

Análise e caracterização de solos da região do Porto para aplicação forense

Daniela da Rocha Almeida

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e
Ordenamento do Território 2019

Orientador

Maria Alexandra de Mascarenhas Guedes

Professor Auxiliar

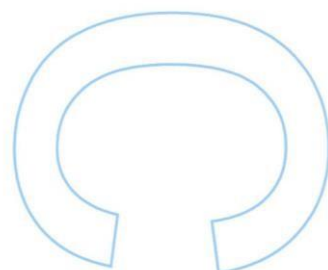
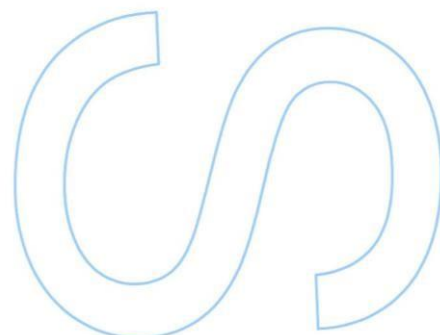
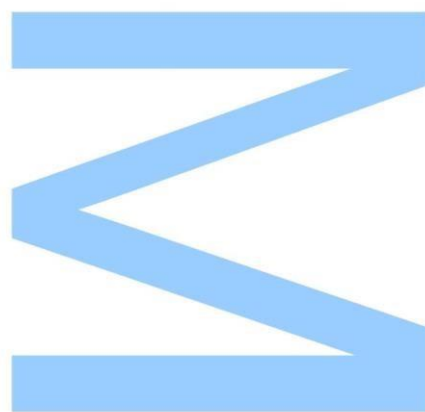
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Ana Cristina Malato Monteiro de Almeida Assis

Setor de Físico-Química

Laboratório de Polícia Científica, Polícia Judiciária

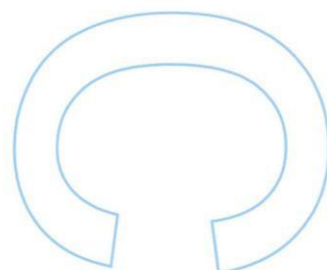
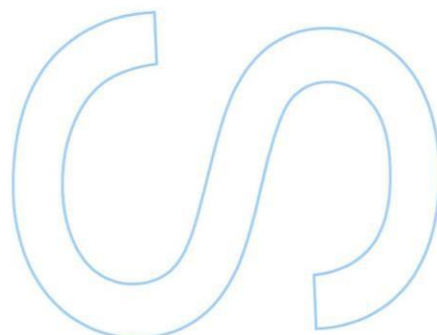
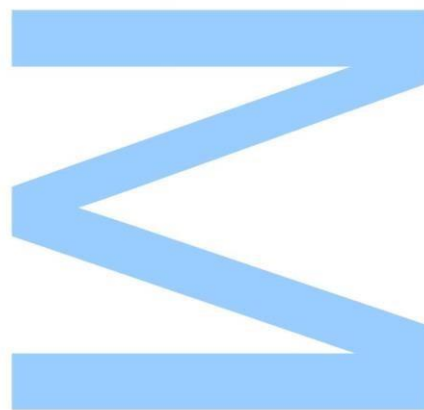




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a todas as pessoas e instituições que permitiram a realização deste projeto, e me apoiaram de alguma forma não só, ao longo deste trabalho, mas de todo o percurso académico. De uma forma mais particular agradeço:

- À doutora e professora Alexandra Guedes, pela oportunidade de trabalhar nesta área, por toda a sua disponibilidade e pelos conhecimentos e confiança que me transmitiu;
- À Doutora Ana Assis, coorientadora, que permitiu a realização do protocolo com a Polícia Judiciária;
- Ao Sr. Inspetor Chefe Pedro Correia pela sua disponibilidade;
- À Doutora Helena Sant'Ovaia e ao Doutor Fernando Noronha pela utilização de susceptibilímetro e da fluorescência de raio-X;
- À Doutora Helena Ribeiro, por toda a ajuda prestada;
- A todos os meus professores que me proporcionaram educação e aprendizagem;
- Aos meus pais, pela oportunidade de ensino que me deram, por todos os ensinamentos ao longo da minha vida e por sempre acreditarem em mim;
- Á minha irmã e avó, por toda a paciência nestes últimos meses, e pelo apoio constante;
- Aos meus amigos; Rúben, Zé, Inês, Sérgio, Diogo e Adriana por sempre me conseguirem arrancar um sorriso nos momentos mais difíceis, por toda a confiança que depositam em mim e por todos os bons momentos que passamos juntos e me fizeram crescer.
- Às minhas colegas de turma Vanessa e Bárbara, por todos os momentos e aprendizagens;
- Ao DGAOT/FCUP
- Ao Laboratório de Polícia Científica da Polícia Judiciária do Porto

Agradeço igualmente a todas as pessoas que, embora não estejam aqui referidas, me ajudaram a tornar-me a pessoa que sou hoje em dia, que, de alguma maneira me ensinaram valores morais e profissionais.

Resumo

Numa região, cada local apresenta um substrato rochoso com características próprias, que condiciona o solo dele resultante e faz com que este possa ser utilizado como uma “impressão digital” desse local. Esse aspeto torna o solo de extrema importância quando aplicado a fins forenses, ou seja, quando relacionado com locais de ocorrência de crimes como é o caso da zona do Grande Porto, uma vez que pode ser uma ferramenta importante na sua resolução.

É então pertinente a elaboração de uma base de dados de solos que possa ser aplicada a fins forenses, relacionando as diferentes características dos solos à região onde se encontram, de forma a facilitar as investigações da Polícia Judiciária. Para isso são necessários vários estudos e análises de solo.

Este trabalho surge do protocolo entre a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e o Laboratório de Polícia Científica da Polícia Judiciária, e foi elaborado no âmbito do Estágio do segundo ano de mestrado em Geologia.

Neste trabalho foram colhidas e analisadas várias amostras de solos da região do grande Porto, através de diversas metodologias. As amostras foram analisadas recorrendo a métodos essencialmente portáteis e não destrutivos que podem ser utilizados no campo com uma boa taxa de reprodutibilidade, como a determinação da cor através da espectrofotometria, determinação da composição química por fluorescência de raios-X e a determinação da suscetibilidade magnética utilizando um suscetibilímetro. As amostras foram posteriormente analisadas em laboratório, através dos mesmos métodos e equipamentos, possibilitando uma comparação entre a viabilidade destes dados e dos obtidos *in situ*.

Com este estudo pretende-se demonstrar as vantagens dos métodos portáteis e não destrutivos na análise deste material, discriminar amostras de solos de diferentes regiões do Porto, verificar se existe correlação entre os diferentes métodos de análise e assim contribuir para futuras investigações de carácter forense que possam aí ocorrer.

Palavras-chave: solos, geologia forense, espectrofotometria, suscetibilidade magnética, fluorescência de raios-X

Abstract

Within a region, each site has a rocky substrate with its own characteristics, which conditions the resulting soil and makes it a 'fingerprint' of that location. This aspect makes the soil extremely important when applied to forensic purposes, that is, when related to crime occurrence site such as the Greater Porto area, as it can be an important tool in its resolution.

It is therefore pertinent to elaborate a soil database that can be applied for forensic purposes, relating the different characteristics of the soils to the region where they are located, in order to facilitate investigations by the Judicial Police. This requires several soil studies and analysis.

This work arises from the protocol between the Faculty of Sciences of the University of Porto and the Scientific Police Laboratory of the Judicial Police, and was prepared within the scope of the second year Master's Degree in Geology Internship.

In this work were collected and analyzed several soil samples from the Greater Porto region, through several methodologies. The samples were analyzed using essentially portable and non-destructive methods that can be used in the field with a good reproducibility rate, such as color determination by spectrophotometry, determination of chemical composition by X-ray fluorescence and determination of magnetic susceptibility using a susceptibility meter. The samples were later analyzed in the laboratory, using the same methods and equipment, allowing a comparison between the viability of these data and those obtained in situ.

This study aims to demonstrate the advantages of portable and non-destructive methods in the analysis of this material, discriminate soil samples from different regions of Porto, verify if there is correlation between the different analysis methods and thus contribute to future forensic investigations that may occur there.

Keywords: soils, forensic geology, spectrophotometry, magnetic susceptibility, X-ray fluorescence

Índice

Agradecimentos	3
Resumo.....	4
Abstract.....	5
Objetivos	12
Estado da Arte.....	13
Solos	14
Amostragem e preparação da amostra.....	16
Métodos de análise	17
Análise da Composição Elementar – Fluorescência de Raio X.....	18
Análise da Cor – Espectrofotometria.....	18
Análise da Suscetibilidade Magnética	19
Contexto Geológico.....	21
Técnicas e Métodos de Análise.....	23
Procedimentos de análise.....	23
Amostragem e preparação da amostra	26
Análise da Composição Elementar – Fluorescência de raios-X	28
In situ	29
Em Laboratório	29
Análise da cor com o espectrofotómetro	30
In situ	31

Em Laboratório	31
Suscetibilidade Magnética	32
In situ	33
Em Laboratório	33
Análise Estatística.....	34
Resultados e discussão.....	35
Fluorescência de Raios-X	35
Valongo	35
Porto.....	36
Análise da cor com o espectrofotómetro	39
Valongo	42
Porto.....	43
Suscetibilidade Magnética	44
Valongo	45
Porto.....	46
Análise Estatística.....	47
Conclusões	52
Referências	54
Webgrafia.....	56
Anexos	57

Índice de Figuras

Figura 1 Local de Amostragem Valongo (Retirado do google earth Agosto de 2019)	21
Figura 2 Local de Amostragem Porto (Retirado do google earth Agosto de 2019)	22
Figura 3 Demarcação da Grelha de amostragem na zona de Valongo (google earth, Agosto 2019)	23
Figura 4 Demarcação da Grelha de Amostragem na zona do Porto (google earth, Agosto 2019)	23
Figura 5 Solo amostrado na zona de Valongo	26
Figura 6 Solo amostrado na zona do Porto	26
Figura 7 Equipamento para medição da composição química elementar Oxford Instruments série X-MET7000	28
Figura 8 Equipamento para medição da cor, Konica Minolta CM-2600d (Espectrofotómetro)	30
Figura 9 Equipamento para medição de suscetibilidade magnética KT-10 Magnetic Susceptibility Meter, da Terraplus.....	32
Figura 10 Gráficos referentes à luminosidade (L^*) e tom (a^*) referentes às 2 áreas estudadas à esquerda, dados da análise in situ, à direita da análise em solo seco e em baixo, a análise em solo molhado	39
Figura 11 Gráficos de Luminosidade (L^*) e saturação (b^*) referentes às 2 áreas estudadas à esquerda, dados da análise in situ, à direita da análise em solo seco e em baixo, a análise em solo molhado	40
Figura 12 Gráficos de Tom (a^*) e Saturação (b^*) referentes às 2 áreas amostradas; à esquerda, dados da análise in situ, à direita da análise em solo seco e em baixo, a análise em solo molhado	41

Figura 13 Gráficos referentes à zona de Valongo (Luminosidade, L^* , e tom, a^* , à esquerda, Luminosidade L^* e saturação, b^* , à direita e Tom, a^* , e saturação, b^* , em baixo).....	42
Figura 14 Gráficos referentes à zona de Porto (Luminosidade, L^* , e tom, a^* , à esquerda, Luminosidade L^* e saturação, b^* , à direita e Tom, a^* , e saturação, b^* , em baixo).....	43
Figura 15 Gráficos da suscetibilidade magnética, referentes às 2 áreas amostradas; à esquerda, dados da análise in situ, à direita da análise em solo seco e em baixo, a análise em solo molhado	44
Figura 16 Gráfico com os dados da suscetibilidade magnética obtidos na zona de Valongo	45
Figura 17 Gráfico com os dados da suscetibilidade magnética obtidos na zona do Porto.	46
Figura 18 Dendrograma de análise estatística agrupando os dados obtidos in situ nas análises de fluorescência de raios-X, de cor e de suscetibilidade magnética.	48
Figura 19 Dendrograma de análise estatística agrupando os dados obtidos em todas as análises em laboratório com o solo seco.	49
Figura 20 Dendrograma de análise estatística agrupando os dados obtidos em todas as análises em laboratório com o solo húmido.	50
Figura 21 Dendrograma de análise estatística agrupando os dados obtidos com todos os dados obtidos in situ, laboratório em solo seco e laboratório em solo húmido.	51

Índice de tabelas

Tabela 1 Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de Valongo ..	24
Tabela 2 Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem do Porto	24
Tabela 3 Teor de elementos químicos (valores em percentagem em massa) obtidos para a zona de Valongo.....	37
Tabela 4 Teor dos elementos químicos (valores em percentagem em massa) obtidos para a zona de Porto.	38
Tabela 5 Dados de suscetibilidade referente à zona de Valongo com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %	57
Tabela 6 Dados de Tonalidade (a^*) referente à zona de Valongo com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %	57
Tabela 7 Dados de Luminosidade (L^*) referente à zona de Valongo com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %	58
Tabela 8 Dados de Saturação (b^*) referente à zona de Valongo com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %	58
Tabela 9 Dados de suscetibilidade referente à zona de Porto com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %	59
Tabela 10 Dados de Tonalidade (a^*) referente à zona de Porto com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %	59

Tabela 11 Dados de Luminosidade (L^*) referente à zona de Porto com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação % 60

Tabela 12 Dados de Saturação (b^*) referente à zona de Porto com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação % 60

Objetivos

A geologia forense é, tal como o nome indica, “a aplicação de informações e métodos geológicos e de ciências ambientais, a investigações que podem vir a ser apresentadas a tribunal” (Pye e Croft, 2004). Este conceito é um dos pontos centrais deste relatório, inserido no programa de estudos do segundo ano de mestrado em geologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP).

Este estudo foi realizado no âmbito de um protocolo entre a FCUP e o Laboratório de Polícia Científica da Polícia Judiciária (LPC-PJ), tendo sido realizado maioritariamente nos laboratórios do Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território (DGAOT) da FCUP e acompanhado pelo Sr. Inspetor Chefe Pedro Correia da Diretoria do Norte da Polícia Judiciária.

Este trabalho apresenta como foco principal a caracterização de solos para fins forenses da zona do Grande Porto e comparação dos resultados obtidos *in situ* e em laboratório através dos mesmos métodos de análise. Pretende-se demonstrar e testar a viabilidade de métodos de análise portáteis e não destrutivos para a obtenção de resultados rápidos e fáceis.

Com esse intuito, pretende-se também divulgar a área da geologia forense, muito pouco desenvolvida no nosso país, em particular, a importância da análise de solos numa investigação.

A análise de solos realizada contribuirá também para a base de dados existente no LPC-PJ e no ICT/DGAOT, de forma a que seja consultada e que possa auxiliar em trabalhos e investigações futuras.

Estado da Arte

Apesar da aplicação de conhecimentos geológicos para fins forenses ter surgido há mais de um século, introduzida pelo escritor Sir Arthur Conan Doyle nas suas obras de ficção, com o conhecido personagem Sherlock Holmes, entre 1887 e 1907, e referida nas publicações do cientista forense Hans Gross (1893), apenas foi elevada à prática em 1904, pela mão do cientista forense Georg Popp com o caso de investigação do homicídio de Eva Disch.

A esse caso, mais se sucederam em que se utilizaram provas de cariz geológico em tribunal. Assim o tema foi ganhando mais destaque e foram feitos mais estudos, destacando-se os de Edmond Locard, pioneiro das ciências forenses que formulou o princípio básico das ciências forenses em 1910 conhecido como o princípio de Locard ou, Princípio da Transferência “todo o contacto deixa uma marca” (Locard, 1910), ou seja, “quando dois objetos entram em contacto, há sempre transferência de material. Os métodos de deteção podem não ser sensíveis o suficiente para o demonstrar, ou a taxa de decaimento pode ser tão rápida que todas as evidências de transferência tenham desaparecido após um período de tempo, no entanto, a transferência ocorreu” (in Murray e Tedrow, 1991, p.7). Assim sendo, qualquer material pode constituir uma prova.

A geologia forense engloba todo o tipo de materiais geológicos, ou seja, um geólogo forense recolhe e analisa não só minerais e fósseis, mas também solo, vidros ou fragmentos sintéticos que lhe estejam associados. Na verdade, (os geólogos forenses) “investigam primeiro pelo raro em vez do comum, sabendo que os elementos ou combinações raras têm uma alta probabilidade de revelar uma fonte comum” (Raymond C. Murray, 2011, pg. 58), quer isto dizer que, mesmo na impossibilidade de existirem duas amostras iguais, elas podem ou não ser comparáveis caso apresentem materiais raros que possam de alguma forma caracterizar um mesmo local de origem. Chama-se a isto Valor Probatório.

O trabalho de um geólogo forense passa não só pela análise do material que tem em mãos, mas também pela averiguação do contexto geológico dessa mesma amostra, ou se a mesma foi contaminada com outros materiais e, por fim, sugerir os métodos de investigação mais adequados consoante as variáveis que lhe são apresentadas. A determinação da origem dos materiais é “uma tarefa que exige um amplo conhecimento da geologia e excelente conhecimento de mapas de solos e mapas geológicos, assim como de processos de transformação e conversão de materiais” (Guedes & Valentim, 2014).

Apesar da geologia forense ainda constituir uma área pouco desenvolvida em Portugal, não se pode negar que é uma mais-valia nas investigações quando os processos são realizados por alguém especializado, sem danificar a amostra.

Independentemente da diversidade de materiais geológicos que podem constituir prova, o solo é um dos mais importantes. Segundo Hans Gross “a lama nos sapatos pode, muitas vezes, dizer mais sobre o local onde pela última vez os sapatos foram usados do que interrogatórios cansativos” (Hans Gross, 1893), isto associado ao princípio da sobreposição (numa sucessão de camadas sedimentares, aquela que está no topo é a mais recente e a da base, a mais antiga) pode ajudar a perceber a ordem cronológica dos locais por onde certo suspeito andou.

Solos

O solo é um material que engloba em si várias definições consoante a área de estudo em questão. De uma maneira geral pode ser definido como “a camada superior meteorizada da parte sólida da crosta terrestre.” (Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology, Hans Jenny, 1941), constituído por uma componente mineral e uma componente orgânica. Num sentido mais particular, aplicado à geologia forense, o solo é um “material terrestre colhido accidental ou deliberadamente, que apresenta associação a uma determinada investigação criminal que se pode desenvolver a partir de diferentes rochas e ser modificado por diversos processos geológicos ou meteorológicos, adquirem características únicas que variam de local para local”. (Guedes, 2015),

O primeiro passo para a utilização das informações que o solo contém é a identificação das diferenças de características entre as amostras. Existem várias, são algumas delas, a cor, a distribuição granulométrica, o tamanho do grão, a textura, suscetibilidade magnética, mineralogia. Todas essas características variam consoante o transporte sofrido pelo solo, a influência antrópica e poluição local, as condições meteorológicas, a atividade biológica, a topografia e outros fatores ambientais. O tamanho do grão e a textura, por exemplo, dependem do transporte sofrido pelo solo, ou seja, a abundância de grãos mais pequenos indica geralmente maior transporte. A distribuição granulométrica e grau de calibragem baseiam-se nas condições atmosféricas e no transporte. Quanto à mineralogia, o solo pode conter todo o tipo de minerais e a sua composição mineralógica variar de local para local.. Já a suscetibilidade magnética do solo depende da sua composição, mais propriamente da quantidade de minerais de ferro existente, assim, solos com valores de suscetibilidade semelhante podem ser comparados. Por vezes o solo pode conter também produtos manufacturados ou artificiais como vidro ou abrasivos, estes são mais comuns nos solos de zonas urbanas.

Todas estas características tornam o solo de determinado local distinto dos restantes, daí que, estudando as suas propriedades, seja possível associar determinado tipo de solo a certo local. Constitui então uma vantagem para as investigações a criação de uma base de dados de solos, referindo as conclusões retiradas da análise de determinada amostra e o seu local de origem. As bases de dados para fins forenses fornecerem importantes informações sobre as amostras de solo, como as suas características, o resultado das análises efetuadas, as coordenadas do local onde foi retirada a amostra e o seu contexto geológico. Tudo isto tem como objetivo tornar a comparação de amostras e esta parte da investigação mais fácil e rápida.

“O geólogo forense está mais especificamente preocupado com solos que foram perturbados ou mexidos (geralmente pela atividade humana), às vezes comparando-os a solos naturais ou combinando-os com bases de dados de solo para ajudar a localizar a cena dos crimes. Geralmente os cientistas amostram solo de cenas de crime e de locais suspeitos, dos quais o solo pode ter sido transportado por sapatos, um veículo ou uma pá.” (Fitzpatrick et al., 2009). Cabe ao geólogo forense, reunir as melhores condições para uma boa análise do solo, este processo começa por uma boa amostragem.

Amostragem e preparação da amostra

A amostragem é a primeira etapa para a análise do solo em laboratório e também a mais crucial. O objetivo da amostragem é “obter uma amostra que seja uma representação honesta do solo e que conduza à estimação das características desse solo com grande precisão” (Guedes, 2015). É necessária uma amostragem bem realizada, que não comprometa os restantes passos da análise.

Os processos de amostragem variam conforme o propósito para o qual são utilizados, contudo, é sempre necessário um pequeno estudo prévio do terreno, com acesso a mapas topográficos e geológicos.

Para uma boa amostragem para fins forenses, a área amostrada deve ser homogênea e representativa do local, e deve ter-se em conta a vegetação e a posição topográfica, ou seja, é recomendado para a recolha, terrenos planos que não possam ser contaminados por escoamentos de locais superiores, em zonas com inclinação inferior a 10°. Também por essa razão, devem ser amostradas zonas com menor circulação de peões ou veículos, em zonas remexidas ou de erosão ou aluvião. Tendo em conta esses aspetos, a amostragem da área pode ser feita de forma aleatória retirando-se amostras de pontos ocasionais ou, de forma sistemática, criando uma grelha de amostragem.

Após os estudos do terreno, de selecionados os locais de onde se vão retirar amostras e de se ter tirado um registo fotográfico do local passa-se à recolha de amostras propriamente ditas. As amostras recolhidas podem ser simples ou compósitas, sendo que a simples corresponde ao solo recolhido num determinado ponto e a compósita a uma mistura homogênea de várias amostras simples de vários pontos de um local. Neste trabalho foram recolhidas amostras simples. Dependendo do tipo de solo encontrado, as amostras foram recolhidas da zona mais superficial, de 0 a 5 cm de profundidade.

É de notar que no processo de obtenção de amostras é de extrema importância a anotação das coordenadas dos locais de onde foram retiradas, a data e a hora dessa mesma ação, o tempo que se fazia sentir, o nome do local da amostragem, o relevo, fauna e flora presentes.

Após a realização deste método a amostra pode ser sujeita aos próximos processos de análise.

Métodos de análise

Com o desenvolvimento tecnológico foram aprimoradas e descobertas várias técnicas e métodos de análise de diversas áreas que podem ser aplicadas na identificação de propriedades do solo. Na geologia forense é de extrema importância que as técnicas empregadas sejam, de certa forma, de fácil e rápida utilização, uma vez que devem ser obtidos os mesmos resultados, quando a técnica for reproduzida por outros profissionais. “Com base no treino, experiência, apreciação profissional e competência, os cientistas selecionam as medidas e observações que lhes permitirão avaliar as evidências físicas. Pela natureza da ciência, esses tipos de observações e medidas devem ser reproduzíveis por outros profissionais. Existe uma pressão constante no laboratório criminal para que se desenvolvam, métodos normalizados, simples e práticos para comparação. O problema para a geologia forense é aplicar os métodos ao solo e amostras relacionadas que permitam que os cientistas façam uma apreciação profissional com o maior grau de confiança possível. Os métodos não devem ser tão detalhados que se tornem difíceis de realizar e nunca sejam utilizados, nem tão teóricos na qual a comparação se torne impossível” (Raimond Murray, 2011).

Nesse sentido, os métodos de análise portátil começam a ganhar um maior destaque, uma vez que têm associadas uma série de vantagens como permitem a qualquer pessoal, especializado ou não, a obterem resultados rápidos e fiáveis sobre algumas características de determinado solo. Os métodos portáteis fornecem uma análise *in situ* muitas vezes de forma não destrutiva, precisa e acessível com custo operacional reduzido. Os mesmos métodos podem também ser utilizados em laboratório. Com esse intuito foram analisadas as mesmas amostras de solo *in situ* e em laboratório através dos mesmos métodos e foram comparados os resultados.

Neste trabalho foram utilizados os métodos da espectrofotometria, suscetibilidade magnética e fluorescência de raios-X. De salientar que os aparelhos utilizados devem estar perfeitamente calibrados e com a manutenção em dia.

Análise da Composição Elementar – Fluorescência de Raio X

A espectrometria de fluorescência de raios-X é utilizada para efetuar uma análise da composição química elementar de uma amostra, que de acordo com o tipo de equipamento pode ser efetuada "in situ" e/ou em laboratório. Esta técnica consiste na ionização dos átomos da amostra através da injeção de um feixe de raios-X, por efeito fotoelétrico. Os eletrões presentes nos diferentes elementos da amostra subirão assim de nível e, no regresso ao nível fundamental libertam energia. Essa energia é característica de cada elemento. Assim, a análise do espectro resultante permite não só a identificação, mas também a quantificação, em percentagem, partes por milhão (ppm) ou partes por bilião (ppb), dos elementos, constituintes da amostra.

Análise da Cor – Espectrofotometria

A cor é, provavelmente, uma das características sensoriais mais importantes a identificar nos solos e minerais. Não sendo uma característica inerente ao objeto em si, apenas o resultado de uma reflexão de determinada radiação e absorção seletiva de outras, a perceção da cor varia de ser humano para ser humano, uma vez que o sistema sensorial de cada um a interpreta de forma diferente. Apesar da sua natureza subjetiva, a cor é uma referência obrigatória na descrição de um solo uma vez que varia consoante as suas características, tais como humidade, matéria orgânica e conteúdo mineral, por isso existem vários sistemas para a notação da cor consoante as suas propriedades: tonalidade (hue), luminosidade (value) e saturação (chroma). O tom designa o nome da cor, a luminosidade a quantidade de luz que é refletida, que determina se a cor é clara ou escura, variando entre preto e branco, e a saturação é a intensidade, ou seja o grau de concentração ou pureza de uma cor, sendo esta completamente saturada quando não possui branco nem preto.

Tal como dito anteriormente, a cor é um atributo do solo de extrema importância para a sua classificação, assim sendo foram-se desenvolvendo várias técnicas de análise e sistemas de classificação, de forma a tornar a identificação da cor num processo mais objetivo. Nesse sentido, para a análise da cor foi utilizado o espectrofotómetro, que utiliza para a notação da cor o modelo da Commission Internationale de L'Éclairage (CIE). Este modelo foi criado após a escala de Munsell e funciona como um tradutor da linguagem da cor entre os diferentes dispositivos, correlacionando os valores de vermelho, verde e branco (RGB) com valores numéricos de luminosidade (L^*), tonalidade (a^*) e saturação (b^*). Com a obtenção dos parâmetros $L^*a^*b^*$ e dos valores de refletância são elaborados espectros da cor.

O espectrofotómetro faz medições da cor acoplado a um computador portátil. É uma técnica portátil rápida e não destrutiva que fornece dados relativos aos índices de cor com o modelo $L^*a^*b^*$.

Análise da Suscetibilidade Magnética

Outro dos métodos que será utilizado no estudo dos solos para a base de dados forense é a análise da suscetibilidade magnética. A suscetibilidade magnética é uma grandeza escalar adimensional que caracteriza a resposta de determinado material quando se lhe é aplicado um campo magnético. A suscetibilidade magnética (K) relaciona o campo magnético (H) a que determinado material é exposto com a magnetização induzida (M) que este adquire, sendo que isto se traduz na seguinte fórmula: $M=KH$ (Sant'Ovaia, 2000).

A suscetibilidade pode variar consoante a natureza, concentração e tamanho de minerais de ferro presentes no solo. Os materiais podem incluir-se em três tipos diferentes: diamagnéticos, paramagnéticos ou ferromagnéticos.

Os materiais diamagnéticos apresentam valores de suscetibilidade fracos e negativos, uma vez que, quando sujeitos a um campo magnético, criam uma magnetização oposta a este, não sendo atraídos pelos ímanes. São exemplos desses materiais o vidro, a água, o plástico e minerais como o quartzo, carbonatos e feldspatos.

Por outro lado, os materiais paramagnéticos criam uma magnetização paralela ao campo magnético aplicado, sendo atraídos pelos ímanes. Os valores de suscetibilidade destes materiais são positivos, porém bastante baixos, sendo que podem ficar magnetizados durante alguns momentos após a remoção do campo magnético. São exemplos de minerais paramagnéticos a olivina, biotite, turmalina, siderite e pirite.

Já os materiais ferromagnéticos possuem magnetização elevada, ou seja, a sua atração aos ímanes é muito forte, assim sendo possuirão valores de suscetibilidade magnética elevados. Após a remoção do campo magnético podem ficar magnetizados permanentemente. A magnetite, hematite, e pirrotite são exemplos de materiais ferromagnéticos.

A análise das propriedades magnéticas, por ser uma técnica não destrutiva, rápida e com alta sensibilidade, permite identificar a origem das partículas e a deteção de pequenas quantidades de material magnético (e.g. Dekkers, 1997). Para esta análise utilizámos o suscetibilímetro, um equipamento pequeno, portátil, de utilização fácil e intuitiva que apresenta a vantagem de poder ser utilizado *in situ*. Este método não necessita de preparação prévia da amostra, contudo é conveniente para uma obtenção de resultados mais fiáveis que a análise seja realizada num local livre de materiais metálicos ou eletrónicos.

Contexto Geológico

Com a colaboração do Sr. Inspetor Chefe Pedro Correia da Diretoria do Norte da Polícia Judiciária foi selecionado um local onde já ocorrera um crime, na região de Valongo (Fig. 1). Nessa zona foi elaborada uma grelha para amostragem com 19 pontos e posteriormente foi realizada uma análise *in situ* nos locais assinalados e retiradas e armazenadas as amostras. O local tratava-se de um pequeno planalto, sem nenhum curso de água por perto, com vegetação de grande porte e rasteira, o solo encontrava-se húmido devido às chuvas anteriores ao dia de amostragem. De acordo com a carta geológica 9-D de Penafiel, onde este local está inserido, o substrato rochoso desta zona data o Ordovícico e é constituído, maioritariamente por xistos argilosos, ardosíferos, ou Xistos de Valongo.



Figura 1 Local de Amostragem Valongo (Retirado do google earth Agosto de 2019)

Parece existir um padrão que caracteriza este tipo de locais escolhidos pelos suspeitos. São normalmente locais isolados, com alguma vegetação, relativamente perto de uma estrada ou local onde se possa deixar o carro. Com estas características em mente, foi selecionado o segundo local, na zona do Porto (Fig. 2). Este local era também de relevo plano, com vegetação maioritariamente rasteira, contudo encontrava-se por vezes o solo remexido e húmido. Segundo a carta geológica 9-C Porto, o substrato rochoso é constituído por granito do Porto, caracterizado por ser alcalino, de grão médio a grosseiro, leucocrata, de duas micas.



Figura 2 Local de Amostragem Porto (Retirado do google earth Agosto de 2019)

Técnicas e Métodos de Análise

Procedimentos de análise

Os pontos de amostragem, em cada um dos locais de análise, foram selecionados segundo as normas utilizadas para a amostragem, isto é, correspondiam a locais planos, com pouca ou apenas alguma vegetação e com pouco movimento. O primeiro passo para a análise *in situ* foi criar uma malha/grelha de amostragem retangular (Fig. 3 e 4) que cobria a maior parte do local, cada ponto separado a uma distância de cerca de 10 metros do próximo.



Figura 3 Demarcação da Grelha de amostragem na zona de Valongo (google earth, Agosto 2019)



Figura 4 Demarcação da Grelha de Amostragem na zona do Porto (google earth, Agosto 2019)

Esses pontos foram numerados e marcados no local com uma fita e foram retiradas as suas coordenadas, como discriminado nas tabelas seguintes.

Tabela 1 Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de Valongo

Pontos GPS Valongo		
Ponto	Latitude	Longitude
1	41°11'36.27"N	8°29'10.12"W
2	41°11'36.50"N	8°29'10.40"W
3	41°11'37.10"N	8°29'10.70"W
4	41°11'37.40"N	8°29'11.00"W
5	41°11'37.70"N	8°29'11.30"W
6	41°11'38.10"N	8°29'11.60"W
7	41°11'38.30"N	8°29'12.00"W
8	41°11'38.1"N	8°29'12.60"W
9	41°11'37.8"N	8°29'12.9"W
10	41°11'37.6"N	8°29'13.0"W
11	41°11'37.3"N	8°29'12.7"W
12	41°11'36.9"N	8°29'12.5"W
13	41°11'36.6"N	8°29'12.3"W
14	41°11'36.2"N	8°29'11.9"W
15	41°11'35.73"N	8°29'11.55"W
16	41°11'36.40"N	8°29'11.00"W
17	41°11'36.73"N	8°29'11.38"W
18	41°11'37.19"N	8°29'11.80"W
19	41°11'37.60"N	8°29'12.00"W

Tabela 2 Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem do Porto

Pontos GPS Porto		
1	41°10'48.50"N	8°38'29.10"W
2	41°10'48.2"N	8°38'29.0"W
3	41°10'48.4"N	8°38'27.9"W
4	41°10'48.40"N	8°38'27.90"W
5	41°10'48.6"N	8°38'27.4"W
6	41°10'48.8"N	8°38'27.1"W
7	41°10'49.0"N	8°38'26.7"W
8	41°10'49.2"N	8°38'26.9"W
9	41°10'49.0"N	8°38'28.0"W
10	41°10'48.8"N	8°38'28.4"W
11	41°10'48.6"N	8°38'28.8"W

Nesses pontos o solo foi levemente remexido de forma a facilitar a homogeneização. Posteriormente procedeu-se à realização das análises, *in situ*, através dos diferentes métodos, diretamente no solo.

Amostragem e preparação da amostra

Após as várias análises de solo *in situ*, em cada ponto marcado da grelha de amostragem, foram recolhidas amostras para a análise em laboratório. Uma vez que o metal pode contaminar a amostra, esta foi recolhida com uma pá de plástico, limpa após cada utilização. Foram recolhidas pequenas quantidades de amostra, com apenas alguns gramas, a não mais do que 5 centímetros de profundidade e colocadas em sacos devidamente selados e identificados (Fig. 5 e 6).



Figura 5 Solo amostrado na zona de Valongo



Figura 6 Solo amostrado na zona do Porto

Em laboratório o procedimento exigiu uma pequena preparação da amostra, sendo que as mesmas foram colocadas em recipientes de vidro, de forma a facilitar as medições. Foi feita uma análise no laboratório com o solo ainda molhado, após a sua recolha e outra após as amostras terem secado na estufa a não mais de 40°C durante um certo período de tempo. Após a secagem foi retirados com uma pinça vestígios orgânicos e sintéticos e realizada uma nova análise.

Análise da Composição Elementar – Fluorescência de raios-X

A primeira análise efetuada ao solo foi a da composição química elementar. O instrumento utilizado para a análise é da Oxford Instruments, série X-MET7000 e é um dispositivo com um formato de “pistola” (Fig. 7). Quando é premido o “gatilho” pelo utilizador, é emitido um feixe de raios-X, pela extremidade da pistola, que fará a medição. Os resultados aparecerão no pequeno ecrã acoplado ao dispositivo, no qual é possível configurar e programar os detalhes da medição.



Figura 7 Equipamento para medição da composição química elementar Oxford Instruments série X-MET7000

Depois de ligar o aparelho, foi alterado o nome da análise, para que esta seja distinguida das restantes guardadas no dispositivo, de seguida, selecionou-se o modo de medição para solos ("Soil_2Cond_") e, por fim, a opção de medição. A janela transmissora do feixe de raios-X foi virada diretamente para o solo, nos locais de amostragem e foi premido o gatilho. Cada medição teve a duração de 15 segundos, sendo que o mesmo não pode ser removido, por razões de segurança, até este emitir um som que indica que a análise foi concluída. No final da medição, os resultados obtidos no que respeita à qualificação e quantificação (% em massa) dos elementos químicos são expostos no ecrã. Os dados foram posteriormente transferidos via USB para computador e convertidos numa tabela de *Excel*.

In situ

Na amostragem *in situ*, esta análise foi realizada diretamente nos pontos de amostragem indicados para a amostragem. Após configurar o equipamento, este foi colocado diretamente em contacto com o solo homogeneizado no local de amostragem, e foi premido o gatilho para realizar a medição.

Para cada ponto de amostragem foram efetuadas 2 análises.

Em Laboratório

Já em laboratório as amostras foram colocadas em recipientes de vidro onde foi realizada a medição. Por uma questão de tempo, foram realizadas 3 análises a cada amostra em solo molhado e, posteriormente, 3 análises a cada amostra com o solo devidamente seco.

Análise da cor com o espectrofotómetro

Para a análise da cor foi utilizado um espectrofotómetro Konica Minolta CM-2600d (Fig. 8). O equipamento foi previamente configurado consoante a fonte de luz padrão da CIE, com a área de medição com o diâmetro de 3 milímetros e componente especular incluída. O dispositivo foi também calibrado, primeiramente, com a janela de medição no ar, para a calibração negativa, e posteriormente, com a janela de medição na placa branca de padrão internacional, para a calibração positiva.



Figura 8 Equipamento para medição da cor, Konica Minolta CM-2600d (Espectrofotómetro)

Para a medição, a amostra foi homogeneizada. As medições devem ser feitas em partes diferentes da amostra para que os resultados sejam mais representativos.

Os dados adquiridos após as medições correspondem ao espaço de cores L^*, a^* e b^* da CIE, representados de forma numérica.

In situ

Na mediação *in situ* foram realizadas 2 medições para cada ponto de amostragem, na área homogeneizada. O resultado final da cor em cada ponto foi a média das duas medições. Tal como na técnica de fluorescência de raios-X, a análise foi feita, colocando a janela de medição do espectrofotómetro directamente em contacto com o solo, após a calibração. A cada medição, o dispositivo era movido alguns centímetros para uma medição mais representativa do solo.

Em Laboratório

Na análise em laboratório, o dispositivo foi também colocado em contacto com a amostra nos recipientes de vidro. A amostra foi sendo homogeneizada a cada medição para resultados mais significativos. Foram feitas 3 análises para cada amostra. Primeiramente a análise foi realizada nas amostras de solo molhado, acabado de ser colhido, de seguida, após as amostras secarem na estufa, foram feitas medições de cada amostra em solo seco.

Suscetibilidade Magnética

De seguida foi realizada a análise da suscetibilidade magnética. Para esta medição, utilizou-se o equipamento KT-10 Magnetic Susceptibility Meter, da Terraplus, (Fig. 9), que permite a obtenção de valores de suscetibilidade magnética num curto período de tempo.



Figura 9 Equipamento para medição de suscetibilidade magnética KT-10 Magnetic Susceptibility Meter, da Terraplus

Para a análise é necessário que a superfície de medição do dispositivo esteja em contato com o solo. Essa superfície de medição apresenta um formato circular, com um diâmetro de 65 milímetros e sensibilidade de 10^{-6} unidades SI. Este dispositivo permite a medição em superfícies irregulares, e pode operar a temperaturas entre os -20°C e os 60°C , fazendo até 20 medições por segundo com frequência de 10kHz, contudo, não permite medir valores negativos. O dispositivo apresenta apenas 2 botões e um ecrã. De forma a realizar a medição o aparelho foi ligado, premindo o botão com a seta para cima durante alguns segundos.

No menu principal foi seleccionada a opção “Measure” e o dispositivo ficar pronto para a medição. Cada medição demora, no mínimo 7 segundos. Para a medição propriamente dita, começou por se fazer uma medição ao ar, clicando no botão com a seta para cima e apontando o aparelho para cima. O aparelho emite um som quando a medição ao ar estiver completa, após essa indicação, colocou-se o dispositivo em contacto com a amostra e tendo sido novamente premido o botão com a seta para cima. Após alguns segundos o dispositivo volta a emitir um som, pelo que foi retirado da amostra e colocado novamente ao ar. Quando a barra ao fundo do ecrã ficou preenchida, apareceram, por fim os resultados discriminados.

In situ

Foram feitas 2 medições para cada ponto de amostragem marcado na grelha, *in situ*, novamente, por uma questão de tempo.

Em Laboratório

Em laboratório foram feitas 3 medições para cada amostra seca e molhada, utilizando o procedimento explicado anteriormente, contudo, as amostras foram levadas nos recipientes de vidro, para o ar livre, uma vez que o metal e o equipamento electrónico existentes no interior do laboratório poderia influenciar a medição.

Os resultados de cada análise, obtidos através destas três técnicas foram reunidos numa tabela de Excel para ser tratados estatisticamente.

Análise Estatística

A análise estatística permite verificar se existe ou não uma relação entre conjuntos de dados com diferentes origens. O seu objetivo é correlacionar os diferentes conjuntos de dados, de maneira a que o panorama geral da investigação possa ser mais conclusivo e elucidativo. Para a análise estatística foi realizado um estudo de correlação e um estudo de Clusters ou grupos.

A correlação é uma medida padronizada que “pode ser descrita como o grau de associação entre duas variáveis independentes” (Asuero et al, 2006). A correlação entre duas variáveis encontra-se sempre entre -1 e 1. Sabe-se que valores negativos indicam que as variáveis se movem linearmente em direções opostas, ou seja, são inversamente proporcionais. Quando o valor é positivo, as variáveis movem-se na mesma direção, sendo diretamente proporcionais. No caso de o valor ser igual a zero, não existe correlação.

Já a análise de clusters ou grupos é uma técnica que pode ser definida como “técnica exploratória de análise multivariada que permite agrupar sujeitos ou variáveis em grupos homogêneos ou compactos relativamente a uma ou mais características comuns. Cada observação pertencente a um determinado Cluster é similar a todas as outras pertencentes a esse Cluster, e é diferente das observações pertencentes aos outros Clusters.” Marroco (2003).

O método de Cluster utilizado neste trabalho foi o método de Ward. Este método permite realizar um agrupamento hierárquico através da similaridade das variáveis.

A medida de similaridade é calculada através da soma dos quadrados entre os dois agrupamentos. Após os cálculos é obtido um gráfico, dendrograma, em que as variáveis com os valores mais semelhantes se encontram no mesmo cluster, agrupadas, separadas dos clusters com variáveis de valores divergentes.

Neste caso, a análise de clusters vai permitir agrupar os dados dos dois diferentes locais em dois grupos diferentes, permitindo perceber qual a técnica em que é possível distinguir da melhor maneira o solo do Porto e o solo de Valongo.

Resultados e discussão

Fluorescência de Raios-X

Os resultados da análise de fluorescência de raios-X (FRX), ou seja, a identificação e quantificação dos elementos químicos presentes nos pontos de amostragem, foram organizados em várias tabelas. Para uma análise mais rápida, foram calculadas as médias de valores em cada amostra, para todas as análises nela realizada, quer em laboratório, quer *in situ*. Foi também calculada uma média geral dos valores de cada elemento para cada um dos dois locais. Os dados tratados estão representados nas tabelas seguintes (Tab. 3 e 4).

Verificou-se que, em termos qualitativos, ambos os locais (Valongo e Porto), apresentavam de forma geral os mesmos elementos, diferindo apenas nas quantidades relativas em que estes se concentravam no solo, indicando assim, um substrato rochoso de origem distinto. De entre os elementos presentes nos solos encontram-se o Potássio (K), Cálcio (Ca), Titânio (Ti), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Rubídio (Rb), Estrôncio (Sr), Zircão (Zr) e Chumbo (Pb). Constatou-se ainda que os elementos com maiores teores correspondiam ao Potássio (K) e Cálcio (Ca), por outro lado, os elementos menos presentes no solo, que apresentavam valores mais baixos eram o Estroncio (SR), o Zircónio (Zr) e o Chumbo (Pb).

Valongo

Quanto aos dados de FRX obtidos através das amostras retiradas na zona de Valongo, verificou-se, observando a tabela 3 que, em média, as quantidades relativas de elementos presentes em cada amostra, em ppm, obtidas a partir das análises de laboratório, eram maiores do que os valores obtidos *in situ*, tanto para as análises em amostra seca, como nas análises com a amostra molhada. Isto acontece para todos os elementos, exceto para o Chumbo (Pb) que não ocorre em todas as amostras, sendo um elemento apenas residual (Tab. 3).

Porto

Os valores, em média, das análises realizadas no Porto, tendem a ser também, mais elevados nos estudos em laboratório do que *in situ*. Isto mantém-se para todos os elementos, exceto para o Cobre (Cu) que apresenta, em média, valores maiores, apenas na análise em laboratório com a amostra molhada (Tab. 4).

A partir da análise estatística destes dados serão retiradas informações mais conclusivas.

Análise e caracterização de solos da região do Porto para fins forenses

Tabela 3 Teor de elementos químicos (valores em percentagem em massa) obtidos para a zona de Valongo.

Valongo											
Amostra	Local de amostragem	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
1	In situ	0,667	0	0,06685	0,00585	0,50695	0,0007	0,0045	0,00205	0,0022	0,00045
	Laboratório Molhado	2,19815	0,1599	0,2782	0,0255	1,8765	0,0061	0,01595	0,006	0,00595	0
	Laboratório Seco	0,96175	0,21465	0,09635	0,0094	0,8001	0,00265	0,0075	0,0035	0,0048	0,0007
2	In situ	0,51275	0	0,072	0,0158	0,64755	0,0015	0,00365	0,0019	0,0022	0
	Laboratório Molhado	1,9051	0,0973	0,29915	0,02505	2,42245	0,00495	0,0116	0,00775	0,00785	0
	Laboratório Seco	0,846625	0,135675	0,097375	0,012325	0,8259	0,001975	0,006125	0,00315	0,003625	0
3	In situ	0,884	0	0,172	0,0122	1,4048	0,00155	0,0051	0,00395	0,00415	0
	Laboratório Molhado	2,0726	0,03495	0,5439	0,041	3,03285	0,00415	0,01105	0,00775	0,0075	0
	Laboratório Seco	1,13655	0,0864	0,1595	0,01595	1,2651	0,00295	0,00905	0,0046	0,00525	0
4	In situ	0,40275	0	0,0593	0,00445	0,53995	0	0,00255	0,0017	0,00175	0
	Laboratório Molhado	2,29255	0,11235	0,36935	0,02815	3,0038	0,005	0,0172	0,01085	0,0109	0
	Laboratório Seco	0,7519	0	0,11535	0,00905	1,033	0,0015	0,00535	0,00315	0,0034	0
5	In situ	1,429	0,0831	0,17345	0,0169	1,3749	0,00485	0,01145	0,00485	0,0063	0
	Laboratório Molhado	1,936	0,1182	0,2718	0,02745	2,0933	0,00625	0,0164	0,008	0,0093	0
	Laboratório Seco	0,8085	0	0,10685	0,0096	0,90555	0,0031	0,00835	0,00375	0,0052	0,0011
6	In situ	0,4179	0	0,04185	0,007	0,36715	0,0007	0,0034	0,00135	0,00165	0,0004
	Laboratório Molhado	1,6931	0,1153	0,209	0,0332	1,60165	0,00595	0,01565	0,0063	0,0085	0
	Laboratório Seco	0,1839	0	0,0162	0,00685	0,20185	0,0006	0,00175	0	0,00065	0
7	In situ	0,38415	0	0,0312	0,00575	0,27925	0,00065	0,0027	0,0006	0,00135	0
	Laboratório Molhado	1,6853	0,15525	0,2621	0,0168	1,1297	0,00495	0,0118	0,00525	0,00605	0
	Laboratório Seco	0,2775	0,13035	0,01725	0,0035	0,18185	0,0011	0,0023	0,0013	0,0012	0
8	In situ	0,531	0,03265	0,0382	0,00545	0,3293	0,0015	0,00285	0,00145	0,0019	0
	Laboratório Molhado	1,46065	0,13885	0,3404	0,0289	1,20905	0,0041	0,00815	0,00325	0,00385	0
	Laboratório Seco	1,0606	0,1118	0,1145	0,0211	0,86015	0,00315	0,0084	0,0039	0,00415	0,0007
9	In situ	0,6445	0	0,0871	0,0061	0,7068	0,00135	0,0039	0,0018	0,0023	0
	Laboratório Molhado	2,00915	0,11265	0,2182	0,0279	1,79955	0,0066	0,01935	0,00895	0,0092	0
	Laboratório Seco	1,28655	0,10575	0,15215	0,0153	1,3258	0,00365	0,00985	0,00485	0,005	0
10	In situ	0,3942	0	0,04595	0,0045	0,44625	0,00065	0,0027	0,00145	0,0016	0
	Laboratório Molhado	2,1037	0,08885	0,3104	0,0274	2,31295	0,0066	0,01875	0,00935	0,00935	0
	Laboratório Seco	0,7062	0	0,06965	0,0065	0,55235	0,0014	0,0046	0,0024	0,00265	0,001
11	In situ	0,8868	0	0,12065	0,014	0,8494	0,0047	0,00685	0,00205	0,004	0,00055
	Laboratório Molhado	2,1948	0,1737	0,2416	0,02925	1,7665	0,00625	0,0188	0,00825	0,0075	0
	Laboratório Seco	0,5251	0,1124	0,02905	0,0188	0,35225	0,0015	0,0036	0,00165	0,0019	0
12	In situ	0,3268	0	0,0178	0,0054	0,1686	0	0,002	0	0,00125	0
	Laboratório Molhado	2,1373	0,1796	0,16015	0,0224	1,0217	0,00465	0,01335	0,0059	0,0053	0
	Laboratório Seco	1,1498	0,1362	0,08475	0,01465	0,5902	0,0028	0,00795	0,0032	0,00315	0,0005
13	In situ	0,73135	0,03315	0,04235	0,00795	0,31415	0,0012	0,0047	0,00195	0,0018	0,0009
	Laboratório Molhado	1,96525	0,20215	0,1305	0,0327	0,9944	0,00495	0,01595	0,0078	0,00595	0
	Laboratório Seco	1,01785	0,1015	0,05915	0,012	0,4476	0,0022	0,0073	0,00305	0,00305	0,00115
14	In situ	0,6831	0	0,05015	0,0049	0,38835	0,0015	0,004	0,002	0,0024	0,00045
	Laboratório Molhado	2,3023	0,2092	0,22155	0,0184	1,32685	0,00585	0,0191	0,0091	0,0089	0
	Laboratório Seco	1,67115	0,1729	0,10225	0,0136	0,788	0,00315	0,0117	0,0052	0,00525	0,00155
15	In situ	0,815	0	0,0686	0,00735	0,51625	0,00205	0,006	0,0021	0,00295	0,0005
	Laboratório Molhado	2,21365	0,18075	0,1767	0,0244	1,21005	0,0049	0,01985	0,00795	0,00655	0
	Laboratório Seco	0,5364	0,31655	0,0948	0,00715	0,5208	0,0008	0,00455	0,0025	0,0019	0,00045
16	In situ	0,6938	0	0,04285	0,0053	0,3169	0,0006	0,00475	0,002	0,00245	0
	Laboratório Molhado	1,6681	0,2249	0,10645	0,01855	0,72375	0,00345	0,01305	0,00475	0,0047	0
	Laboratório Seco	0,6513	0	0,0245	0,0043	0,21815	0,00055	0,00555	0,00215	0,00195	0
17	In situ	0,34	0	0,0354	0,0034	0,2989	0	0,0024	0,00065	0,00135	0
	Laboratório Molhado	1,9107	0,1489	0,2443	0,0268	1,8884	0,00565	0,01755	0,00825	0,008	0
	Laboratório Seco	1,49835	0,2217	0,1286	0,0198	1,09005	0,00395	0,01155	0,00555	0,00495	0
18	In situ	0,66405	0	0,0578	0,0057	0,446	0,00155	0,00485	0,00185	0,0023	0
	Laboratório Molhado	2,09155	0,1498	0,2052	0,02135	1,76765	0,0071	0,0258	0,01	0,01265	0
	Laboratório Seco	0,60835	0,1106	0,0666	0,02325	0,5766	0,0029	0,00575	0,0021	0,0032	0
19	In situ	0,6185	0,07045	0,0644	0,01545	0,49585	0,0014	0,00275	0,0015	0,002	0
	Laboratório Molhado	1,6538	0,12015	0,325	0,0363	1,63565	0,00675	0,0143	0,00665	0,0069	0
	Laboratório Seco	1,22815	0,0959	0,11325	0,02235	0,85635	0,00275	0,007	0,00365	0,0035	0

Valongo	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
Média In situ	0,632982	0,011545	0,067784	0,008076	0,547226	0,001392	0,004268	0,001853	0,002416	0,000171
Média Seco	0,889817	0,10802	0,086743	0,01292	0,704824	0,002246	0,006749	0,003139	0,003409	0,000339
Média Molhado	1,973355	0,143303	0,258629	0,026921	1,727197	0,005484	0,015982	0,007479	0,007626	0
Valongo total	1,165385	0,087623	0,137719	0,015972	0,993082	0,003041	0,009	0,004157	0,004484	

Tabela 4 Teor dos elementos químicos (valores em percentagem em massa) obtidos para a zona de Porto.

Porto												
Amostra	Local de amostragem	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
1	In situ	0,82605	0,2643	0,0678	0,00405	0,47995	0	0,0045	0,0093	0,00195	0,0045	0,0012
	Laboratório molhado	1,765767	0,614067	0,185533	0,014433	1,211233	0,0007	0,0119	0,0251	0,005333	0,0107	0,002233
	Laboratório seco	2,0643	0,66635	0,16545	0,0146	1,10815	0	0,01005	0,019	0,0044	0,0083	0
2	In situ	0,97295	0,35815	0,07	0,0062	0,51305	0	0,0044	0,0088	0,00325	0,0044	0,0014
	Laboratório molhado	1,674633	0,7931	0,156567	0,017467	1,2135	0,0007	0,0124	0,022833	0,005733	0,0106	0,002967
	Laboratório seco	2,1552	0,9617	0,1848	0,01755	1,16865	0	0,00985	0,01915	0,0055	0,00805	0
3	In situ	0,55065	0,06235	0,03965	0,0032	0,364	0	0,0016	0,00565	0,00115	0,0027	0,00085
	Laboratório molhado	1,6008	0,188133	0,1705	0,0116	1,313367	0,001433	0,006133	0,0197	0,003533	0,0098	0,004033
	Laboratório seco	2,22695	0,244	0,2351	0,01305	1,54135	0	0,0079	0,02265	0,0043	0,0111	0
4	In situ	1,26815	0,21835	0,1727	0,00755	0,62655	0	0,0034	0,01425	0,0034	0,013	0,00245
	Laboratório molhado	1,5518	0,391367	0,163367	0,015333	1,348533	0	0,009967	0,019833	0,004067	0,009533	0,0025
	Laboratório seco	2,07795	0,66685	0,22285	0,02055	1,641	0	0,0123	0,02645	0,0053	0,0114	0
5	In situ	1,07915	0,157	0,0861	0,00535	0,7548	0	0,00485	0,01485	0,0027	0,007	0,00195
	Laboratório molhado	2,0098	0,1817	0,182067	0,010833	1,147733	0	0,0074	0,028167	0,0045	0,014333	0
	Laboratório seco	2,31665	0,22105	0,19925	0,01025	1,1064	0	0,00675	0,02295	0,00405	0,0108	0
6	In situ	0,79765	0,5608	0,05815	0,00675	0,4402	0	0,0046	0,0068	0,0016	0,00275	0,00095
	Laboratório molhado	1,297733	0,444067	0,1461	0,015267	1,130467	0,0017	0,009133	0,022667	0,005067	0,015233	0,002633
	Laboratório seco	1,93685	0,7738	0,21715	0,02355	1,44845	0	0,01355	0,02555	0,0061	0,01715	0
7	In situ	1,02115	0,1458	0,0983	0,0086	0,6857	0	0,004	0,0113	0,0022	0,00725	0,0015
	Laboratório molhado	1,6729	0,1941	0,1398	0,006533	0,875833	0	0,0045	0,019833	0,0041	0,016733	0,003233
	Laboratório seco	2,1488	0,33385	0,2452	0,015	1,5549	0	0,0083	0,0279	0,00535	0,0188	0
8	In situ	0,5718	0,03595	0,04435	0	0,26365	0	0,0006	0,0052	0,0012	0,0039	0,00145
	Laboratório molhado	1,433067	0,187	0,1873	0,013133	1,202733	0,000567	0,006767	0,0205	0,004333	0,014567	0,002733
	Laboratório seco	1,6426	0,18385	0,15115	0,00825	0,8057	0	0,00445	0,01925	0,0033	0,0096	0
9	In situ	0,20695	0,0964	0,0118	0	0,1197	0	0	0,0021	0	0,00115	0
	Laboratório molhado	1,7139	0,224933	0,149967	0,012167	1,060467	0	0,005833	0,0243	0,004333	0,013733	0,002167
	Laboratório seco	1,9268	0,3997	0,17105	0,0112	1,23195	0	0,00885	0,0199	0,0037	0,01	0
10	In situ	0,0978	0,05925	0	0	0	0	0	0,0018	0	0	0
	Laboratório molhado	1,810275	0,265225	0,1172	0,00955	0,88855	0	0,0067	0,025575	0,0034	0,0092	0,00275
	Laboratório seco	2,1248	0,61595	0,1432	0,0126	0,8745	0	0,0061	0,0188	0,0025	0,0053	0
11	In situ	0,23145	0,08435	0,00315	0	0,0881	0	0,0005	0,0026	0	0,00065	0
	Laboratório molhado	1,590367	0,432533	0,1137	0,012467	0,975	0	0,008433	0,025767	0,0042	0,0108	0,003
	Laboratório seco	2,21475	0,58325	0,16945	0,01555	1,15865	0	0,0082	0,0266	0,00405	0,00825	0

Porto	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
Média in situ	0,693068	0,1857	0,059273	0,003791	0,394155	0	0,002586	0,007514	0,001586	0,0043	0,001068
Média Molhado	1,652159	0,35335	0,154515	0,012526	1,117376	0,00045	0,008065	0,023188	0,004388	0,012203	0,002574
Média Seco	2,076	0,514	0,191	0,015	1,24	0	0,009	0,023	0,004	0,011	0
Porto Total	1,473742	0,351017	0,134929	0,010439	0,917177	0,00015	0,00655	0,017901	0,003325	0,009168	0,001214

Análise da cor com o espectrofotómetro

Tal como dito anteriormente, através do espectrofotómetro, obtêm-se os valores de Luminosidade (value), L^* , Tom (hue), a^* , e Saturação (Chroma), b^* , que correspondem aos parâmetros para medição da cor da CIE. Os dados obtidos foram tratados e organizados em várias tabelas e gráficos. Através dos gráficos com as diferentes amostras retiradas no mesmo local, é possível observar as discrepâncias entre os tipos de análise. Por outro lado, os dados obtidos para os dois locais, permitem discriminar esses mesmos sítios como sendo áreas diferentes.

Observando os gráficos referentes aos valores de luminosidade (L^*) e tom (a^*) (Fig. 10), verifica-se que permitem distinguir dois conjuntos de dados diferentes, sendo os dados de Valongo, em média, um pouco mais altos do que os do Porto. Observa-se também que, os valores de luminosidade e tom obtidos nas análises em laboratório com o solo seco, são aqueles que permitem distinguir melhor os dois locais.

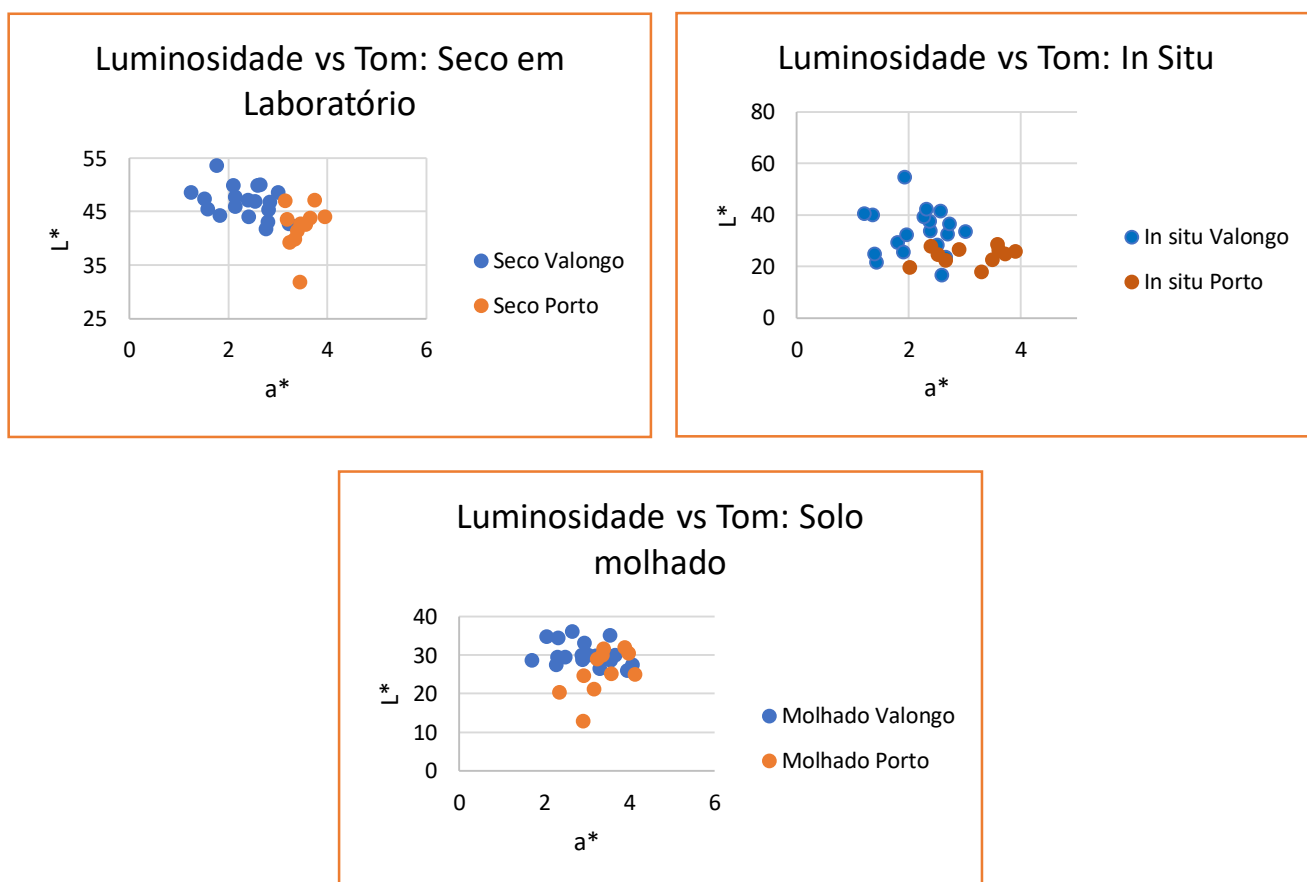


Figura 10 Gráficos referentes à luminosidade (L^*) e tom (a^*) referentes às 2 áreas estudadas à esquerda, dados da análise in situ, à direita da análise em solo seco e em baixo, a análise em solo molhado

Quanto aos gráficos referentes à luminosidade (L^*) e saturação (b^*) (Fig. 11), os dados referentes aos dois locais encontram-se mais misturados, e não é possível reconhecer uma separação clara entre os dois locais.

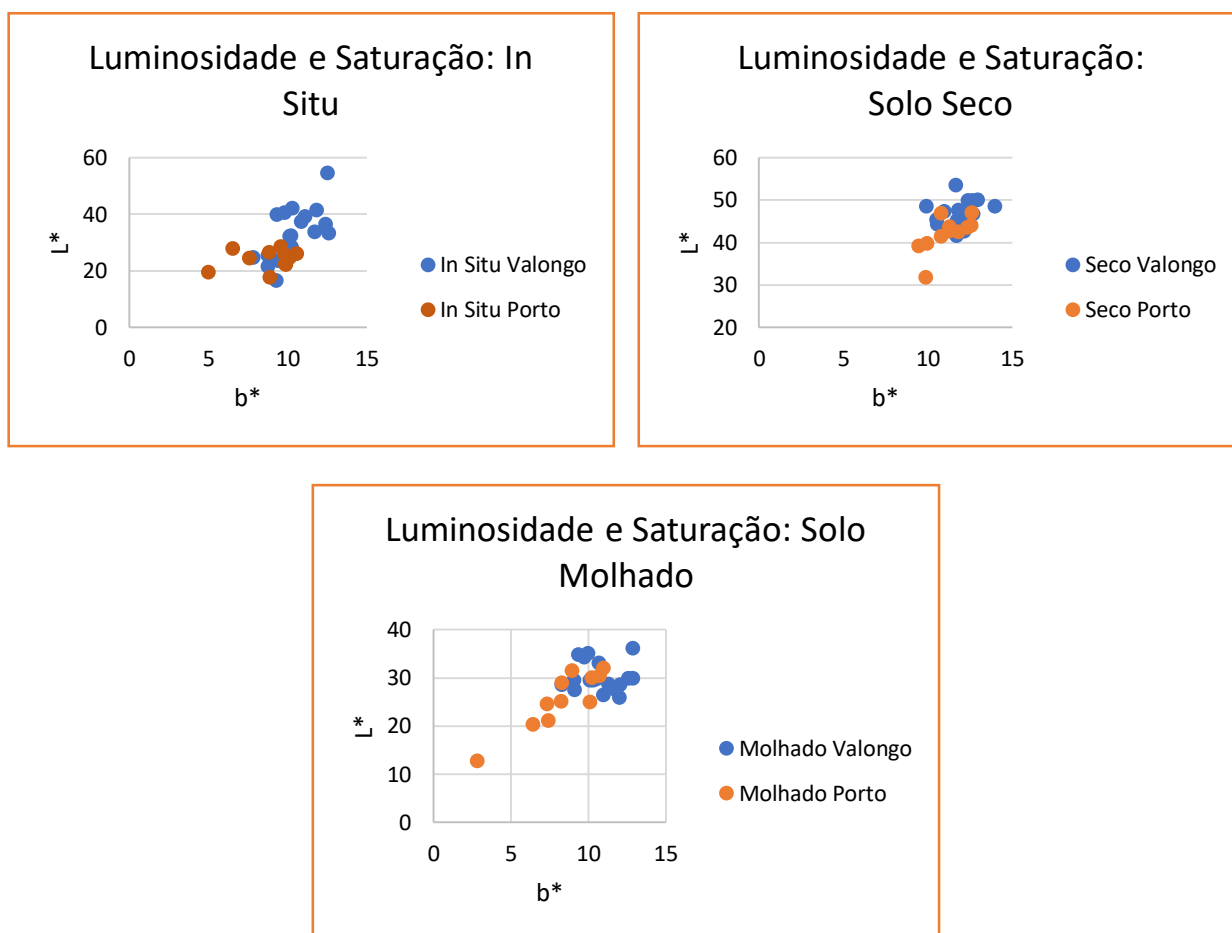


Figura 11 Gráficos de Luminosidade (L^*) e saturação (b^*) referentes às 2 áreas estudadas à esquerda, dados da análise in situ, à direita da análise em solo seco e em baixo, a análise em solo molhado

No que se refere ao tom e saturação, é também possível distinguir dois conjuntos de dados principais que permitem discriminar os dois locais (Fig.12). Sendo assim, a análise da cor, pode revelar-se bastante útil no que se refere à distinção de diferentes tipos de solo.

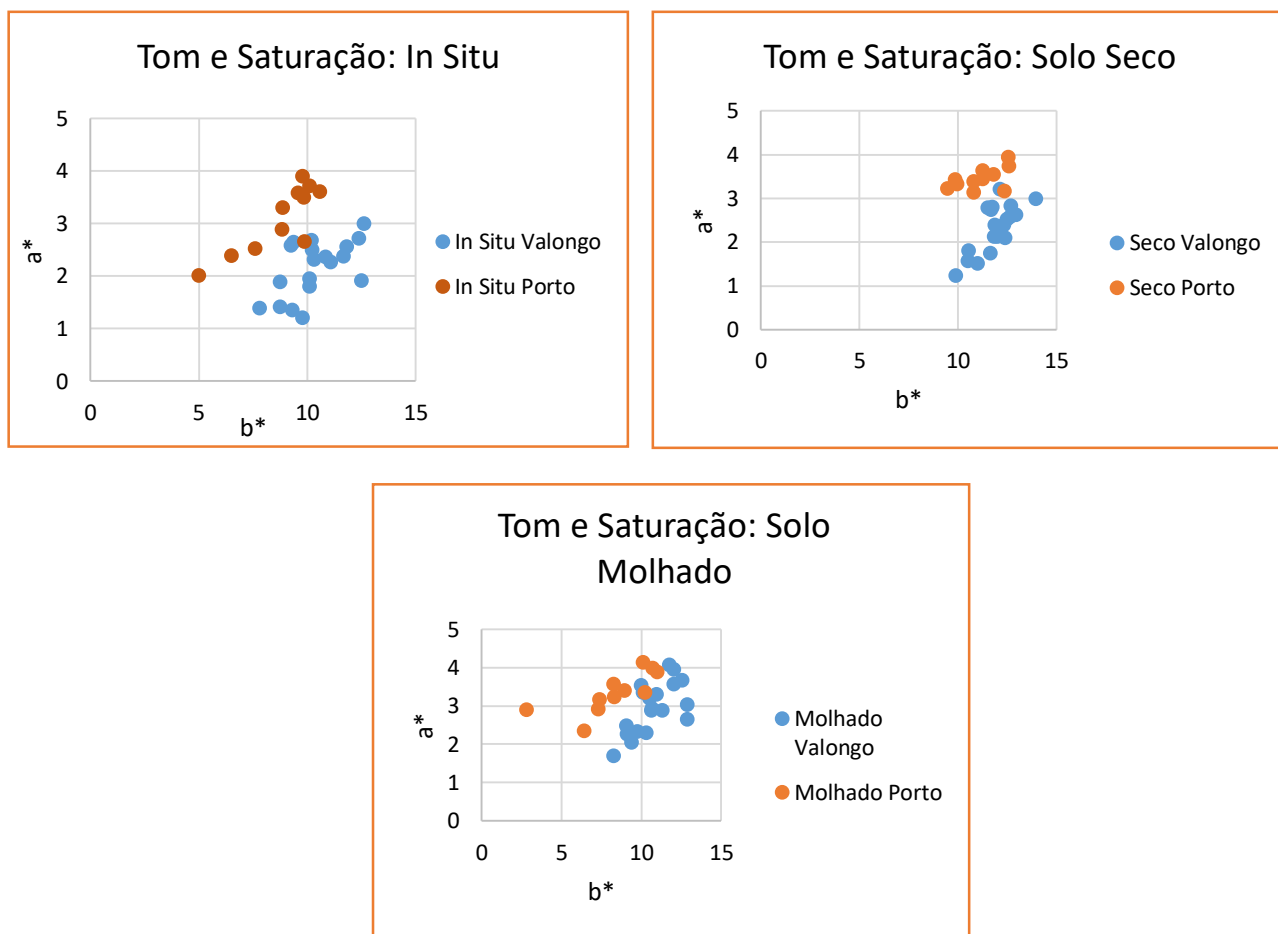


Figura 12 Gráficos de Tom (a^*) e Saturação (b^*) referentes às 2 áreas amostradas; à esquerda, dados da análise in situ, à direita da análise em solo seco e em baixo, a análise em solo molhado

Valongo

Para os valores de coordenadas cromáticas, obtidos para a zona de Valongo (Fig.13), a diferença entre os dados conseguidos nas três formas de medição, não é muito acentuada. De uma certa forma os dados apresentam-se mais homogêneos, contudo, os valores obtidos nas medições em laboratório e solo seco, continuam mais elevados no que respeita aos gráficos com o parâmetro L^* .

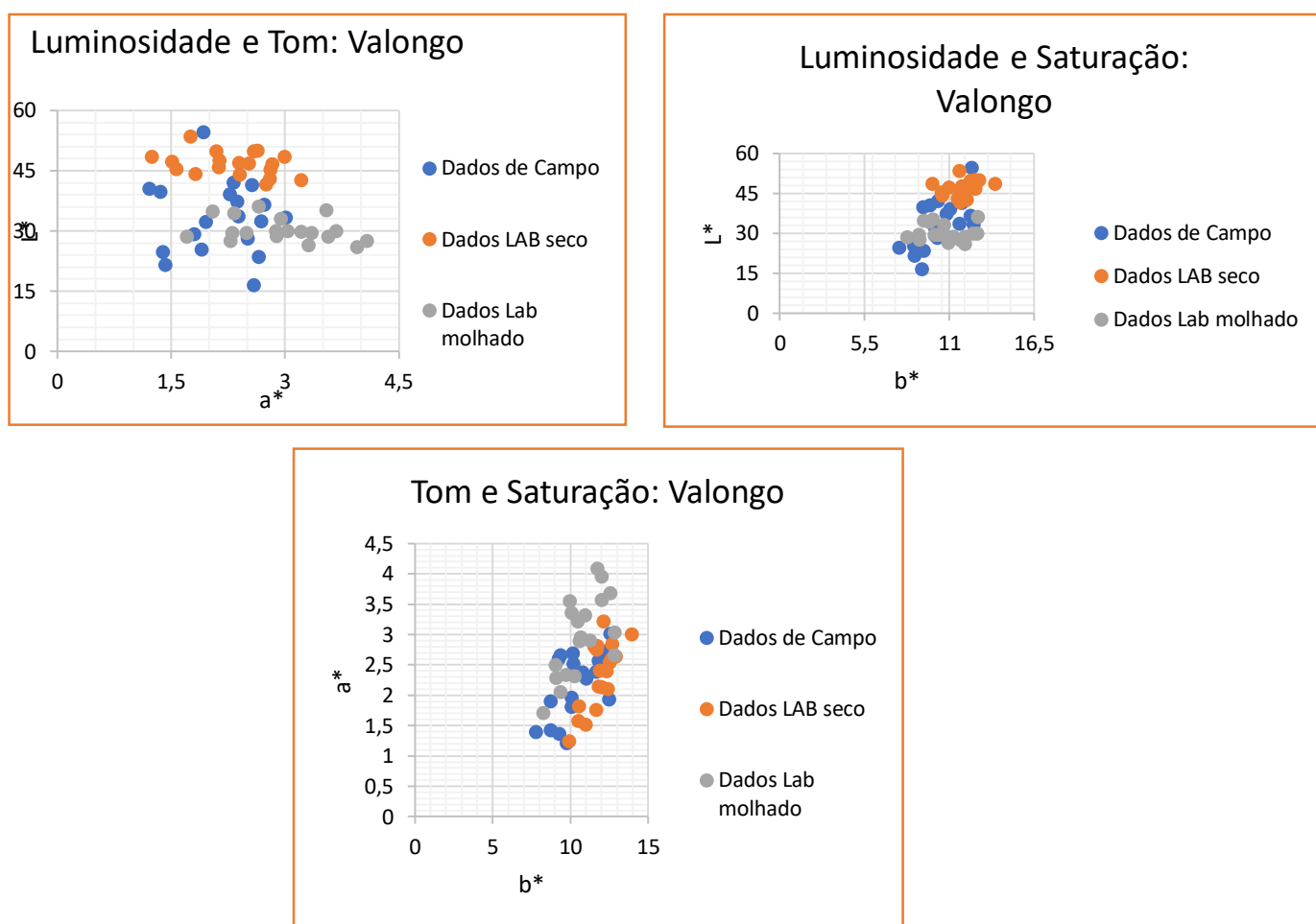


Figura 13 Gráficos referentes à zona de Valongo (Luminosidade, L^* , e tom, a^* , à esquerda, Luminosidade L^* e saturação, b^* , à direita e Tom, a^* , e saturação, b^* , em baixo)

Porto

Os valores para os parâmetros de cor, obtidos nas análises das amostras da zona do Porto, variam ligeiramente consoante o tipo de análise. Observa-se sobretudo que o valor da luminosidade *in situ* não corresponde ao valor da luminosidade obtida em laboratório (Fig. 14). Apesar da possível diferença de valores entre as análises *in situ* e as análises de laboratório, não se verificaram discrepâncias muito acentuadas nos valores retirados em campo, em comparação com os valores de laboratório, obtidos em solo molhado. Na verdade, os valores mais elevados, e que diferem um poucos dos restantes são aqueles obtidos em laboratório com o solo seco, nos gráficos com o parâmetro L^* .

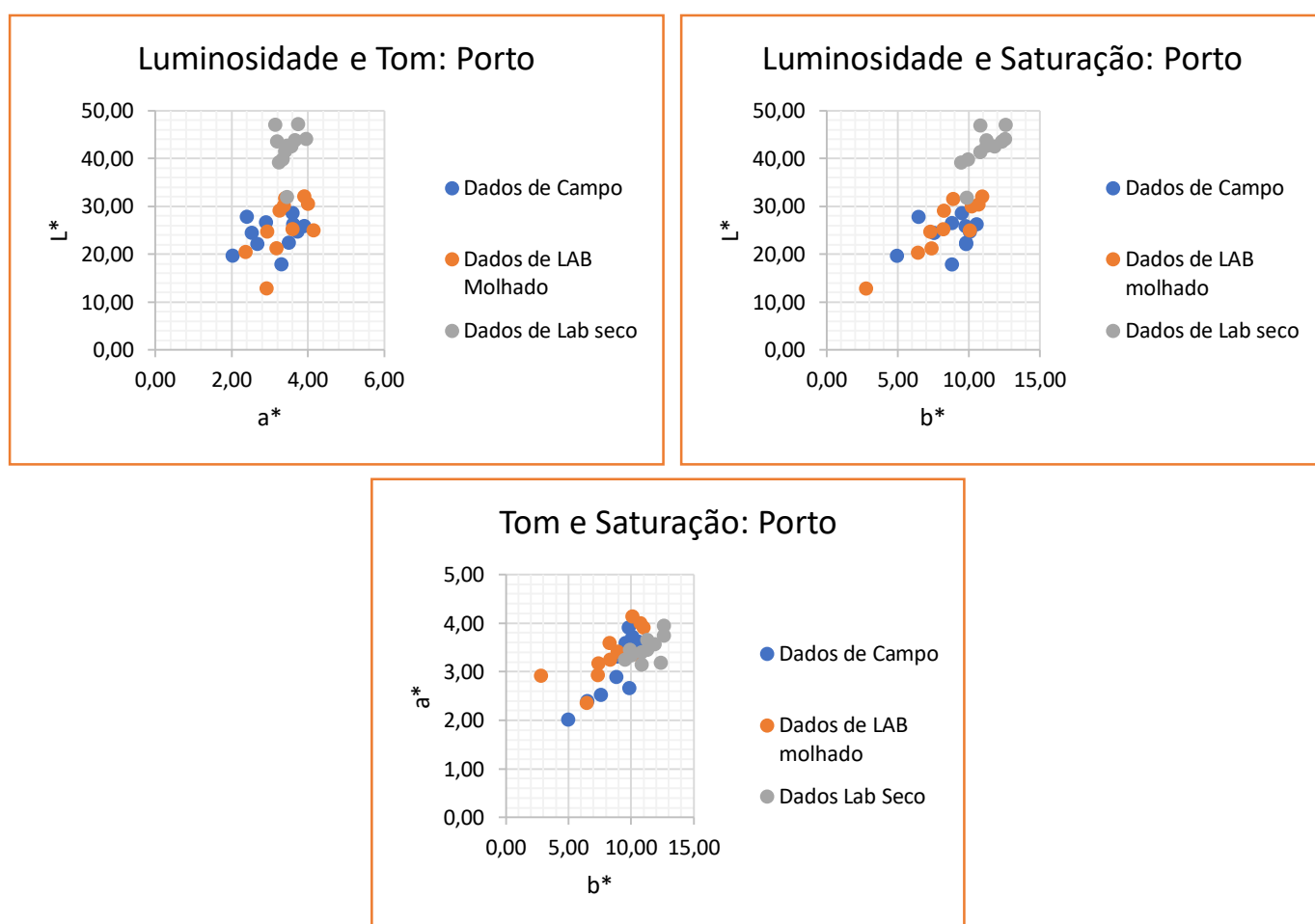


Figura 14 Gráficos referentes à zona de Porto (Luminosidade, L^* , e tom, a^* , à esquerda, Luminosidade L^* e saturação, b^* , à direita e Tom, a^* , e saturação, b^* , em baixo)

Suscetibilidade Magnética

Os valores obtidos para a suscetibilidade magnética foram bastante baixos para as duas zonas estudadas, sendo que, verificando todas as medições, se encontram, em média, entre $0.003 \cdot 10^{-3}$ e $1.31 \cdot 10^{-3}$ na zona do Porto, e de $0.0495 \cdot 10^{-3}$ e $0.7145 \cdot 10^{-3}$ para a área de Valongo.

Através dos dados obtidos foram calculadas as médias referentes às diferentes medições dos pontos de amostragem e elaborados gráficos para uma melhor interpretação dos resultados.

Os gráficos seguintes (Figs.15) representam os valores de suscetibilidade obtidos para as duas zonas (Porto e Valongo) através dos diferentes métodos.

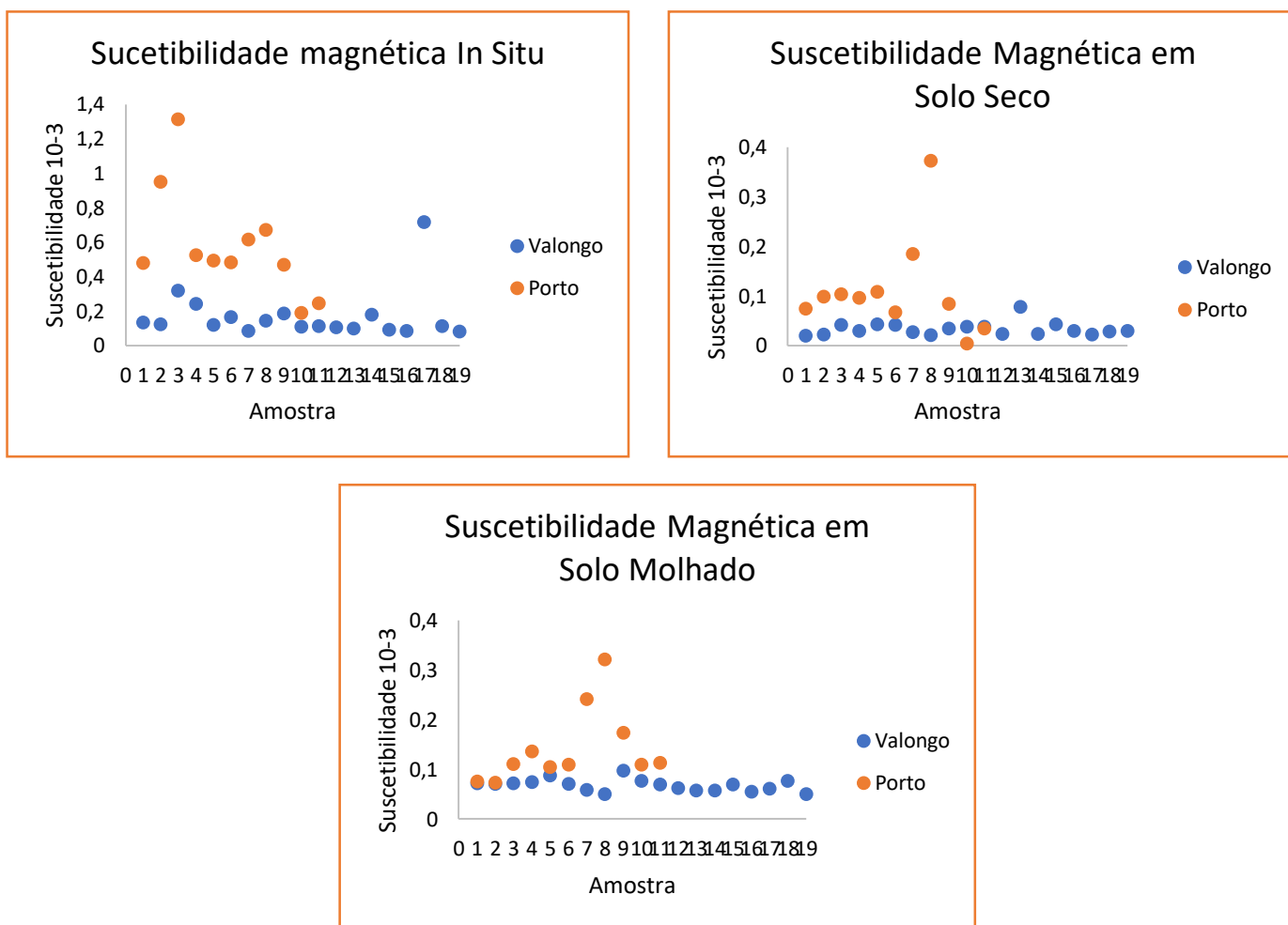


Figura 15 Gráficos da suscetibilidade magnética, referentes às 2 áreas amostradas; à esquerda, dados da análise in situ, à direita da análise em solo seco e em baixo, a análise em solo molhado

Verifica-se então que é possível distinguir os dois locais através dos valores de suscetibilidade, sendo que, a zona do Porto apresenta valores, em média, valores mais altos na maior parte das amostras.

Valongo

Considerando agora os dados da zona de Valongo em particular, podem comparar-se os valores obtidos através dos diferentes locais e formas de medição (Fig.16). Assim sendo, verifica-se que os valores obtidos para as medições *in situ* foram mais altos do que aqueles obtidos em laboratório.

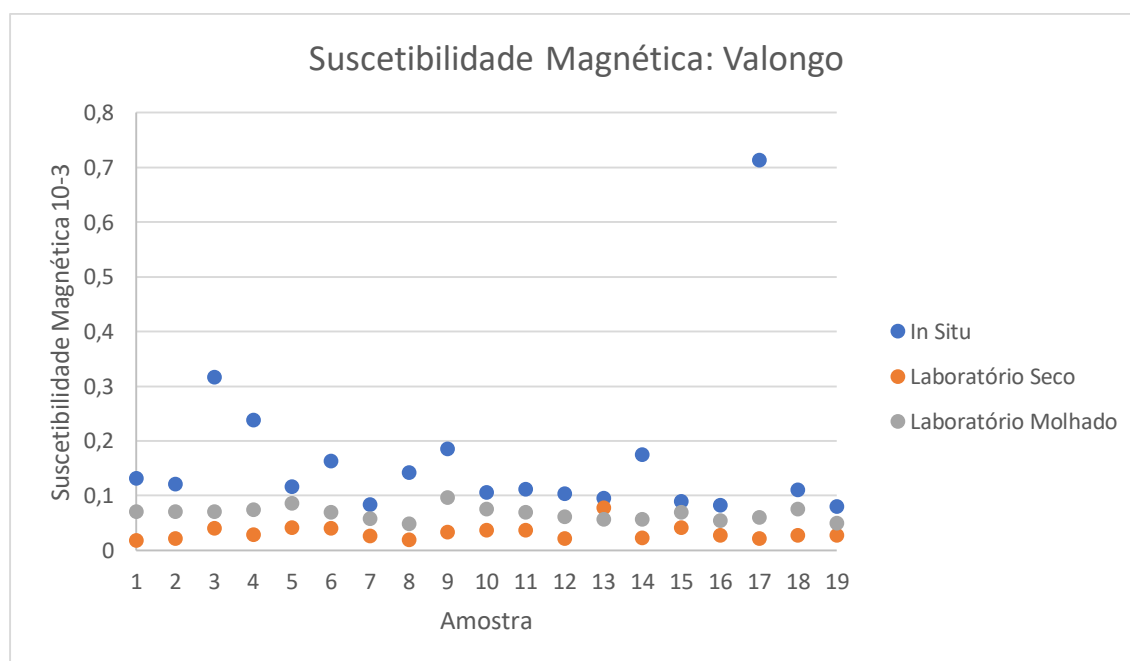


Figura 16 Gráfico com os dados da suscetibilidade magnética obtidos na zona de Valongo

Porto

Os dados de suscetibilidade obtidos na zona de Porto (Fig.17) diferem bastante quando se passa do campo para o laboratório, sendo os dados obtidos *in situ*, relativamente maiores. Ao contrário do que acontece aos valores dos parâmetros de cor, os valores de suscetibilidade magnética para as medições em solo seco e em solo molhado não diferem muito.

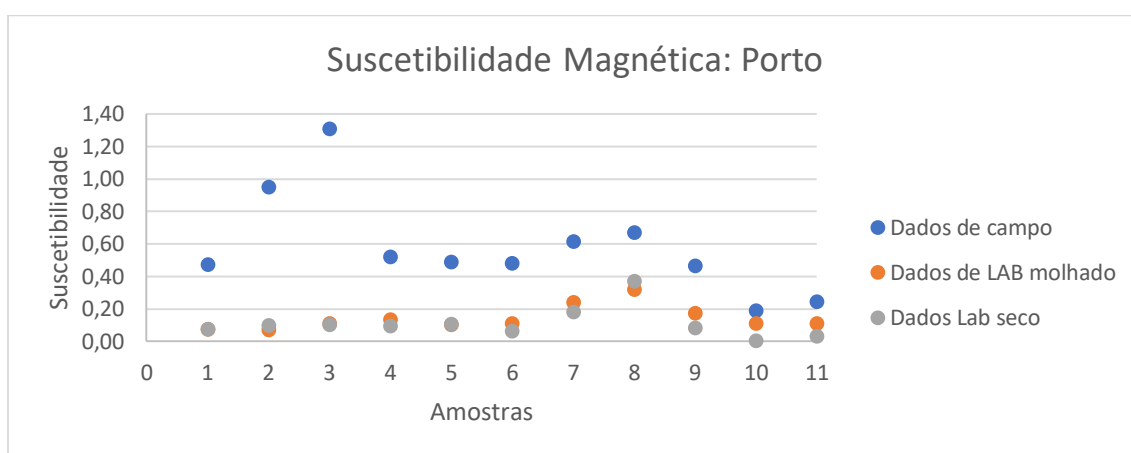


Figura 17 Gráfico com os dados da suscetibilidade magnética obtidos na zona do Porto.

Análise Estatística

A análise estatística permitiu suportar as observações retiradas anteriormente bem como a obtenção de novas conclusões. O objetivo, neste caso, seria verificar se os métodos utilizados conseguiriam fazer a distinção entre os solos provenientes das duas zonas estudadas, quer as análises tenham sido efetuadas *in situ* ou em laboratório.

O primeiro dendrograma obtido é referente aos dados obtidos *in situ*, agrupando as análises de fluorescência de raios-X, de cor e de suscetibilidade magnética (Fig. 18). Neste caso as áreas de Valongo e Porto não se encontram em clusters diferentes, sendo que os dados não são conclusivos.

De seguida elaborou-se um gráfico com o agrupamento de dados obtidos em todas as análises em laboratório com o solo seco (Fig.19). Neste caso é possível distinguir dois clusters diferentes, um referente a Valongo e outro referente ao Porto. O mesmo se passa com o dendrograma de dados de laboratório com solo húmido, em que também se distinguiram dois clusters diferentes (Fig. 20).

Quando se agruparam todas as técnicas com todos os dados obtidos (Fig. 21), ou seja, *in situ*, laboratório em solo seco e laboratório em solo húmido, os resultados também foram conclusivos, distinguindo-se dois clusters.

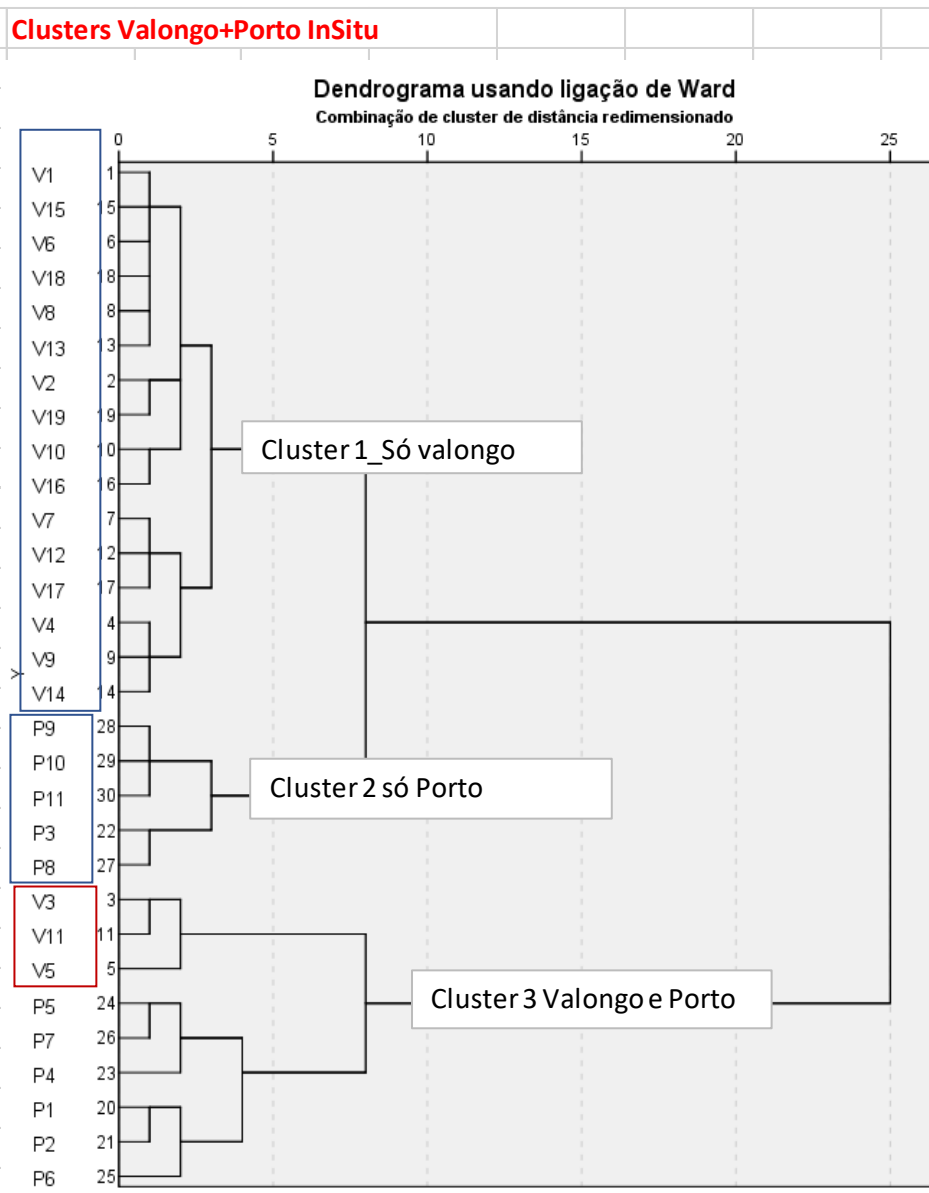


Figura 18 Dendrograma de análise estatística agrupando os dados obtidos in situ nas análises de fluorescência de raios-X, de cor e de suscetibilidade magnética.

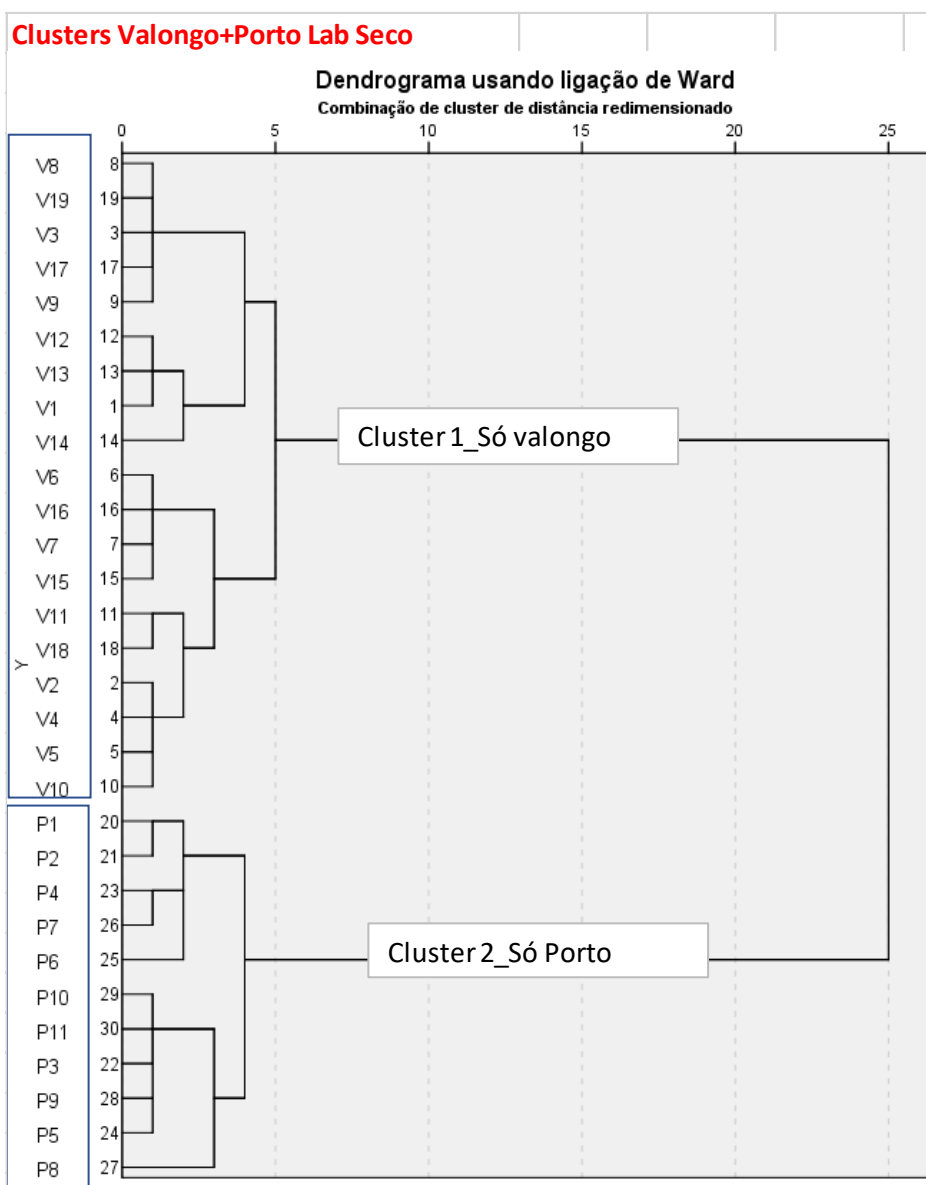


Figura 19 Dendrograma de análise estatística agrupando os dados obtidos em todas as análises em laboratório com o solo seco.

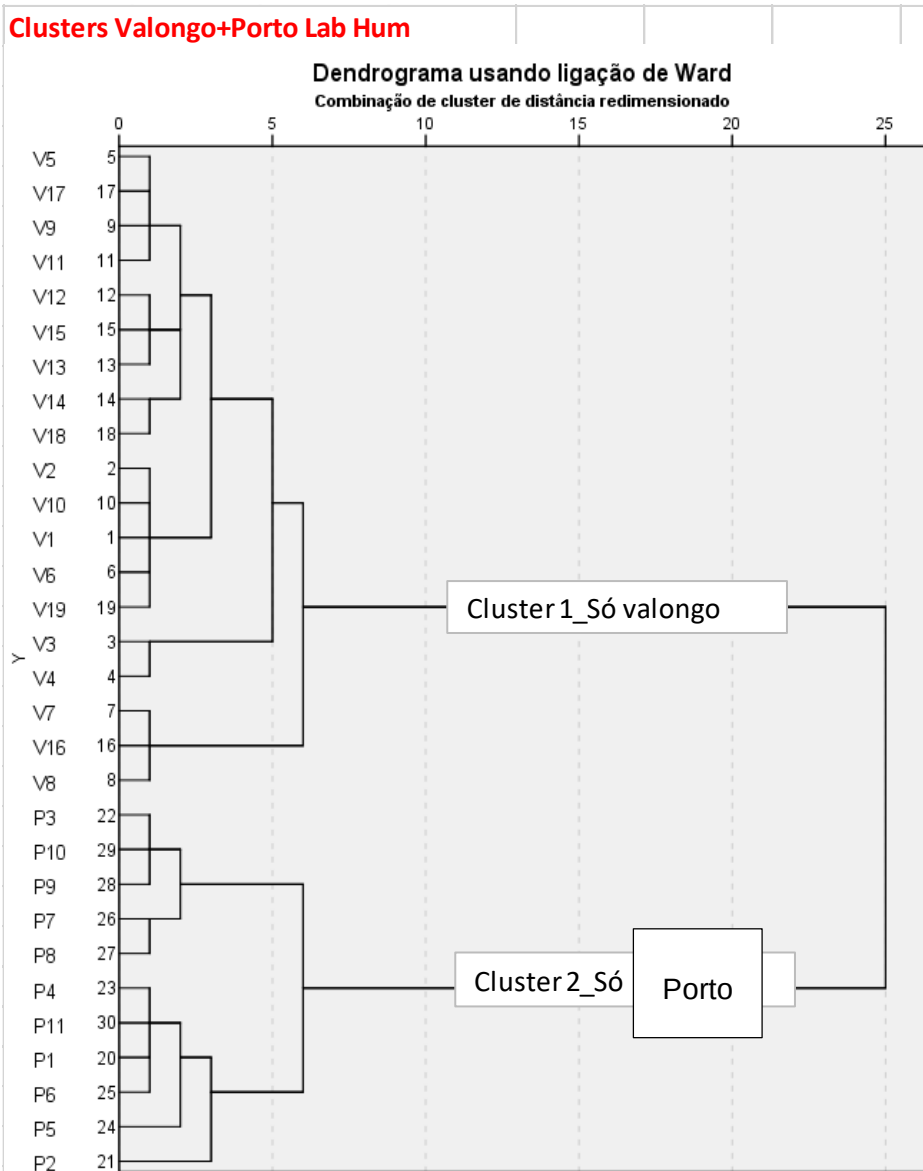


Figura 20 Dendrograma de análise estatística agrupando os dados obtidos em todas as análises em laboratório com o solo húmido.

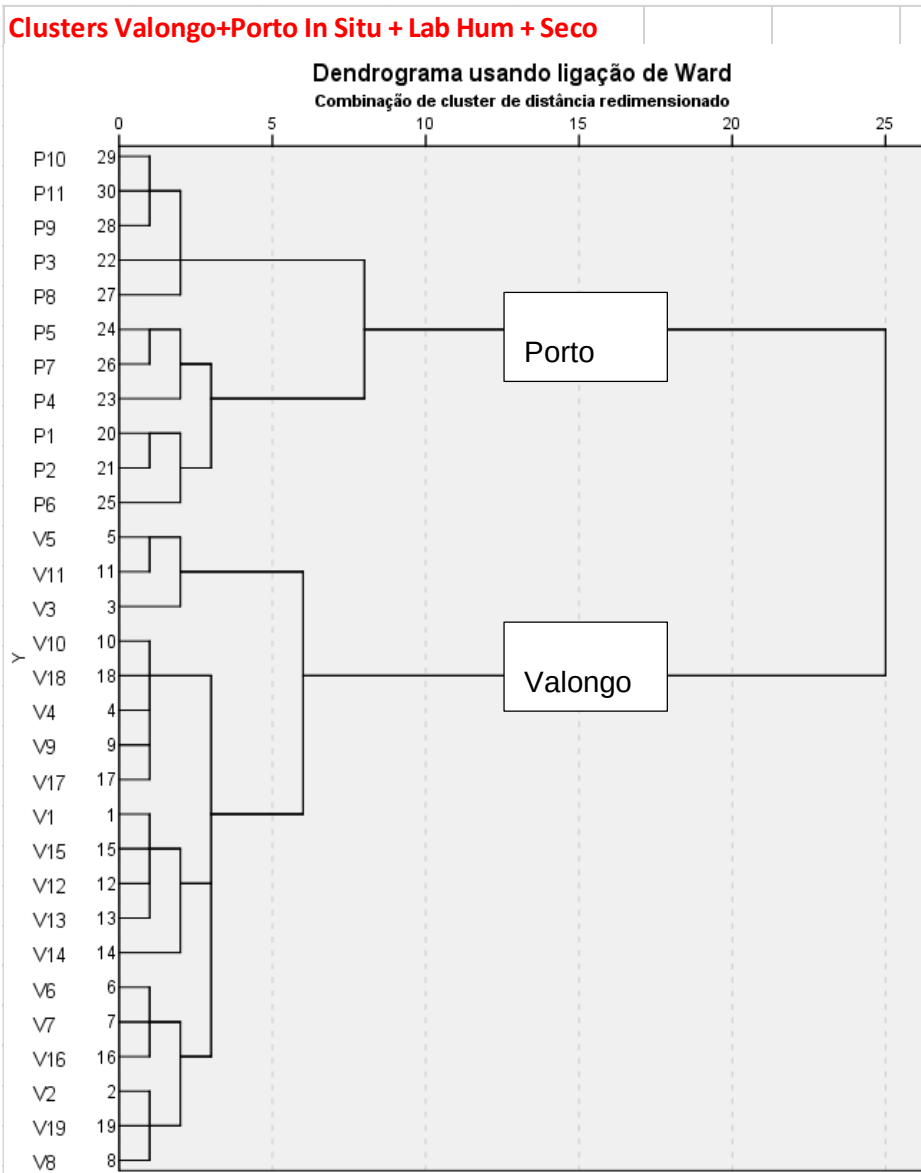


Figura 21 Dendrograma de análise estatística agrupando os dados obtidos com todos os dados obtidos in situ, laboratório em solo seco e laboratório em solo húmido.

Conclusões

Com este estudo foi possível testar a viabilidade e reprodutibilidade dos métodos de análise de solos portáteis. Conclui-se que os métodos são viáveis e de fácil utilização quer por profissionais da área, ou por pessoal não especializado.

Os resultados obtidos são reproduzíveis, contudo, existirão sempre algumas diferenças de valor, sobretudo nas análises *in situ*, uma vez que a análise é pontual, sendo que o ponto amostrável é variável e o solo não se encontra homogeneizado. Dado esse aspeto, os valores obtidos dependerão dos minerais que se encontram no foco do equipamento de amostragem na altura, o aparecimento de um mineral mais claro ou escuro, fora do padrão, fará com que os valores da média da cor destoem, ou um único mineral de ferro aumentará a média da suscetibilidade. Neste caso, as análises de laboratório tornam-se mais precisas, uma vez que o solo recolhido é tratado e homogeneizado, para que as medições sejam representativas de todo o local, e podem ser eliminados os valores de amostragem que mais se distanciam da média.

Este estudo contribuiu também para a comparação da fiabilidade de métodos nos diferentes locais de amostragem, *in situ* e em laboratório. Pela análise de gráficos observa-se que os resultados das medições têm as mesmas tendências, salvo poucas exceções. Uma dessas exceções é referente à análise da cor, nomeadamente no parâmetro L^* . Enquanto os gráficos da análise da cor, *in situ* e laboratório (seco e molhado) para os parâmetros a^* e b^* apresentam sempre a mesma tendência e existe uma distinção entre os dados de Porto e Valongo, para os gráficos com o parâmetro L^* , não existe essa tendência, sendo que os dados são mais aleatórios e não há distinção dos dois locais. Isto pode dar-se ao facto do parâmetro L^* , luminosidade, depender bastante do ambiente em que é feita a análise e não do solo em si, sendo que, a diferentes horas do dia, com o solo com diferentes graus de humidade, ou a diferença de luz do interior para o exterior de um edifício fará sempre variar este valor.

A partir da análise de clusters, conclui-se também que as análises do solo seco em laboratório são mais conclusivas, discriminando melhor os dois diferentes locais de amostragem. Sendo assim, numa investigação policial que envolva análises ao solo, se houver oportunidade, deve recolher-se a amostra e trata-la em laboratório.

Este é um tema que tem ganho mais destaque ao longo dos anos, contudo, ainda está em desenvolvimento, pelo que seria fundamental a continuidade destes estudos para o aperfeiçoamento de técnicas e obtenção de dados viáveis.

Referências

- Dekkers, M.J., 1997. Environmental magnetism. *Geologie en Mijnbouw*, 76, 163-182.
- Maroco, J. (2003). *Análise estatística- com utilização do SPSS*. Capítulo 11 – Análise de Clusters. 2ª Edição, Sílabo, Lda. Lisboa.
- McKinley, J., Ruffell, A. 2004: Forensic geoscience: applications of geology, geomorphology and geophysics to criminal investigations. *Earth-Science Reviews* 69(3-4)(3-4), 235-247.
- Murray, R.C., Tedrow, J.C.F. 1991: *Forensic Geology*, 240 pp. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Murray R.C. 2011: *Evidence from the earth (forensic geology in criminal investigation)*. 2nd Ed., 240pp. Mountain Press Publishing, Missoula, MT.
- Ritz K., Dawson L., Miller D., 2009 *Criminal and Environmental Soil Forensics*, 1st Ed., 519 pp, Springer Netherlands, Chapter 8, Fitzpatrick. R.W., Raven M.D., Forrester, S.T, *A Systematic Approach to Soil Forensics: Criminal Case Studies Involving Transference from Crime Scene to Forensic Evidence*, p. 105-127
- Raman, E., 1911 "Bodenkunde," Verlag Julius Springer, Berlin. In: Jenny, H., 1941: *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*, Chapter 1, definitions and concepts, p.7-20. McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
- Sant'Ovaia Mendes Silva, H.M., 2000: *O maciço granítico pós-tectónico de Vila Pouca de Aguiar: estudo petro-estrutural e mecanismo de instalação*, 333 pp, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (Tese de Doutoramento).

- The Correlation Coefficient: An Overview A. G. Asuero, A. Sayago, and A. G. González Department of Analytical Chemistry, Faculty of Pharmacy, The University of Seville, Seville, Spain (2006)

Webgrafia

- <http://www.forensicgeology.net/science.htm> (23/11/2018)
- <https://tecnicoemineracao.com.br/dicas-amostragem-eficiente/> (23/11/2018)
- <https://segurancaecienciasforenses.com/2012/03/13/a-geologia-forense-como-ferramenta-auxiliar-da-investigacao-criminal/> (23/11/2018)

Anexos

Anexo 1

Tabela 5 Dados de suscetibilidade referente à zona de Valongo com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %

Local 1 Valongo						
Amostras	Média SM Campo	Média SM Lab seco	Média SM Lab molhado	CV % SM Campo	CV % SM Lab seco	CV% SM Lab molhado
1	0,132	0,018666667	0,0715	18,21335649	10,87856586	6,922723732
2	0,122	0,022	0,071	3,477574334	7,071067812	5,975550264
3	0,3175	0,040333333	0,0715	18,93041776	14,14213562	0,988960533
4	0,239	0,029	0,0745	18,93507699	12,40538213	0,949136619
5	0,117	0,041666667	0,087	10,87856586	5,545935539	4,876598491
6	0,1635	0,041	0,07	5,622255753	1,74594267	2,020305089
7	0,0845	0,026666667	0,0585	2,510438276	20,20305089	1,20872954
8	0,1425	0,02	0,0495	7,443229276	14,14213562	2,915904252
9	0,1855	0,033333333	0,097	8,004982429	15,71348403	1,860807319
10	0,1065	0,037666667	0,076	23,23825102	5,111615286	3,052259487
11	0,112	0,037666667	0,0695	8,838834765	10,69593155	2,280989617
12	0,1035	0,022333333	0,062	0,683194958	23,57022604	6,148754619
13	0,0955	0,077666667	0,0575	0,740425949	114,483955	6,148754619
14	0,1755	0,022666667	0,0575	18,9367628	0	1,017419829
15	0,0905	0,042	0,0695	0,78133346	4,876598491	9,082105446
16	0,0835	0,028333333	0,0545	4,234172342	21,75713173	3,506314617
17	0,7145	0,022	0,0605	117,8676244	13,46870059	1,860807319
18	0,1105	0,028	0,076	7,03907203	15,04482513	1,860807319
19	0,0805	0,028333333	0,05	6,148754619	15,71348403	5,656854249

Anexo 2

Tabela 6 Dados de Tonalidade (a) referente à zona de Valongo com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %*

Valongo						
Amostra	Média a Campo	Média a Lab seco	Média a Lab molhado	CV% Campo	CV% Lab seco	CV% Lab molhado
1	3,01	3,00	3,57	7,047575892	0,92432259	0,792276506
2	2,385	2,40	2,90	3,854250799	0,565685425	1,221255235
3	1,805	2,10	2,34	6,659731457	8,063498382	8,176395328
4	1,36	1,57	2,05	34,31547615	2,28837146	0,689860274
5	1,425	1,51	2,31	10,42052099	3,649583387	8,570991287
6	2,69	2,80	3,55	2,102919795	6,125595468	0,398370018
7	2,375	2,64	3,31	20,5433128	7,585819875	8,545097054
8	2,565	2,83	3,68	15,71348403	2,057037909	2,50133011
9	1,21	1,243333333	2,28	15,19403001	12,46241837	0,620269106
10	1,39	2,136666667	3,22	3,09681802	0,962050042	2,859218711
11	1,9	1,82	1,71	1,017419829	0	6,220880773
12	1,96	2,53	2,89	13,7092131	2,762135864	0,245097671
13	2,28	3,216666667	3,36	2,797345508	4,591602475	0,210762081
14	1,93	1,756666667	2,66	1,83664099	0,817464487	0,798990713
15	2,73	2,593333333	2,95	14,79085744	0,808122036	0,720312511
16	2,60	2,806666667	4,08	1,362440812	1,002988342	0,346620971
17	2,32	2,396666667	2,50	14,62979547	5,104380161	0,283409532
18	2,51	2,13	3,04	7,324612076	1,007753132	0,232984112
19	2,655	2,75	3,96	5,060274517	0,778466181	0,536364183

Anexo 3

Tabela 7 Dados de Luminosidade (L) referente à zona de Valongo com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %*

Valongo						
Amostra	Média L Campo	Média L Lab seco	Média L Lab molhado	CV % Campo	CV % Lab seco	CV% Lab molhado
1	33,37	48,52666667	28,68	19,0709051	0,810037395	2,441275374
2	33,675	44,03	28,78	22,19485873	0,061581257	2,014689231
3	29,245	49,83666667	34,40	30,44101342	0,844741366	2,199750708
4	39,87	45,42	34,86	2,4829433	3,473612979	0,7911968
5	21,53	47,34	29,57	6,240143448	3,718772161	9,182583834
6	32,475	43,03666667	35,20	1,633041065	1,054259312	0,34154895
7	37,34	50,01	26,53	15,7555662	1,542466822	5,784813252
8	41,495	46,74333333	29,99	2,539074838	2,512600816	1,791934491
9	40,485	48,58	27,57	3,755167542	7,405964685	8,798752982
10	24,75	47,63333333	29,79	0,114279884	2,162317299	0,118701827
11	25,425	44,28	28,64	1,80774595	2,200811181	4,59224376
12	32,265	46,9	30,05	9,796272468	0,96441618	0,117674618
13	39,235	42,62666667	29,54	16,0579111	2,359002582	0,143623585
14	54,58	53,56	36,19	2,072867076	1,332655072	0,078154936
15	36,545	49,89666667	33,10	2,99908472	1,298711165	0,213627426
16	16,58	45,25	27,49	22,09175589	0,344167017	0,025727007
17	42,14	47,05	29,56	7,047575892	1,429400947	3,301107436
18	28,245	45,91666667	29,94	1,677328884	3,71460284	0,118107029
19	23,595	41,66666667	25,99	0,089905503	1,093420739	0,462605937

Anexo 4

Tabela 8 Dados de Saturação (b) referente à zona de Valongo com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %*

Valongo						
Amostra	Média b Campo	Média b Lab seco	Média b Lab molhado	CV% Campo	CV% lab seco	CV% lab molhado
1	12,59	13,97333333	12,03	12,35611532	1,682409416	0,176409176
2	11,67	11,89333333	11,28	12,60310287	1,14418573	4,262700454
3	10,085	12,40333333	9,72	12,12984364	0,872971335	0,755455963
4	9,305	10,52666667	9,36	9,651000667	0,537213129	0,411906863
5	8,745	11,00333333	10,30	5,579230177	4,022075269	2,127703454
6	10,175	11,53333333	9,97	7,713892158	0,564932182	7,36165964
7	10,82	12,95333333	10,95	9,541366918	0,752813303	2,364529045
8	11,81	12,69	12,56	5,029379307	1,767054431	1,166201398
9	9,77	9,916666667	9,10	1,158004964	6,2901053	1,481557065
10	7,78	11,84333333	10,50	0,727102089	2,981599491	0,171005268
11	8,735	10,57333333	8,27	2,995186137	2,485666761	0,399871884
12	10,085	12,52333333	10,61	0,490802922	3,204851501	0,420479751
13	11,055	12,16333333	10,09	4,54134613	0,175824314	0,164890816
14	12,485	11,67333333	12,87	1,642458683	1,412371339	0,927787717
15	12,375	12,66	10,67	8,513851345	1,317590276	0,421075922
16	9,24	11,76333333	11,76	0,612213663	0,599243035	2,127703454
17	10,285	12,35666667	9,06	5,706355162	0,114883311	3,357878696
18	10,215	12,03666667	12,85	11,56014023	1,072276501	0,055049185
19	9,36	11,71	12,01	13,90038972	2,068987139	0

Anexo 5

Tabela 9 Dados de suscetibilidade referente à zona de Porto com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %

Local 2 Porto						
Amostra	Média SM Campo	Média SM Lab molhado	Média SM Lab Seco	CV % SM Campo	CV % SM Lab molhado	CV% SM Lab seco
1	0,476	0,0755	0,074	3,268140585	2,809695819	3,822198817
2	0,95	0,0725	0,0985	6,401177177	12,67915608	3,589374524
3	1,31	0,111	0,103	7,556866364	7,644397634	5,492091504
4	0,5225	0,1355	0,095	11,7738354	1,565550069	4,465937565
5	0,491	0,104	0,1075	16,41755052	29,91605613	1,97332125
6	0,482	0,1095	0,066	6,161511371	0,645759618	4,285495644
7	0,615	0,242	0,184	11,26771781	5,259471926	0,768594327
8	0,6705	0,322	0,3715	9,174987317	1,756787034	2,474397888
9	0,4665	0,174	0,083	1,061039114	11,37872981	3,407743524
10	0,189	0,1095	0,003	0	3,228798088	141,4213562
11	0,244	0,113	0,0335	13,91029733	6,257582134	10,55383256

Anexo 6

Tabela 10 Dados de Tonalidade (a) referente à zona de Porto com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %*

Porto						
Amostra	Média a Campo	Média a Lab molhado	Média a LAB seco	CV% Campo	CV% Lab molhado	CV% Lab seco
1	2,015	2,925	3,34	1,754607397	2,659204989	1,060130107
2	2,4	2,91	3,24	8,249579114	2,915904252	3,491885339
3	2,665	3,36	3,18	28,92106535	6,313453403	7,115539936
4	2,525	3,245	3,45	8,121226398	25,05925419	0,819833949
5	2,895	2,355	3,15	2,686761517	0,90077297	1,573846572
6	3,61	3,17	3,45	5,09273582	1,338372457	3,899863234
7	3,585	3,585	3,40	6,903413484	0,197240385	0,208278875
8	3,5	3,99	3,95	1,616244071	0,354439489	4,481031566
9	3,72	3,9	3,74	3,801649361	2,538332035	1,134395906
10	3,905	4,14	3,56	1,267540965	0	4,767012008
11	3,305	3,405	3,65	7,916172739	0,623001569	4,649469246

Anexo 7

Tabela 11 Dados de Luminosidade (L) referente à zona de Porto com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %*

Porto						
Amostra	Média L Campo	Média L Lab molhado	Média L seco	CV % Campo	CV % Lab molhado	CV% Lab seco
1	19,59	24,635	39,74	6,49715266	4,563831062	0,071173305
2	27,79	12,845	39,15	7,68428384	0,935836145	2,366355558
3	22,13	30,03	43,56	16,04010864	9,18320495	2,207679574
4	24,4205	29,01	42,64	10,94805897	4,387425736	0,945352094
5	26,55	20,35	46,95	8,948695988	2,501802862	5,768918888
6	26,175	21,19	31,83	2,8365315	7,741801474	4,354160512
7	28,54	25,19	41,40	0,644175764	0,168425593	8,182247812
8	22,38	30,41	44,02	3,475502499	0,046504885	3,261221779
9	24,715	32,015	47,06	5,178487857	1,877372369	3,636205717
10	25,845	24,975	42,49	5,663420534	6,483581697	0,665668893
11	17,805	31,585	43,75	1,469415945	0,514910748	1,470950213

Anexo 8

Tabela 12 Dados de Saturação (b) referente à zona de Porto com cálculo de médias das análises realizadas em cada ponto e cálculo do coeficiente de variação %*

Porto						
Amostra	Média b Campo	Média b Lab molhado	Média b LAB seco	CV% Campo	CV% lab molhado	CV% Lab Seco
1	4,98	7,305	9,98	3,123764897	2,226345786	0,566819063
2	6,50	2,795	9,47	9,03616056	1,770929327	1,792034081
3	9,85	10,225	12,37	14,50107308	3,526889569	10,74665116
4	7,57	8,285	11,27	17,37409	15,10656612	1,945877516
5	8,83	6,43	10,82	0,721128729	1,759519207	0,980730626
6	10,56	7,385	9,89	3,014666523	2,010730183	4,220465361
7	9,55	8,235	10,82	6,51574835	0,085866033	0
8	9,83	10,715	12,58	3,81441826	0,065992233	2,47318747
9	10,10	10,97	12,62	2,0313122	0,902415218	3,867647079
10	9,78	10,1	11,84	0,867615682	7,001057239	4,538861095
11	8,84	8,92	11,29	18,87751135	0,317088243	0,062658997