dados de temperatura (°C) e precipitação atmosférica (mm) na cidade do Kuito.

Anual	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura média (°C) em 10 anos												
18	19	19	19	18	17	14	15	17	20	19	19	18
Temperatura mais elevada (°C) em 6 anos												
31	29	28	28	29	28	27	27	31	31	31	29	28
Temperatura mais baixa (°C) em 5 anos												
-5	3	7	5		-1	-5			3	6	6	5
Precipitação atmosférica média (mm) em 10 anos												
1220	190	190	200	70	10	---	---	---	20	100	190	220

<http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=52366&cityname=Silva-Porto-cedido> em 15 de Fevereiro de 2016.

O clima é um fator ativo na formação dos solos. Ele pode agir diretamente, através da precipitação e temperatura e, indiretamente, determinando a flora e a fauna com reflexos diretos sobre a matéria orgânica do solo. Na região em estudo a precipitação é maior que a evapotranspiração, há uma tendência natural do aparecimento de solos lixiviados.

Na região em estudo ocorrem dois tipos de solos que são: ferrassolos e arenossolos (Figura 9). Os ferrassolos apresentam se muito alterados com baixa capacidade de reterem nutrientes, estão associados a altas taxas de precipitação e superfícies muito antigas (terciárias). São fortemente lixiviados e perderam quase todos os minerais meteorizáveis, pois são muito antigos. São constituídos essencialmente por óxidos de Al e Fe e caulinite pelo que possuem uma cor amarela a avermelhada . Os teores de Ca e Mg são muito baixos. As partículas estão aglomeradas pelos óxidos de ferro dando-lhes uma textura arenosa. Solos arenossolos que são muito susceptíveis à erosão e desenvolveram-se sobre sedimentos recentes clásticos e carbonatados que se acumularam em bacias no topo do planalto. A cobertura vegetal primitiva está bastante alterada sobre tudo em zonas submetidas ao cultivo, e é constituída por arbustos, capim e algumas árvores.

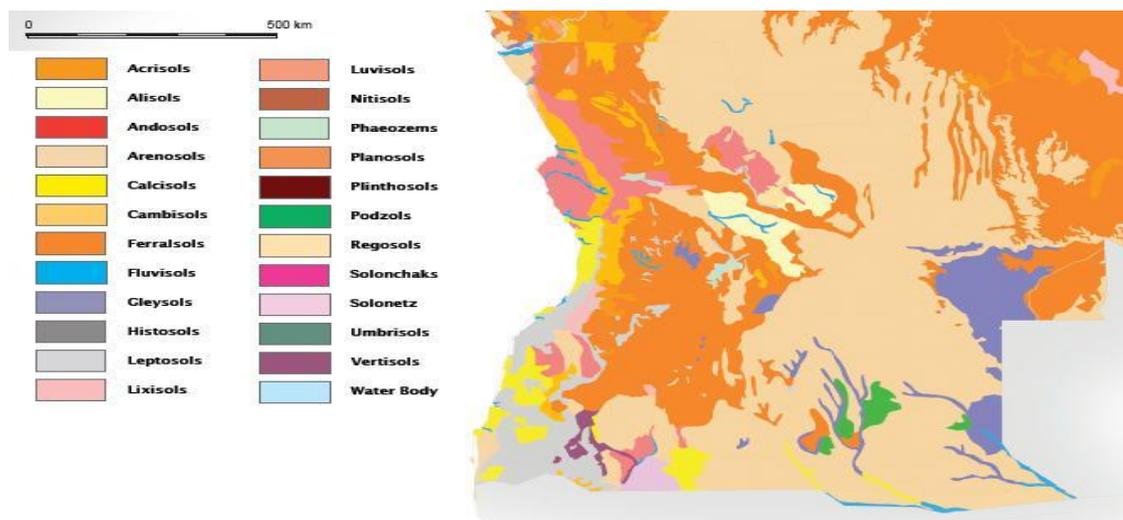


Figura 9 – Excerto do Atlas dos Solos de África para Angola: ARfi ferrassolos, FRha arenossolos. Jones et al. (2013).

4. Metodologia

4.1. Amostragem

Foram colhidas 10 amostras em solos fora da área urbana tomadas como representativas dos solos regionais e foram colhidas 10 amostras na área urbana da cidade do Kuito. As amostras são designadas conforme a Tabela 4 (kui). Durante a colheita foram registadas as coordenadas geográficas de cada ponto de amostragem (Tabela 4).

Tabela 4– Locais de amostragem de solo (coordenadas: graus, minutos decimal)

	Latitude	Longitude
Solos regionais		
Kui-1	12°26,409'S	16°54,785'E
Kui-2	12°26,164'S	16°54,792'E
Kui-3	12°26,786'S	16°55,720'E
Kui-4	12°24,657'S	16°56,101'E
Kui-5	12°24,587'S	16°57,266'E
Kui-11	12°14,978'S	17°10,344'E
Kui-12	12°16,594'S	17°06,780'E
Kui-13	12°18,059'S	17°02,045'E
Kui-14	12°18,772'S	17°00,379'E
Kui-15	12°18,942'S	17°00,400'E
Solos urbanos		
Kui-6	12°23,575'S	16°57,060'E
Kui-7	12°23,710'S	16°56,182'E
Kui-8	12°23,162'S	16°56,706'E
Kui-9	12°23,083'S	16°56,803'E
Kui-10	12°22,926'S	16°56,643'E
Kui-16	12°22,685'S	16°56,658'E
Kui-17	12°22,278'S	16°56,331'E
Kui-18	12°22,565'S	16°56,136'E
Kui-19	12°23,647'S	16°55,466'E
Kui-20	12°24,001'S	16°56,201'E

Foram realizadas amostras compósitas na colheita de solo para obter uma caracterização mais representativa. Numa área de 1 m² retirou-se a cobertura vegetal e em seguida realizaram-se cinco cortes no solo de 25 - 30 cm de profundidade para colheita da porção de solo de cada corte, juntando-se de seguida estas porções (Figura 10).



Figura 10- método de colheita de amostra de solo.

Na figura 11 é dada a localização georreferenciada das amostras no Atlas dos Solos de África (Angola)

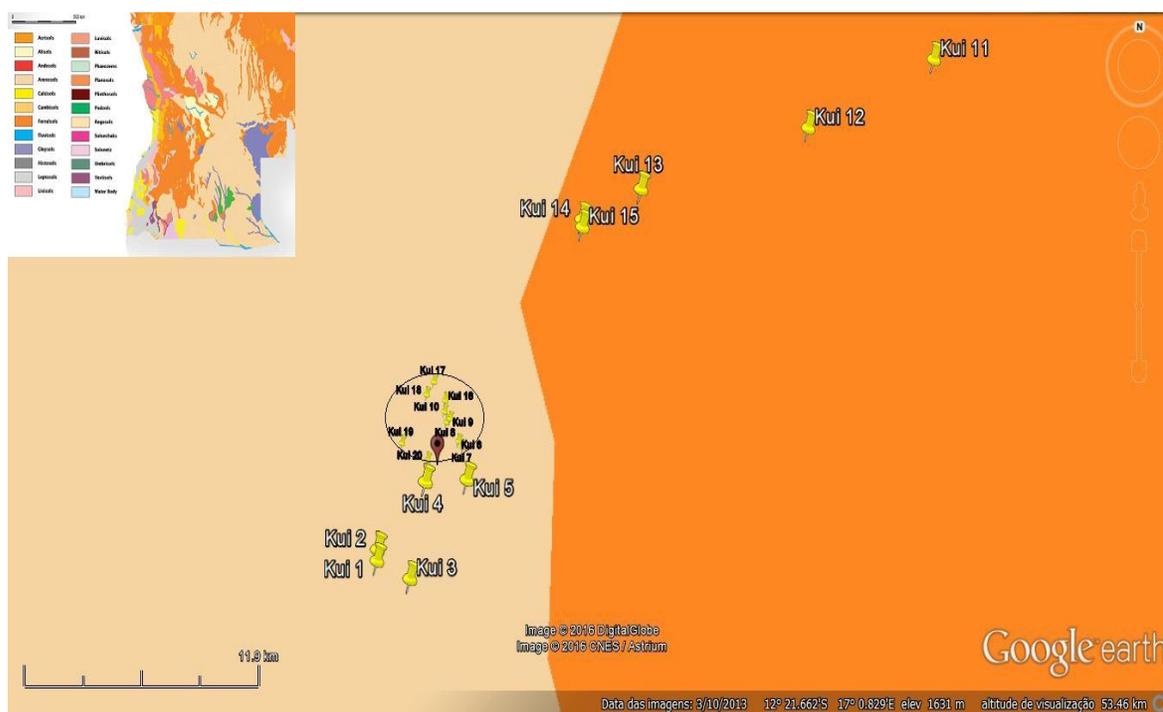


Figura 11- Imagem do Google Earth com a sobreposição do Atlas dos Solos de África, com a localização dos pontos de amostragem. A área assinalada com o círculo a negro corresponde à zona urbana onde os solos foram colhidos.

Na figura 12 é dada imagem do Google Earth com a localização das amostras colhidas no interior da cidade do Kuito e correspondente a solo urbano.

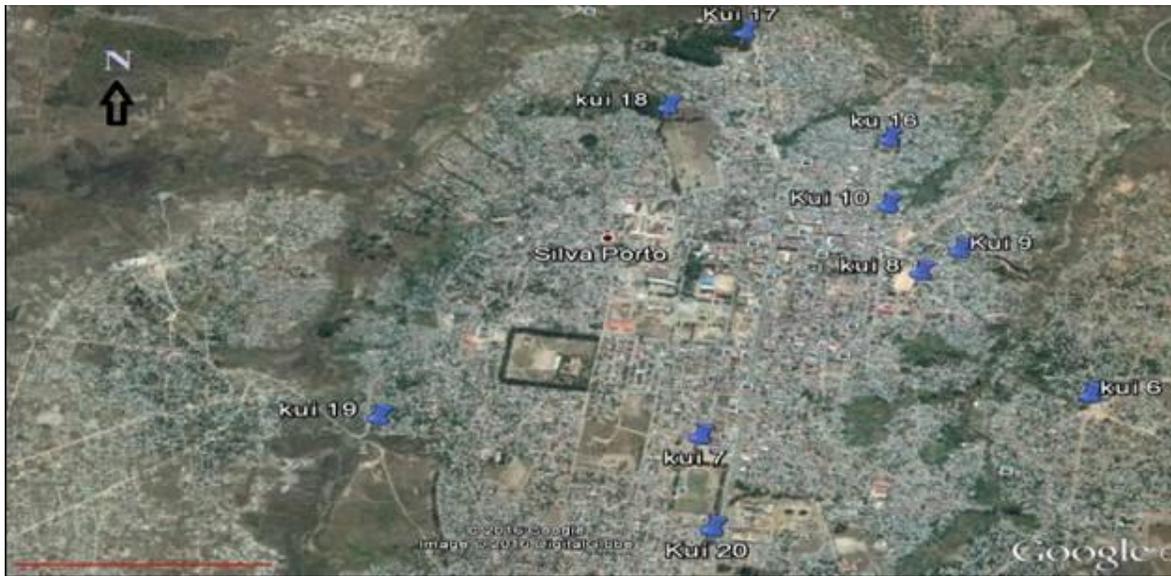


Figura 12- Imagem do Google Earth com a localização dos pontos de amostragem da zona urbana.

4.2. Características dos pontos de amostragem

As amostras Kui-1 e Kui-2 foram colhidas numa zona onde afloram as areias, que cobrem os granitos. A amostra Kui-3 foi colhida numa zona de areias, com capim alto e algum lixo muito disperso pelo vento. Na zona onde as amostras Kui-4 e Kui-5 foram colhidas também há lixo disperso pelos povos que cruzam a região. O solo é classificado como arenossolo (Figura 11) e têm cor acastanhada a alaranjada. As amostras Kui-11 a Kui-15 são também do solo regional, com mais vegetação e é classificado como ferrassolo (Figura 11), sendo e as amostras Kui-13 a Kui-15 mais avermelhadas.

As amostras Kui-6 a Kui-10 e Kui-16 a Kui-20 são de solo urbano colhidos dentro da área urbana da cidade do Kuito, nas bermas das ruas, que são de terra-batida, nas proximidades

de lixeiras domésticas, oficinas de automóveis, serralharias, mercados e proximidade do cemitério. A amostra (kui-19) foi colhida junto a uma pracinha, próximo da antiga captação de água, nas bermas do rio Cangalo, que antigamente abastecia água a cidade do Kuito; a kui-8 foi colhida numa zona de lixeira; a kui-7 nas proximidades de uma oficina de motorizadas, ao lado do campo de futebol. A amostra kui-10 foi colhida próximo de uma serralharia. A amostra kui-20 foi colhida próximo de uma oficina de automóveis, onde existe lixo urbano depositado. As amostras colhidas estão localizadas na área onde estão cartografados arenossolos (Figura 11).

4.3. Preparação de amostras

O processo de preparação das amostras iniciou-se com a secagem a temperatura ambiente, cobertas com papel para evitar contaminação, a que se seguiu um esboroamento do solo e uma crivagem a 2 mm, usando peneira com malha de nylon (Figura 13.a). Seguiu-se a homogeneização do solo por rolamento da amostra sobre si mesma em cima de papel *kraft* e de seguida fez-se o quarteamento.

Para o quarteamento fez-se um cone com a amostra, que se dividiu em 4 partes (Figura 13.b). Duas das quatro partes diametralmente opostas foram desprezados e as outras duas constituem a amostra (Figura 13.c, d). Estes procedimentos acima descritos foram realizados no Kuito.

As amostras foram depois trazidas para o Laboratório de Preparação de Amostras do Departamento de Ciências da Terra, da Universidade de Coimbra e depois de homogeneizadas sobre papel *kraft* e quarteadas obtiveram-se as sub-amostras para as análises por fluorescência de raios-X (Figura 14a), pH (Figura 14b), Condutividade Elétrica (Figura 14c, d), deixando-se também uma porção para testemunho.



Figura 13- Preparação das amostras. a) Esboroamento e crivagem por peneira de nylon 2mm; b) quarteamento; c) quarteamento; d) os dois quartos desprezados, guardados para referência.

A sub-amostra para análise por FRX foi crivada com um crivo de 125 μm e a análise foi depois realizada nesta fração, pois é na fração fina que se concentram os elementos potencialmente poluidores, sendo a fração mais grosseira essencialmente constituída por quartzo (Andrews et al., 2003).



Figura 14: a) Espectrómetro portátil utilizado para análises químicas das amostras de solos; b) medidor pH Hanna modelo pH21 calibrado com solução pH 4 e pH7;c) decantação das amostras CE; d) análise a condutividade elétrica.

4.4. Determinação do pH

Para a determinação do pH foi seguida a metodologia de Donald et al. (2009). Foi realizada uma suspensão de 20g de amostra de solo crivado a $<2\text{mm}$ e 20ml de água destilada, que foi e colocada num copo e agitando-se durante 15 segundos. Esperou-se 15 minutos e fez-se a leitura do pH na suspensão, usando um medidor de pH de bancada da marca Hanna, modelo pH 21. Em cada amostra foram feitas duas leituras, tomando-se o valor médio. O medidor foi previamente calibrado com soluções padrão de pH 7 e 4, fornecidas pelo fabricante. Foram preparadas 5 amostras duplas e em cada 5 leituras verificava-se se o medidor continuava calibrado, lendo, a solução tampão de pH 7.

4.5. Determinação da Condutividade Elétrica

Seguiu-se metodologia proposta pelo BCR – Community Bureau of Reference. Foi realizada uma suspensão de solo/água com 30g de amostra peneirada a < 2 mm e 150 mL de água destilada e agitou-se com uma vareta de vidro à mão. Ficou 24 h em repouso fez-se uma decantação (Figura 14c.), para obter uma solução o mais límpida possível, pois a matéria em suspensão interfere com a determinação da condutividade. Para medir a condutividade elétrica utilizou-se o medidor de condutividade elétrica Hanna HI9828 prepararam-se cinco amostras duplas para estimar o erro e o branco foi água destilada, na qual se media a condutividade elétrica em cada 5 leituras.

4.6. Fluorescência de raio-X (FRX)

A fracção <125 µm das diversas amostras foram colocadas em pequenos *beakers*, prensadas manualmente, para obter uma superfície plana tapados com películas transparentes aos raios X e foram analisadas com um espectrómetro portátil Niton XL3t GOLDD+ Serie X-ray fluorescência (Thermoscientific), que determinou os valores dos elementos maiores ou óxidos (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, CaO, K₂O, P₂O₅, Cl, S) e elementos traços que são (Mo, Zr, Sr, U, Rb, Th, Pb, As, Zn, W, Cu, Co, Cr, V, Ba, Nb e Bi) por fluorescência de raios- X. Fizeram-se 3 incidências em locais diferentes da superfície para garantir a melhor representação da amostra. O valor considerado é a média das 3 incidências.

5. Resultados e discussão

5.1. Avaliação dos erros

O erro ou reprodutibilidade indica a concordância entre os resultados obtidos nas repetições realizadas nas mesmas condições, o que pressupõe fazer repetições de algumas amostras já que trabalhamos com os solos regionais e urbanos urge a necessidade de realizamos repetições de forma aleatória nestas amostras de solos. Quando maior é o número de repetições melhor a estimativa do erro. Uma variante desta metodologia está escrito em Gill (1997) e foi usada neste trabalho, pois as amostras analisadas possuem composições distintas. Foram analisadas várias amostras duplas (Tabelas 5 - 7), calculou-se a média e a diferença entre valores obtidos, calculando a percentagem da diferença em relação à média. A mediana destes valores obtidos nas amostras duplas dá uma estimativa do coeficiente de variação, sendo que quando menor for o seu valor maior é a precisão das análises. O erro é 2 vezes o coeficiente de variação (Gil, 1997). Este erro é a soma do erro que se provoca ao amostrar, somado ao erro analítico, ou seja é o erro no procedimento. O erro analítico pode ser estimado através das leituras duplas que foram feitas em cada medição.

Tabela 5- Valores das repetições para a estimação do erro na determinação do pH

	Kui-7	Kui-12	Kui-14	Kui-17	Kui-20
Amostras	7,23	5,81	5,77	7,99	7,05
Amostras	7,12	5,69	5,68	8,08	7,03

Tabela 6- Valores em $\mu\text{S}/\text{cm}$ das repetições para a estimação do erro na determinação da condutividade elétrica

	Kui-2	Kui-3	Kui-12	Kui-6	Kui-17	Kui-20
Amostra	3	5	8	380	46	99
Amostra repetida	4	5	10	329	48	83

Tabela 7- Resultados das análises por fluorescência de raios-X, realizadas em amostras duplas

	% em peso de óxidos						mg/kg de elemento traço															
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	CaO	K ₂ O	Cl	S	Mo	Zr	Sr	Rb	Th	Pb	As	Zn	Cu	Cr	V	Nb	Bi
<u>Solo regional</u>																						
kui-3	62,45	0,97	8,01	2,73		0,03	0,06			19	1419	10	4	9	17		8	6		77	18	8
kui-3R	68,42	0,78	9,31	3,10		0,03	0,06			20	1526	10	4	12	19	7		25		76	19	11
Kui-4	56,06	0,79	11,35	9,34		0,09	0,41			12	504	15	11	14	38	16	32	35	155	164	18	13
Kui-4R	57,90	0,83	11,76	9,56		0,09	0,41			13	526	13	10	9	39	14	34	28	119	172	19	12
Kui-5	60,14	0,90	7,77	1,97		0,12	0,10		303	11	1072	9	5	10	9		4			63	17	9
Kui-5R	69,14	0,93	9,44	2,25		0,11	0,10		406	15	1245	10	6	11	8					66	21	10
Kui- 11	59,89	1,16	9,09	5,45		0,04	0,43			9	1253	6	22	17			12	26	111	138	19	17
Kui- 11R	54,15	1,14	7,18	5,32		0,04	0,40			23	1419	7	22	18			16	27	103	106	18	18
Kui-14	41,54	1,60	11,41	12,73	0,03	0,05	0,36			12	876	16	16	11		5	33	18	155	219	18	7
Kui-14R	42,63	1,50	11,71	12,28	0,03	0,06	0,36			11	795	18	12	9		8	27	19	147	198	17	6
<u>Solo urbano</u>																						
Kui-7	55,26	0,78	5,68	3,31		0,85	0,55		2637	13	1393	17	14	8	54		312	44	17	73	14	7
Kui-7R	54,89	0,83	6,04	3,56		0,87	0,55		2783	14	1380	19	15	7	54		344	35	35	84	15	6
Kui-8	60,03	0,58	7,68	4,34		3,18	1,43		337	1589	11	930	38	22	11	32	176		44	93	14	9
Kui-8R	59,40	0,60	7,47	4,37		3,04	1,39		267	1579	10	895	38	22	9	29	171		45	90	14	7
Kui-10	46,20	1,53	5,83	28,31	0,38	2,54	0,68		405	2458	10	1479	27	9		241	768	215	417	187	54	
Kui-10R	45,70	1,35	5,51	27,58	0,34	2,39	0,66		388	2382	9	1462	28	8		289	738	176	424	195	49	
Kui-16	55,21	0,89	5,85	2,49	0,05	3,30	0,66		1098	2323	25	2013	56	19	11	73	611	77		66	17	8
Kui-16R	55,44	0,84	5,61	2,43	0,05	3,20	0,62		1094	2075	22	2303	54	19	11	95	608	78		60	17	7
Kui-18	65,69	0,64	4,53	2,52		2,08	1,27		681	1400	15	1166	30	31	8	17	79	14		63	11	
Kui-18R	67,47	0,65	4,71	2,77		2,03	1,23		677	1624	18	1296	31	30	8	13	76	17		65	12	

O erro de procedimento estimado para a determinação do pH foi de 2,9 % erro analítico nele contido foi de 1,8 %. Na determinação da condutividade elétrica erro no procedimento foi de 29,8 % e o erro analítico nele contido foi de 2,3 %. Portanto o procedimento analítico na determinação da condutividade elétrica é menos fiável do que o procedimento analítico na determinação do pH. Tal pode dever-se ao facto de as amostras apresentarem alguma turvação, o que faz com que o condutímetro não consiga uma resposta muito eficaz na medição da condutividade.

Para a determinação do erro no procedimento analítico por fluorescência de raios-X fizeram-se 10 amostras duplas, cujos resultados são dados na tabela 7. Na generalidade, os erros não ultrapassam os 25%, o que é aceitável para esta metodologia. Este valor relativamente alto é devido ao facto de se ter usado a fração < 125 μm e não se ter reduzido as amostras a uma granulometria mais fina. O erro na determinação do Cu e Bi é mais alto, sendo de 41 e 32 % respetivamente.

5.2. Valores de pH e condutividade elétrica dos solos da região do Kuito

Os resultados das análises físico-químicas realizadas nas amostras de solo são dados na Tabela 8. Os valores de pH variam entre 5,5 e 8,4. Os valores mais elevados foram registados nos solos urbanos, que possuem de valor médio de pH 7,4, enquanto a média dos valores de pH nos solos regionais é de 5,8. Verifica-se assim a existência de valores distintos entre as amostras dos solos regionais e urbanos. Nestes destaca-se as amostras Kui-10 e Kui-17 com 8,4 e 8 de pH (Tabela 8 e Figura 15).

Os valores da condutividade elétrica são muito baixos nos solos regionais, variando entre 3 e 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com uma média de 7,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto nos solos urbanos variam entre 46 e 435 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com um valor médio de 267 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 8). As amostras com valores mais elevados são Kui-8 e Kui-9.

Para se ter a certeza que as diferenças encontradas, nos valores de pH e de condutividade elétrica, são estatisticamente distintos nos dois tipos de solos, usou-se o teste t-Student (Tabela 8), para uma probabilidade de 95 %. O teste confirmou que os valores de pH e de condutividade elétrica são significativamente distintos nos dois tipos de solos, sendo mais elevados nos solos urbanos (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de pH e de condutividade elétrica
(CE em $\mu\text{S/cm}$) determinados nos solos do Kuito.

	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)
Solos regionais		
Kui-1	6,0	7
Kui-2	5,5	3
Kui-3	5,7	5
Kui-4	5,7	6
Kui-5	6,0	11
Kui-11	6,1	5
Kui-12	5,8	9
Kui-13	6,0	5
Kui-14	5,7	13
Kui-15	5,7	10
Média	5,8	7,3
Desvio padrão	0,2	3,1
Solos urbanos		
Kui-6	7,6	380
Kui-7	7,2	88
Kui-8	7,8	435
Kui-9	7,5	432
Kui-10	8,4	159
Kui- 16	7,0	345
Kui- 17	8,0	47
Kui- 18	7,8	302
Kui- 19	5,7	384
Kui- 20	7,0	91
Média	7,4	266,1
Desvio padrão	0,7	153,7
t-Student	6×10^{-5}	5×10^{-4}

Os valores de pH dos solos regionais indicam que são solos sub-ácidos na escala de Pralongo, o que se deve ao facto de serem derivados de rochas ácidas. Os solos urbanos são, em média, neutros mas há amostras que possuem valores de solos sub alcalinos na mesma escala.

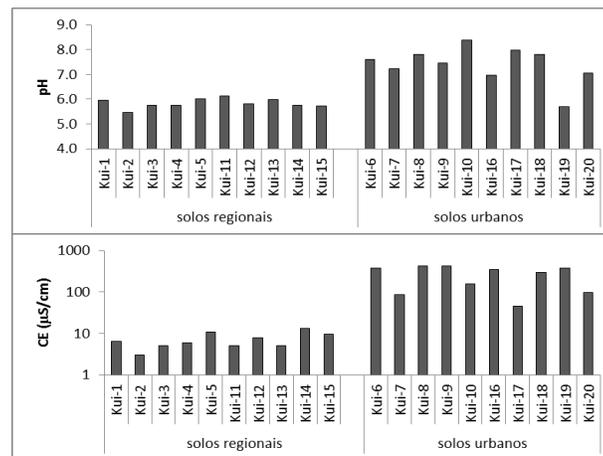


Figura 15- Representação gráfica de pH e de condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) nas amostras analisadas dos solos do Kuito.

Os solos regionais apresentam valores de condutividade eléctrica muito baixos, o que indicam que possuem pequena quantidade de sais facilmente solúveis. Tal pode dever-se ao facto de serem solos arenosos e ferrassolos extremamente permeáveis, sendo o tempo de contacto água/solo muito baixo. São também solos muito meteorizados, dos quais a maior parte das bases de troca já foram lixiviadas. A água das chuvas infiltra-se muito facilmente e não promove reações químicas como os constituintes dos solos, que pudessem originar sais solúveis. E eventualmente aqueles sais que sejam formados, são rapidamente transportados para as águas subterrâneas, devido à alta permeabilidade dos solos.

Verifica-se que os solos urbanos, que são mais compactos, apresentam maiores valores de condutividade eléctrica (Figura 15), indicando que possuem maior quantidade de sais solúveis. Estes sais poderão ser derivados da solubilização dos materiais de construção e

também dos lixos urbanos espalhados pela cidade. O despejo das águas de lavagem de roupas e loiças nas ruas, que não são impermeabilizadas, a inexistência de um sistema de recolha de esgotos e lixos urbanos, a existência de fossas rotas, entre outros problemas podem também contribuir para aumentar a quantidade de sais nos solos urbanos. Portanto a contribuição antrópica faz aumentar a quantidade de sais solúveis nos solos urbanos.

5.3. Composição química

Os resultados das análises químicas realizadas por fluorescência de raios-X (FRX) às amostras de solos regionais e solos urbanos (fração <125µm) são dados nas tabelas 9 e 10, respetivamente. Nas tabelas são apenas apresentados os elementos que foram detetados. Os elementos Mg, P, U, Au, Se, Cs, Ag, W, Hg, Ni, Sc, Sb, Ta não foram detetados.

Não há distinção nos teores de SiO₂ entre as amostras do solo regional e de solo urbano (Figura 16 e Tabela 11). O teste estatístico t-Student indica que não há diferença significativa nos teores de TiO₂ e de Fe₂O₃t, entre as amostras dos dois tipos de solos (Tabela 11). Pela observação do diagrama de barras, pode observar-se que as amostras de solo regional colhidas em ferrassolos (kui-11 a kui-15), possuem teores destes elementos mais elevados do que as amostras colhidas em arenossolos, entre elas as colhidas no solo urbano, com excepção da amostra Kui-10. Os ferrassolos, são solos muito lixiviados, em que a precipitação de óxidos de ferro é intensa e o Ti é um elemento imóvel no ambiente superficial, pelo que em condições de lixiviação intensa ele aparece enriquecido.

Há diferença significativa entre os teores de Al₂O₃, CaO e de K₂O, entre as amostras do solo regional e de solo urbano (Figura 16 e Tabela 12). Os teores mais elevados de CaO e K₂O no solo urbano pode dever-se à introdução no solo urbano de resíduos de materiais de construção (cimento, cal, gesso, tintas, etc.) e de efluentes domésticos que podem conter sais de potássio. Os teores de Al₂O₃ são significativamente mais baixos no solo urbano do que no solo regional (Tabela 11, Figura 16), o que se pode dever a facto do solo urbano possuir menor quantidade de minerais de argila

Tabela 9- Elementos maiores (% em peso de óxido) e elementos traço (mg/kg) dos solos do Kuito.

Amostras	Solo regional										Média	D.Pad.
	Kui-1	Kui-2	Kui-3	Kui-4	Kui-5	Kui-11	Kui-12	Kui-13	Kui-14	Kui-15		
SiO ₂	57,25	51,05	65,44	56,98	64,64	57,02	48,39	37,28	42,08	45,80	52,59	9,3
TiO ₂	0,72	0,84	0,88	0,81	0,91	1,15	1,24	1,45	1,55	1,55	1,11	0,3
Al ₂ O ₃	8,36	9,21	8,66	11,55	8,61	8,14	8,42	9,38	11,56	10,39	9,43	1,3
Fe ₂ O ₃ t	3,80	3,72	2,92	9,45	2,11	5,38	2,96	9,23	12,51	13,15	6,52	4,2
MnO	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	0,03	0,03	0,05	0,04	0,0
CaO	0,07	0,03	0,03	0,09	0,11	0,04	0,06	0,04	0,05	0,07	0,06	0,0
K ₂ O	0,09	0,06	0,06	0,41	0,10	0,42	0,19	0,48	0,36	0,28	0,24	0,2
Cl	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld		0,0
S	703	< ld	< ld	< ld	532	< ld		263,3				
Mo	16	14	20	12	13	16	18	11	11	11	14	3,1
Zr	744	778	1472	515	1158	1336	927	616	836	1054	944	309,5
Sr	8	7	10	14	10	6	7	9	17	11	10	3,4
Rb	< ld	< ld	< ld	11	6	22	17	20	14	18	15	8,7
Th	10	10	10	14	11	18	15	27	10	7	13	5,7
Pb	20	24	18	39	11			14	10		19	10,0
As	< ld	< ld	7	15	< ld	< ld	< ld	8	8	6	9	5,2
Zn	< ld	< ld	11	33	11	17	25	< ld	45	< ld	24	15,7
Cu	18	22	23	38	< ld	31	31	29	28	33	28	10,6
Co	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	441	578		
Cr	< ld	< ld	< ld	137	< ld	107	67	215	151	133	135	78,8
V	99	109	77	168	64	122	96	188	208	195	133	52,6
Ba	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld		0,0
Sn	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld		0,0
Nb	18	16	19	19	19	18	17	17	18	15	18	1,2
Bi	9	9	10	13	9	17	14	28	9	< ld	13	7,1

t: total; < ld: menor que o limite de deteção (5 mg/kg) D.Pad: des vio padrão

Tabela 10- Elementos maiores (% em peso de óxido) e elementos traço (mg/kg) dos solos do Kuito

Solo urbano												
Amostras	Kui-16	Kui-7	Kui-8	Kui-9	Kui-10	Kui-16	Kui-17	Kui-18	Kui-19	Kui-20	Média	D.Pad.
SiO ₂	62,09	55,07	59,71	61,79	45,95	55,33	58,48	66,58	48,55	45,68	55,92	7,2
TiO ₂	0,87	0,81	0,59	0,74	1,44	0,86	0,85	0,65	0,78	1,09	0,87	0,2
Al ₂ O ₃	4,87	5,86	7,57	7,17	5,67	5,73	5,54	4,62	9,48	7,23	6,38	1,5
Fe ₂ O _{3t}	2,45	3,44	4,36	2,46	27,94	2,46	8,21	2,64	4,04	4,97	6,30	7,8
MnO	0,01	< ld	< ld	< ld	0,36	0,05	0,01	< ld	0,03	0,02	0,08	0,1
CaO	2,81	0,86	3,11	2,15	2,46	3,25	0,70	2,06	0,30	2,13	1,98	1,0
K ₂ O	0,49	0,55	1,41	0,64	0,67	0,64	0,50	1,25	2,10	0,88	0,91	0,5
Cl	656	< ld	302	1045	397	1096	< ld	679	972	< ld	735	438,4
S	1974	2710	1584	2069	2420	2199	< ld	1512	< ld	3779	2281	1154,5
Mo	8	14	10	12	9	24	23	17	16	19	15	5,5
Zr	1158	1386	913	976	1471	2158	1698	1231	1508	1095	1359	374,3
Sr	30	18	38	31	27	55	18	30	34	63	34	14,4
Rb	13	15	22	21	8	19	16	31	27	14	18	6,9
Th	8	8	10	10	< ld	11	11	8	13	9	9	3,5
Pb	12	54	31	36	265	84	17	15	31	241	79	94,6
As	< ld	< ld	< ld	< ld	32	< ld	8	< ld	8	14	15	10,3
Zn	158	328	174	169	753	609	74	78	104	446	289	239,0
Cu	< ld	39	< ld	22	195	78	42	23	24	62	61	57,1
Co	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld	< ld		
Cr	< ld	52	44	< ld	420	< ld	107	< ld	62	96	130	126,8
V	62	78	91	66	191	63	170	64	111	113	101	46,2
Ba	< ld	< ld	< ld	< ld	212	< ld	< ld	< ld	< ld	756	484	240,9
Sn	< ld	< ld	< ld	< ld	48	< ld	48	15,3				
Nb	14	14	14	14	51	17	14	12	18	17	19	11,7
Bi	6	7	8	7	< ld	9	10	6	11	7	8	3,0

t: total; < ld: menor que o limite de deteção (5 mg/kg) D.Pad: desvio padrão

Tabela 11- Valores do teste t-Student para 95% de probabilidade

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	CaO	K ₂ O	S	Mo	Zr	
0,384	0,073	0,000	0,937	0,474	0,000	0,003	0,000	0,639	0,015	
Sr	Rb	Th	Pb	As	Zn	Cu	Cr	V	Nb	Bi
0,000	0,324	0,072	0,080	0,340	0,007	0,154	0,941	0,172	0,815	0,039

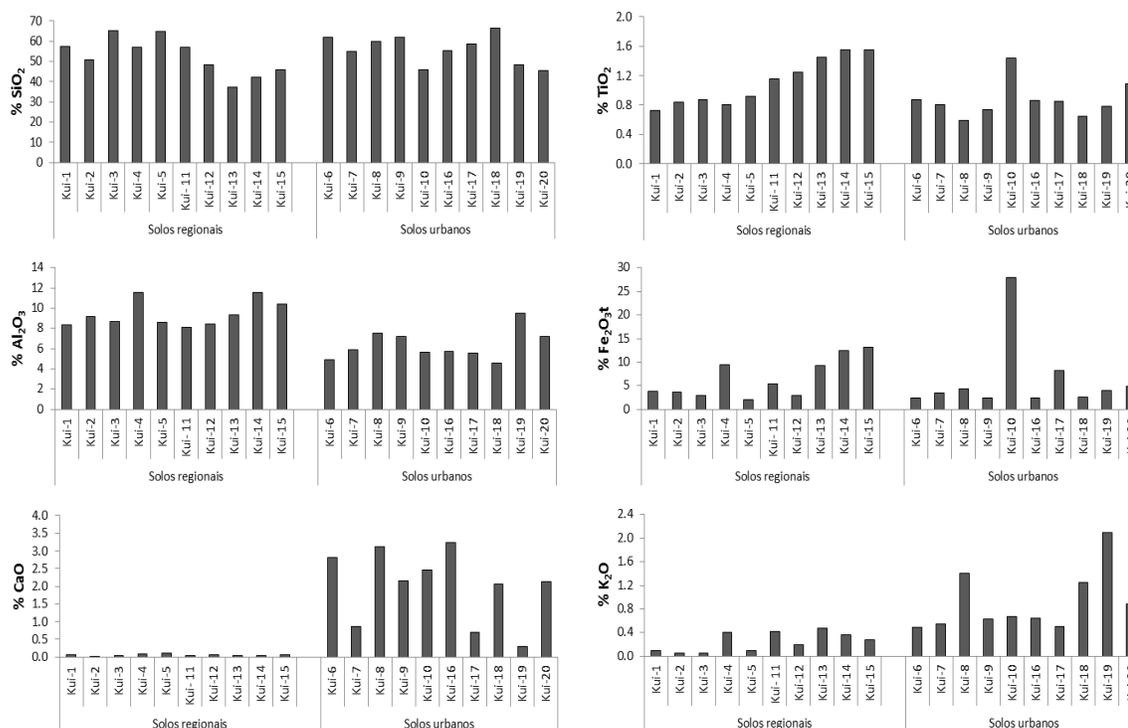


Figura 16- Comparações de teores dos elementos maiores em solos regionais e urbanos

O cloro foi encontrado nos solos urbanos com teores elevados (302-1096 mg/kg), sendo as amostras que apresentaram valores mais elevados de Cl as kui-9 e Kui-16 respetivamente. Estes altos teores regionais de cloro nos solos urbanos podem ser devidos a introdução de águas residuais domésticas que contem detergentes e lixívias. No solo regional não se detetou

cloro e o S só foi detetado nas amostras kui-1 (703 mg/kg) e kui-5 (532 mg/kg). Nos solos urbanos o S apresenta teores elevados que variam entre 1512-3779 mg/kg (Tabela 10), pelo que há diferença significativa nos teores de enxofre entre o solo regional e o solo urbano (Tabela 11).

O bário, Co e Sn foram raramente detetados nas amostras de solos do Kuito, o que de mostra a inexistência de quantidade significativa desses elementos nos solos. O Ba foi detetado encontrado tão-somente nas amostras dos solos urbanos, kui-10, com 212 mg/kg e kui-20, com 756 mg/kg. O cobalto só foi detetado nas amostras dos solos regionais kui-14 (441mg/kg) e na amostra kui-15 (578 mg/kg) O Sn só foi detetado (48 mg/kg), numa amostra Kui-10, que é o solo urbano que possui maior quantidade de Fe e que foi colhido nas proximidades de uma serralharia. Este solo também possui as maiores concentrações de, As, Zn, Cu e Pb.

Foram detetados valores de As nas amostras de solo regional e urbano com teores que variam entre 6-32 mg/kg, mas em poucas amostras. Nas cinco amostras de solo regional os teores variam entre 6-15 mg/kg (Tabela 9 e Figura 17). No solo urbano os teores variam entre 8-32 mg/kg, sendo o valor mais elevado encontrado no kui-10, com 32 mg/kg (Tabela 10 e figura 17).

O arsénio é um poluente, tóxico e carcinogénico (OMS, 2011), que no ambiente se encontra em 4 estados de oxidação principais, dependentes do pH e do Eh (Dissanayake & Chandrajith, 2009). Causa maiores preocupações em termos de saúde quando se apresenta sob a forma de As^{III} , pois é a forma mais móvel. Os iões arsenatos (AsO_4^{3-}), nos quais o As está na forma pentavalente, são conhecidos por serem facilmente fixados em minerais de argilas (Kabata-Pendias & Pendias, 1992) e são os prevaletentes em condições oxidantes. Contudo o As pode reduzir-se a As^{III} , se houveram condições redutoras, geralmente originadas pela degradação de grandes quantidades de matéria orgânica nos solos, em condições anaeróbias. Os seus teores naturais nos solos variam entre 5-10 mg/kg (Dissanayake & Chandrajith, 2009).

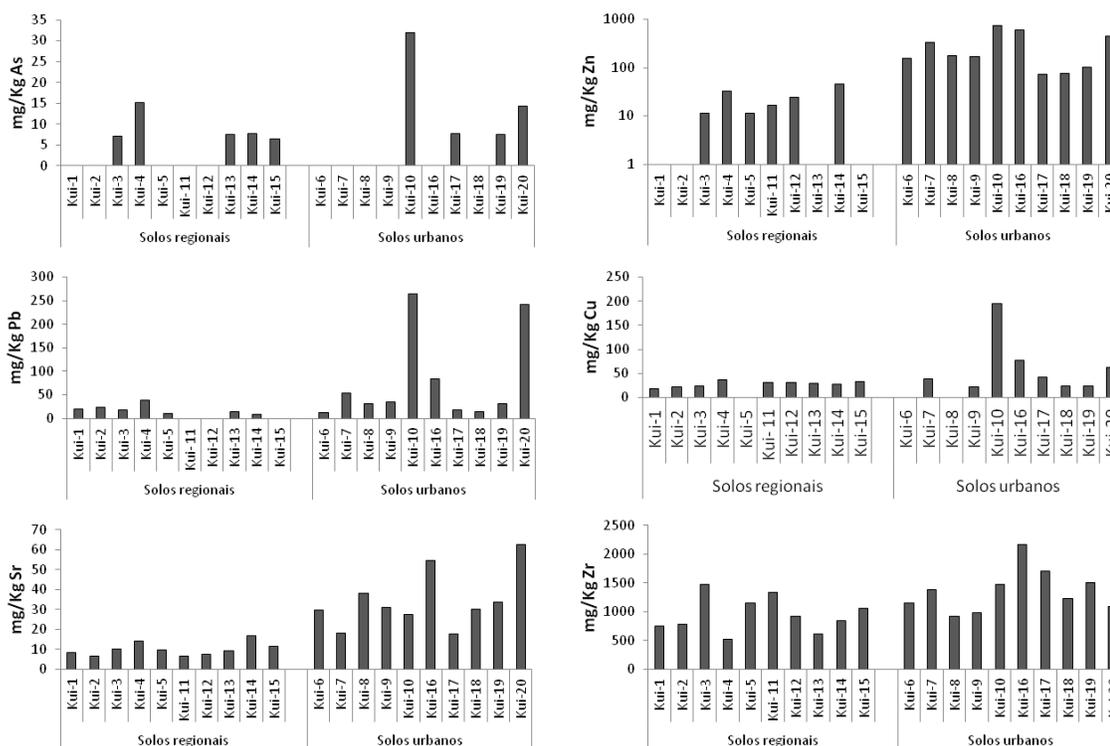


Figura 17- Comparações de teores dos elementos traços em solos regionais e urbanos.

O vanádio tem teores semelhantes nas amostras de solo regional e urbano, com teores médios de 133 e 101 mg/kg, respetivamente (Tabelas 9 e 10). O valor mais elevado de V foi encontrado numa amostra de solo regional Kui-14 com 208 mg/kg. Os teores de Cu que foram detetados variam entre 18 e 38 mg/kg nas amostras de solo regional e entre 22 195 mg/kg nas amostras de solo urbano, com médias de 28 e 61 mg/kg, respetivamente (Tabelas 9 e10). O valor mais elevado foi encontrado na amostra kui-10, colhida nas proximidades de uma serralharia.

As mais elevadas concentrações de zinco aparecem nas amostras do solo urbanos, que possuem entre 74 mg/kg, na amostra kui-17, até 753 mg/kg, na amostra kui-10. Nas amostras de solo regional onde o Zn foi detetado os teores variaram entre 11 e 33 mg/kg. Assim há diferença significativa nos teores de Zn entre as amostras do solo regional e as amostras do solo urbano, como se pode ver na tabela 11.

O Zn é um metal largamente usado pelo homem, pois é usado na galvanização, em ligas metálicas e na fabricação de latão. Nas cidades estes produtos existem abundantemente, pelo que podem explicar os mais elevados teores de Zn, encontrados no solo urbano (Tabelas 9-11).

No solo regional os teores de Cr detetados variam entre 67 e 215 mg/kg, com média de 135 mg/kg, enquanto no solo urbano, com excepção da amostra kui-10 (420 mg/kg), variam entre 44 e 107 mg/kg, com média de 72. Não considerando a amostra kui-10, há diferença significativa, avaliada pelo teste t-Student ($t=0,028$), entre os teores de Cr nos solos regional e urbano, sendo que o solo regional possui teores mais elevados. O Cr^{3+} , que é o íon predominante entre pH 5 e 7, é imóvel a pH de 5,5, sendo considerado muito estável nos solos; por outro lado o Cr^{6+} que é predominante a pH >7 é considerado muito móvel em condições ácidas e alcalinas (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Como o solo urbano apresenta valores de pH na sua maioria superiores a 7, o Cr é lixiviado deste solo e por isso ele apresenta teores mais baixos de Cr do que o solo regional. A amostra kui-10 tem alto teor de Cr, pois também tem altos teores de Fe, Zn e Pb derivados dos efluentes da serralharia.

Não há distinção nos teores de Nb entre os solos regionais e urbanos sendo as médias de 18 e 19 mg/kg, respetivamente (Tabelas 9 e 10). Apenas a amostra Kui-10 apresenta um teor mais elevado (51 mg/kg). O Nb é usado em ligas metálicas pelo que o seu teor mais elevado é encontrado na amostra colhida nas proximidades da serralharia. O molibdénio apresenta teores semelhantes nas amostras de solo regional e urbano, com teores médios de 14 e 15 mg/kg respetivamente (Tabelas 9-11).

O solo regional possui teores de Pb que variam entre 10 e 39 mg/kg, com média de 19 mg/kg, enquanto o solo urbano tem 79 mg/kg de Pb com teores detetados a variarem entre 12 e 265 mg/kg. O diagrama de barras mostra a diferença entre os dois tipos de solos (Figura 17), contudo a diferença não é estatisticamente significativa ($t > 0,05$, Tabela 11), o que se deve a que o valor do teor médio ser controlado essencialmente por duas amostras

(kui-10 e kui-20). Também o teor médio de cobre no solo urbano é essencialmente controlado pelo alto teor (195 mg/kg) da amostra kui-10 (Figura 17).

Os teores de Zr e de Sr são significativamente distintos nos dois tipos de solos (Tabela 11). O solo regional possui teores de Sr menores do que o solo urbano. O estrôncio é um elemento que substitui facilmente o cálcio (Krauskopf, 1972), pelo que sendo o solo urbano mais enriquecido em cálcio do que o solo regional, vai ser também mais enriquecido em Sr.

Existem correlações positivas com coeficiente de correlação (r) superior a 0,8 entre Fe_2O_3 t e Cr e V; para o conjunto das amostras (Figura 18). Tal deve-se ao comportamento geoquímico semelhante destes metais (Krauskopf, 1972). Existe uma correlação negativa significativa (Figura 18) entre o SiO_2 e o TiO_2 , pois estes dois elementos substituem-se na malha dos silicatos, especialmente do quartzo, que é o principal mineral dos solos arenosos.

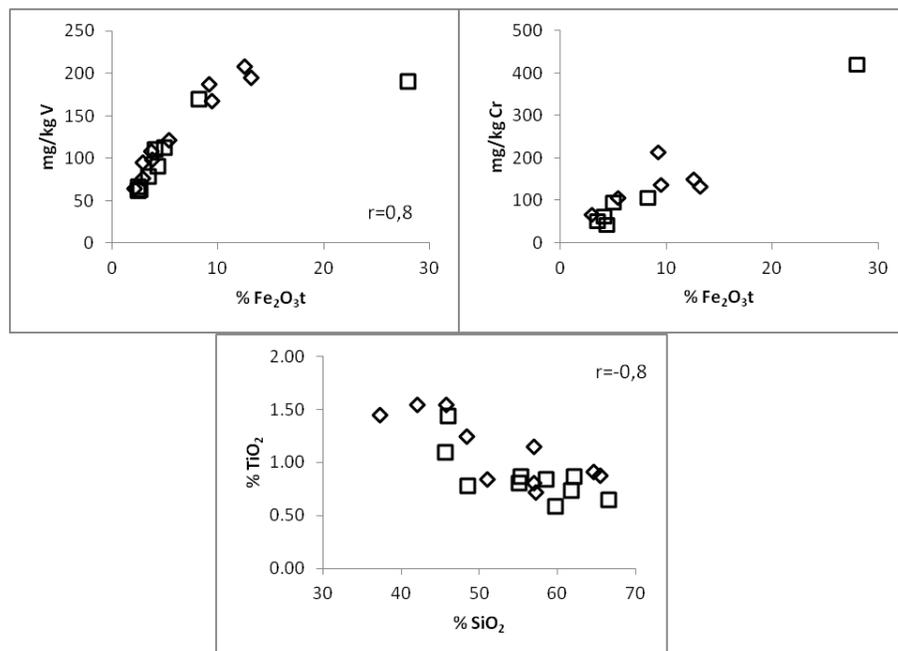


Figura 18- Diagramas de dispersão. Símbolos: losangos: solo regional; quadrado: solo urbano.

5.4. Estimação da contaminação dos solos urbanos

Pela observação conjunta das tabelas 9, 10 e 12 verifica-se que na generalidade os solos da região do Kuito não estão contaminados em As, considerando os valores-guia canadianos, da EU e dos EUA, com excepção de algumas amostras, cujo foco de contaminação pode ser identificado. O valor máximo admitido (VMA) de As em solos agrícolas nos EUA (Graham et al., 1987) é atingido numa amostra de solo regional (kui-4) que foi colhida próximo da Comarca do Bié (prisão) onde há deposição não autorizada de lixos e dejectos humanos, localizada junto ao aeroporto. Esta zona tem também sido usada para pequenos cultivos pelos presos.

Tabela 12- Valores Máximos Admitidos em diferentes países do Mundo (mg/kg)

	EUA	EU	Canadá (1)	Canadá (2)
As	14	20 *	11	18
Co	20		19	21
Cr	1500	50-150	67	70
Cu	750	50-140	62	92
Mo	4		2	2
Pb	150	50-300	45	120
V			86	86
Zn	1400	15-300	290	290
Ba			210	220

UE- União Europeia(* Apenas Alemanha)
(1) Para solos agrícolas; (2) para solso urbanos

De acordo com a legislação Canadiana (Ontario Guidelines, 2011), o solo regional do Kuito pode ser utilizado para fins residenciais/industriais e também para fins agrícolas, tendo em conta os teores de As medidos, com exceção da amostra kui-4. Portanto nesta área o solo não deve ser usado para agricultura. A amostra Kui-10 de solo urbano ultrapassa o VMA em As para solos urbanos. Esta amostra foi tirada numa zona de serralharia onde o lixo

produzido é deixado ao ar livre e é uma zona de maior movimentação das pessoas vindas do mercado municipal.

Relativamente ao Co, os teores deste metal ultrapassam os VMA, legislados nos EUA (Graham et al., 1987) e no Canadá (Ontário Guidelines, 2011), qualquer que seja a sua utilização, em duas amostras (kui-14 e kui-15) de solo regional, que foram colhidas em ferrossolos. São deste modo amostras que possuem contaminação natural em Co, pois estes solos sendo enriquecidos em Fe são também em Co, elementos que possuem afinidade geoquímica. O Co não foi detetado nos solos urbanos.

Os teores de Cr nos solos regionais ultrapassam os VMA da legislação Canadiana (Ontario Guidelines, 2011) quer para fins agrícolas quer para fins residenciais, em seis dos dez locais amostrados. No solo urbano, o teor de Cr ultrapassou estes VMA em três locais (kui-10, kui-17 e kui-20). Amostra (kui-17) foi colhida em área de lavagem de carros, parques de carregamento dos taxistas e vendas (comidas e bebidas). Apenas nas amostras de solo urbano, kui-10 e kui-20, os teores de Cu ultrapassaram os VMA para fins agrícolas e residenciais legislados pelo Canadá (Ontário 2011).

Todas as amostras de solos colhidas apresentam valores de Mo acima dos legislados para os diferentes usos no Canadá (Ontario Guidelines, 2011) e nos EUA (Graham et al. 1987). Duas amostras de solo urbano, têm teores de Pb que ultrapassam o VMA para fins residenciais (Ontario Guidelines, 2011) em dois locais, respetivamente (kui-10 e kui-20).

Relativamente aos teores de V, praticamente todas as amostras de solo regional ultrapassam o VMA (Ontario Guidelines, 2011) quer para fins agrícolas quer para fins residenciais (excepção kui-5). Quanto ao solo urbano, metade dos locais amostrados ultrapassa os VMA pela legislação de Ontário. O solo regional não apresenta teores problemáticos nem de Ba nem de Zn.

Nos solos urbanos, os teores de Ba não permitem o seu uso para atividades residenciais em dois dos locais amostrados (kui-10 e kui-20). Nos solos urbanos quatro locais ultrapassam o VMA de Zn pela legislação da EU e de Ontário para solos urbanos (kui-7, kui-10, kui-16 e kui-20).

6. Conclusões

Após a realização deste estudo podemos concluir que:

- Os solos da região em estudo são arenossolos e ferrossolos de acordo com a classificação proposta pela FAO.
- O solo regional é classificado como sub-ácido, enquanto o solo urbano é neutro a sub-alcálico. Há distinção, estatisticamente significativa, nos valores de pH determinados no solo regional e no solo urbano, sendo maiores neste.
- O solo regional apresenta valores muito baixos de condutividade elétrica, pois é um solo muito lixiviado e muito permeável. No solo urbano os valores de condutividade elétrica, são significativamente mais elevados, do que no solo regional, atingindo 435 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Os teores de SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 determinados no solo urbano e no solo regional não são significativamente distintos entre si, mas uma amostra de solo urbano apresenta teor de Fe_2O_3 muito elevado, devido à sua localização junto a uma serralheira.
- As amostras de solo regional colhidas em ferrossolo possuem teores de TiO_2 e de Fe_2O_3 superiores às amostras colhidas em arenossolos.
- O solo urbano possui teores de Al_2O_3 significativamente inferiores aos teores deste elemento no solo regional, o que se pode dever a ter menor quantidade de minerais de argila.
- O solo urbano possui teores de CaO , K_2O , Cl , S , Zn e Sr significativamente maiores do que o solo regional, o que se deve à contribuição antrópica/urbana provocada pelos materiais de construção, pelos lixos urbanos dispersos pela cidade e pelos efluentes domésticos e industriais, que são despejados livremente pela cidade.
- O solo urbano, com exceção de uma amostra, possui menores teores de Cr do que o solo regional, pois os seus valores de pH, promovem uma lixiviação intensa deste elemento, ficando o solo urbano mais empobrecido em Cr .

- Bário e Sn só foram detetados no solo urbano e este possui teores de Cu, Pb e As mais elevados do que o solo regional.
- Na generalidade os solos do Kuito não estão contaminados em As, com duas exceções. O solo regional pode ser usado para fins agrícolas, com excepção de um local e o solo urbano, está contaminado num local, tendo em vista o seu uso residencial.
- As amostras de solo regional classificado como ferrossolo apresentam contaminação natural em Co.
- O solo regional está na generalidade contaminado em Cr, tanto para fins agrícolas como residenciais e há também contaminação de solo urbano em 3 locais, tendo em vista o seu uso residencial.
- Dois locais da cidade do Kuito possuem teores de Cu, Pb e Ba que ultrapassam o VMA destes elementos para fins residenciais e quatro ultrapassam o VMA do Zn, para o mesmo fim.
- O solo regional apresenta contaminação natural em V, ultrapassando o VMA para fins agrícolas e residenciais e 50% das amostras de solo urbano estão também contaminadas neste elemento, tendo em vista fins residenciais.
- Há dois locais na cidade, kui-10 e kui-20 que são fontes pontuais importantes de contaminação do solo urbano na cidade do Kuito.

Estas conclusões permitem afirmar que a urbanização tem modificado as propriedades físico-químicas e químicas do solo na região do Kuito. Essas modificações são devidas ao processo de urbanização, como a construção de habitações e infraestruturas e às práticas anti-ambientais de deposição descontrolada dos lixos e efluentes domésticos e industriais, que se devem à falta de sistemas de recolha e tratamento destes resíduos.

Este tipo de práticas leva à degradação do solo, que fica impróprio mesmo para fins residenciais e à contaminação das águas subterrâneas, pois o solo perde a sua capacidade depuradora.

7. Referências bibliográficas

- ANDREWS JE, BRIMBLECOMBE P, JICKELLS TD, LISS PS, Reid B (2003) An Introduction to Environmental Chemistry. Wiley-Blackwell, 318 p.
- ARAÚJO AG, GUIMARÃES F, PEREVALOV OV., VOINOVSKY AS, TSELIKOVOSKY AF, AGUEEV YL, POLSKOI FR, KHODIREV VL, KONDRÁTIEV AI (1992) Geologia de Angola – Notícia Explicativa da Carta Geológica de Angola à escala de 1:1000 000. Serviço Geológico de Angola., 136 p.
- BRUAND A (2002) Concentration and mobility of lithogenic trace metals in soils: significance of anthropogenic lateral redistributions. C. R. Geoscience 334, 581–582
- BATJES NH, BINDRABAN PS, REUTER HI (2013) Towards improved soil information for quantification of environmental, societal and economic sustainability. Report 2013/05, ISRIC-Word Soil Information, Wageningen, 44p.
- BLUM WE (2005) Functions of soil society and the environment.Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 4 (3): 75-79.
- BRIGGS LJ (1897) The mechanics of soil moisture. U.S. Dept. Agr.Bur.Soils Bull.321p.
- CANNON WF & HORTON JD (2009) Soil geochemical signature of urbanization and industrialization – Chicago, Illinois, USA, Applied Geochemistry 24, 1590–1601.
- CARVALHO H (1980) Geologia de Angola, Folha 3, à escala 1/1000000. Laboratório Nacional de Investigação Científica e Tropical.
- COSTA JB (2011) Caracterização e constituição do solo.7ª ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 528p.
- CRAUL PJ (1994) Soil compaction on heavily used sites. Journal of Arboriculture, 20(2):69-74.

- DECRETO-LEI N° 31/2014 -Lei de Bases Gerais da Política Pública de Solos, de Ordenamento do Território e de Urbanismo.Legislação angolana, de 30 de Maio de 2014 D.R. nº104 série I.
- DINIS AC (1989) Bacias hidrográficas do Noroeste angolano. Recursos em terras com aptidão para o regadio. Ministério do Plano, Rep. Popular de Angola, Luanda.
- DISSANAYAKE CB & CHNADRAJITH R (2009) Introduction to Medical Geology- Focus on tropical environments. Erlangen Earth Conference Series, Springer, 297 pp.
- DONALD E & THOMAS S (2009) Recommended Soil pH and Lime Requirement Tests, Cooperative Bulletin, 493, 19-26.
- FAN S (2014) Assessment of special distribution and pollution with heavy metals in roadside soils along Xi´An-Baoji Highway in Northwest China. Environmental Engineering and Management Journal, 13, 3161-3171.
- FAO (2006) Guidelines for soil description. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.109p.
- FAO (2015) Sociedade Nacional de Agricultura. Dia Mundial do Solo 5/12. In: [http://revistagloburural.globo.com/noticias/agricultura/noticias/2014/12/4-motivos/que/causam/degradacao do solo/na-agricultura.html](http://revistagloburural.globo.com/noticias/agricultura/noticias/2014/12/4-motivos/que/causam/degradacao%20do%20solo/na-agricultura.html).
- FITZPATRICK EA (1980) Soils, their formation, classification and distribution: Longman, Edinburgh.353p.
- GILL R (1997) Modern analytical geochemistry: an introduction to quantitative chemical analysis techniques for Earth, environmental and materials scientists. Routledge: Longman.344p.
- GRAHAM RD, WELCH RM, GRUNES DL, CARY EE, & NORVELL WA (1987) Effects of zinc deficiency on the accumulation of boron and other mineral nutrients in barley, Soil Sci. Soc. Am. J., 51, 652.

- GUO GWU F, XIE F, ZANG (2012) Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(3) 410–418
- HILLEL (2003) Composição do solo. In:<http://www.estudopratico.com.br/o-solo-partes-composicao-e-tipos-de-solo/>. Visitado em 01/02/2016.
- HZUMI S (1983) The urban vegetation of Tokyo and Sendai, Japan. In: HOLZNER W, WERGER M J A, IKSINA I, Man's impact on vegetation. Boston: Dr. W. Junk Publishers,335-340p.
- INE (2014) Resultados Preliminares do Censo da População. In: <http://www.marktest.com/wap/a/n/id~1df4.aspx> / visitado em 25/06/2015.
- JONES A, BREUNING-MADSEN H, BROSSARD M, DAMPHA A, DECKERS J, DEWITTE O, GALLALI T, HALLETT S, JONES R, KILASARA M, LE ROUX P, MICHELI E, MONTANARELLA L, SPAARGAREN O, THIOMBIANO L, VANRANST E, YEMEFACK M, ZOUGMORE R, (eds.) (2013) Soil Atlas of Africa. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 176 p.
- KABATA-PENDIAS A & WIACEK K (1986) Effects of sulphur deposition on trace metal solubility in soils, *Environ. Geochem. Health*, 8, 95.
- KABATA-PENDIAS A & PENDIAS H (1992) Trace Elements in Soils and Plants.2ed. London: CRC Press.408p.
- KRAUSKOPF KB (1972) Introdução à geoquímica.8º ed., New Jersey, Prentice Hall, Editora USP, LEPSCH, I. F.
- LIMA MQG (1995). Lixo-Tratamento e Biorremediação. São Paulo: 3ª Ed. 265p.
- MARQUES MM (1976) Esboço das Grandes Unidades Geomorfológicas de Angola- 2ª aproximação. Centro de Estudos de Pedologia Tropical – Centro de Investigações Científicas do Ultramar, pp. 41-43.

MENEZES RAA (2000) Estágio Actual da Incineração no Brasil, 15f. VI Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública Parque Baregui- Curitiba.

NEVERS D (1995) Air Pollution Control Engineering. McGraw-Hill International Editions.Singapore.508p.

OMS (2011). Guidelines for drinking water quality. Fourth ed. World Health Organization.

ONTARIO GUIDELINES (2011) Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use Under Part XV.1 of the Environmental Protection Act.27p.

PEDRON FA, DALMOLIN, RICARDO S D, AZEVEDO, ANTÔNIO C et al.(2004).Urban soils.Cienc.Rural.34(5) [cited 02 March 2005], p.1647-1653. In: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010384782004000500053&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0103-8478.

SUKOPP H & WERNER P (1983) Urban environments and vegetation. In: Holzner, Werger, M J A & Iksina, I. man's impact on vegetation. W. Junk publishers, Boston. pp. 240-260.

TUCCI C, BERTONI JI (2004) Inundações urbanas na América do Sul. In: http://www.iph.ufrgs.br/pop_ups/pia_livro.htm.

Weatherbase.com

<http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=52366&cityname=Silva-Porto>-cedido em 15 de Fevereiro de 2016.