



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento
Ano 2013

Joana Cristina Leite da Cunha Melo Alves **Avaliação do impacte ambiental das cinzas de biomassa na pavimentação**



**Joana Cristina Leite
da Cunha Melo Alves**

**Avaliação do impacte ambiental das cinzas de
biomassa na pavimentação**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, e co-orientação do Professor Doutor José de Jesus Figueiredo da Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto “(Bias-to-soil) Cinzas de biomassa: Características em relação à sua origem, tratamento e aplicação no solo” PTDC/AAC-AMB/098112/2008 - FCOMP-01-0124-FEDER-008487, financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional Fatores de Competitividade – COMPETE e por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

A natureza não faz milagres, faz revelações (Carlos Drummond de Andrade).

O júri

Presidente

Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho
Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da
Universidade de Aveiro

Vogais

Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes (Orientadora)
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Arguente

Doutora Maria Helena dos Santos Duarte Lopes
Investigadora Auxiliar, Laboratório Nacional de Energia e Geologia

Agradecimentos

Esta dissertação é o culminar de mais um ciclo na minha vida, onde adquiri conhecimento e sobretudo conheci pessoas fantásticas que contribuíram para este enriquecimento.

Assim quero desde já agradecer, e primeiramente, à Prof.^a Doutora Ana Paula Gomes por todo o apoio prestado, pela dedicação, pelos conselhos, ajuda, partilha de conhecimentos e sobretudo pela disponibilidade que sempre apresentou apesar dos inúmeros projetos.

Ao Prof. Doutor José Figueiredo da Silva e ao Prof. Doutor Luís António da Cruz Tarelho por toda a disponibilidade, orientação e ajuda prestada.

Às técnicas do laboratório do Departamento de Ambiente e Ordenamento pela ajuda e disponibilidade apresentada ao longo do trabalho experimental, sobretudo à Eng.^a Maria Manuela Portela Marques pelo tempo dispensado na espectrofotometria de absorção e emissão atómica.

Ao grupo Portucel Soporcel pelo apoio e incentivo a esta dissertação, especialmente ao Eng.^o Pedro Sarmento um obrigado pela disponibilidade e ajuda.

Aos meus colegas e amigos que tive o prazer de conhecer, em especial aqueles que humildemente partilharam o seu conhecimento, fizeram-me crescer e aprender, um obrigado pelo companheirismo que nunca irei esquecer. E aos outros que sempre estiveram e estarão comigo, um obrigado pela paciência, pelo apoio, e pela amizade à distância.

E finalmente à minha família que sem ela nada disto seria possível, obrigada por me apoiarem mais uma vez na luta por um sonho, pela compreensão e amor.

Palavras-chave

Biomassa, Cinzas, Leito Fluidizado, Mobilização de elementos químicos, Pavimentação.

Resumo

O volume da cinza de biomassa está a aumentar por todo o mundo, bem como o seu custo de deposição, tornando-se cada vez mais premente a sua gestão sustentável. Em Portugal, a solução principal na gestão destas cinzas tem sido a deposição em aterro, não se valorizando este resíduo. Há contudo um desperdício da cinza de biomassa, pois tem um elevado valor em nutrientes e apresenta propriedades físico-químicas que lhes conferem diversas qualidades, podendo ser utilizadas como material secundário no solo agrícola, no solo florestal ou na construção. Uma das alternativas estudadas tem sido a utilização desta cinza na pavimentação pelo fato de apresentarem elevadas quantidades de areia na sua composição.

No presente trabalho o objetivo principal consiste em quantificar a mobilização de elementos químicos para o solo e para a água, em contacto com um terreno pavimento com cinzas de fundo, originárias de caldeiras de leito fluidizado, alimentadas com resíduos florestais nas unidades de produção de pasta para papel.

Com o trabalho experimental realizado concluiu-se que houve transferência de Na da cinza para o solo e de Na, Mg, Fe e Mn, do solo para a água que percola no solo. Paralelamente foi observando um aumento do pH e da condutividade no solo, um incremento na concentração de elementos químicos na água de percolação em relação ao controlo e aumento da massa de elementos solúveis na cinza. Também se verificou que a abundância de Fe, Pb, Cu, Ni, Cr e Zn no solo do terreno onde se procedeu à realização dos testes já era mais abundante no solo do que nas cinzas de fundo aplicadas. A concentração dos elementos Mn e Fe ultrapassou os limites legais admissíveis na água para produção de água para consumo humano. Quanto aos metais pesados, Cr, Cu, Cd, Ni, Pb e Zn, após a análise e comparação com os regulamentos existentes em Portugal conclui-se que os valores obtidos para a cinza e para o solo em todos os talhões se encontram abaixo dos valores paramétricos existentes.

Keywords

Biomass, Ashes, Fluidized Bed, Mobilization of chemicals elements, Paving.

Abstract

The volume of ash originating from biomass is increasing worldwide, as well as its disposal cost, thus requiring an urgent sustainable ash management measure. In Portugal, the principal solution to managing this ash has been the disposal in landfills, not profiting this residue. However, biomass ash can be valued, due to the high nutrients value and because displays physicochemical properties which gives to this material several qualities. This ash can be used as a raw material for fertilizing soil, improving measures on agricultural and forest land and in construction. One of the alternatives studied has been the use of biomass ash in paving due to its high concentration of sand in the ash composition. in the concentration of chemical elements in percolating water

In this study the main purpose was to quantify the mobilization of ash's chemicals elements into the soil and water in contact with the paved ground, with bottom ash originating from fluidized bed boilers, fed with biomass residues in the paper pulp industry. .

From the experimental work it was concluded that there was mobilization of Na ash into soil. Also Na, Mg, Fe and Mn, of soil to the water wich percolates the stated soil. At the same time, it was observed an increase of pH and conductivity in the soil, an increment in the concentrations of chemicals present in percolating water comparing to standard values and an increase in the mass of soluble ash elements. It was also found that the concentrations of Fe, Pb, Cu, Ni, Cr e Zn in the soil of where the tests were conducted, were higher in soil than in the bottom ash applied. The concentration of Mn and Fe elements exceeded the allowable legal standards in water to produce drinking water for human consumption. After analysis and comparison with the legal standards in Portugal, heavy metals, Cr, Cu, Cd. Ni, Pb and Zn, it was concluded that the values obtained for the ash and soil in all samples are below these standards.

Índice

Índice.....	i
Índice de figuras.....	iv
Índice de tabelas.....	vii
Lista de abreviatura.....	x
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivo da Investigação.....	3
1.2 Metodologia da investigação	3
1.3 Enquadramento legal.....	3
1.4 Organização da tese.....	8
2 Combustão da biomassa florestal	11
2.1 Propriedades da biomassa florestal	11
2.2 Tecnologia de conversão da biomassa florestal (Combustão).....	13
2.2.1 Combustão direta	14
2.2.1.1 Sistemas em grelha.....	14
2.2.1.2 Sistema em leito fluidizado.....	15
2.3 Propriedades das cinzas da biomassa florestal (Combustão)	17
2.3.1 Propriedades físicas	18
2.3.2 Composição química	18
2.3.3 Composição mineral.....	20
3 Gestão das cinzas de biomassa	21
3.1 Métodos de valorização das cinzas de biomassa	21
3.1.1 Utilização das cinzas de biomassa na agricultura e floresta.....	21
3.1.2 Utilização das cinzas de biomassa no paisagismo	22
3.1.3 Utilização das cinzas de biomassa no controlo da poluição	23
3.1.4 Utilização das cinzas de biomassa em processos industriais.....	23
3.1.5 Utilização das cinzas de biomassa na construção de estradas.....	23
3.2 Utilização das cinzas na pavimentação.....	24
3.2.1 Estudos e impactes ambientais das cinzas na pavimentação	24
3.2.2 O processo de lixiviação e o uso de lisímetros	27
4 Trabalho experimental.....	29
4.1 Trabalho de campo	29
4.1.1 Local de estudo	29
4.1.2 Metodologia	30

4.1.3	Amostragem de solos e cinzas.....	31
4.1.3.1	Amostragem inicial do solo e da cinza de fundo	31
4.1.3.2	Preparação do terreno piloto	31
4.1.3.3	Método de recolha do solo e da cinza de fundo.....	32
4.1.4	Amostragem das águas de percolação e água de escorrência superficial.....	33
4.1.4.1	Amostragem inicial da água de percolação e de escorrência.....	33
4.1.4.2	Método de recolha da água de percolação e de escorrência superficial	33
4.1.5	Dados de precipitação diária, em Abril, Maio e Junho	35
4.2	Trabalho Laboratorial	37
4.2.1	Parâmetros analisados	37
4.2.2	Procedimentos analíticos para o solo e para a cinza	37
4.2.2.1	Preparação das amostras	37
4.2.2.2	Determinação da fração de humidade no solo e na cinza de fundo	38
4.2.2.3	Determinação da matéria orgânica	38
4.2.2.4	Determinação do pH.....	38
4.2.2.5	Determinação da condutividade elétrica	39
4.2.2.6	Digestão em água régia	39
4.2.2.7	Extração aquosa.....	40
4.2.2.8	Determinação dos elementos químicos por espectroscopia.....	40
4.2.3	Procedimentos analíticos para água de escorrência superficial e de percolação ...	41
4.2.3.1	Determinação do pH e da condutividade elétrica.....	41
4.2.3.2	Determinação de elementos e compostos químicos.....	41
5	Resultados.....	43
5.1	Caraterização inicial.....	43
5.1.1	Terreno do parque de madeiras	43
5.1.1.1	Condutividade elétrica e pH	43
5.1.1.2	Matéria orgânica e humidade	44
5.1.1.3	Elementos químicos	44
5.1.2	Cinza de fundo de biomassa	45
5.1.2.1	Condutividade elétrica e pH	45
5.1.2.2	Matéria orgânica e humidade	46
5.1.2.3	Elementos químicos em digestão de água régia e extração com solução aquosa	46
5.1.3	Caraterização da água de percolação e da água de escorrência superficial	48
5.1.3.1	Condutividade e pH	48
5.1.3.2	Elementos químicos	48

5.2	Testes experimentais aplicados no parque de madeiras.....	50
5.2.1	Caracterização do solo e das cinzas de fundo durante o ensaio experimental.....	50
5.2.1.1	pH e condutividade.....	50
5.2.1.2	Matéria orgânica e humidade.....	56
5.2.1.3	Orgânicos Halogenados.....	57
5.2.1.4	Cloretos.....	57
5.2.1.5	Elementos químicos.....	57
5.2.2	Caraterização da água de percolação dos lisímetros e da água de escorrência superficial ao longo do ensaio experimental.....	76
	pH e condutividade.....	76
5.2.2.1	Orgânico Halogenados.....	79
5.2.2.2	Cloretos.....	79
5.2.2.3	Elementos químicos.....	79
6	Conclusões.....	87
	Referências.....	91
	Bibliografia.....	91
	Documentos legais.....	94
	Consulta eletrónica.....	94
	Anexo - Resultados dos elementos químicos analisados, em todos os talhões.....	95

Índice de figuras

Figura 1- Esquema representativo de um sistema de combustão em grelha (ABTCP-PATTI, 2010) referência.....	14
Figura 2- Leito fluidizado circulante (A) e o Leito fluidizado borbulhante (B) (adaptado (Khan et al., 2008)).	16
Figura 3- Estrutura típica de um pavimento (Lam et al., 2010).	24
Figura 4- Transporte e as principais vias de exposição à inalação e à ingestão dos elementos constituintes das cinzas de fundo utilizadas em pavimentos, adaptado (Shih and Ma, 2011). 24	
Figura 5- Localização geográfica do local de amostragem (http://www.bing.com/maps/).	30
Figura 6- Os quatro talhões definidos para o caso de estudo.	31
Figura 7- Configuração da delimitação de um talhão na amostragem em estudo e as suas subsecções.....	32
Figura 8- Processo de recolha de amostras de cinza e solo.	33
Figura 9- Lisímetro adaptado ao caso de estudo.....	34
Figura 10- Colocação das cinzas de fundo sobre o lisímetro, fotografia correspondente ao Talhão 4.	34
Figura 11- Montagem das bombas centrífuga e peristáltica em paralelo para captura da água de percolação.	34
Figura 12- Manga e recipiente de recolha da água de escorrência superficial.	35
Figura 13- Precipitação diária para o mês de Abril, no campus Universitário de Aveiro.	36
Figura 14- Precipitação diária para o mês de Maio, no campus Universitário de Aveiro.....	36
Figura 15- Precipitação diária para o mês de Junho, no campus Universitário de Aveiro.....	36
Figura 16- Resultados obtidos da condutividade e do pH na caraterização das cinzas de fundo, para as 4 subsecções do Talhão 2, durante os 3 meses do ensaio experimental.	51
Figura 17- Resultados obtidos da condutividade e do pH por extração aquosa nas cinzas de fundo, para as 4 subsecções do Talhão 2, durante os 3 meses do ensaio experimental.....	51
Figura 18- Resultados obtidos da condutividade e do pH na caraterização das cinzas de fundo, para as 3 subsecções do Talhão 3, durante os 3 meses do ensaio experimental.	52
Figura 19- Resultados obtidos da condutividade e do pH por extração aquosa nas cinzas de fundo, para as 3 subsecções do Talhão 3, durante os 3 meses do ensaio experimental.....	53
Figura 20- Resultados obtidos do pH e da condutividade na caracterização do sólido no solo para as 3 subsecções do Talhão 3, durante os 3 meses do ensaio experimental.	54
Figura 21- Resultados obtidos do pH e da condutividade na caracterização das cinzas de fundo, para as 3 subsecções do Talhão 4, durante os 3 meses do ensaio experimental.....	55
Figura 22- Resultados obtidos do pH e da condutividade por extração aquosa das cinzas de fundo, para as 3 subsecções do Talhão 4, durante os 3 meses do ensaio experimental.....	55

Figura 23- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, no Talhão 2.	58
Figura 24- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Zn e Ca, em mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por extração aquosa, no Talhão 2.	58
Figura 25- Resultados obtidos da concentração, em mg/kg, de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb nas cinzas de fundo digeridas com água régia, na parcela com 30 cm de espessura e na parcela com 15 cm de espessura, relativamente Talhão 2.	59
Figura 26- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, relativamente ao Talhão 3.	60
Figura 27- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg e Ca, em mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por extração aquosa, relativamente ao Talhão 3.	60
Figura 28- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb nas cinzas de fundo, extraídos digestão em água régia, no Talhão 4.	61
Figura 29- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Zn, Fe e Ca, em mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por extração aquosa, relativamente ao Talhão 4.	61
Figura 30- Resultados obtidos da concentração de Na nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.	62
Figura 31- Comparação dos resultados da concentração de Na entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.	63
Figura 32- Resultados obtidos da concentração de K nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.	64
Figura 33- Comparação dos resultados da concentração de K entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.	64
Figura 34- Resultados obtidos da concentração de Mg nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.	65
Figura 35- Comparação dos resultados da concentração de Mg entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.	65
Figura 36- Resultados obtidos da concentração de Ca nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, referentes ao Talhão 2, 3 e 4.	66
Figura 37- Comparação dos resultados da concentração de Ca, em mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.	67
Figura 38- Resultados obtidos da concentração de Mn, mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia referentes aos Talhões 2, 3 e 4.	68
Figura 39- Comparação dos resultados da concentração de Mn, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.	68
Figura 40- Resultados obtidos da concentração de Fe, g/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes ao Talhão 2, 3 e 4.	69
Figura 41- Comparação dos resultados da concentração de Fe, g/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.	69

Figura 42- Comparação dos resultados da concentração de Zn, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.....	70
Figura 43- Resultados obtidos da concentração de Zn, mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes ao Talhão 2, 3 e 4.....	70
Figura 44- Resultados obtidos da concentração de Ni mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.	71
Figura 45- Comparação dos resultados da concentração de Ni, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.....	71
Figura 46- Resultados obtidos da concentração de Cu, mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.	72
Figura 47- Comparação dos resultados da concentração de Cu, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.....	72
Figura 48- Resultados obtidos da concentração de Cr, mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.	73
Figura 49- Comparação dos resultados da concentração de Cr, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.....	74
Figura 50- Comparação dos resultados da concentração de Pb, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.....	75
Figura 51- Valores obtidos do pH e da condutividade ao longo do ensaio experimental, da água de percolação captada no lisímetro do Talhão 1.....	76
Figura 52- Valores obtidos do pH e da condutividade ao longo do ensaio experimental, da água de percolação captada no lisímetro do Talhão 3.....	77
Figura 53- Valores obtidos do pH e da condutividade ao longo do ensaio experimental, da água de percolação captada no lisímetro do Talhão 4.....	78
Figura 54- Valores obtidos do pH e da condutividade ao longo do ensaio experimental, da água de escorrência superficial.....	79
Figura 55- Resultados obtidos da concentração de Na, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4 e a água de escorrência superficial.	80
Figura 56- Resultados obtidos da concentração de K, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4 e a água de escorrência superficial.	81
Figura 57- Resultados obtidos da concentração de Mg, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4, e água de escorrência superficial.	82
Figura 58- Resultados obtidos da concentração de Ca, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4, e água de escorrência superficial.	83
Figura 59- Resultados obtidos da concentração de Mn, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no talhão 1, 3 e 4, e água de escorrência superficial.	84
Figura 60- Resultados obtidos da concentração de Fe, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no talhão 1, 3 e 4, e água de escorrência superficial.	84

Índice de Tabelas

Tabela 1- Valores limite para os metais pesados e nutrientes presentes nas cinzas de biomassa que são aplicadas na agricultura e floresta na Alemanha, Austria, Dinamarca, Suécia e Finlândia (OBERNBERGER Ingwald, SUPANCIC Klaus, 2009: Possibilities of ash utilisation from biomass combustion plants. Proceedings of the 17th European Biomass Conference & Exhibition, June/July 2009, Hamburg, ETARenewable Energies (Ed.), Italy).....	4
Tabela 2- Valores limite de concentração de metais pesados nas lamas e de quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidos nos solos cultivados (Decreto-Lei nº. 276/2009).	5
Tabela 3- Valores limite de concentração de metais pesados nos solos recetores (Decreto-Lei nº 276/2009).	5
Tabela 4- Valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas destinadas à agricultura (Decreto-Lei nº. 276/2009).	5
Tabela 5- Classificação da qualidade das águas doces destinadas à produção de água para consumo humano. Adaptado do Decreto-Lei nº 236/98.	7
Tabela 6- Valores paramétricos para a água de rega (Decreto-Lei nº 236/98).....	8
Tabela 7- Valores limite de lixiviação nos resíduos admissíveis nos aterros para resíduos inertes e para resíduos não perigosos (Decreto-Lei n.º 183/2009).	8
Tabela 8-Propriedades físicas das cinzas de biomassa segundo Etiégni e Campbell, Naik, Udoeyo e Nurmesniemi.	18
Tabela 9- Valores de alguns metais e pH para as cinzas de biomassa de origem florestal e de construção /demolição em mg/kg (Siddique, 2012).	19
Tabela 10-Resultados de análises às cinzas de biomassa para alguns elementos químicos, segundo Supancic e Obernberger, e Nurmesniemi, em mg/kg.	20
Tabela 11- Os minerais, as fórmulas químicas e a percentagem destes nas cinzas de fundo e volantes (Nurmesniemi et al., 2012).....	20
Tabela 12- Parâmetros analisados.....	37
Tabela 13- Valores do pH e da condutividade do solo do parque de madeiras.....	43
Tabela 14- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente no solo.	44
Tabela 15- Valores dos metais pesados no solo obtidos por digestão em água régia (mg/kg bs). .	44
Tabela 16- Valores de Na, K, Mg, Ca e Fe no solo obtidos por digestão em água régia (mg/kg bs).	45
Tabela 17- Valores da condutividade e pH da cinza caracterização do sólido e da extração aquosa (17de Abril).	46
Tabela 18- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente na cinza (17de Abril).	46

Tabela 19- Valores dos metais pesados obtidos nas cinzas de fundo por digestão em água régia e por extração aquosa (mg/kg bs) a 17 de Abril.....	47
Tabela 20- Valores de Na, K, Mg, Ca e Fe obtidos pela digestão em água régia e por extração aquosa nas cinzas de fundo (mg/kg bs).....	47
Tabela 21- Valores de pH e condutividade iniciais para a água de percolação e para a água de escorrência superficial.....	48
Tabela 22- Valores dos metais pesados obtidos nas águas de percolação e nas águas de escorrência superficial (mg/L).....	49
Tabela 23- Valores de Na, K, Mg, Ca e Fe obtidos nas águas de percolação e nas águas de escorrência superficial (mg/L).....	49
Tabela 24- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente na cinza, referente ao Talhão 2, espessura de 30 cm e de 15 cm. Média das quatro amostras das quatro subsecções.....	56
Tabela 25- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente na cinza, referente ao Talhão 3, espessura de 20 cm no solo sem o <i>tout venant</i> . Média das três amostras das três subsecções.....	56
Tabela 26- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente na cinza, referente ao Talhão 4, espessura de 20 cm no solo com o <i>tout venant</i> . Média das três amostras das três subsecções.....	56
Tabela 27- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente no solo sem o <i>tout venant</i> sob a cinza, referente ao Talhão 3. Médias das três amostras das três subsecções.....	57
Tabela 28- Valores obtidos do elemento sódio no solo e na cinza, digestão em água régia.....	95
Tabela 29- Valores obtidos do elemento sódio no solo e na cinza, extração aquosa.....	97
Tabela 30- Valores obtidos do elemento sódio na água de escorrência superficial e de percolação.....	98
Tabela 31- Valores obtidos do elemento potássio no solo e na cinza, digestão em água régia.....	99
Tabela 32- Valores obtidos do elemento potássio no solo e na cinza, extração aquosa.....	102
Tabela 33- Valores obtidos do elemento potássio na água de escorrência superficial e de percolação.....	103
Tabela 34- Valores obtidos do elemento magnésio no solo e na cinza, digestão em água régia.....	103
Tabela 35- Valores obtidos do elemento magnésio no solo e na cinza, extração aquosa.....	106
Tabela 36- Valores obtidos do elemento magnésio na água de escorrência superficial e de percolação.....	107
Tabela 37- Valores obtidos do elemento cálcio no solo e na cinza, digestão em água régia.....	108
Tabela 38- Valores obtidos do elemento cálcio no solo e na cinza, extração aquosa.....	110
Tabela 39- Valores obtidos do elemento cálcio na água de escorrência superficial e de percolação.....	111
Tabela 40- Valores obtidos do elemento manganês no solo e na cinza, digestão em água régia.....	112

Tabela 41- Valores obtidos do elemento manganês no solo e na cinza, extração aquosa.	114
Tabela 42- Valores obtidos do elemento manganês na água de escorrência superficial e de percolação.	115
Tabela 43- Valores obtidos do elemento ferro no solo e na cinza, digestão em água régia.	116
Tabela 44- Valores obtidos do elemento ferro no solo e na cinza, extração aquosa.	119
Tabela 45- Valores obtidos do elemento ferro na água de escorrência superficial e percolação. .	120
Tabela 46- Valores obtidos do elemento zinco no solo e na cinza, digestão em água régia.	120
Tabela 47- Valores obtidos do elemento zinco no solo e na cinza, extração aquosa.	123
Tabela 48- Valores obtidos do elemento zinco na água de escorrência superficial e de percolação.	124
Tabela 49- Valores obtidos do elemento níquel no solo e na cinza, digestão em água régia.	125
Tabela 50- Valores obtidos do elemento níquel no solo e na cinza, extração aquosa.	127
Tabela 51- Valores obtidos do elemento níquel na água de escorrência superficial e de percolação.	128
Tabela 52- Valores obtidos do elemento cobre no solo e na cinza, digestão em água régia.	129
Tabela 53- Valores obtidos do elemento cobre no solo e na cinza, extração aquosa.	132
Tabela 54- Valores obtidos do elemento cobre na água de escorrência superficial e de percolação.	132
Tabela 55- Valores obtidos do elemento crômio no solo e na cinza, digestão em água régia.	133
Tabela 56- Valores obtidos do elemento crômio no solo e na cinza, extração aquosa.	136
Tabela 57- Valores obtidos do elemento crômio na água de escorrência superficial e de percolação.	137
Tabela 58- Valores obtidos do elemento chumbo no solo e na cinza, digestão em água régia. ...	138
Tabela 59- Valores obtidos do elemento chumbo no solo e na cinza, extração aquosa.	140
Tabela 60- Valores obtidos do elemento chumbo na água de percolação e de escorrência superficial.	141

Lista de Abreviaturas

EN	Normas Europeias
ISO	Normas Internacionais
LFB	Leito Fluidizado Borbulhante
LFC	Leito Fluidizado Circulante
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PACH	Produção de Água para Consumo Humano
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
UE	União Europeia
VMA	Valor Máximo Admissível
VMR	Valor Máximo Recomendado

Acrónimos Símbolos e Compostos Químicos

Al_2O_3	Óxido de Alumínio
As	Arsénio
B	Boro
Ba	Bário
Ca	Cálcio
CaO	Óxido de Cálcio
Cd	Cádmio
Cl	Cloro
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
Cr	Crómio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
HAP	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
HC	Hidrocarbonetos
Hg	Mercúrio
K	Potássio
LAS	Alquilo Benzenossulfonatos Lineares
Mg	Magnésio

MgO	Óxido de Magnésio
Mo	Molibdénio
Na	Sódio
Ni	Níquel
NO _x	Óxidos de azoto
NPE	Nonilfenóis e Nonilfenóis Etoxilados
P	Fósforo
Pb	Chumbo
PCB	Compostos Bifenílicos Policlorados
PCDD	Policlorodibenzodioxinas ou Dibenzo-p-dioxinas policloradas
PCDF	Policlorodibenzofuranos ou Dibenzo-p-furanos policlorados
S	Enxofre
Sb	Antimónio
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
Se	Selénio
SO ₄	Sulfato
SO _x	Óxidos de enxofre
Tl	Tálio
V	Vanádio
Zn	Zinco

Nomenclatura

bs	Componentes em base seca	
W _{wH}	Teor de humidade	[%]
m ₁	Massa do recipiente	[g]
m ₂	Massa do recipiente+ amostra H antes da estufa	[g]
m ₃	Massa do recipiente + amostra H depois da estufa	[g]
m ₄	Massa do cadinho	[g]
m ₅	Massa do cadinho + amostra depois da estufa a 105 °C	[g]
m ₆	Massa do cadinho + amostra depois da mufla a 600 °C	[g]
σ	Desvio padrão	[-]
Cv	Coefficiente de variação	[%]

1 Introdução

Os combustíveis fósseis são finitos e a sua utilização contribui de uma forma preocupante para o aumento das alterações climáticas, dando origem a emissões para a atmosfera de óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de azoto (NO_x), hidrocarbonetos (HC), partículas e ainda as emissões de dióxido de carbono (CO₂), entre outros poluentes, que têm conduzido à degradação contínua da qualidade da atmosfera.

A diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril de 2009, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis veio estabelecer a meta dos 20% de energia renovável no consumo final de energia em 2020. Para tal, foram adotadas medidas destinadas a promover as fontes de energia renováveis e a desenvolver o mercado dessas energias, nomeadamente nos setores da biomassa e dos biocombustíveis. No que respeita à biomassa, a UE (União Europeia) sugere que os Estados Membros devem promover tecnologias de conversão que atinjam uma eficiência de conversão de pelo menos 85 %, para as aplicações residenciais e comerciais e de pelo menos 70 %, para as aplicações industriais (Pinto, 2011).

Portugal é um país que não dispõe de recursos energéticos não renováveis. Porém, tem um elevado potencial relativamente aos recursos energéticos renováveis devido à sua localização, características e recursos naturais. Apostando no aumento das energias renováveis, nomeadamente na energia hídrica, solar, eólica, geotérmica, das ondas e do mar e na biomassa reduz a dependência energética do exterior, bem como a emissão de gases de efeito de estufa (Ahmaruzzaman, 2010).

A combustão da biomassa para produção de energia térmica e elétrica tem crescido em Portugal, existindo diversas unidades de cogeração e unidades exclusivas de produção de energia elétrica, devido ao incentivo à utilização deste recurso renovável, à sua disponibilidade, por apresentar um balanço nulo em emissões de dióxido de carbono (isto é, a biomassa absorve durante o seu crescimento quantidades de dióxido de carbono iguais às que liberta durante a queima), e por estimular a limpeza das florestas levando à redução dos incêndios. No entanto, apesar das vantagens inerentes à utilização deste recurso energético renovável, este tem a desvantagem de gerar grandes quantidades de um produto residual denominado de cinza.

São geradas pela cinza na combustão da biomassa, nomeadamente em processos de combustão em leito fluidizado, sendo classificada em dois tipos:

- i) As cinzas de fundo (*bottom ash*) que são as recolhidas na câmara de combustão.
- ii) As cinzas volantes (*fly ash*) que são as recolhidas em diversos equipamentos de despoeiramento de gases de combustão.

Na indústria de produção de pasta para papel, do grupo Portucel Soporcel, as centrais termoelétricas e de cogeração a biomassa, que juntamente com outras fontes de geração de energia a partir de recursos renováveis, já contribuem para o balanço energético nacional com 51% da energia verde (emissão neutra de CO₂) produzida no País. Alguns dos resíduos gerados nesta indústria de pasta para papel são as lamas primárias e secundárias, *grits* e *dregs* e as cinzas volantes e cinzas fundo, que representam uma quantidade anual significativa.

O volume destas cinzas está a aumentar em todo o mundo, bem como o seu custo de armazenagem sendo necessária uma gestão sustentável deste produto residual. Não havendo suficientes soluções para a gestão das cinzas, o seu destino final tem sido principalmente a deposição em aterros a um custo elevado. Há assim um desperdício deste resíduo pois tem um elevado valor de nutrientes e propriedades físico-químicas que lhe conferem qualidades, podendo ser utilizado na agricultura visto ter uma concentração relativamente elevada de elementos minerais como o potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e ferro (Fe), nas florestas ou na construção como componente de mistura das argamassas e cimento (Coelho, 2010).

Apesar da valorização das cinzas de biomassa florestal ser realizada desde 1935 na Finlândia a relação entre as cinzas e o solo é ainda uma área incompleta e em estudo (Pitman, 2006).

Uma das alternativas que tem vindo a ser alvo de investigação é a utilização das cinzas da biomassa florestal na construção civil, nomeadamente na pavimentação, pelo facto de apresentarem elevadas quantidades de areias na sua constituição.

Estudos realizados pela OCDE/ IEA 2003, projetaram que a produção mundial de cimento em 2030 irá crescer a um nível cinco vezes maior do que o seu nível em 1995, sobretudo em países em desenvolvimento. Do ponto de vista económico e ambiental a utilização de cinzas provenientes da biomassa florestal na indústria cimenteira trará benefícios.

Todos os métodos de valorização, quer seja pela aplicação de cinzas no solo, ou na construção, entre outros, podem apresentar possíveis problemas ambientais que devem ser analisados e avaliados. Existem, porém, fatores limitantes na utilização das cinzas, uma vez que não existe legislação específica para estas, não havendo valores limites aplicáveis. Há assim a necessidade de se implementar e desenvolver métodos de avaliação para cada caso específico, pois pode ocorrer a mobilização de elementos químicos que se encontram nas cinzas para o solo, para a água ou para a atmosfera.

1.1 Objetivo da Investigação

O trabalho em estudo tem como objetivo principal quantificar a mobilização de elementos químicos para o solo e para a água, em contacto com um terreno pavimentado com cinzas de fundo, provenientes de caldeiras de leito fluidizado, alimentadas com resíduos florestais nas unidades industriais de produção de pasta para papel.

1.2 Metodologia da investigação

Foi caracterizado inicialmente o terreno industrial utilizado no trabalho experimental, como o efeito da incorporação de cinzas de fundo de biomassa no terreno de forma a ser possível monitorizar ao longo do tempo os seguintes parâmetros:

- Características químicas da cinza de fundo;
- Características químicas do solo sob a areia;
- Água de percolação captada em lisímetros;
- Água de escorrência superficial captada num recipiente de plástico utilizado para o efeito.

Pode-se assim avaliar o potencial de impacto ambiental das cinzas de fundo de biomassa na pavimentação de terrenos.

1.3 Enquadramento legal

Atualmente, as cinzas de biomassa produzidas em centrais termoelétricas ou de cogeração, em Portugal, são maioritariamente reencaminhadas para eliminação em aterro, muitas vezes sem controlo. Segundo o Decreto-Lei nº. 73/2011, de 17 de Junho, que estabelece a hierarquia de gestão de resíduos, define-se que a eliminação definitiva é a última opção, só quando não existem soluções técnicas ou economicamente viáveis de prevenção, reutilização, reciclagem ou outras formas de valorização.

É necessário assim criar um sistema de gestão sustentável das cinzas, valorizando ou devolvendo aos solos os produtos resultantes da combustão de biomassa. Uma das opções de valorização mais recorrente é a utilização das cinzas nos solos, pois estas possuem propriedades nutritivas capazes de melhorar a sua qualidade e produtividade, outras opções são a utilização destas cinzas nos solos agrícolas, florestais e na indústria da construção (Oberberger e Supancic, 2009).

No entanto, é de salientar que as cinzas de biomassa têm um fator limitante uma vez que apresentam metais pesados na sua constituição, sendo necessário, a existência de legislação que imponha valores limite e que especifique em que termos se pode aplicar. Há assim, como referido

anteriormente, uma lacuna na legislação sobre as cinzas de biomassa. Na União Europeia ainda não existe legislação específica que regule a valorização destas, sendo a cinza que é produzida através da combustão de biomassa primordialmente considerada como resíduo e não como matéria-prima secundária. Alguns países como a Alemanha, Dinamarca, Suécia, Finlândia e Áustria estabeleceram valores limites/mínimos específicos para o seu país, em relação aos metais pesados e nutrientes presentes nas cinzas de biomassa que são aplicados na agricultura ou floresta.

Os valores máximos para os metais pesados e os valores mínimos de alguns nutrientes presentes nas cinzas de biomassa dos países mencionados anteriormente são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores limite para os metais pesados e nutrientes presentes nas cinzas de biomassa que são aplicadas na agricultura e floresta na Alemanha, Austria, Dinamarca, Suécia e Finlândia (OBERNBERGER Ingwald, SUPANCIC Klaus, 2009: Possibilities of ash utilisation from biomass combustion plants. Proceedings of the 17th European Biomass Conference & Exhibition, June/July 2009, Hamburg, ETARenewable Energies (Ed.), Italy).

Nota: Alemanha: apenas as cinzas de fundo são utilizadas como fertilizantes. Dinamarca: o Cd da esquerda representa o limite para as cinzas de palha/ o Cd da direita representa o valor limite para as cinzas de madeira; o limite para o Ni é 30 mg/kg, entre os 30 e os 60 mg/kg pode levar à redução da quantidade de cinzas aplicadas. Suécia: os valores limite são unicamente válidos para os solos florestais. Finlândia: os valores à esquerda são específicos para os solos agrícolas/ os valores à direita são específicos para os solos florestais.

	Alemanha	Áustria	Dinamarca	Suécia	Finlândia	Finlândia ¹
Nutrientes g/kg (min.)						
Ca (Cálcio)				125	80/60	
K (Potássio)				30	K+P 20/10	
Mg (Magnésio)				15		
P (Fósforo)				7	K+P 20/10	
Zn (Zinco)				0,5		
Metais Pesado mg/kg (max.)						
As (Arsénio)	40	20		30	25/30	40
B (Boro)				800		
Cd (Cádmio)	1,5	8	5/15	30	1,5/17,5	25
Cr total (Crómio Total)		250	100	100	300	300
Cu (Cobre)	70	250		400	600/700	700
Hg (Mercúrio)	1		0,8	3	1	1
Ni (Níquel)	80	100	30/60	70	100/150	150
Pb (Chumbo)	150	100	120	300	100/150	150
Tl (Tálio)	1					
V (Vanádio)		100		70		
Zn (Zinco)	1000	1500		7000	4500	4500

Em Portugal, o Decreto-Lei nº. 276/2009, de 2 de Outubro, que define os critérios de utilização de lamas de depuração em solos agrícolas pode ser aplicado a cinzas, uma vez que ainda não existe

¹ Valor limite depois do dia 13.09.2011 para a Finlândia (NURMESNIEMI, H., MANSKIENEN, K., R, P. & O.DAHL 2012. Forest fertilizer properties of the bottom ash and fly ash from a large-sized (115 MW) industrial power plant incinerating wood-based biomass residues. *University of Chemical Technological and Metallurgy*, 47, 43-52.)

legislação específica para estas. Este Decreto-Lei estabelece os valores limite nas lamas e a quantidade de metais pesados que podem ser anualmente utilizados em solos cultivados.

Na Tabela 2 é verificável que os valores limite de concentração de metais pesados nas lamas e de quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidos nos solos cultivados, com base numa média de 10 anos.

Tabela 2- Valores limite de concentração de metais pesados nas lamas e de quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidos nos solos cultivados (Decreto-Lei nº. 276/2009).

Parâmetro	Valores limite na lama (mg/kg de matéria seca)	Valores limite de quantidade introduzida (kg/ha/ano)
Cd	20	0,15
Cr	1000	4,5
Cu	1000	12
Hg	16	0,1
Ni	300	3
Pb	750	15
Zn	2500	30

Na Tabela 3 apresentam-se os valores limite de concentração de metais pesados nos solos recetores, em função do pH.

Tabela 3- Valores limite de concentração de metais pesados nos solos recetores (Decreto-Lei nº 276/2009).

Parâmetro	Valores limite (mg/kg bs)		
	pH ≤5	5,5 ≤ pH ≤ 7	pH > 7
Cd	1	3	4
Cr	50	200	300
Cu	50	100	200
Hg	1	1,5	2
Ni	30	75	110
Pb	50	300	450
Zn	150	300	450

Em seguida na Tabela 4 observa-se os valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas destinadas à agricultura.

Tabela 4- Valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas destinadas à agricultura (Decreto-Lei nº. 276/2009).

Compostos Orgânicos	Valores Limite (matéria seca)
LAS (Alquilo Benzenossulfonatos Lineares)	5000 mg/kg
NPE (Nonilfenóis e Nonilfenóis Etoxilados)	450 mg/kg
HAP (Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos)	6 mg/kg
PCB (Compostos Bifenilos Policlorados)	0,8mg/kg
PCDD (Policlorodibenzodioxinas)	100 ng TEQ /kg
PCDF (Furanos)	

Uma vez que, a água de percolação através de cinzas depositadas no solo, se pode infiltrar até aos lençóis freáticos, podendo posteriormente vir a ser captada, é importante a análise das características

dessa água de percolação, sendo necessário a comparação com os valores estabelecidos para efeitos de controlo da qualidade da água, presentes no Decreto-Lei nº 236/98. Este diploma “estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos”.

Uma das utilizações da água mais exigentes, em termos de qualidade, diz respeito à água para consumo humano. Na Tabela 5, apresenta-se o Anexo I e o Anexo II do Decreto-Lei nº 236/98, com a qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano (PACH) e sua classificação nas categorias A1, A2 e A3. “Considerar-se-ão aptas para poderem ser utilizadas como origem de água para a produção de água para consumo humano as águas subterrâneas que apresentem qualidade superior ou igual à da categoria A1 das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano (anexo I), correspondendo-lhes o esquema de tratamento indicado no anexo II para aquela categoria de águas, com as devidas adaptações.”

Também é vantajoso analisar os valores limite para as águas que se destinam à rega, uma vez que a água depois de analisada pode ser imprópria para consumo humano, mas pode ser utilizada para cumprir esta finalidade, ou seja, como água de rega. O Decreto-Lei nº 236/98, Estabelece os critérios e normas de qualidade das águas de rega que visam proteger a saúde pública, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, as culturas que podem ser afetadas pela má qualidade das águas de rega e os solos cuja aptidão para a agricultura pode ser degradada pelo uso sistemático de águas de rega de má qualidade. Na Tabela 6 são apresentados os valores máximos admissíveis para alguns parâmetros de interesse no presente estudo.

Os limites de lixiviação dos resíduos conforme a classe de aterro e a origem do resíduo encontram-se legislados no Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, na Tabela 7 é possível verificar os valores limite de lixiviação nos resíduos admissíveis nos aterros para os resíduos inertes e para os resíduos não perigosos.

Tabela 5- Classificação da qualidade das águas doces destinadas à produção de água para consumo humano. Adaptado do Decreto-Lei nº 236/98.

ANEXO I							
Qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano							
Parâmetros	Expressão dos resultados	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
<i>pH</i> , 25°C	Escala de Sorensen	6,5-8,5	-	5,5-9,0	-	5,5-9,0	-
Cor (após filtração simples)	mg/l, escala Pt-Co	10	(O) 20	50	(O) 100	50	(O) 200
Sólidos suspensos totais	mg/l	25	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	22	(O) 25	22	(O) 25	22	(O) 25
Condutividade	µS/cm, 20°C	1 000	-	1 000	-	1 000	-
Cheiro	Factor de diluição, a 25°C	3	-	10	-	20	-
Nitratos (*)	mg/l NO ₃	25	(O) 50	-	(O) 50	-	(O) 50
Fluoretos (1)	mg/l F	0,7-1,0	1,5	0,7-1,7	-	0,7-1,7	-
Cloro orgânico total extraível	mg/l Cl	-	-	-	-	-	-
Ferro dissolvido (*)	mg/l Fe	0,1	0,3	1,0	2,0	1,0	-
Manganês (*)	mg/l Mn	0,05	-	0,10	-	1,00	-
Cobre	mg/l Cu	0,02	(O) 0,05	0,05	-	1,00	-
Zinco	mg/l Zn	0,5	3,0	1,0	5,0	1,0	5,0
Boro	mg/l B	1,0	-	1,0	-	1,0	-
Berílio	mg/l Be	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/l Co	-	-	-	-	-	-
Níquel	mg/l Ni	-	-	-	-	-	-
Vanádio	mg/l V	-	-	-	-	-	-
Arsénio	mg/l As	0,01	0,05	-	0,05	0,05	0,10
Cádmio	mg/l Cd	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Crómio total	mg/l Cr	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Chumbo	mg/l Pb	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Selénio	mg/l Se	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Merúrio	mg/l Hg	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010
Bário	mg/l Ba	-	0,1	-	1,0	-	1,0
Cianetos	mg/l CN	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Sulfatos	mg/l SO ₄	150	250	150	(O) 250	150	(O) 250
Cloretos	mg/l Cl	200	-	200	-	200	-
Substâncias tensoactivas (que reagem com o azul-de-metileno).	mg/l, sulfato de lauril e sódio	0,2	-	0,2	-	0,5	-
Fosfatos (*) (2)	mg/l P ₂ O ₅	0,4	-	0,7	-	0,7	-
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	-	0,001	0,001	0,005	0,010	0,100
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados	mg/l	-	0,05	-	0,20	0,50	1,00
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	µg/l	-	0,2	-	0,2	-	1,0
Pesticidas totais (paratião, hexaclorociclo-hexano, dieldrina e outros).	µg/l	-	1,0	-	2,5	-	5,0
Carência química de oxigénio (CQO) (*)	mg/l O ₂	-	-	-	-	30	-
Oxigénio dissolvido (*) (3)	% saturação de O ₂	70	-	50	-	30	-
Carência bioquímica de oxigénio a (CBO ₅ , 20°C) (*)	mg/l O ₂	3	-	5	-	7	-
Azoto Kjeldahl (excluindo o azoto de NO ₂ e NO ₃)	mg/l N	1	-	2	-	3	-
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	0,05	-	1,00	1,50	2,00	(O) 4,00
Substâncias extraíveis com clorofórmio	mg/l	0,1	-	0,2	-	0,5	-
Carbono orgânico total (COT)	mg/l C	-	-	-	-	-	-
Carbono orgânico residual após floculação e filtração através de membrana (5µm).	mg/l C	-	-	-	-	-	-
Coliformes totais	/100 ml	50	-	5 000	-	50 000	-
Coliformes fecais	/100 ml	20	-	2 000	-	20 000	-
Estreptococos fecais	/100 ml	20	-	1 000	-	10 000	-
Salmonelas		Ausência em 5 000 ml	-	Ausência em 1 000 ml	-	-	-

(O) Os limites podem ser excedidos em caso de condições geográficas ou meteorológicas excepcionais (n.º 1 do artigo 10.º).

(*) Os limites podem ser excedidos para os parâmetros marcados com * em lagos de pouca profundidade e baixa taxa de renovação.

(1) Os valores indicados constituem os limites inferior e superior das concentrações, determinados em função da média anual das temperaturas máximas diárias.

(2) Este parâmetro é incluído para satisfazer as exigências ecológicas de certos meios.

(3) Refere-se a um VmR.

VMR — valor máximo recomendado.

VMA — valor máximo admissível.

ANEXO II

Esquemas tipo de tratamento referentes às classes A1, A2 e A3 das águas superficiais

Classe A1 — tratamento físico e desinfecção.

Classe A2 — tratamento físico e químico e desinfecção.

Classe A3 — tratamento físico, químico de afinação e desinfecção.

Tabela 6- Valores paramétricos para a água de rega (Decreto-Lei nº 236/98)

Parâmetro	Valor máximo admissível	Unidade
pH	4,5 – 9,0	Escala de Sorensen
Condutividade elétrica	1 * 1	dS/m
Cloretos	70 *	mg/l
Cr	20	mg/l
Cu	5	mg/l
Fe	5	mg/l
Mn	10	mg/l
Ni	2	mg/l
Zn	10	mg/l
Pb	20	mg/l

* Valor máximo recomendado. ¹ Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo.

Tabela 7- Valores limite de lixiviação nos resíduos admissíveis nos aterros para resíduos inertes e para resíduos não perigosos (Decreto-Lei n.º 183/2009).

Componente	Aterro para inertes (mg/kg de matéria seca)	Aterro para não perigosos (mg/ kg de matéria seca)
As	0,5	5
Ba	20	100
Cd	0,04	2
Cr total	0,5	20
Cu	2	50
Hg	0,01	0,5
Mo	0,5	10
Ni	0,4	10
Pb	0,5	10
Sb	0,06	0,7
Se	0,1	0,5
Zn	4	50
Cloreto	800	50000
Fluoreto	10	250
Sulfato	1000	20000
Índice de fenol	1	-
COD (Carbono orgânico dissolvido)	500	1000
SDT (Sólidos dissolvidos totais)	4000	60000

1.4 Organização da tese

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. No **presente capítulo** encontra-se o objetivo deste trabalho, a metodologia utilizada bem como a organização em termos de conteúdos.

No **segundo capítulo** é apresentado o estado da arte em relação à combustão da biomassa florestal, propriedades da biomassa florestal, algumas tecnologias de conversão de biomassa florestal (combustão direta) e propriedades das cinzas derivadas da biomassa florestal.

No **terceiro capítulo** é realizada a revisão do estado da arte sobre os métodos de valorização das cinzas de biomassa em particular na pavimentação.

No **quarto capítulo** é descrito todo o trabalho de campo e laboratorial realizado.

No **quinto capítulo** são apresentados, analisados e discutidos os resultados experimentais obtidos.

No **sexto capítulo** são expostas as conclusões principais retiradas da análise aos resultados obtidos, alguns pontos da discussão desses resultados e sugestões que poderão ser utilizadas em trabalhos futuros que incidam no tema desta dissertação.

2 Combustão da biomassa florestal

A biomassa é utilizada desde os tempos ancestrais como fonte de energia. De acordo com o decreto-lei nº 127/2013, de 30 de Agosto, esta é definida como sendo “produtos que consistem, na totalidade ou em parte, numa matéria vegetal proveniente da agricultura ou da silvicultura que pode ser utilizada como combustível para efeitos de recuperação do seu teor energético, bem como os seguintes resíduos quando utilizados como combustível: i) Matéria-prima vegetal resultantes de atividades nos domínios da agricultura e da silvicultura; ii) Resíduos vegetais da indústria de transformação de produtos alimentares, se o calor gerado for recuperado; iii) Resíduos vegetais fibrosos da indústria de pasta virgem e de produção de papel, se forem coincinerados no local de produção e se o calor gerado for recuperado; iv) Matérias-primas de cortiça; v) Resíduos de madeira, com exceção dos que possam conter compostos orgânicos halogenados ou metais pesados resultantes de tratamento com conservantes ou revestimento, incluindo, em especial, resíduos de madeira deste tipo provenientes de obras de construção e demolição.”

2.1 Propriedades da biomassa florestal

A biomassa florestal é constituída essencialmente por três classes de compostos: a celulose, hemicelulose, lenhina, e outros em menores proporções como os lípidos, proteínas, açúcares simples, amido, água, hidrocarbonetos e cinzas (Naik, 1999, Yin et al., 2008).

A biomassa contém carbono (C), hidrogénio (H), oxigénio (O), azoto (N), enxofre (S) e cloro (Cl), bem como os principais elementos que podem formar cinza: Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si e Ti e os que se encontram em minoria: As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Tl, V e Zn (Naik, 1999, Obernberger et al., 2006).

A composição da biomassa natural depende de vários fatores, nomeadamente (McKendry, 2002, Demirbas, 2005, Vassilev et al., 2010) :

- do tipo de biomassa, espécie e parte da planta;
- da idade da planta quando se procede ao corte;
- das condições climatéricas e geográficas às quais a biomassa natural esteve sujeita;
- do tipo de solo, da humidade do solo, balanço de nutrientes e da luz solar;
- da quantidade de fertilizante e pesticidas utilizados;
- da mistura realizada com diferentes tipos de biomassa;
- da época de corte e das técnicas utilizadas no processo de corte, recheia, transporte e armazenamento;
- da contaminação proveniente de todo o processamento da biomassa, como pó e solo;

- da distância a fontes de poluição, como estradas, cidades, fábricas;
- das condições de transporte e armazenamento;
- das quantidades e qualidade de teores de cinzas.

A escolha do processo de conversão depende das propriedades da biomassa, entre essas as que têm uma maior influência durante o processo de combustão são o teor de humidade, o teor em cinzas, o teor em voláteis, a composição elementar e o poder calorífico.

- **Teor de humidade**

O teor de humidade influencia o poder calorífico, a temperatura adiabática de combustão e o tempo de residência necessário na câmara de combustão. Um combustível com percentagens elevadas de humidade necessita de um tempo de residência superior e de uma câmara de combustão maior, para que se dê a secagem do material antes do processo de desvolatilização e combustão do carbonizado, permitindo que se alcancem as temperaturas de combustão desejadas (Loo e Koppejan, 2008). Por sua vez, um maior teor de humidade no combustível reduz o seu poder calorífico, reduzindo também a temperatura adiabática de combustão, aumentando o tempo de residência na câmara de combustão, dificultando a combustão dos produtos da reação que afetam a qualidade da combustão (Demirbas, 2004). Este parâmetro pode variar numa vasta gama entre os 10 e 70 % (Demirbas, 2004), mas para se ter uma combustão autossustentada de biomassa esta deve encontrar-se até 60% - 65% (Coelho, 2010).

- **Teor em cinzas**

O teor em cinzas de um material corresponde à fração inorgânica não combustível: o silício, o alumínio, o titânio, o ferro, o cálcio, o magnésio, o sódio, o potássio, o enxofre e fósforo. Esta é uma característica importante, podendo influenciar os processos de combustão. Pode dar origem ao *slagging*, que é a formação de aglomerados, estes aglomerados formam-se aos metais alcalinos presentes nas cinzas, que fundem e se aglomeram às partículas do leito, levando à redução do rendimento e ao aumento dos custos operacionais dos sistemas de combustão (McKendry, 2002, Khan et al., 2008, Coelho, 2010).

Os combustíveis que apresentem um teor de cinzas baixo são apropriados para a valorização energética, pois o seu processo de combustão, transporte, armazenamento e eliminação das cinzas é simplificado enquanto, que para os teores de cinzas elevados observam-se maiores emissões de partículas havendo necessidade da implementação de técnicas de despoeiramento adequadas (Pinto, 2011).

As cinzas são um parâmetro importante pois possibilitam a deteção de possíveis contaminações da biomassa (Vassilev et al., 2010).

- **Teor de matéria orgânica**

O teor de matéria orgânica influencia o comportamento térmico, este é normalmente elevado nos combustíveis derivados de biomassa. Este teor representa a quantidade de combustível que é libertado para a fase gasosa em resultado da sua decomposição térmica durante o aquecimento até 400°C – 500°C (volatilização), seguida de combustão essencialmente em fase gasosa. Um combustível com elevado teor em matéria orgânica é mais facilmente inflamável apresentando uma combustão rápida e difícil de controlar (Coelho, 2010).

- **Composição elementar**

A biomassa florestal é constituída por três elementos essenciais, o carbono (30 a 60% bs), o oxigénio (30 a 40% bs) e o hidrogénio (5 a 6% bs) (Jenkins et al., 1998). Tal como as propriedades da biomassa, mencionadas anteriormente, que influenciam o comportamento durante o processo de combustão, a composição elementar também o modifica. O carbono e o hidrogénio são oxidados, por reações exotérmicas, dando origem a CO₂ e vapor de água. O oxigénio libertado durante as reações térmicas de combustão pode suprir alguma necessidade de O₂ sendo o restante fornecido através da injeção de ar (Pinto, 2011).

- **Poder calorífico**

O poder calorífico representa o conteúdo em energia química do combustível e está relacionado com a sua composição elementar, sendo influenciado pelo teor em humidade e pelo teor em cinzas. Esta propriedade divide-se em poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). O PCS é dado pela soma da energia libertada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água que se forma numa reação de combustão. O PCI é apenas a energia libertada na forma de calor. Para combustíveis que não contenham hidrogénio na sua composição, o valor de PCS é igual ao do PCI, porque não há a formação de água e não se gasta energia na sua vaporização. (McKendry, 2002, Khan et al., 2008).

2.2 Tecnologia de conversão da biomassa florestal (Combustão)

A biomassa é utilizada para a produção de energia de uma forma sustentável, este recurso apresenta diversas características o que leva também a diferentes tecnologias de conversão, estas podem ser agrupadas em três categorias distintas: conversão termoquímica, conversão bioquímica e conversão físico-química. A tecnologia de conversão mais utilizada é a conversão termoquímica, nomeadamente, pelo processo de combustão contribuindo em cerca de 97 % para a produção de bioenergia no mundo (Demirbas, 2004). As tecnologias mais utilizadas na combustão de biomassa são atualmente a combustão da biomassa em grelha e em leito fluidizado.

2.2.1 Combustão direta

A biomassa sofre um processo de combustão originando a produção de calor ou vapor, que aciona uma turbina de vapor, induzindo o gerador que converte a energia mecânica em energia elétrica. A combustão direta da biomassa envolve a queima total do combustível com excesso de ar dentro de um forno para gerar calor, CO₂, H₂O e cinzas em pequenas quantidades (Lopes, 2010).

2.2.1.1 Sistemas em grelha

A combustão de biomassa em grelha é uma das principais tecnologias utilizadas para produção de calor e eletricidade, operando a temperaturas entre os 850°C e os 1400°C. É também um dos sistemas de combustão indicados para processar combustíveis com dimensões heterogéneas e que apresentem elevados teores de humidades e cinzas. Este sistema apresenta custos de investimento baixos (Quaak et al., 1999, Loo and Koppejan, 2008, Pinto, 2011)).

Este processo quando bem instalado permite uma distribuição homogénea de combustível pela grelha, possibilitando também uma alimentação do ar primário distribuída ao longo da grelha. (Pinto, 2011).

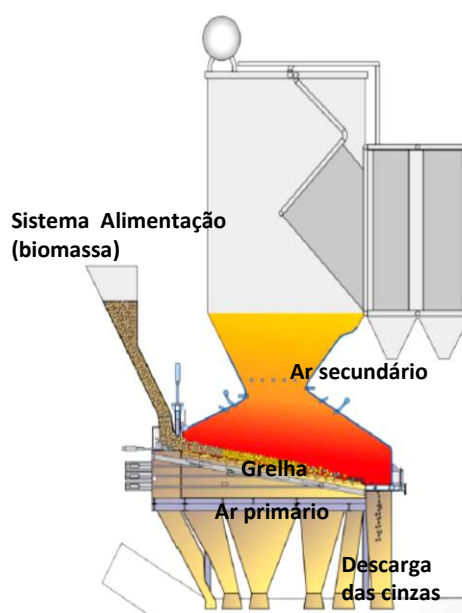


Figura 1- Esquema representativo de um sistema de combustão em grelha (ABTCP-PATTI, 2010) referência.

Existem diversos tipos de sistemas: a grelha estacionária, a grelha recíproca alternada, a grelha recíproca com movimento descendente ou ascendente de barras, a grelha móvel, a grelha vibratória, a grelha de tambor ou a grelha de balanço (Matos, 2012).

Para que estes sistemas funcionem é necessário apresentarem quatro componentes: um sistema de alimentação de combustível, uma grelha, um sistema de alimentação de ar primário e secundário e um sistema de descarga de cinzas (Yin et al., 2008). Este processo pode ser observado na Figura 1.

Neste tipo de tecnologia, o sistema de alimentação do combustível é automático e o fornecimento de combustível é realizado por ação da gravidade.

Primeiramente, e através do movimento da grelha, ocorre uma diminuição do teor de humidade do combustível, de seguida dá-se a ignição e queima do combustível, e por último, ocorre um arrefecimento durante a remoção das cinzas. O ar primário que é fornecido ao sistema é injetado por baixo da grelha e é separado pelas seções permitindo o controlo das quantidades de ar nas diferentes seções da grelha. O ar secundário promove a mistura com os gases que provêm do leito de combustão (Diniz, 2008, Coelho, 2010).

As cinzas que derivam deste processo de combustão vão se depositando no fundo, passando através dos orifícios das grelhas. Quanto mais pequenas forem as partículas mais facilmente passam pela grelha antes de queimadas, aumentando a quantidade de inqueimados nas cinzas de fundo e de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) nos gases de combustão (Coelho, 2010).

2.2.1.2 Sistema em leito fluidizado

Esta tecnologia apresenta diversas vantagens devido à sua flexibilidade em relação ao tipo de combustível utilizado. Neste tipo de sistema são permitidos combustíveis com uma vasta gama de poderes caloríficos, teores em cinzas e humidade, possuindo também um sistema operacional com reduzidos impactes, uma vez que há redução das emissões de poluentes nocivos, como o SO_x e o NO_x (Oberberger e Supancic, 2009, Saidur et al., 2011). As temperaturas deverão se situar entre os 800°C e os 900°C para prevenir a aglomeração e precipitação das cinzas no leito (Leckner, 1998). Este sistema encontra-se também preparado para teores de inertes elevados e para baixos PCI, sendo que é necessária uma trituração do combustível para dimensões inferiores a 1 cm (Bhattacharya, 1998).

O leito fluidizado consiste num reator que possui um fundo perfurado, onde existe um leito quente em suspensão com um material inerte e granular. Neste sistema o ar primário entra na câmara de combustão por baixo (pelo fundo perfurado) fluidificando o leito. A combustão é completa devido à intensa transferência de calor e homogeneização, não sendo necessário grandes quantidades de excesso de ar. O arranque desta tecnologia é morosa havendo períodos de espera de até 15 horas (Loo e Koppejan, 2008).

Os sistemas em leito fluidizado apresentam dois processos diferentes: leito fluidizado circulante (LFC), e leito fluidizado borbulhante (LFB), representado na Figura 2.

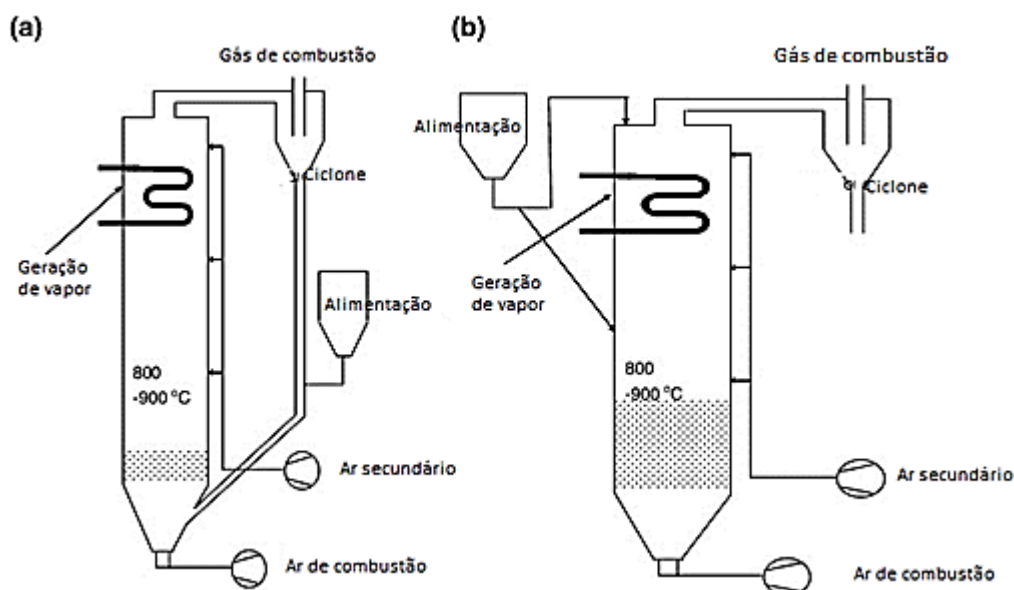


Figura 2- Leito fluidizado circulante (A) e o Leito fluidizado borbulhante (B) (adaptado (Khan et al., 2008)).

O LFC opera com partículas de dimensões entre os 0,2-0,4 mm de diâmetro (necessitando de um despoeirador), a velocidade do gás situa-se entre os 3,7-9 m/s transportando as partículas de combustível e do material do leito na corrente gasosa. Dá-se a separação destas num ciclone sendo, posteriormente, reencaminhadas para à câmara de combustão. Devido à elevada turbulência gerada ocorre uma boa uniformidade da temperatura ao longo do reator, permitindo um bom controlo de todo o processo e dos estágios de ar, havendo também uma manutenção das paredes da câmara de combustão, minimizando-se as perdas de calor (Coelho, 2010, Pinto, 2011).

Por outro lado, no LFB o leito é composto, normalmente, por areia siliciosa com dimensões entre os 0,5 e os 1 mm de diâmetro, que permanece fluidizada no fundo do reator onde o ar primário é injetado. O ar secundário é injetado na zona superior da câmara de combustão (Pinto, 2011). A velocidade do gás, neste sistema, situa-se entre os 1,2-3,7 m/s (Saidur et al., 2011).

Os LFC têm normalmente eficiências de combustão superiores aos LFB devido às elevadas velocidades de fluidização (Leckner, 1998).

As principais vantagens da combustão em leito fluidizado estão relacionadas com a redução do tamanho da caldeira, maior flexibilidade no combustível utilizado, controlo da poluição, baixa erosão e corrosão, fácil remoção das cinzas, menores excessos de ar, operação mais simplificada e apresenta elevada eficiência na produção de energia (Saidur et al., 2011).

As principais desvantagens da combustão em leito fluidizado estão relacionadas com as quantidades de poeiras/partículas finas encontradas no fluxo gasoso, exigindo sistemas de despoeiramento e de limpeza da caldeira eficientes. Existe também o problema da perda de material do leito juntamente com as cinzas, sendo necessária uma adição periódica de material do leito.

No caso em estudo o material analisado (cinza de fundo) foi recolhido de um leito fluidizado borbulhante, sendo esta uma tecnologia de combustão muito utilizada na recuperação de energia nas indústrias de papel e celulose (Dahl et al., 2010).

2.3 Propriedades das cinzas da biomassa florestal (Combustão)

Em qualquer processo de combustão são gerados resíduos, designados de cinzas. A composição destas é influenciada pelo tipo e origem da biomassa utilizada. Na combustão em leito fluidizado são gerados dois tipos de cinzas: as cinzas volantes, que se dividem em grosseiras (partículas maiores que alguns μm) e finas (aerossóis com diâmetro $<1 \mu\text{m}$) e as cinzas de fundo, para além das emissões gasosas que são libertadas (Biedermann e Obernberger, 2005).

As cinzas de fundo são partículas grosseiras recolhidas na grelha ou câmara de combustão primária estas, por norma, encontram-se misturadas com areias, pedras e outras impurezas que a biomassa apresenta, ou no caso de estarem em leito fluidizado estão misturadas com material inerte do próprio leito. (Biedermann e Obernberger, 2005).

Por outro lado, as cinzas volantes são partículas finas que são transportadas para fora da câmara de combustão, podendo ser retidas em equipamentos de despoeiramento que se encontrem a jusante do sistema de combustão. Os elementos que aparecem em maior proporção nestas cinzas são o K, Na, enxofre (S), cloro (Cl) e metais pesados como o Zn e o Mn, entre outros (Biedermann e Obernberger, 2005).

As quantidades de cinzas produzidas na combustão em leito fluidizado são superiores às geradas pela combustão em sistemas por grelha, dado que, não só são retiradas as cinzas de combustão como também é removido o material do leito que se encontra na fornalha. No entanto, a quantidade de cinzas de fundo produzidas em leito fluidizado pode ser menor que em sistemas de combustão por grelha sendo que correspondem a uma percentagem de cerca de 20 a 30%, os restantes 70 a 80% são de cinzas volantes ((Coelho, 2010).

Há assim diferenças nas proporções dos elementos e nos metais pesados entre as cinzas de fundo e volantes (grosseiras e finas). Os metais pesados voláteis como o Zn, Pb e o Cd, bem como o nutriente semi-volátil K apresentam concentrações mais elevadas nas cinzas volantes finas, enquanto os elementos não voláteis como Ca, Mg, Si, encontram-se em concentrações mais elevadas nas cinzas de fundo. Ao facto de a temperatura de combustão em leitos fluidizados ser mais baixa (800-900°C) do que na combustão em sistemas por grelhas (900-1050°C), pode influenciar a distribuição dos elementos nas várias frações de cinzas (van Eijk, 2012).

2.3.1 Propriedades físicas

Na Tabela 8 são apresentadas algumas características das cinzas, como o diâmetro médio, o valor de pH, o teor de humidade médio, a massa específica “bulk” e a densidade relativa verdadeira.

Tabela 8-Propriedades físicas das cinzas de biomassa segundo Etiégni e Campbell, Naik, Udoeyo e Nurmesniemi.

	(L and A. G., 1991) Cinzas de biomassa	(Naik, 1999)	(Naik et al., 2003) Cinzas de biomassa	(Udoeyo et al., 2006) Cinzas de biomassa	(Nurmesniemi et al., 2012) Cinzas fundo Cinzas volantes	
Diâmetro médio (µm)	230	-	-	-	-	-
pH (médio)	9-13,4	-	-	10,48	11,9	12,8
Teor de humidade (média), %	-	13(cinzas volantes) 22(cinzas de fundo)	-	1,81	-	-
Massa específica “bulk”, kg/m ³	-	490 (cinzas volantes) 827 (cinzas de fundo)	600,8	-	-	-
Densidade verdadeira (média)	-	2,48 (cinzas volantes) 1,65 (cinzas de fundo)	-	2,43	-	-

Na Tabela 8 é observável que para as cinzas derivadas de biomassa, segundo Etiégni e Campbell (1991), o diâmetro médio é de 230 µm e o pH se situa entre os 9,0 e os 13,4, e de acordo com Udoeyo et al (2006) estas situam-se em média com valores na ordem dos 10,48. Também desta mesma tabela verifica-se que as cinzas de fundo e volantes apresentam características distintas, as cinzas volantes tem um teor de humidade médio de 13%, e a massa específica “bulk” é de 490 kg/m³, a densidade verdadeira é de 2,48 e o pH médio situa-se nos 12,8. Enquanto, que na cinza de fundo o teor de humidade médio é um pouco mais elevado na ordem dos 22%, a massa específica “bulk” também é mais elevada com valores médios de 827 kg/m³, sendo a densidade verdadeira média mais baixa, de 1,65, por último o pH nas cinzas de fundo decresce para valores médios de 11,9.

2.3.2 Composição química

Para além do tipo de biomassa utilizada como combustível no processo de combustão, as tecnologias de conversão da biomassa utilizadas influenciam na determinação da composição química das cinzas. As cinzas produzidas em leito fluidizado (LFC ou em LFB) contêm grandes quantidades de dióxido de silício (SiO₂), ou também designado de sílica, podendo este o material constituinte do leito. Devido a esta diluição a concentração de outros elementos é mais baixa relativamente aos leitos fixos (van Eijk, 2012).

As cinzas podem conter, carbono inqueimado (5-30%), e outros elementos, tais como, o cálcio (7-33%), o potássio (3-4%), o magnésio (1-2%), o manganês (0,3-1,3%), o fósforo (0,3-1,4%) e o sódio (0,2-0,5%) (Siddique, 2012).

Na Tabela 9 são apresentados alguns valores referentes a alguns metais e valores do pH das cinzas de biomassa.

Tabela 9- Valores de alguns metais e pH para as cinzas de biomassa de origem florestal e de construção /demolição em mg/kg (Siddique, 2012).

METAIS	Biomassa florestal	Biomassa de construção/demolição
Arsénio	42-53	78-98
Alumínio	4000-4500	4900-5800
Bário	220-300	480-590
Cobre	41-46	71-93
Crómio	12-14	34-39
Cádmio	5,5-6,1	7,1-8,1
Manganês	2440-2750	2030-2230
Mercurio	0,05-0,08	0,36-0,52
Ferro	5900-6100	6900-7400
Chumbo	29-35	920-1010
Níquel	6-8	7-10
Prata	0,2-0,4	0,1-0,1
Selénio	0,53-0,64	0,84-0,97
Zinco	380-420	1420-1520
pH	11,31-11,67	10,76-11,12

É verificável que a maioria dos valores obtidos das concentrações dos elementos nas cinzas de biomassa florestal são inferiores aos das cinzas de biomassa de construção e demolição, apenas o manganês e prata apresentam valores ligeiramente superiores. Os valores do pH são ligeiramente mais elevados nas cinzas de biomassa florestal.

Segundo estudos realizados sabe-se que as cinzas de biomassa e o cimento apresentam valores distintos. Os elementos predominantes nas cinzas de biomassa florestal são o Al, Cd, Ca, Fe, Mg, Mn, K, Na, Ti e os elementos principais no cimento são o Al, Ca, Fe, e K. As cinzas de biomassa apresentam quantidades superiores de Mg, Mn, P, Al e Na relativamente ao cimento (Naik e Kraus, 2002).

Na tabela 10 observa-se que os metais pesados se encontram em maioria nos resíduos da combustão em sistemas por grelhas. Nos leitos fluidizados borbulhantes (LFB) é nas cinzas volantes que se verificam as maiores concentrações em metais pesados.

As cinzas de biomassa derivadas de processos industriais são ricas em óxidos de CaO e SiO₂, e grandes quantidades de óxido de alumínio (Al₂O₃) e óxido de magnésio (MgO) (Vamvuka e Kakaras, 2011).

Tabela 10-Resultados de análises às cinzas de biomassa para alguns elementos químicos, segundo Supancic e Obernberger, e Nurmesniemi, em mg/kg.

Metais	(Supancic and Obernberger, 2011)	(Supancic e Obernberger, 2011)	(Nurmesniemi et al., 2012)	
	<u>LFB</u> Cinzas volantes	<u>Grelhas</u> Cinzas volantes grosseiras e fundo	<u>LFB</u> Cinzas fundo	<u>LFB</u> Cinzas volantes
Arsénio	11,35	19,12	<3,00	<3,00
Cádmio	0,58	0,32	0,30	12,00
Chumbo	8,79	7,02	<3,00	33,00
Cobre	17,70	22,40	18,00	100,00
Crómio Total	53,70	64,50		
Mercúrio	<0,25	<0,25	<0,10	<0,10
Níquel	27,90	33,50	16,00	38,00
Zinco	65,00	91,00	720,00	3360,00

As cinzas de biomassa derivadas de processos industriais são ricas em óxidos de CaO e SiO₂, e grandes quantidades de óxido de alumínio (Al₂O₃) e óxido de magnésio (MgO) (Vamvuka e Kakaras, 2011).

2.3.3 Composição mineral

De seguida na Tabela 11 é apresentada a abundância de certos minerais nas cinzas de fundo e nas cinzas volantes.

Tabela 11- Os minerais, as fórmulas químicas e a percentagem destes nas cinzas de fundo e volantes (Nurmesniemi et al., 2012).

Mineral	Fórmula química	Cinzas de Fundo (%)	Cinzas Volantes (%)
Albite	NaAl ₃ O ₈	12,8	28,7
Anidrite	CaSO ₄	-	9,8
Biotite	K(Fe,Mg) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (F,OH) ₂	8,5	-
Calcite	CaCO ₃	-	18,3
Carbonato de cálcio e magnésio	CaMg(CO ₃) ₂	-	9,6
Hematite	Fe ₂ O ₃	-	3,6
Cal	CaO	-	17,1
Microclina	KAlSi ₃ O ₈	44,8	-
Quartzo	SiO ₂	33,9	12,8

Na tabela 11 estão presentes minerais de silicato (albite, biotite, microclina e quartzo) os quais existem nas cinzas de fundo. A albite e o quartzo existem nas cinzas volantes, estas cinzas contêm carbonatos (calcite e carbonato de cálcio e magnésio), óxidos (hematite e cal) e anidrita (sulfato de cálcio). As cinzas de fundo contêm sílica (Nurmesniemi et al., 2012).

3 Gestão das cinzas de biomassa

A tecnologia de conversão de biomassa mais utilizada é a combustão em leito fluidizado, visto ser a melhor tecnologia na queima de combustível de baixa qualidade, alto teor de cinzas, baixo poder calorífico, capacidade de funcionar com diversos combustíveis, operar a baixa temperatura e com baixas emissões (James et al., 2012)

Com a crescente procura de biomassa como recurso energético renovável (bioenergia), o volume de cinzas produzido nas caldeiras de combustão tem tendência a aumentar no futuro. Assim, cada vez mais se tem preocupações relativamente ao armazenamento, eliminação e à utilização e presença de inqueimados de carbono. Uma vez que os custos de transporte e manuseamento irão aumentar, bem como irão diminuir os locais de armazenamento para as cinzas, caso dos aterros, há que valorizar este resíduo.

Aproximadamente 70% das cinzas derivada da biomassa florestal é depositada em aterro, 20 % destas são aplicadas sobre o solo como suplemento e as restantes 10 % são utilizadas em diversas aplicações, como na construção civil, recuperação de metais e controlo da poluição (Siddique, 2012).

3.1 Métodos de valorização das cinzas de biomassa

As cinzas de biomassa têm características diferentes devido à vasta diversidade de biomassa para combustão, não existindo assim uma única solução de aplicação das cinzas. É então essencial a realização de estudos que mostrem que as cinzas volantes e de fundo têm propriedades físicas e químicas que poderão ser valorizadas, identificando-se também claramente as características de cada tipo de cinza para posterior aplicação do método mais correto de gestão.

Com base nas propriedades físicas e químicas das cinzas de biomassa existem diversas possibilidades de utilização destas. As cinzas podem ser utilizadas como material secundário para fertilização e na melhoria dos solos agrícolas e florestais (com aplicação direta ou indireta), na construção de estradas, no paisagismo e em processos industriais (Oberberger e Supancic, 2009).

3.1.1 Utilização das cinzas de biomassa na agricultura e floresta

A utilização sustentável das cinzas de biomassa nos solos agrícolas e florestais tem como objetivo reduzir a utilização de fertilizantes artificiais e fechar o ciclo natural dos minerais.

As cinzas de biomassa, em particular as volantes, atuam eficazmente como agente corretor do solo na neutralização da acidez (efeito de calagem). De acordo com diversos estudos, as cinzas volantes também são melhores do que as cinzas de fundo, como fertilizantes florestais, como agentes que

contêm nutrientes para plantas e como agente de melhoramento do solo. No entanto, como as cinzas volantes têm uma maior quantidade de metais pesados que as cinzas de fundo, podem ultrapassar os limites ambientais aceitáveis, existindo estudos que propõem como uma melhor solução a utilização de mistura de ambas as cinzas (James et al., 2012)

De acordo com as investigações realizadas na Áustria, segundo Obernberger e Supancic (2009), as cinzas de fundo ou a mistura das cinzas de fundo com as cinzas volantes mais grosseiras podem ser utilizadas nos solos agrícolas e florestais, desde que as cinzas produzidas pela combustão da biomassa contenham altos teores de nutrientes e baixas quantidades de metais pesados, devendo ser reintroduzidas no local de onde se extraiu a biomassa. Já as cinzas volantes com elevadas quantidades de metais devem preferencialmente ser utilizadas em processos industriais (como na recuperação de metais)

As cinzas que podem ser utilizadas como fertilizantes e melhoramento do solo são as que derivam da combustão a partir de fontes de biomassa natural. Em países como é o caso da Alemanha, Suécia e Finlândia a utilização das cinzas de biomassa consiste na aplicação destas nos solos florestais. O projeto RecAsh, implementado na Suécia, demonstrou que a aplicação de cinzas previamente tratadas que cumprem limites mínimos de nutrientes e máximos de metais pesados em solos florestais leva a um aumento do crescimento da floresta, bem como uma reciclagem dos nutrientes, com exceção do azoto (Obernberger e Supancic, 2009).

Contudo, a aplicação das cinzas nos solos agrícolas e florestais nem sempre é fácil, esta pode ser por método direto ou indireto. O método direto consiste na aplicação das cinzas através de máquinas próprias para espalhamento de fertilizante nos campos agrícolas. No entanto, estas máquinas não são apropriadas para o espalhamento de cinzas, podendo haver erosão do material, bem como excesso de poeira. Por outro lado, também se utilizam helicópteros como meio de espalhamento aéreo das cinzas nos solos florestais, uma vez que estes se encontram, muitas vezes, em zonas de difícil acesso, havendo porém o fator económico que limita esta opção. O método indireto consiste na aplicação das cinzas como aditivo na produção de composto (Obernberger e Supancic, 2009).

3.1.2 Utilização das cinzas de biomassa no paisagismo

As cinzas de biomassa têm um elevado teor de óxido de cálcio (CaO) podendo ser utilizada ao invés da cal como material ligante na consolidação dos solos, por consequência também apresentam um pH elevado, bem como o teor relativamente elevado de NaCl. A elevada dureza das cinzas (de fundo e volantes grosseiras) em combinação com outros materiais secundários, como as lamas, pode produzir uma barreira eficaz para cobertura em aterros sanitários (Obernberger e Supancic, 2009, Siddique, 2012).

3.1.3 Utilização das cinzas de biomassa no controlo da poluição

As cinzas de biomassa também têm sido utilizadas como substituto de cal ou cimento para solidificação dos resíduos perigosos. Para controlo do odor e do pH de resíduos perigosos e não perigosos. E ainda podem ser adicionadas no processo de compostagem para controlo da acidez e do odor (Siddique, 2012).

3.1.4 Utilização das cinzas de biomassa em processos industriais

A utilização de cinzas de biomassa em processos industriais é limitada pelo facto de só ser viável quando a cinza é produzida em grandes quantitativos e com características relativamente constantes.

Estas cinzas, especialmente as cinzas de fundo são normalmente utilizadas no cimento, como substituto do *marlstone*, ou marga. A marga é um tipo de calcário contendo 35 a 60% de argila, que leva à redução de CO₂ durante a produção do clínquer ou do betão. Quando usado como aditivo que possui características pozolânicas (*pozzolanic*).

3.1.5 Utilização das cinzas de biomassa na construção de estradas

Nos últimos anos tem-se realizado alguns estudos de investigação na Finlândia, Suécia e Alemanha que sustentam a possibilidade de se aplicar as cinzas de biomassa como aditivos ou material de construção de estradas, desde que as cinzas de biomassa apresentem determinadas propriedades mecânicas/físicas (estabilidade, capacidade de carga, resistência ao gelo, resistência mecânica e permeabilidade) e químicas (valor do pH e comportamento do lixiviado) (Oberberger e Supancic, 2009, Siddique, 2012).

As cinzas de fundo da biomassa são as que apresentam características mais favoráveis para utilização na construção de estradas, pois são facilmente hidratadas pela humidade do solo, apresentam-se estáveis, têm capacidade de campo adequada e resistência ao gelo (Oberberger e Supancic, 2009).

As cinzas de fundo são assim aplicáveis no controlo da neve e do gelo e como material a incorporar na produção de cimento Portland. Estas também são usadas como base e sub-base da estrada, material de enchimento estruturante e como agregado fino em pavimentação, pois favorecem as reações pozolânicas.

3.2 Utilização das cinzas na pavimentação

A estrutura de um pavimento Figura 3 é composta por várias camadas, que apresentam diferentes tipos de materiais. A primeira camada, denominada de revestimento deve ser duradoura e muito resistente sendo normalmente constituída por material betuminoso. A camada inferior é a base que consiste em betume pré-misturado, betão, brita ou materiais estabilizadores como a cal ou o cimento. A camada seguinte, a sub-base, é constituída por brita natural ou com materiais estabilizadores com cimento ou cal. A última camada subleito é constituída pelo solo que promove a fundação do pavimento (Lam et al., 2010).

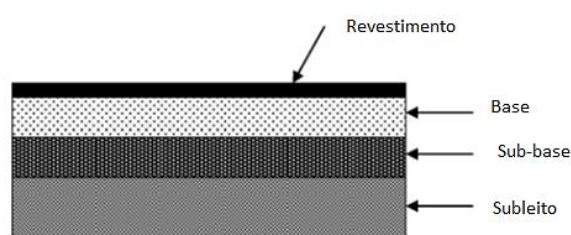


Figura 3- Estrutura típica de um pavimento (Lam et al., 2010).

3.2.1 Estudos e impactes ambientais das cinzas na pavimentação

Devido à possível contaminação causada pelos elementos químicos, têm sido aplicados diversos testes para a caracterização das cinzas e o seu comportamento no ambiente após aplicação como material de construção.

Como tem vindo a ser descrito, existem riscos associados à libertação de constituintes perigosos do pavimento (com a aplicação de cinzas) para o ambiente, expondo as populações em redor a esses riscos. Na Figura 4 encontra-se ilustrado o transporte e as principais vias de exposição por inalação e ingestão dos elementos constituintes das cinzas de fundo utilizadas em pavimentos.

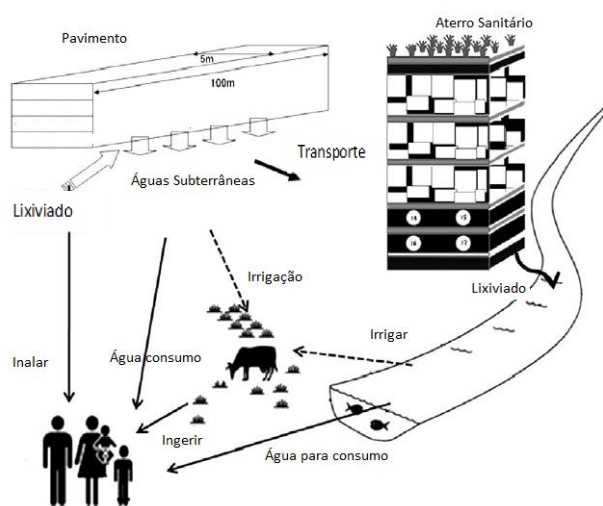


Figura 4- Transporte e as principais vias de exposição à inalação e à ingestão dos elementos constituintes das cinzas de fundo utilizadas em pavimentos, adaptado (Shih and Ma, 2011).

Os constituintes das cinzas de fundo no pavimento são drenados para as águas subterrâneas e a lixiviação proveniente do aterro sanitário é drenada para as águas superficiais. Ambas as águas são utilizadas na irrigação e para consumo.

Nos últimos anos realizaram-se diversos estudos na Finlândia, Suécia e Alemanha sobre a utilização das cinzas (biomassa, resíduos sólidos urbanos e carvão) como material de construção ou aditivo em construções de estradas (Supancic e Obernberger, 2011).

Os estudos mais abundantes são sobre as cinzas provenientes de resíduos sólidos urbanos. Para este caso existe a possibilidade de se utilizar as cinzas de fundo como material integrante de um pavimento na base e na sub-base. Na Suécia e na França foram realizados estudos que demonstram que é seguro utilizar cinzas de fundo em construções de estradas. Na Suécia foram utilizadas como material integrante da base e verificou-se que não afetou a libertação de Ca, Co, Fe, Mn, Pb para o ambiente. Em França os estudos revelaram que nos lixiviados não existiam metais pesados, pH e fluoretos acima dos valores limite para a água potável (Lam et al., 2010) .

Nos Estados Unidos da América foram realizados estudos sobre os riscos ambientais (concentrações químicas no solo, ar e nas águas superficiais e subterrâneas) inerentes à utilização de cinzas de fundo em pavimentos, sendo que os resultados estimados dos riscos ambientais foram insignificantes. No Reino Unido e na Holanda foram também estudados os riscos, para a saúde humana e para o ambiente, resultantes da aplicação de cinzas de fundo em pavimentos, evidenciando-se uma vez mais que os riscos eram mínimos (Shih e Ma, 2011), mas que para cada caso é necessário realizarem-se estudos.

Quanto às cinzas volantes provenientes da biomassa, os estudos realizados sobre a utilização destas em construções de estradas demonstraram que eram idênticas ou mais adequadas do que as cinzas volantes derivadas do carvão. Supancic e Obernberger (2011) concluíram ainda que a utilização das cinzas volantes derivadas da biomassa ou dos resíduos sólidos urbanos têm pouco ou nenhum impacte ambiental quando utilizados como material integrante na construção de estradas, isto se o teor inicial de elementos e substâncias nocivas for baixo.

As cinzas volantes e de fundo misturadas é por vezes, a melhor solução. Estudos realizados com esta mistura e na camada base de construções de estradas indicaram que o valor de pH inicial era bastante elevado, maior que 12, mas que rapidamente atingiu o valor de pH típico dos solos. Verificou-se também que nas amostras de solo retiradas da camada com cinzas ocorreu um aumento das concentrações de, sulfato de magnésio, K, Zn e Hg, e da amostra de solo colhida abaixo da camada de cinza houve um aumento das concentrações de K, SO₄, Se, Mo e Cdm(Supancic e Obernberger, 2011).

Em Taiwan, Shi e Ma (2011), realizaram um estudo sobre os riscos para a saúde devido à reutilização das cinzas de fundo em pavimentos. Neste estudo colocaram-se quatro camadas do topo à base de uma estrutura (pavimento), no qual a camada do topo tinha 5 cm de espessura e

continha 20% de cinzas de fundo, a segunda camada, 5 cm de espessura e 30% de cinzas de fundo, a terceira camada 15 cm de espessura e 20% de cinzas de fundo e a base tinha 25 cm de espessura e 80% de cinzas de fundo. Para além disto foram estudados quatro cenários):

Cenário A: são utilizadas cinzas de fundo no pavimento e este é escavado e repavimentado a cada 2 anos (manutenção).

Cenário B: são utilizadas cinzas de fundo no pavimento que depois são transportadas para aterro após 2 anos.

Cenário C: as cinzas de fundo são usadas em pavimentos sem escavação durante o período de investigação, neste caso 20 anos.

Cenário D: As cinzas de fundo não são utilizadas e sim encaminhadas para aterro sem pré-tratamento.

Os resultados do estudo em Taiwan identificam o cenário A e B com poucos riscos para a saúde, uma vez que em 2 anos é muito difícil os contaminantes infiltrarem-se nas águas subterrâneas. No cenário C há transporte de contaminantes para as águas subterrâneas, havendo possibilidade de se encontrar Cr e As. O cenário D também origina maiores riscos podendo passar Cr e Cd para os vegetais e para água que é consumida. Sendo que o As e Cr são conhecidos como cancerígenos para os humanos e o Cd e Pb são também prováveis elementos cancerígenos. Em conclusão, considerou-se que a duração e a manutenção do pavimento influenciam o risco de contaminação do ambiente (Shih e Ma, 2011).

Apesar das vantagens da reutilização das cinzas de biomassa como material aplicado na construção de estradas, como pavimento, tem que se ter em conta os riscos inerentes ao impacto causado pela lixiviação dos possíveis contaminantes, visto que estas podem conter metais pesados na sua composição. Nas cinzas de fundo é possível encontrar As, Cd, Cr, Pb e Zn que podem causar impacto negativo no ambiente e na saúde humana.

Num estudo realizado por Udoeyo et al. (2006), As foi dos metais que apresenta maior lixiviabilidade enquanto o Fe foi o metal que apresentou menor libertação. Há exceção do Cr, todos os outros metais que sofreram lixiviação mostraram uma dependência com o pH. A lixiviabilidade dos metais aumenta com a diminuição do pH. Isto porque, aparentemente, a fase mineralógica dos óxidos metálicos que se encontram nas cinzas inibem o ataque por parte dos iões H^+ presentes no lixiviado. Valores de $pH=5$ não oferecem concentrações suficientes de iões H^+ para atacar as fases do óxido de ferro (Udoeyo et al., 2006).

É assim importante a realização de testes de lixiviação, bem como a realização destes testes fora do laboratório, uma vez que os testes de lixiviação em laboratório podem não ter resultados totalmente representativos das reações que ocorrem no ambiente (James et al., 2012).

3.2.2 O processo de lixiviação e o uso de lisímetros

A lixiviação é um processo natural no qual são extraídas substâncias solúveis de um sólido com água. Para que estes sejam recuperados é necessário que os elementos/compostos alvo de estudo estejam presentes em elevadas concentrações.

Musselman, (1994), em Nova Hampshire, nos Estados Unidos da América realizou um dos primeiros estudos sobre o potencial de utilização das cinzas de fundo aplicadas em pavimentos, com o objetivo de testar os potenciais impactos ambientais e o desempenho dos pavimentos. Este estudo foi realizado tanto em laboratório como no campo, tendo sido realizadas análises à qualidade das águas superficiais, subterrâneas e às amostras do lixiviado recolhido em lisímetros de sucção. Deste estudo conclui-se que as cinzas de fundo eram recomendadas como elemento integrante na construção de pavimentos e que a aceitação pública era fundamental (Musselman, 1994).

Os lisímetros são caixas abertas preenchidas com material e abertas à atmosfera, estes são colocados com o propósito de se simular o efeito do clima sobre qualquer objeto de estudo, neste caso sobre a utilização de cinzas de fundo nas estradas (pavimentação). Posteriormente, a água de percolação do lisímetro é recolhida e analisada. Os lisímetros inicialmente foram desenvolvidos para quantificação e qualificação da água do solo percolada em estudos hidrológicos (Carvalho et al., 2007).

Existem vários tipos de lisímetros, adequados a cada tipo de experiência que se pretende realizar. Os lisímetros equipados com mecanismos de pesagem por células de carga são os mais modernos, permitindo a realização de medições automáticas com as células de carga instaladas sob a caixa impermeável e têm normalmente um sistema de aquisição de dados, que permite a obtenção de resultados mais fiáveis em intervalos de tempo determinados (Carvalho et al., 2007).

A diferença mais evidente entre testes realizados em laboratório e no campo é essencialmente a exposição às condições atmosféricas (temperatura, pluviosidade, vento, gelo, radiação solar). Em relação aos testes em lisímetros laboratoriais, estes ocorrem na condição de capacidade de campo, enquanto que num pavimento real nem sempre se verifica esta condição e o fenómeno de evapotranspiração assume um papel relevante. Uma variedade de reações podem ocorrer no campo, afetando a qualidade do lixiviado, como a oxidação de sulfuretos, a hidratação de minerais e a carbonatação do cimento. Estas reações vão afetar o pH, e por consequência os testes de lixiviação (Reid, 2000).

4 Trabalho experimental

Neste capítulo é apresentada a descrição da metodologia utilizada para a realização do estudo, este encontra-se dividido em duas secções distintas. Na primeira secção é descrito o trabalho realizado no campo, o local de estudo, os diversos testes aplicados com as cinzas de fundo, os métodos de amostragem e os ensaios experimentais. Na segunda secção são apresentados os parâmetros analisados e os procedimentos analíticos utilizados.

4.1 Trabalho de campo

O trabalho experimental consistiu na pavimentação com cinzas de fundo de um terreno piloto, num parque industrial, seguida de:

- i) Monitorização das eventuais alterações dos materiais;
- ii) Avaliação de eventuais efeitos nas características das águas que estão em contacto com a cinza de fundo;

O tópico ii) exigiu como condições experimentais específicas a implantação de lisímetros no terreno piloto.

Os ensaios experimentais foram realizados sob as condições naturais, como a precipitação, o vento e a radiação solar.

Os parâmetros considerados neste trabalho foram a humidade, a matéria orgânica, o pH, a condutividade eléctrica, os compostos orgânico halogenados e elementos. A escolha destes parâmetros teve por base leitura bibliográfica de trabalhos realizados sobre o tema em estudo, nomeadamente sobre as características das cinzas. Assim, foi realizada uma análise inicial: ao solo (caraterização do terreno), à água de percolação antes da aplicação das cinzas, às cinzas de fundo logo após a sua aplicação sobre o solo e à água de escorrência superficial, bem como análises posteriores ao longo de três meses de todos os elementos descritos anteriormente após a aplicação das cinzas de fundo sobre o solo.

4.1.1 Local de estudo

O local escolhido para a realização do trabalho de campo foi o parque de madeiras de uma das unidades de pasta para papel, do grupo Portucel Soporcel.

Para a realização do estudo foram recolhidas amostras de na zona do parque de madeiras. Na Figura 5 é apresentada uma imagem do local de ensaios.



Figura 5- Localização geográfica do local de amostragem (<http://www.bing.com/maps/>).

O solo que abrange toda a fábrica de pasta para papel encontra-se quase todo modificado, escolhendo-se um solo deste parque que tivesse sido alvo do mínimo de perturbações e, assim, apresentasse as condições mais parecidas com as do solo virgem. No entanto, constatou-se que em tempos no solo do parque de madeiras tinham sido depositados resíduos derivados da construção civil (*tout venant*).

4.1.2 Metodologia

A área de estudo foi dividida em quatro talhões quadrados com 6 metros de lado cada um. Em cada um aplicou-se um teste diferente, os testes aplicados foram os seguintes:

- **Talhão 1-** Controlo –
- **Talhão 2-** Aplicação da cinza de fundo no terreno numa camada de espessura de 30 cm parcela A;
- **Talhão 2-** Aplicação da cinza de fundo no terreno numa camada de espessura de 15 cm –, parcela B;
- **Talhão 3-** Remoção do *tout venant* e aplicação da cinza de fundo sob o solo numa camada de 20 cm;
- Aplicação da cinza de fundo no terreno numa camada de espessura de 20 cm – **Talhão 4.**

Após a deposição das cinzas de fundo houve uma monitorização no tempo de modo a determinar as características químicas das cinzas de fundo e as características químicas do solo sob a cinza de fundo, da água de percolação e de escorrência superficial. Os talhões são observáveis na Figura 6.



Figura 6- Os quatro talhões definidos para o caso de estudo.

4.1.3 Amostragem de solos e cinzas

A recolha de amostras de solo e cinzas foi efetuada numa fase inicial, para caracterização da situação de referência e posteriormente ao longo do tempo de duração do estudo.

4.1.3.1 **Amostragem inicial do solo e da cinza de fundo em estudo**

Para os ensaios laboratoriais foram utilizadas cinzas de fundo provenientes da combustão em leito fluidizado borbulhante de uma indústria de pasta para papel, tendo sido analisadas logo após a recolha da cinza. O solo deste terreno de ensaio também foi amostrado cerca de 4 meses antes início da atividade experimental. Contudo, o facto desse solo se encontrar coberto com *tout venant* com cerca de 10 a 20 cm abaixo da superfície dificulta em parte a recolha de amostras de solo. O tipo de solo predominante na zona de estudo é do tipo cambissolos húmicos (APA, 2011)².

4.1.3.2 **Preparação do terreno piloto**

No terreno piloto delimitaram-se quatro talhões quadrados com o auxílio de uma fita métrica e estacas, que foram colocadas nos vértices. De seguida procedeu-se à remoção da vegetação que se encontrava nestes talhões e à abertura de cavidades no solo com a ajuda de uma retroescavadora. No Talhão 1, 3 e 4 foram colocados lisímetros nas cavidades abertas para uma posterior recolha da água de percolação. É de salientar também que no Talhão 3 foi removido o *tout venant*. Posteriormente foi coberta a área de amostragem, exceto o talhão de controlo, com a cinza de fundo proveniente da combustão do leito fluidizado de uma empresa de pasta para papel.

² Definição de cambissolo: “Cambissolos combinam solos com pelo menos uma formação de solo incipiente na subsuperfície. A transformação de material de origem é evidente pela formação de estruturas e principalmente pela descoloração acastanhada, aumentando a percentagem de argila, e/ou eliminação de carbonatos” fonte retirada da Agência portuguesa do Ambiente (APA). (http://www.apambiente.pt/_zdata/planos/PGRH4/RB%5CParte%202%5C1.Caracterizacao_Geral%5C1.6_Solo_OrdenamentoTerritorio%5Crh4_p2_s1_6_rt_final.pdf).

4.1.3.3 Método de recolha do solo e da cinza de fundo

A amostragem é uma das fases mais importantes ao longo do trabalho experimental, uma vez que influencia todo o trabalho que se fizer posteriormente, pois os resultados dependem muito da representatividade e rigor durante a recolha das amostras.

O método escolhido para a recolha de solo e cinza de fundo foi o da distribuição sistemática dos pontos, de acordo com a ISO 10381-1 *soil quality-sampling*, de modo a obter-se amostras representativas do local de amostragem. Assim, e de acordo com a Figura 7, procedeu-se a uma divisão regular da área em 4 subsecções, em cada subsecção foram definidas e numeradas 9 quadrículas. A escolha da quadrícula a amostrar foi feita de forma aleatória (utilizou-se neste caso uma função do Microsoft Excel). A toma do material para amostragem foi feita nos três vértices de um triângulo conforme o esquema da Figura 7. Assegurando-se assim que todas as subsecções foram amostradas de forma aleatória.

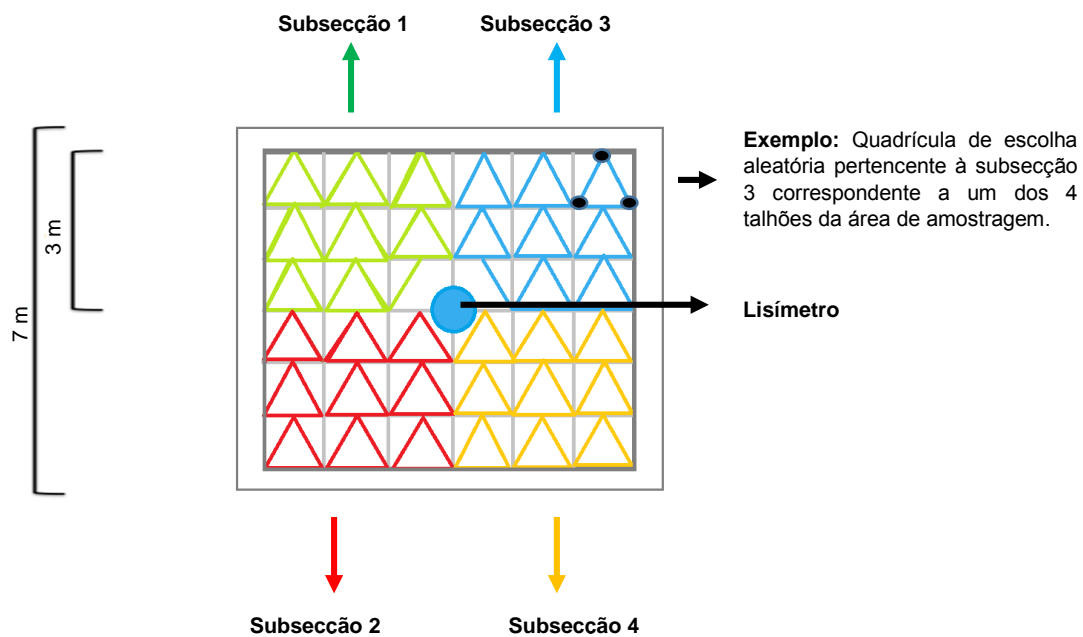


Figura 7- Configuração da delimitação de um talhão na amostragem em estudo e as suas subsecções.

Para a recolha das amostras de solo e cinza utilizou-se um tubo com 34,7 cm de altura (cinza mais solo) e 3,7 cm de diâmetro interno e 4,0 cm de diâmetro externo. A amostragem consistiu na recolha de três amostras em subsecções diferente. Cada amostra era constituída pela composição do material recolhido nos três vértices de um triângulo, sendo as amostras de cada subsecção colocadas em sacos plásticos distintos.

O material utilizado na realização da amostragem encontra-se ilustrado na Figura 8.



- Pá jardinagem pequena;
- Tubo de aço inoxidável;
- Martelo;
- Sacos de plástico;
- Caixote de transporte;
- Luvas;
- Fitas métricas.

Figura 8- Processo de recolha de amostras de cinza e solo.

4.1.4 Amostragem das águas de percolação e água de escorrência superficial

As águas de percolação retidas nos lisímetros e de escorrência superficial foram recolhidas no terreno piloto, após períodos de precipitação no local.

4.1.4.1 Amostragem inicial da água de percolação e de escorrência

Antes da aplicação da cinza no terreno e após um período de precipitação intensa foram recolhidas amostras de água de escorrência superficial e de percolação (retida nos lisímetros) para caracterização da situação de referência.

4.1.4.2 Método de recolha da água de percolação e de escorrência superficial

Com base em pesquisa bibliográfica sobre alguns estudos de diversos autores sobre esta temática, nomeadamente, Derby et al. (2002), Youcai et al., (2002), Carvalho et al., (2007), entre outros, no uso de lisímetros para recolha e captura de água de percolação, foi realizado um esquema de um lisímetro que se adaptou ao caso de estudo, tendo sido montado no parque de madeiras. Este sistema consiste num depósito impermeável de plástico com uma capacidade de 80 L e 50 cm de altura enterrado, contendo no seu interior um dreno e um tubo perfurado para recolha da amostra à superfície de acordo com o esquema da Figura 9. O espaço vazio foi completado com uma coluna de solo original o menos perturbado possível.

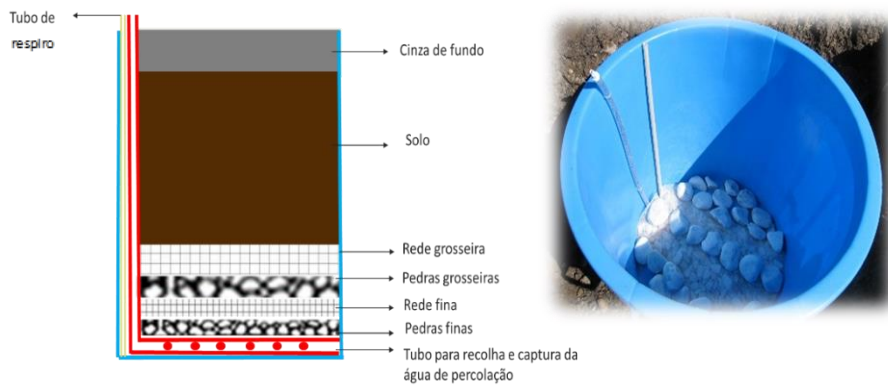


Figura 9- Lisímetro adaptado ao caso de estudo.

No local de estudo foram instalados lisímetros para a recolha de água de percolação, Figura 10, no Talhão 1 (controlo), no Talhão 3 e no Talhão 4.



Figura 10- Colocação das cinzas de fundo sobre o lisímetro, fotografia correspondente ao Talhão 4.

Para a captura das amostras de água de percolação utilizaram-se duas bombas, uma centrífuga e outra peristáltica. Inicialmente foi colocada a bomba peristáltica para eliminar a coluna de ar do tubo amostrador passando-se depois por um sistema de válvulas para a bomba centrífuga. Com a bomba centrífuga foram recolhidas as amostras possíveis, rejeitando-se os primeiros 200 mL. Na Figura 11 é possível observar a montagem das bombas para cada captura e recolha da água de percolação.



Figura 11- Montagem das bombas centrífuga e peristáltica em paralelo para captura da água de percolação.

O material necessário à realização da amostragem foi o seguinte:

- Uma bomba centrífuga e uma bomba peristáltica para recolha de amostra;
- Garrafa com água destilada para desferrar a bomba centrífuga;
- Funil para encher com água o corpo da bomba centrífuga (para desferrar);
- Garrafas de plástico (0,5 L), devidamente lavadas e secas, para armazenamento das águas recolhidas;
- Gerador elétrico a gasolina, mais cabo com derivação;
- Outros acessórios: válvulas manuais de uma via, pinças de Mohr, luvas, marcador, caderno e lápis, caixote de plástico para acondicionamento do material.

As águas superficiais foram recolhidas e transportadas através de uma manga plástica colocada sob as cinzas de fundo e assente num plano com uma certa inclinação, direcionada para um recipiente de recolha colocado a jusante, como ilustrado na Figura 12.



Figura 12- Manga e recipiente de recolha da água de escorrência superficial.

4.1.5 Dados de precipitação diária, em Abril, Maio e Junho

Os dados de precipitação que se apresentam de seguida foram registados de 10 em 10 min, na estação meteorológica mais próxima do local de estudo. Os valores de precipitação correspondem ao valor acumulado para cada intervalo de tempo.

Estes valores podem ser usados como referência da precipitação ocorrida nos meses em estudo, no local onde foram realizados os testes experimentais, os valores são apresentados nas Figuras 13, 14 e 15 e indicam a precipitação diária ocorrida nos três meses de estudo.

Não se tendo registado precipitação após o dia 18 de Junho, no dia 9 de Julho procedeu-se à rega da cinza aplicada nos talhões, procurando simular 25 a 30 mm de precipitação. Com este

procedimento procurou-se acelerar as reações que têm lugar nas cinzas expostas às condições atmosféricas e assim tornar possível realizar as amostragens previstas, em tempo útil.

Precipitação Abril

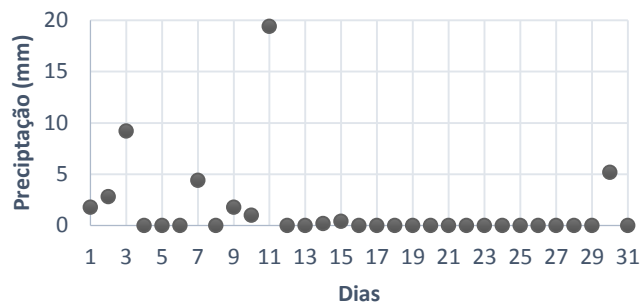


Figura 13- Precipitação diária para o mês de Abril, no campus Universitário de Aveiro.

Precipitação Maio

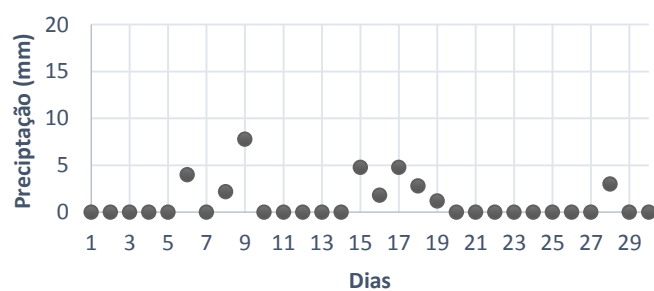


Figura 14- Precipitação diária para o mês de Maio, no campus Universitário de Aveiro.

Precipitação Junho

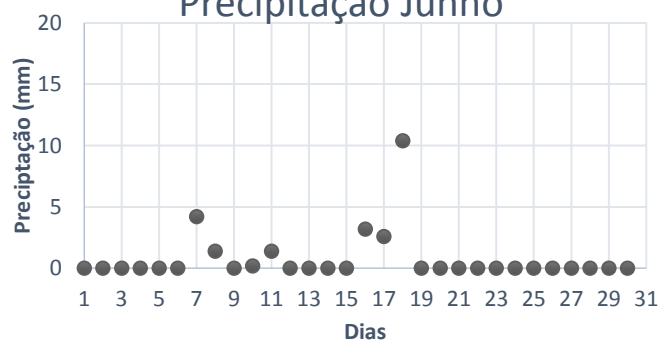


Figura 15- Precipitação diária para o mês de Junho, no campus Universitário de Aveiro.

4.2 Trabalho Laboratorial

Nesta secção serão apresentados os procedimentos realizados sobre as amostras recolhidas no campo.

4.2.1 Parâmetros analisados

Neste trabalho os parâmetros analisados foram selecionados de acordo com os objetivos da presente dissertação.

Na Tabela 12 são apresentados os parâmetros que foram determinados ao longo do estudo e os tipos de amostras analisados, ao solo, à cinza, à água de percolação e à água de escorrência superficial.

Tabela 12- Parâmetros analisados.

	Solo	Cinza	Água de percolação	Água de escorrência
Humidade	x	x		
Matéria seca	x	x		
Matéria orgânica	x	x		
pH	x	x	x	X
Condutividade elétrica	x	x	x	X
Compostos orgânicos halogenados (AOX) *		x	x	X
Cloretos *		x	x	X
Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Cr e Pb	x	x	x	X

* Micro-poluentes presentes nos resíduos da indústria de produção de pasta para papel.

4.2.2 Procedimentos analíticos para o solo e para a cinza

Os procedimentos analíticos foram escolhidos de acordo com os parâmetros necessários à execução do trabalho em estudo. A foi realizada de acordo com as normas europeias (EN) e normas internacionais (ISO), podendo alguns dos procedimentos ter sofrido pequenas adaptações. Os procedimentos encontram-se descritos na secção seguinte.

4.2.2.1 Preparação das amostras

Foi necessário realizar alguns passos até se obter amostras, prontas para análise. Inicialmente colocaram-se as amostras de solo e cinza em contacto com o ar para que secassem, durante alguns dias e efetuaram-se pesagens regulares. Quando a massa das amostras estabiliza considera-se que o solo e a cinza se encontravam equilibradas, concluindo-se processo de secagem ao ar.

As amostras secas ao ar foram de seguida crivadas com um crivo de 2 mm, uma vez que a maioria dos procedimentos seguintes assim o exigiam, amostras com tamanho de articula abaixo desta dimensão. Posteriormente, procede-se à homogeneização para garantir que as tomas de solo e cinza a analisar fossem representativas do todo.

4.2.2.2 Determinação da fração de humidade no solo e na cinza de fundo

Para a determinação do teor de humidade no solo e da cinza de fundo, retiraram-se porções das amostras recolhidas. Estas porções após ida à estufa são rejeitadas, não sendo utilizada para mais nenhum fim.

O procedimento que foi utilizado para a determinação deste parâmetro foi a norma ISO 11465:1993, respeitante à secagem em estufa das amostras a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ até obter um peso contante, não excedendo as 24 horas na estufa. A determinação do teor de humidade (WH [g/100g]) é dada pela Equação 1.

$$WH[g/100g] = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

onde,

m_1 – massa do recipiente (g)

m_2 – massa do recipiente+ amostra H antes da estufa (g)

m_3 – massa do recipiente + amostra H depois da estufa (g)

4.2.2.3 Determinação da matéria orgânica

Para a análise da matéria orgânica presente o solo foi seguido o Protocolo ASTM D1102-84 do Standard Test Method for Ash in Wood, utilizada para determinação dos sólidos voláteis. Prepara-se uma amostra com cerca de 2 a 3 gramas de solo e calcina-se na mufla até aos 600°C durante 2 horas e deixa-se arrefecer. A determinação dos sólidos voláteis (SV [g/100g]) é dada pela Equação 2.

$$SV [g/100g] = \left[\frac{(m_5 - m_6)}{m_5 - m_4} \right] \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

onde,

m_4 – massa do cadinho (g)

m_5 – massa do cadinho + amostra depois da estufa a 105°C (g)

m_6 – massa do cadinho + amostra depois da mufla a 600°C (g)

4.2.2.4 Determinação do pH

Para a análise do pH das amostras de solo e das cinzas de fundo, seguiu-se a norma ISO 10390:2005 (E), e foi utilizado o aparelho *Denver Instrument model 25 pH /ion meter*.

Para a determinação do pH foi efetuada uma extração em água, utilizando-se as amostras secas ao ar, com uma proporção de 1:5 (v/v). A suspensão foi colocada a agitar durante cerca de 1 hora, e deixou-se repousar cerca de 1 hora após retirar-se do agitador. De seguida o pH foi medido com o medidor de pH que previamente foi calibrado com as soluções padrão.

4.2.2.5 Determinação da condutividade elétrica

Para análise da condutividade das amostras de solo e cinza, seguiu-se a norma ISO 11265:1994 (E), e foi utilizado aparelho *Multiplayer parameter analyser Consort C861*.

Para se determinar a condutividade do solo e da cinza foi realizada uma extração com água, utilizando-se as amostras secas ao ar, com uma razão de 1:5 (g/cm³), para dissolução dos eletrólitos. A suspensão foi colocada no agitador durante cerca de 30 minutos, e logo depois foi filtrada e medido o valor da condutividade da fase líquida.

4.2.2.6 Digestão em água régia

O processo de digestão por água régia seguiu a norma ISO 11466: 1995 (E) para a extração de elementos-traço solúveis em água régia, de solos e materiais similares.

Neste procedimento utiliza-se a água régia para extrair elementos químicos dos solos e cinzas, que contenham menos de 20 % (m/m) de carbono orgânico, para que depois possam ser analisados os elementos químicos mencionados na Tabela 12 por espectrofotometria de absorção e emissão atômica.

Inicialmente nesta extração deixa-se a amostra (de solo ou cinza) misturada com a água régia repousar durante 16 horas para ficar às condições da temperatura ambiente de modo a permitir a oxidação lenta da matéria orgânica da amostra. Para se obter a água régia mistura-se 1 volume de ácido nítrico (65-70% m/m) e 3 volumes de ácido clorídrico (35-37% m/m). Após as 16 horas, coloca-se a mistura de sólido em mantas de aquecimento por 2 horas, assegurando-se que a zona de condensação permanece 1/3 abaixo de do topo do condensador, deixando-se arrefecer no fim, Depois filtra-se e recupera-se a solução num balão volumétrico de 100 mL, perfazendo o volume até à marca. A solução é posteriormente analisada relativamente aos elementos químicos, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Cr, e Pb, (Tabela 12), por espectroscopia.

A água régia não dissolve totalmente a maior parte dos solos e de materiais similares, e a eficiência de extração de determinados elementos difere de elemento para elemento. Os elementos extraídos em água régia não podem, por conseguinte, ser descritos como "totais", no entanto, o procedimento de extração é muito forte, fornecendo uma estimativa da abundância "total" dos elementos presentes nos materiais.

4.2.2.7 Extração aquosa

O processo de extração aquosa seguiu a norma ISO/ TS 21268-2: 2007 (E), para avaliação da qualidade de solo (e materiais similares), através do procedimento de lixiviação química e posterior aplicação de testes ecotoxicológicos. É um teste de lixiviação "batch" usando um lixiviante de força iónica controlada numa relação líquido/sólido de 10 L/ kg de matéria seca.

Este processo caracteriza-se por quase equilibrar ou equilibrar a fase sólida e a fase líquida, neste caso coloca-se o solo em contacto com líquido lixiviante, durante cerca de 24 horas. Seguidamente a fase sólida é separada da fase líquida por centrifugação, posteriormente e como complemento ao processo de separação pode-se filtrar. Depois de separado o eluato, mede-se de imediato o seu pH e condutividade eléctrica. O eluato é analisado relativamente aos elementos químicos, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Cr, e Pb, (Tabela 12) por espectroscopia.

4.2.2.8 Determinação dos elementos químicos por espectroscopia

Para análise por espectroscopia dos elementos mencionados anteriormente, inicialmente realizou-se a preparação dos padrões, sendo estes divididos em três soluções intermédias mistas, uma solução intermédia para o cálcio, sódio, potássio e magnésio, outra para o cádmio, crómio e cobre e, por fim, uma para o ferro, manganês, níquel, zinco e chumbo.

Para determinação dos elementos extraídos em água régia seguiu-se o protocolo 3111B. 3 do Standard Methods e efetuou-se a análise por espectroscopia de emissão e de absorção atómica de chama. Pela absorção atómica foi analisado Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Cr, e Pb e pelo método de emissão atómica determinou-se Na e K.

Para os elementos extraídos em solução aquosa foram analisados:

- i) Na e K por espectroscopia de chama por emissão;
- ii) Ca, Mg, Fe e Mn, por espectroscopia de chama por absorção atómica;
- iii) Cu, Cd, Cr, Zn, Ni e Pb, por ICP-MS nos laboratórios do grupo Portucel Soporcel;
- iv) Cloretos e compostos orgânicos halogenados, por métodos instrumentais específicos nos laboratórios do grupo Portucel Soporcel.

4.2.3 Procedimentos analíticos para água de escorrência superficial e de percolação

As amostras foram recolhidas, filtradas e foi determinado o pH e a condutividade, sendo posteriormente preservadas com ácido nítrico (pH<2) para posterior análise de elementos.

4.2.3.1 Determinação do pH e da condutividade elétrica

Para determinação do pH e da condutividade das águas de escorrência foram utilizados os mesmos aparelhos elétricos mencionados para a medição do pH nas cinzas e no solo, o aparelho *Multiplayer parameter analyser Consort C861* para análise da condutividade, e para a análise do pH foi utilizado o aparelho *Denver Instrument model 25 pH /ion meter*.

4.2.3.2 Determinação de elementos e compostos químicos

- v) As amostras de água de escorrência superficial e de percolação foram simplesmente filtradas e acidificadas para análise. Os métodos foram: Na e K por espectroscopia de chama por emissão atómica;
- vi) Ca, Mg, Fe e Mn por espectroscopia de chama por absorção atómica;
- vii) Cu, Cd, Cr, Ni, Zn e Pb por ICP-MS nos laboratórios do grupo Portucel Soporcel;
- viii) Cloretos e compostos orgânicos halogenados, por métodos instrumentais específicos nos laboratórios do grupo Portucel Soporcel.

5 Resultados

No presente capítulo são apresentados os resultados que foram obtidos ao longo do estudo realizado de acordo com procedimentos apresentados no capítulo anterior.

5.1 Caraterização inicial

Neste ponto é apresentada a caraterização do solo, da cinza de fundo, da água de escorrência superficial e da água de percolação, antes da aplicação da cinza no terreno.

5.1.1 Terreno do parque de madeiras

As amostras iniciais do material constituinte do terreno de todos os talhões, doravante simplesmente designado por solo, foram recolhida a 12 de Dezembro de 2012 para caraterização inicial e a 17 de Abril foi recolhida novamente uma amostra do solo, sob o *tout venant*, pertencente ao Talhão 3, antes da colocação das cinzas de fundo sobre o terreno.

5.1.1.1 Condutividade elétrica e pH

Os valores obtidos da condutividade e do pH para o solo encontram-se na Tabela 13:

Tabela 13- Valores do pH e da condutividade do solo do parque de madeiras.

		Condutividade [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH
Amostras 12 de Dez.	Talhão 1	279	7,31
	Talhão 2	218	5,89
	Talhão 3	462	7,31
	Talhão 4	265	7,62
Amostras 17 de Abr.	Talhão 3	178	7,57

Os valores de pH medidos indicam que o solo do parque de madeiras é alcalino, situando-se em média nos cerca de 7,50, somente o Talhão 2 apresentou um valor mais baixo. Relativamente à condutividade o valor que se encontra mais elevado corresponde ao Talhão 3, no entanto, a amostra recolhida 4 meses depois indica que houve uma diminuição da condutividade nesse talhão.

5.1.1.2 *Matéria orgânica e humidade*

Os resultados referentes à matéria orgânica e à humidade presente no solo encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente no solo.

		Matéria Orgânica (Sólidos voláteis)	Humidade Residual seco ao ar
		(% bs ³)	(g/100g bs)
Amostras 12 de Dez.	Talhão 1	3,5	0,24
	Talhão 2	3,8	0,07
	Talhão 3	3,7	0,09
	Talhão 4	3,4	0,07
Amostras 17 de Abri.	Talhão 3	5,4	5,69 ^(*)

(*) Tal e qual recebido.

A matéria orgânica do terreno existente nos quatro talhões é idêntica. É possível concluir que o solo é pouco rico em matéria orgânica, que não tem muita influência nos testes aplicados. No entanto, no dia a 17 de Abril o Talhão 3 apresentou uma percentagem um pouco maior porque corresponde a uma amostra de solo retirada sob o *tout venant*.

5.1.1.3 *Elementos químicos*

Para determinação dos elementos químicos presentes inicialmente no solo foram realizadas extrações em água régia, conforme descrito no Capítulo 4. Obtiveram-se os valores apresentados nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15- Valores dos metais pesados no solo obtidos por digestão em água régia (mg/kg bs).

		Mn	Zn	Ni	Cu	Cr	Cd	Pb
Digestão 12 Dez.	Talhão 1	2,18E+02	5,68E+01	1,08E+02	3,42E+01	2,73E+02	ND	6,78E+01
	Talhão 2	3,24E+02	6,72E+01	2,80E+02	3,79E+01	6,34E+02	ND	6,94E+01
	Talhão 3	2,48E+02	6,23E+01	1,90E+02	5,82E+01	6,70E+02	ND	9,88E+01
	Talhão 4	2,61E+02	6,65E+01	1,92E+02	4,13E+01	6,76E+02	ND	2,77E+02
Digestão 17 Abri.	Talhão 3	2,35E+02	5,97E+01	1,03E+01	3,07E+01	2,02E+01	ND	4,50E+01

³bs (base seca)
ND (não detetado)

Tabela 16- Valores de Na, K, Mg, Ca e Fe no solo obtidos por digestão em água régia (mg/kg bs).

		Na	K	Mg	Ca	Fe
Digestão 12 Dez .	Talhão 1	3,07E+02	1,42E+03	1,55E+03	1,96E+05	1,22E+04
	Talhão 2	2,99E+02	1,66E+03	1,58E+03	1,10E+05	1,62E+04
	Talhão 3	2,84E+02	1,65E+03	1,12E+03	4,41E+03	1,89E+04
	Talhão 4	4,72E+02	2,29E+03	9,70E+02	1,47E+04	1,64E+04
Digestão 17 Abri.	Talhão 3	1,73E+02	2,02E+03	1,61E+03	1,04E+04	2,00E+04

Pela análise das Tabelas 15 e 16 observa-se que os elementos que se encontram em maior concentração no solo são o Fe, o Ca, o Mg e o K, e os que se apresentam em menor abundância são o Cu e o Zn, não se detetando Cd. Os metais encontram-se com valores e idênticos, nos diferentes talhões, exceto o chumbo que no Talhão 3 e 4 apresenta valores um pouco diferentes.

O terreno do local de estudo apresenta concentrações relativamente elevadas em metais pesados com exceção do cádmio.

Verifica-se que no Talhão 3, a amostra recolhida no dia a 17 de Abril apresentou concentrações de metais pesados menores do que a amostra recolhida no dia 12 de Dezembro antes da remoção do *tout venant*.

5.1.2 Cinza de fundo de biomassa

Para caracterização inicial das cinzas de fundo, após aplicação no terreno, no dia 17 de Abril, foram determinados diversos parâmetros, o pH, a condutividade elétrica, a matéria orgânica, a humidade e alguns elementos químicos relevantes para este estudo.

5.1.2.1 Condutividade elétrica e pH

Os resultados de condutividade e do pH dizem respeito às amostras extraídas segundo as normas ISO 11265:1994 (E) e ISO 10390:2005 (E), de caracterização de material sólido (aplicadas a cinza e solo) e pela norma ISSO/TS 21268-2:200 (E) de qualidade do extrato aquoso de material sólido (aplicada a cinza e solo). Os valores obtidos para a cinza de fundo encontram-se na Tabela 17:

Tabela 17- Valores da condutividade e pH da cinza caracterização do sólido e da extração aquosa (17de Abril).

	Cinza		Extração aquosa	
	Condutividade	pH	Condutividade	pH
Talhão 2	5,41 [mS/cm]	12,40	2,14 [mS/cm]	11,62
Talhão 3	1274 [μS/cm]	11,83	1228 [μS/cm]	11,46
Talhão 4	1275 [μS/cm]	11,97	954 [μS/cm]	11,49

Os valores de pH da cinza e o pH da extração aquosa conduzem a resultados relativamente idênticos, verificando-se que ambos os valores do pH se situam entre os cerca de 11,50 e os 12,50, indicando que a cinza é alcalina como era esperado. No Talhão 2 observa-se que em ambos os métodos a condutividade é mais elevada do que a dos restantes talhões.

5.1.2.2 *Matéria orgânica e humidade*

Os resultados referentes à matéria orgânica e à humidade presente na cinza aplicada no terreno são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente na cinza (17de Abril).

	Matéria Orgânica	Humidade
	(% bs)	(g/100g)
Talhão 2	0,21	1,32
Talhão 3	0,16	1,68
Talhão 4	0,26	1,27

Pelos resultados é visível que a matéria orgânica presente nas cinzas de fundo é muito reduzida, entre 0,15-0,30 %.

5.1.2.3 *Elementos químicos em digestão de água régia e extração com solução aquosa*

Na cinza, foram realizados dois procedimentos, para determinação de um conjunto de elementos químicos extratáveis, a digestão em água régia e a extração aquosa. Os valores obtidos são referentes ao dia 17 de Abril e encontram-se apresentados nas Tabelas 19 e 20.

Pela observação das Tabelas 19 e 20 verifica-se, de uma forma geral, que pela digestão em água régia as concentrações obtidas são mais elevadas e alguns elementos são só detetáveis através desta mesma digestão, não sendo observáveis na extração aquosa. Verifica-se que os elementos que se encontram em maior concentração por digestão em água régia são o Ca, o K e Fe e por extração aquosa o Na, o K e o Ca, e os que se observam em menor abundância ou não são detetáveis são o chumbo, o níquel e o cádmio.

Tabela 19- Valores dos metais pesados obtidos nas cinzas de fundo por digestão em água régia e por extração aquosa mg/kg bs) a 17de Abril.

		Mn	Zn	Ni	Cu	Cr	Cd	Pb
Digestão	Talhão 2	4,27E+02	6,02E+01	3,76E+00	1,83E+01	2,17E+01	ND	ND
	Talhão 3	3,15E+02	5,77E+01	4,11E+00	2,03E+01	2,31E+01	ND	ND
	Talhão 4	3,51E+02	6,55E+01	1,95E+00	1,59E+01	3,27E+01	ND	ND
Extração	Talhão 2	ND	9,65E-01	ND	ND	ND	ND	ND
	Talhão 3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Talhão 4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabela 20- Valores de Na, K, Mg, Ca e Fe obtidos pela digestão em água régia e por extração aquosa nas cinzas de fundo (mg/kg bs).

	Amostra	Na	K	Mg	Ca	Fe
Digestão	Talhão 2	2,17E+03	6,74E+03	2,41E+03	4,05E+04	9,38E+03
	Talhão 3	2,08E+03	5,85E+03	1,86E+03	2,18E+04	1,53E+04
	Talhão 4	1,79E+03	6,91E+03	1,93E+03	2,46E+04	8,48E+03
Extração	Talhão 2	4,58E+01	8,31E+01	1,37E+00	2,45E+03	ND
	Talhão 3	3,63E+01	4,90E+01	2,64E-01	1,53E+03	ND
	Talhão 4	3,84E+01	6,01E+01	3,76E+00	1,47E+03	1,05E+00

Ao comparar os resultados obtidos nas digestões de água régia com o Decreto-lei nº 276/2009, ver Tabela 2, que especifica os valores limite nas lamas para uso em solos e a quantidade de metais pesados que podem ser anualmente utilizados em solos cultivados, observa-se que, nas cinzas, os metais Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, e Cr, situam-se abaixo dos valores limite (em mg/kg), de 20, 1000, 300, 750, 2500 e 1000, respetivamente. Da mesma forma comparados os resultados com a Tabela 1 deste estudo, que apresenta valores limite para os metais pesados presentes nas cinzas de biomassa que são aplicadas na agricultura e floresta, em alguns países Europeus, verifica-se novamente que os metais Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, e Cr encontram-se abaixo dos valores limite definidos.

Os resultados das extrações com solução aquosa revelam que apesar de presentes nas cinzas frescas, os metais Mn, Cd, Cu, Ni, Pb, e Cr, não são lixiviados em condições laboratoriais, ou a sua mobilidade é muito baixa, caso do Fe e do Zn, no momento em que as cinzas são aplicadas no terreno.

5.1.3 Caraterização da água de percolação e da água de escorrência superficial

Nos testes experimentais foram utilizados lisímetros para colheita e posterior recolha da água de percolação, e uma manga de plástico utilizada para coletar e direcionar a água de escorrência superficial para um ponto de recolha (recipiente), estes sistemas foram aplicados com objetivo de se perceber se havia mobilização de elementos químicos presentes nas cinzas de fundo para a água, influenciada pelas condições meteorológicas, como é o caso da precipitação.

Foram coletadas e recolhidas amostras de água para caraterização inicial, antes da aplicação das cinzas de fundo no terreno. Posteriormente, foram determinados os parâmetros, pH, condutividade, cloretos, orgânicos halogenados e químicos, de acordo com a Tabela 2.

5.1.3.1 Condutividade e pH

A água de percolação e a água de escorrência superficial foram recolhidas, filtradas e analisadas como aparelho *Multiplayer parameter analyser Consort C861* para análise da condutividade e para a análise do pH foi utilizado o aparelho *Denver Instrument model 25 pH /ion meter*. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21- Valores de pH e condutividade iniciais para a água de percolação e para a água de escorrência superficial.

	Água de percolação			Água de escorrência superficial
	Talhão 1	Talhão 3	Talhão 4	
Condutividade [µs/cm]	1153	963	871	218
pH	8,16	8,14	8,06	8,79

Em média, e analisando a Tabela 21, o valor da condutividade inicial na água de percolação dos três potes em estudo é de 995 µs/cm e o pH de 8,12. Apresentando valores de pH e condutividade superiores aos encontrados no solo inicial.

5.1.3.2 Elementos químicos

A água de percolação e a água de escorrência superficial foram recolhidas, filtradas e analisadas. Os valores obtidos são apresentados nas Tabelas 22 e 23.

Tabela 22- Valores dos metais pesados obtidos nas águas de percolação e nas águas de escorrência superficial (mg/L).

		Mn	Zn	Ni	Cu	Cr	Cd	Pb
Percolação	Talhão 1	2,59E+00	9,25E-02	ND	ND	ND	ND	4,72E-02
	Talhão 3	2,68E+00	6,05E-02	ND	ND	ND	1,03E-02	ND
	Talhão 4	1,40E+00	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Escorrência		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabela 23- Valores de Na, K, Mg, Ca e Fe obtidos nas águas de percolação e nas águas de escorrência superficial (mg/L)

		Na	K	Mg	Ca	Fe
Percolação	Talhão 1	2,41E+00	8,06E+01	5,56E+00	2,78E+02	7,79E+00
	Talhão 3	4,30E+00	5,03E+00	5,80E+00	2,55E+02	7,29E+00
	Talhão 4	4,03E+00	4,63E+00	4,87E+00	2,49E+02	5,91E+00
Escorrência		5,51E+00	3,10E+01	9,27E-01	3,46E+01	5,01E-03

Pela análise das Tabelas 22 e 23, para a água de percolação verifica-se que os elementos que se encontram em maior concentração são o Ca, o K e o Fe, existindo diversos elementos que não foram detetados, como é o caso do Ni, Cr e do Cu em todos os talhões e em alguns talhões no caso do Zn, Cd e Pb.

Ao comparar os resultados obtidos, para a situação de referência das águas de percolação, com o Decreto-lei nº 236/98, presente na Tabela 5, que estipula os valores máximos recomendados (VMR) e os valores máximos admissíveis (VMA) estabelecidos para a qualidade da água doce destinada à produção de água para consumo humano (PACH), verifica-se excedências para o Fe (>0,3mg/L) e Mn (0,05 mg/L) em todos os talhões e para o Cd (>0,005 mg/L) no talhão 3. No entanto, de acordo com o Decreto-Lei nº 236/98, que também define os VMR e os VMA das águas que se destinam à rega, os elementos Fe e Mn ultrapassam o VMR mas não o VMA.

Em relação à água de escorrência superficial, o cálcio, o potássio e o sódio são os elementos que se encontram em maior quantidade. Todos os elementos analisados encontram-se dentro dos limites legais presentes no Decreto-Lei 236/98, quer para PACH, quer para rega.

5.2 Testes experimentais aplicados no parque de madeiras

Os testes experimentais realizados tiveram a duração de 12 semanas, cerca de 3 meses. Como descrito no Capítulo 4 este estudo foi concretizado com o intuito de se analisar o impacte ambiental das cinzas de fundo, com origem no sistema de combustão em leito fluidizado do grupo Portucel Soporcel. Recolheram-se amostras de água de percolação dos três lisímetros instalados, amostras da água de escorrência superficial e do solo sobre o qual foram depositadas as cinzas e amostras da própria cinza de fundo. A periodicidade da recolha de amostras relacionou-se com a periodicidade dos registos de pluviosidade, apresentados nas Figuras 13, 14 e 15 e com a rega efetuada. Além da amostragem do estado de referência (17 de Abril), foram realizadas duas amostragens da cinza depositada e do solo sob a cinza, duas amostragens de água de escorrência superficial e três amostragens de água de percolação.

5.2.1 Caracterização do solo e das cinzas de fundo durante o ensaio experimental

Para avaliar como é que a mobilidade dos constituintes das cinzas de fundo, aplicadas no terreno, varia ao longo do tempo, foram analisados alguns parâmetros, como referidos na Tabela 11

5.2.1.1 pH e condutividade

Nas Figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22 são apresentados os resultados obtidos do pH e da condutividade para o Talhão 2, 3 e 4, descritos no Capítulo 4 (secção 4.1.2). Estes resultados são comparados com a caracterização inicial do dia 17 de Abril.

A condutividade e o pH foram obtidos através das normas ISO 11265:1994 (E) e 10390:2005 (E), respetivamente, para a caraterização da cinza, e pela norma ISO/ TS 21268-2: 2007 (E) para a extração aquosa da cinza.

Talhão 2- Aplicação de cinza com uma espessura na parcela A de 30 cm e na parcela B de 15 cm

Pode-se observar nas Figuras 16 e 17 o pH e a condutividade das cinzas de fundo, ao longo dos três meses, para cada subsecção do Talhão 2, as subsecções 1 e 3 pertencem à parcela B e as subsecções 2 e 4 à parcela A.

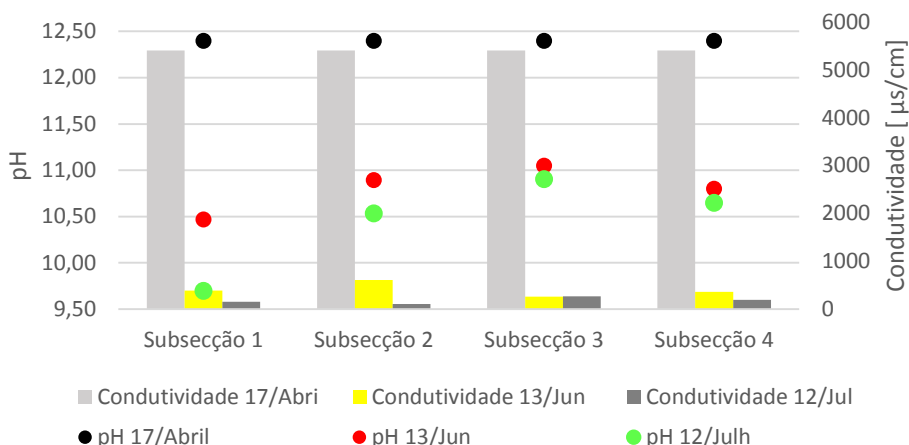


Figura 16- Resultados obtidos da condutividade e do pH na caraterização das cinzas de fundo, para as 4 subsecções do Talhão 2, durante os 3 meses do ensaio experimental.

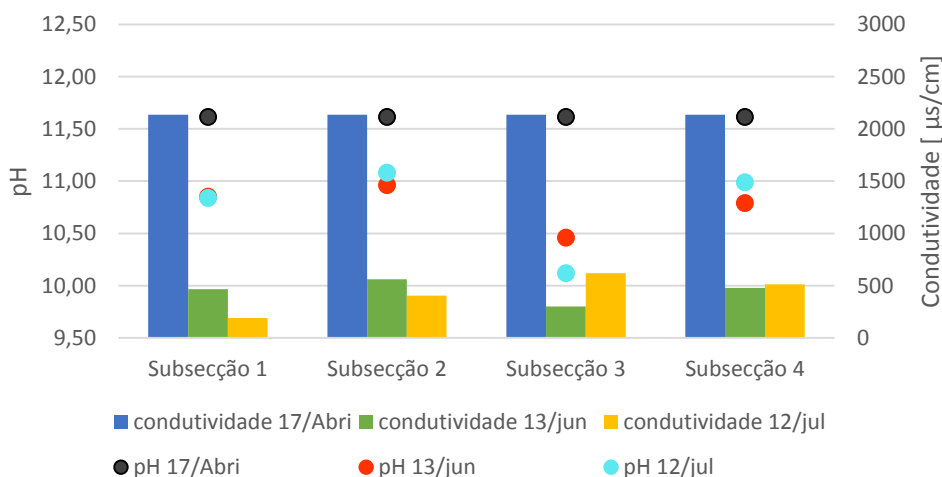


Figura 17- Resultados obtidos da condutividade e do pH por extração aquosa nas cinzas de fundo, para as 4 subsecções do Talhão 2, durante os 3 meses do ensaio experimental.

Ao observarmos a Figura 16, verifica-se que no Talhão 2 há um evidente decréscimo do pH nos 87 dias de Abril a Julho, passando de 12,5 para valores entre os 9,5 e 11,0 em todas as subsecções amostradas. Nos últimos 30 dias da experiência o decréscimo foi menos acentuado do que nos primeiros 57 dias.

Relativamente à Figura 17 observa-se que o pH do extrato aquoso também diminuiu nos 57 dias de Abril a Junho, sendo que nos últimos 30 dias até Julho pouco varia, denotando-se um ligeiro aumento na parcela A (30 cm).

Em média, após os 3 meses de estudo, o pH no Talhão 2 diminuiu em média cerca de duas unidades no pH da cinza e uma unidade no pH da extração aquosa. Estabilizando de Junho para Julho. Assim,

observa-se que a cinza de fundo aplicada num terreno têm tendência para diminuir o seu pH, esperando-se que venha a influenciar o pH solo.

Em relação à condutividade, em ambos os procedimentos e em todas as subsecções observa-se uma acentuada diminuição da condutividade da primeira amostragem para a segunda, mantendo-se relativamente constante após a primeira medição, decrescendo ligeiramente. A primeira amostragem como foi realizada de forma distinta pode ter influência na discrepância dos resultados.

Em média, no Talhão 2, da segunda para a última amostragem a condutividade sofreu uma diminuição de 225 $\mu\text{s}/\text{cm}$ na cinza e uma diminuição de 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$ no extrato aquoso.

Talhão 3- Aplicação da cinza com uma camada de espessura de 20 cm no solo sem *tout venant*

De seguida pode-se observar nas Figuras 18 e 19 o pH e a condutividade das cinzas de fundo, ao longo dos três meses, para cada subsecção do Talhão 3.

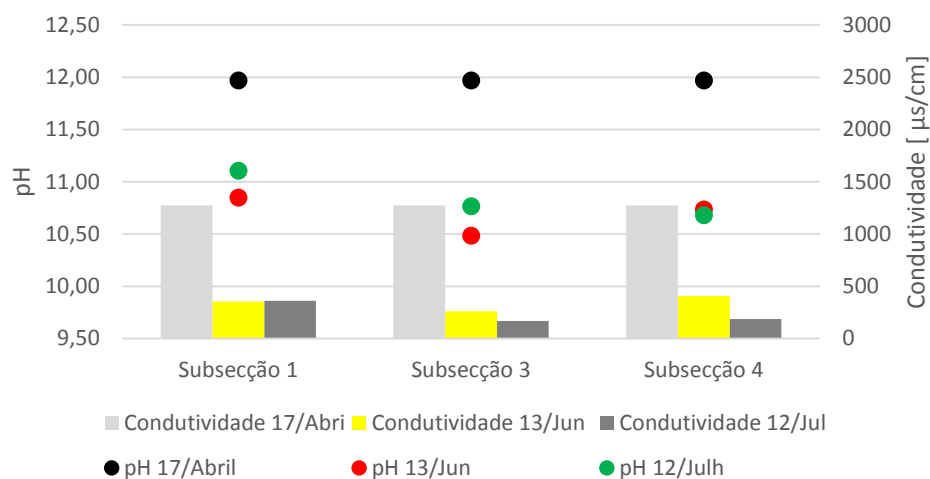


Figura 18- Resultados obtidos da condutividade e do pH na caracterização das cinzas de fundo, para as 3 subsecções do Talhão 3, durante os 3 meses do ensaio experimental.

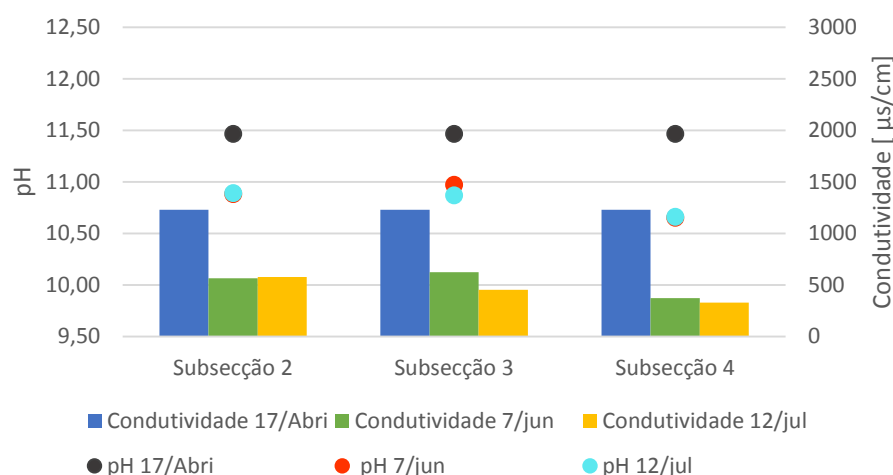


Figura 19- Resultados obtidos da condutividade e do pH por extração aquosa nas cinzas de fundo, para as 3 subsecções do Talhão 3, durante os 3 meses do ensaio experimental.

Na Figura 18, observa-se que no Talhão 3 há um decréscimo do pH ao longo do período experimental, passando dos cerca de 11,5 para valores entre os 10,0 e os 11,0 em todas as subsecções amostradas. Nos últimos 30 dias da experiência não se detetou a mesma tendência dos primeiros 57 dias.

Relativamente à Figura 19 observa-se que o pH do extrato aquoso também diminui nos 57 dias de Abril a Junho, sendo que nos últimos 30 dias até Julho não se detetou qualquer alteração.

Quanto à condutividade, em ambos os procedimentos e em todas as subsecções observa-se uma diminuição da condutividade mais acentuada de Abril para Junho do que nos últimos 30 dias da experiência.

Em média, no Talhão 3, ao longo do tempo a condutividade sofreu uma diminuição de 260 µs/cm na caracterização da cinza e uma diminuição de cerca 70 µs/cm no extrato aquoso.

Talhão3- Solo sem *tout venant* sob a cinza aplicada

Na Figura 20 são apresentados os valores do pH e a condutividade do solo, ao qual foi removido o *tout venant* do parque de madeiras, sobre o qual foram colocadas as cinzas de fundo para os três meses da experiência, para cada subsecção do Talhão 3.

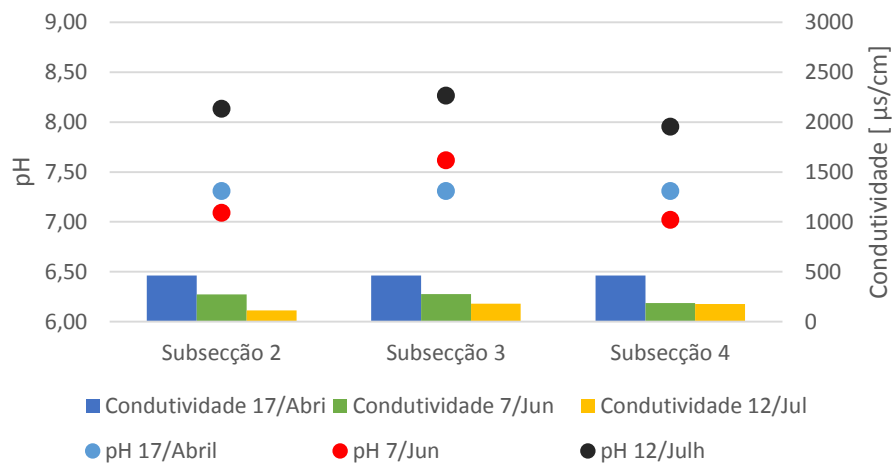


Figura 20- Resultados obtidos do pH e da condutividade na caracterização do sólido no solo para as 3 subsecções do Talhão 3, durante os 3 meses do ensaio experimental.

Foram coletadas amostras de solo original somente neste talhão, pelo facto de se ter retirado o *tout venant* possibilitando a sua recolha. De uma forma geral, observa-se que houve um aumento do pH decorridos os três meses experimentais, em cerca de uma unidade de pH dos 7,0 para os 8,0, tornando-se mais alcalino. Esta subida do pH poderá ser justificada pelo decréscimo de pH que se verificou na cinza sobre o solo, ver Figura 18, consequência de transporte vertical dos componentes da cinza responsáveis pelo efeito de calagem.

A condutividade apresenta uma tendência decrescente, verificando-se uma descida ligeiramente mais acentuada da primeira para a segunda amostragem, estando os valores, aproximadamente, entre os 110 e os 460 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Atendendo a que a condutividade da cinza sobre o solo diminui, ver Figura 18, seria de esperar que a condutividade do solo sob a cinza aumentasse na amostragem do dia 7 de Junho, contudo, tal não se verificou.

Talhão 4- Aplicação da cinza com uma camada de espessura de 20 cm no solo com *tout venant*

Pode-se observar nas Figuras 21 e 22, o pH e a condutividade das cinzas de fundo, ao longo do período experimental, para cada subsecção do Talhão 4.

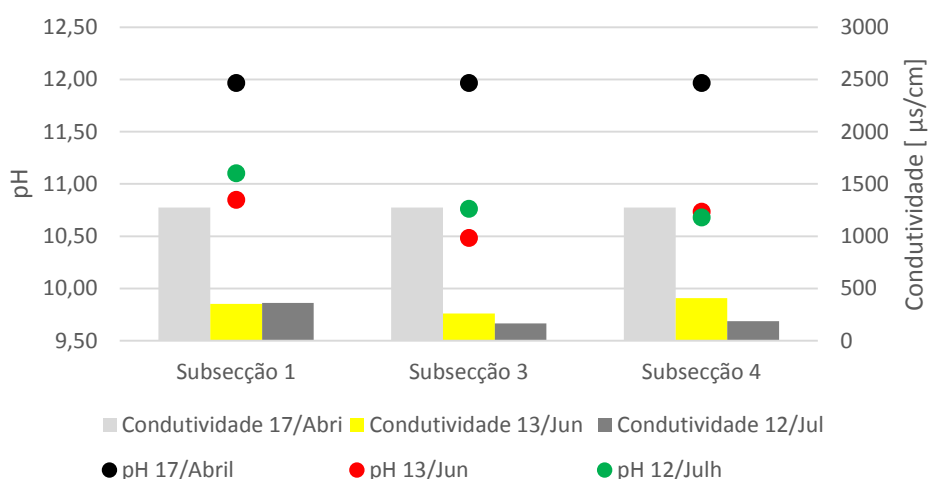


Figura 21- Resultados obtidos do pH e da condutividade na caracterização das cinzas de fundo, para as 3 subsecções do Talhão 4, durante os 3 meses do ensaio experimental.

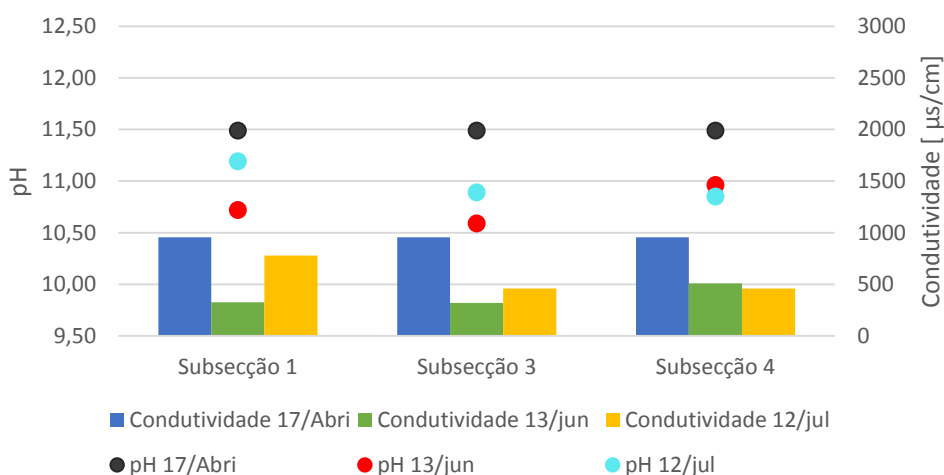


Figura 22- Resultados obtidos do pH e da condutividade por extração aquosa das cinzas de fundo, para as 3 subsecções do Talhão 4, durante os 3 meses do ensaio experimental.

Pela observação da Figura 21, observa-se que no Talhão 4 há um decréscimo do pH no período experimental, passando de 12 para valores entre os 10,5 e os 11 em todas as subsecções amostradas. Nos últimos 30 dias da experiência deteta-se uma ligeira subida, entre uma a três décimas.

O pH do extrato aquoso apresenta-se na Figura 22, observando se um comportamento análogo ao verificado no pH de caracterização das cinzas no decorrer da experiência, contudo o pH do extrato aquoso da cinza inicial é menor.

Quanto à condutividade de caracterização da cinza, Figura 21, em todas as subsecções observa-se uma diminuição da condutividade, mais acentuada nos primeiros 57 dias do que nos últimos 30 dias da experiência. Relativamente ao procedimento de extração aquosa regista-se um facto destinto dos outros talhões, apesar de nos 57 dias iniciais a condutividade diminuir, na última amostragem o valor da condutividade cresce ligeiramente em duas subsecções.

A análise global das figuras 16 até à 22 permite verificar que existiu homogeneidade nas amostras das subsecções de cada talhão, que reflete a homogeneidade no material depositado em cada talhão e consistência no método de amostragem. Desta forma, os diferentes resultados que se apresentam nos pontos seguintes, para caracterização de cada talhão experimental, dizem respeito às médias de valores nas subsecções do respetivo talhão.

5.2.1.2 *Matéria orgânica e humidade*

Para a determinação da matéria orgânica e da humidade nas cinzas e no solo recorreu-se novamente aos métodos utilizados na caracterização inicial. Os resultados referentes à matéria orgânica e à humidade presente nas cinzas e no solo encontram-se nas Tabelas 24, 25 e 26 (cinza) e Tabela 27 (solo).

Tabela 24- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente na cinza, referente ao Talhão 2, espessura de 30 cm e de 15 cm. Média das quatro amostras das quatro subsecções.

	Matéria Orgânica (%bs)	Humidade %
1ª amostragem [17 Abril]	0,21	1,32
2ª amostragem [13 Junho]	0,28	11,23
3ª amostragem [12 Julho]	0,35	8,98

Tabela 25- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente na cinza, referente ao Talhão 3, espessura de 20 cm no solo sem o *tout venant*. Média das três amostras das três subsecções.

	Matéria Orgânica (%bs)	Humidade %
1ª amostragem [17 Abril]	0,16	1,68
2ª amostragem [13 Junho]	0,23	3,75
3ª amostragem [12 Julho]	0,40	4,18

Tabela 26- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente na cinza, referente ao Talhão 4, espessura de 20 cm no solo com o *tout venant*. Média das três amostras das três subsecções.

	Matéria Orgânica (%bs)	Humidade %
1ª amostragem [17 Abril]	0,26	1,27
2ª amostragem [13 Junho]	0,28	8,06
3ª amostragem [12 Julho]	0,31	4,37

Pelos resultados é visível que a matéria orgânica presente nas cinzas de fundo é muito reduzida em qualquer um dos talhões, entre 0,16-0,40 %.

Relativamente aos valores de humidade da cinza, verifica-se que embora exposta à precipitação, a cinza apresenta sempre baixos valores de humidade, não se evidenciando uma relação entre este parâmetros e os talhões.

Tabela 27- Valores referentes à fração mássica de matéria orgânica e humidade presente no solo sem o *tout venant* sob a cinza, referente ao Talhão 3. Médias das três amostras das três subsecções.

	Matéria Orgânica	Humidade
	(%bs)	%
1ª amostragem [17 Abril]	5,38	5,69
2ª amostragem [13 Junho]	3,94	12,93
3ª amostragem [12 Julho]	3,35	33,22

Pelos resultados é visível que a matéria orgânica presente no solo, embora superior à das cinzas é reduzida, em média o valor é de cerca de 4,2.

A humidade do solo sob a cinza apresenta-se superior à desta e foi aumentado ao longo do período experimental, indicando que a camada de cinza causou a retenção e acumulação de água no solo.

5.2.1.3 Orgânicos Halogenados

A análise efetuada aos orgânicos halogenados não detetou a sua presença nos extratos aquosos da cinza de fundo.

5.2.1.4 Cloretos

Nos resultados referentes aos cloretos apenas se registou a sua presença no extrato aquoso da cinza de fundo de 6,6 mg/L a 17 de Abril.

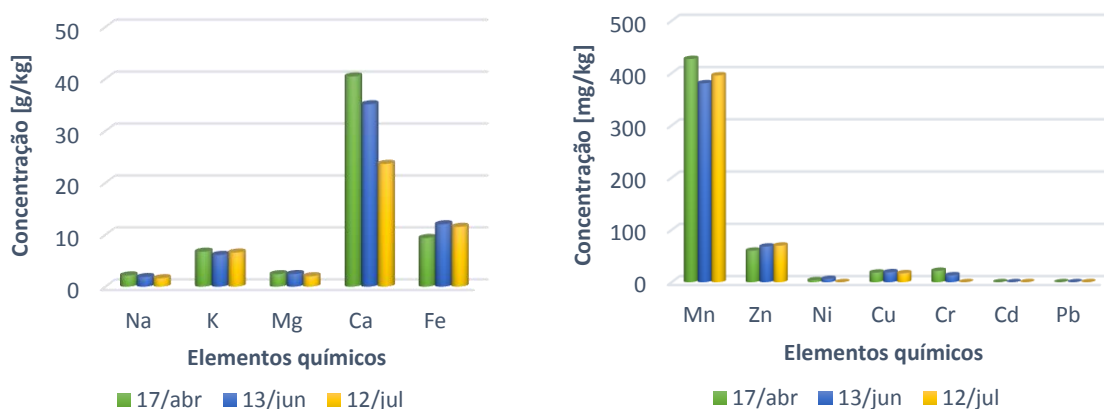
5.2.1.5 Elementos químicos

Nas Figuras 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 29 são apresentados os resultados obtidos para cada talhão em estudo, do conjunto de elementos químicos monitorizados na cinza no decorrer da experiência. Realizou-se a quantificação desses elementos em dois meios: i) no extracto aquoso da cinza, com o intuito de avaliar os elementos solúveis que permanecem nas cinzas; ii) na solução obtida por digestão em água régia da cinza, com o intuito de avaliar os elementos que poderão ter sido mobilizados por ação da pluviosidade.

No Anexo A do presente documento encontram-se os valores que serviram de base à elaboração das referidas figuras. Para cada talhão, os valores ilustrados dizem respeito às médias das três amostras recolhidas nas subsecções de um talhão.

É de realçar que, na maior parte dos casos, não é possível apresentar os resultados obtidos para o Cd, Cu, Nj, Pb, Zn e Cr, quando extraídos em meio aquoso, uma vez que se apresentam em concentrações muito reduzidas, não sendo possível a sua deteção.

Talhão 2 Aplicação da cinza com uma camada de espessura de 15 cm e de 30 cm



A- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca e Fe, em g/kg, extraídos por digestão em água régia, do Talhão 2.

B- Resultados obtidos da concentração de Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb, em mg/kg, extraídos por digestão em água régia, do Talhão 2.

Figura 23- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, no Talhão 2.

Nas Figuras 23 e 24 são apresentados os resultados obtidos da concentração nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, respetivamente. O Na, K, Mg, Ca e Fe são apresentados em g/kg e o Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb em mg/kg.

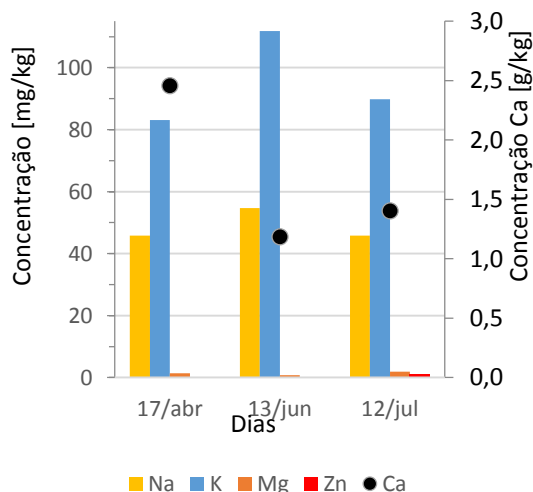
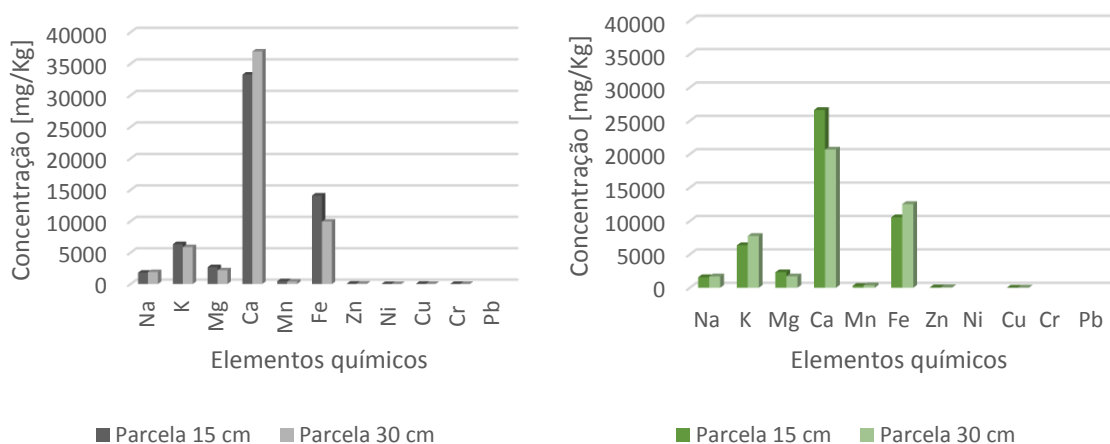


Figura 24- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Zn e Ca, em mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por extração aquosa, no Talhão 2.

Ao analisar os resultados da Figura 23 conclui-se que o Ca é o principal elemento químico encontrado nas cinzas de fundo, seguido do Fe e do K, Nos elementos Ca e Cr observa-se diminuição da concentração entre o início e o fim da experiência, ou seja, poderão ter sofrido mobilização. Na Figura 24, verifica-se que o elemento mais solubilizado também é o Ca, seguido do K e do Na. A quantidade de Ca solúvel (massa por Kg cinza bs) diminui nos três meses da experiência. Neste período a quantidade solúvel de K aumenta ligeiramente e a de Na é pouco alterada.

Na Figura 25 pode-se observar os elementos químicos nas duas parcelas com 15 cm e com 30 cm de cinza no Talhão 2, obtidos por digestão ácida, em mg/kg.



A- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb, na parcela A e B do Talhão 2, em Junho.

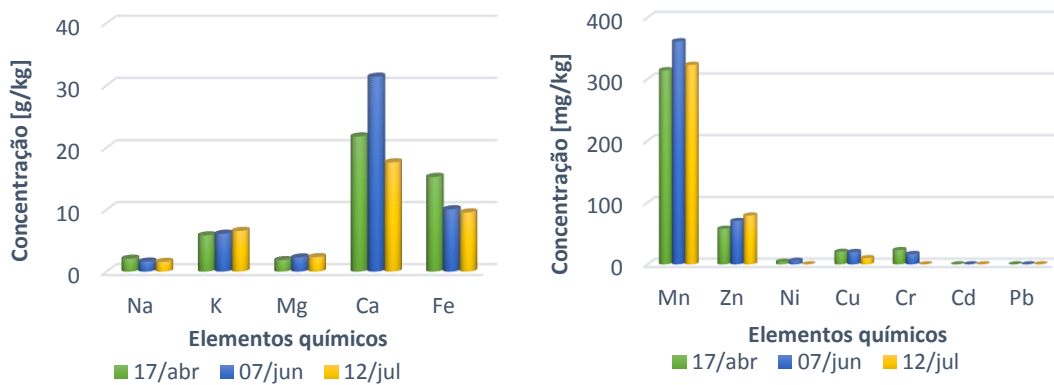
B- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb, na parcela A e B do Talhão 2, em Julho.

Figura 25- Resultados obtidos da concentração, em mg/kg, de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb nas cinzas de fundo digeridas com água régia, na parcela com 30 cm de espessura e na parcela com 15 cm de espessura, relativamente Talhão 2.

Ao observar a Figura 25, conclui-se que os valores obtidos dos elementos nas duas parcelas se mantem relativamente iguais entre parcelas e ao longo do tempo, havendo apenas um ligeiro decréscimo da concentração de Ca na parcela de 30 cm.

Talhão 3 Aplicação da cinza com uma camada de espessura de 20 cm no solo sem *tout venant*

Nas Figuras 26 e 27 são apresentados os resultados obtidos da concentração nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, respetivamente. O Na, K, Mg, Ca e Fe são apresentados em g/kg e o Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb em mg/kg.



A- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca e Fe, em g/kg, extraídos por digestão em água régia, do Talhão 3.

B- Resultados obtidos da concentração de Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb, em mg/kg, extraídos por digestão em água régia, do Talhão 3.

Figura 26- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, relativamente ao Talhão 3.

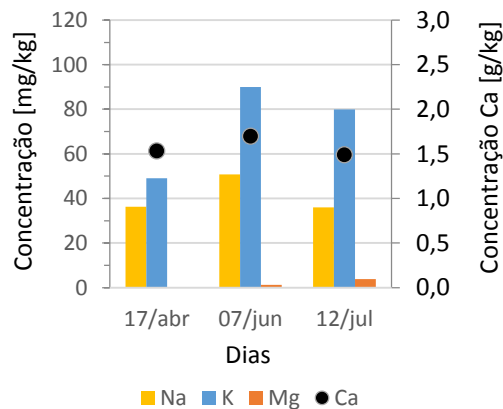


Figura 27- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg e Ca, em mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por extração aquosa, relativamente ao Talhão 3.

Ao analisar os resultados da Figura 26 verifica-se que o Ca apresenta um comportamento irregular, notando-se, globalmente, uma diminuição. No Fe, Cu e Cr observa-se diminuição da concentração entre o início e o fim da experiência, ou seja, poderão ter sofrido mobilização. Na Figura 27, verifica-se que a quantidade de Ca e Na solúveis, pouco se alterou, mas a quantidade de K e Mg solúveis aumentou nos três meses da experiência.

Talhão 4 Aplicação da cinza com uma camada de espessura de 20 cm no solo com *tout venant*

Na Figura 28 são apresentados os resultados obtidos por digestão em água régia e por extração aquosa das cinzas de fundo. O Na, K, Mg, Ca e Fe são apresentados em g/kg e o Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb em mg/kg..

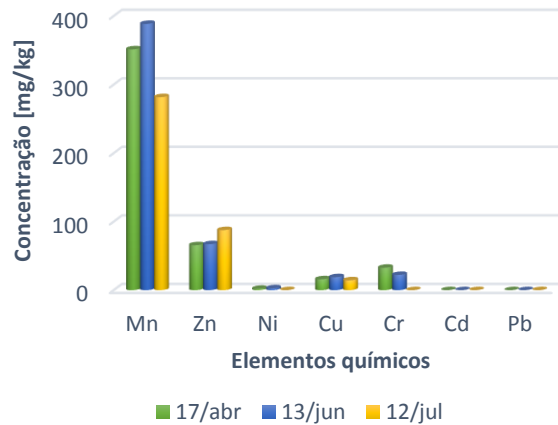
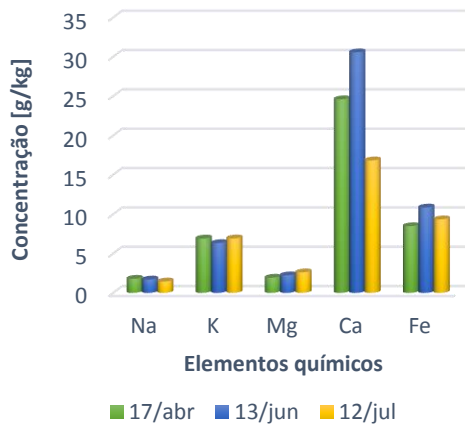


Ilustração 5- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca e Fe, em g/kg, extraídos por digestão em água régia, do Talhão 4.

Ilustração 6- Resultados obtidos da concentração de Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb, em mg/kg, extraídos por digestão em água régia, do Talhão 4.

Figura 28- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd e Pb nas cinzas de fundo, extraídos digestão em água régia, no Talhão 4.

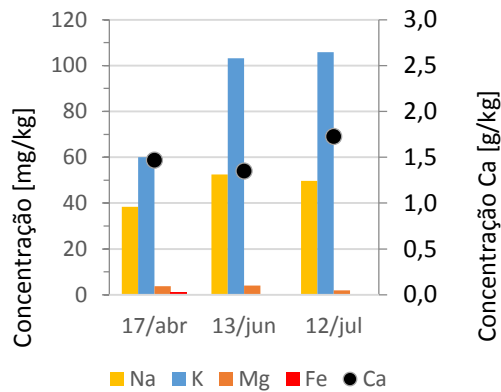


Figura 29- Resultados obtidos da concentração de Na, K, Mg, Zn, Fe e Ca, em mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por extração aquosa, relativamente ao Talhão 4.

Ao analisar os resultados da Figura 28 verifica-se que o Ca e o Mn apresentam um comportamento algo irregular, notando-se, globalmente, uma diminuição. No Cr, mais uma vez se observa diminuição da concentração entre o início e o fim da experiência, ou seja, poderá ter sofrido mobilização. Na Figura 28, verifica-se que a quantidade de Ca e Na solúveis, pouco se alterou, mas a quantidade de K e Mg solúveis aumentou nos três meses da experiência.

Em suma, como seria de esperar, (pois as condições ambientais de exposição são as mesmas) verificou-se uma certa concordância nos resultados obtidos nos três talhões onde foi aplicada a

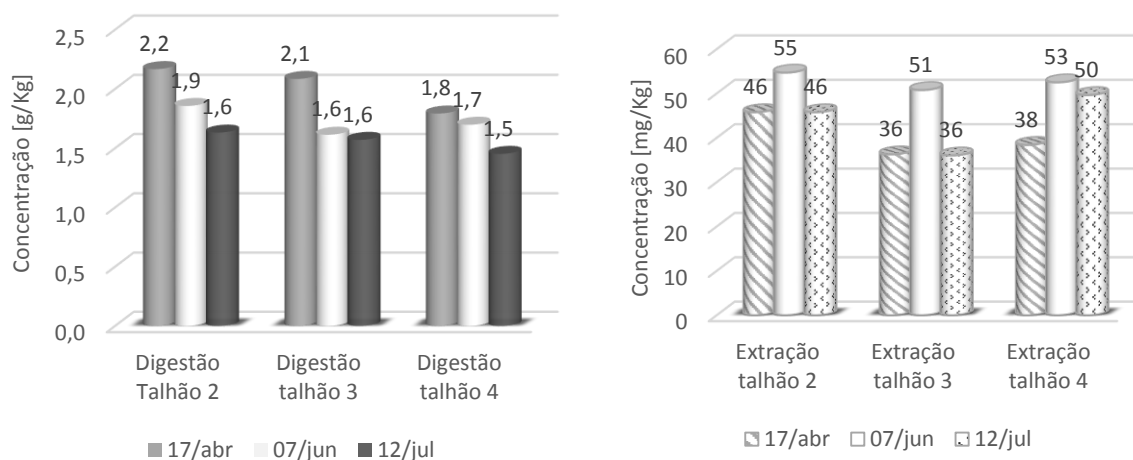
cinza. Os elementos que têm tendência a sofrer mobilização são o Ca, o Fe, o Mn e o Cr, os restantes permanecem imobilizados na cinza. Em termos de solubilização o K é o elemento que se torna mais solúvel.

De seguida é efetuada a comparação por talhões da abundância de cada elemento. São apresentados para cada talhão os resultados obtidos, por digestão em água régia e por extração aquosa, de cada elemento químico em estudo ao longo dos três meses, em cada ilustração estão indicados os dias em que foram realizadas as recolhas das amostras.

É de salientar que não é possível apresentar os resultados obtidos para o Cd, Cu, Ni, Pb, Zn e Cr, quando extraídos em meio aquoso, uma vez que se apresentam em concentrações muito reduzidas, não sendo possível a sua deteção.

Sódio

Os valores obtidos referentes ao Na nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 30, extraídos por digestão em água régia, em g/kg, e por extração aquosa, em mg/kg. Na Figura 31 pode-se observar a comparação entre a concentração de Na no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em g/kg.



A Resultados obtidos da concentração de Na, em g/kg, extraídos por digestão em água régia.

B- Resultados obtidos da concentração de Na, em mg/kg, por extração aquosa.

Figura 30- Resultados obtidos da concentração de Na nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.

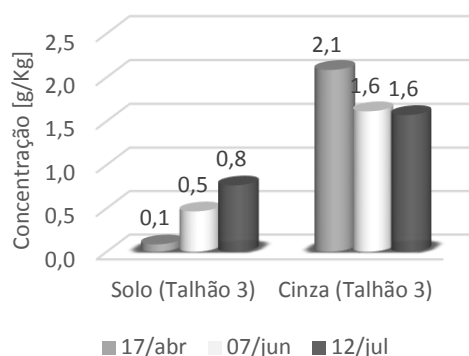


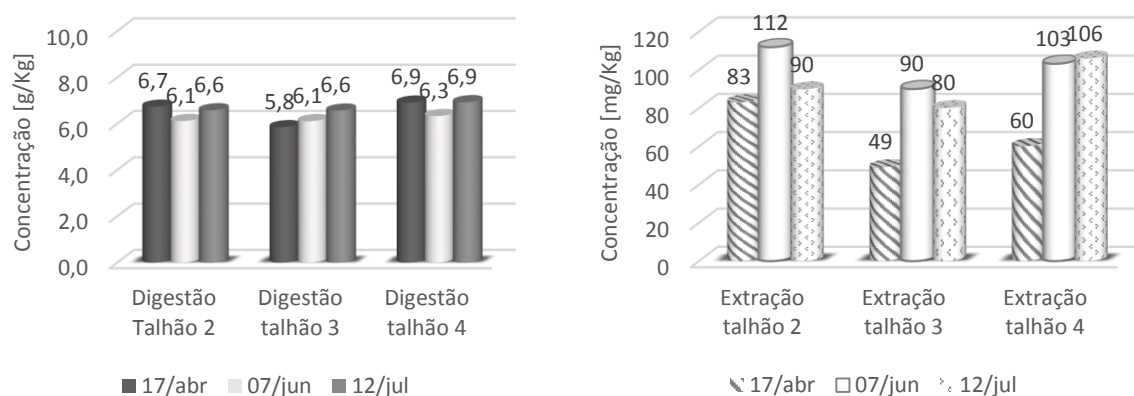
Figura 31- Comparação dos resultados da concentração de Na entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

Com base na Figura 30 A constata-se que a concentração de Na nas cinzas de fundo, decresce ligeiramente nos 3 talhões, no entanto, ao observarmos a Figura 30 B, no dia 7 de Junho, cerca de dois meses depois do início do estudo houve um aumento da concentração Na que se solubiliza voltando a diminuir no mês seguinte. Como seria de esperar, em todos os talhões se constata o mesmo.

Quanto ao solo, pela Figura 31 é possível observar que a cinza de fundo aplicada teve influência nos valores da concentração de Na, pois houve um aumento da concentração de Na de Abril para Julho, em cerca de 700 mg/kg, e que, por outro lado, a concentração de sódio nas cinzas de fundo diminuiu para 500 mg/kg. Ao comparar a concentração de Na no solo e nas cinzas verifica-se que a concentração no solo é mais reduzida, apesar de se observar que ao longo do tempo a concentração no solo está a aumentar e nas cinzas a diminuir. Constata-se, pois, uma transferência do Na da cinza para o solo.

Potássio

Os valores obtidos referentes ao K nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 32, extraídos por digestão em água régia, em g/kg, e por extração aquosa, em mg/kg. Na Figura 33 pode-se observar a comparação entre a concentração de K no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em g/kg.



A- Resultados obtidos da concentração de K, em g/kg, extraídos por digestão em água régia.

B- Resultados obtidos da concentração de K, em mg/kg, extraídos por extração aquosa.

Figura 32- Resultados obtidos da concentração de K nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.

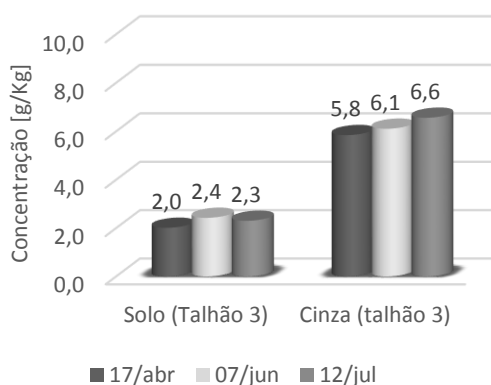


Figura 33- Comparação dos resultados da concentração de K entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

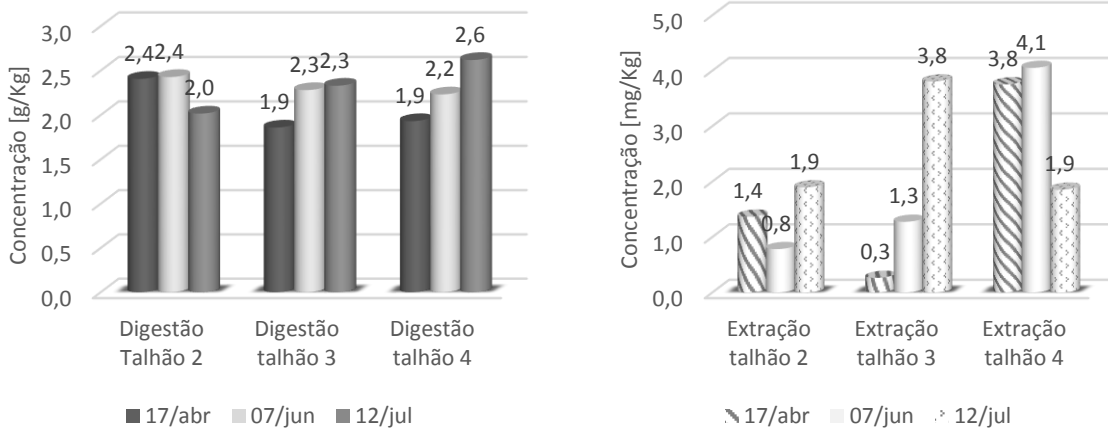
Graficamente observa-se que a concentração de K nas cinzas de fundo, Figura 32 A, mantém-se aproximadamente constante nos três talhões de estudo. Ao analisarmos a Figura 32 B, por extração aquosa, verifica-se que houve um aumento da concentração de K solúvel mais significativo de Abril para Junho, em todos os talhões, mas com um decréscimo no talhão 2 no restante período de amostragem.

Quanto aos valores da concentração de potássio no solo, Figura 33, verifica-se um pequeno aumento no solo. Quando comparadas, a concentração de K no solo é menos de metade da concentração nas cinzas de fundo,.

Em Portugal não há valores limite para este nutriente presente nas cinzas de biomassa, mas ao consultar a Tabela 1 do Capítulo 1, na Suécia estão estipulados valores mínimos de Ca, K, Mg, P e Zn, em g/kg, para as cinzas de biomassa que podem ser utilizadas nos solos agrícolas e florestais. O valor limite mínimo para o potássio, na Suécia é de 30 g K/kg, ao observar a Figura 32 verifica-se que fica além do requisito, uma vez que o valor máximo do K é de cerca de 7 g/kg.

Magnésio

Os valores referentes ao Mg nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 34, extraídos por digestão em água régia, em g/kg, e por extração aquosa, em mg/kg. Na Figura 35 pode-se observar a comparação entre a concentração de magnésio no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em g/kg.



A- Resultados obtidos da concentração de Mg, em g/kg, extraídos por digestão em água régia.

B- Resultados obtidos da concentração de Mg, em mg/kg, extraídos por extração aquosa.

Figura 34- Resultados obtidos da concentração de Mg nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.

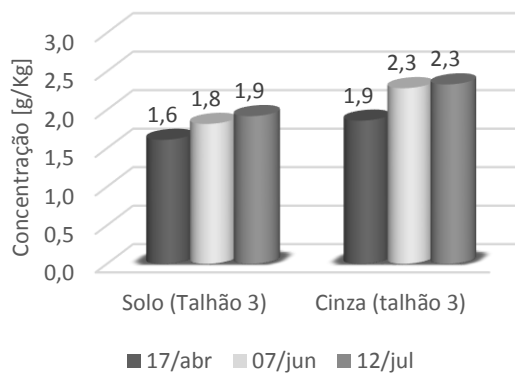


Figura 35- Comparação dos resultados da concentração de Mg entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

Relativamente ao Mg, na Figura 34 é possível observar que a concentração deste elemento nas cinzas de fundo, Figura 34 A, regista um aumento na sua quantificação nos talhões 3 e 4. No talhão 2 observa-se uma ligeira diminuição na quantificação do elemento. Ao analisarmos a concentração

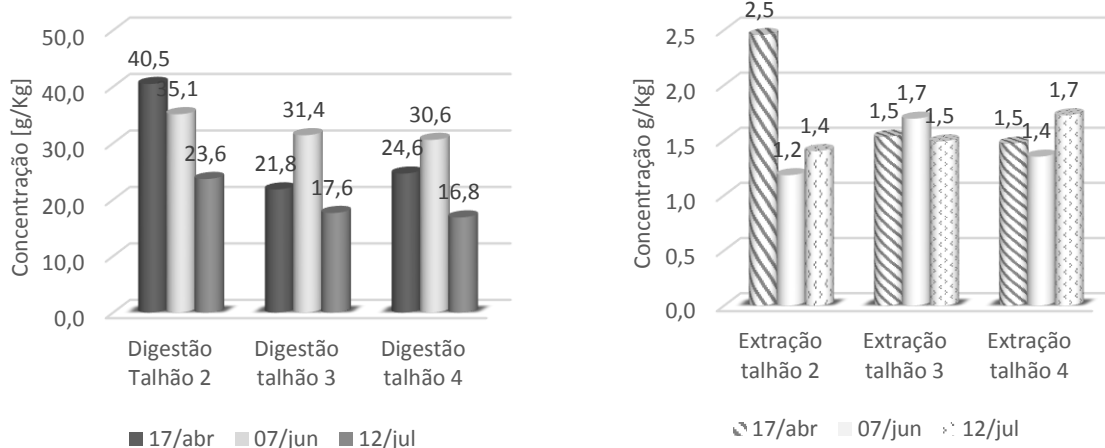
do Mg solúvel, Figura 34 B, verifica-se discrepância de resultados para os três talhões indicando que há alterações na quantidade solúvel.

Pela análise dos resultados da Figura 35 verifica-se que os valores quantificados para a concentração de Mg no solo e na cinza de fundo aumentam ligeiramente, de Abril a Julho, em cerca 300 mg/kg e 400 mg/kg, respetivamente. Ao comparar-se a concentração de Mg no solo e nas cinzas, verifica-se que são da mesma ordem de grandeza, não se evidenciando transferência de massa.

Comparando com a Tabela 1 do Capítulo 1, na Suécia o valor mínimo admissível de Mg nas cinzas para incorporação nos solos agrícolas e florestais é de 15 g Mg/kg e ao comparar com os valores obtidos das cinzas de fundo conclui-se que não atinge o requisito, pois o valor máximo presente na cinza em estudo é de cerca de 3 g Mg/kg.

Cálcio

Os valores obtidos referentes ao Ca nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 36, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, em g/kg. Na Figura 37 pode-se observar a comparação entre a concentração de Ca no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em g/kg.



A- Resultados obtidos da concentração de Ca, em g/kg, extraídos por digestão em água régia.

B- Resultados obtidos da concentração de Ca, em g/kg, extraídos por extração aquosa.

Figura 36- Resultados obtidos da concentração de Ca nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia e por extração aquosa, referentes ao Talhão 2, 3 e 4.

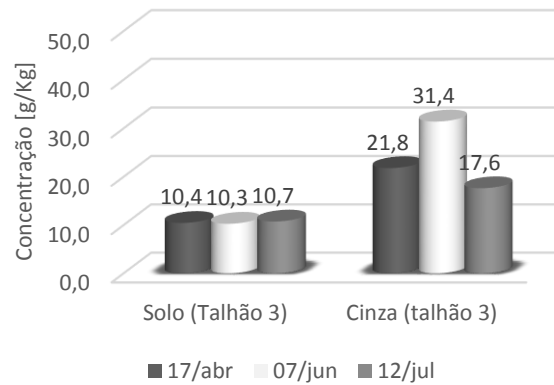


Figura 37- Comparação dos resultados da concentração de Ca, em mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

Os valores obtidos para a concentração de Ca quantificado nas cinzas de fundo, Figura 36 A, aumentam ligeiramente no Talhão 3 e 4, de Abril a Junho, diminuindo, posteriormente em Julho. No Talhão 2 observa-se que há uma diminuição deste elemento entre Abril e Julho. Ao analisar-se os resultados obtidos através da extração aquosa, Figura 36 B, verifica-se que a concentração de Ca solúvel se mantém relativamente constante, havendo apenas um decréscimo mais acentuado no Talhão de 2 de Abril para Junho.

Pela análise dos resultados obtidos, na Figura 37, observa-se também que a concentração de Ca no solo mantém-se relativamente constante de Abril para Junho, aumentando em cerca de 300 mg/kg de Junho para Julho. Por outro lado, a concentração na cinza de fundo decresceu na ordem dos 14000 mg/kg de Junho a Julho. Quando comparados os valores da concentração de Ca presentes no solo e na cinza de fundo, observa-se que há menor presença deste elemento no solo, mas que tem tendência a aumentar ao contrário do que acontece com a cinza.

De acordo com a Tabela 1 do Capítulo 1, na Suécia o valor mínimo admissível de Ca nas cinzas para incorporação nos solos agrícolas e florestais é de 125 g Ca/kg, ao comparar com os valores obtidos das cinzas de fundo conclui-se que não atinge o requisito, uma vez que o valor máximo nas cinzas em estudo é de cerca de 40 g Ca/kg.

Manganês

Os valores obtidos referentes ao Mn nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 38, extraídos por digestão em água régia, em mg/kg. Na Figura 39 pode-se observar a comparação entre a concentração de Mn no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em mg/kg.

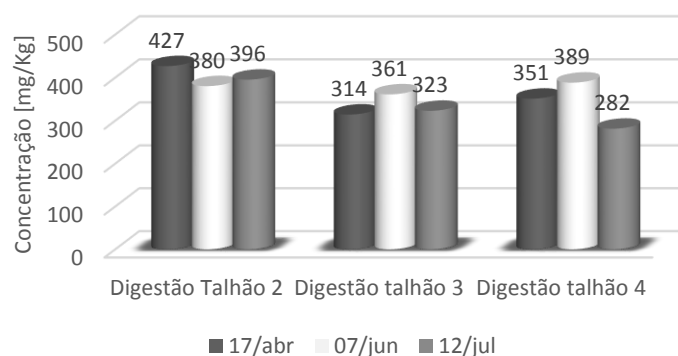


Figura 38- Resultados obtidos da concentração de Mn, mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia referentes aos Talhões 2, 3 e 4.

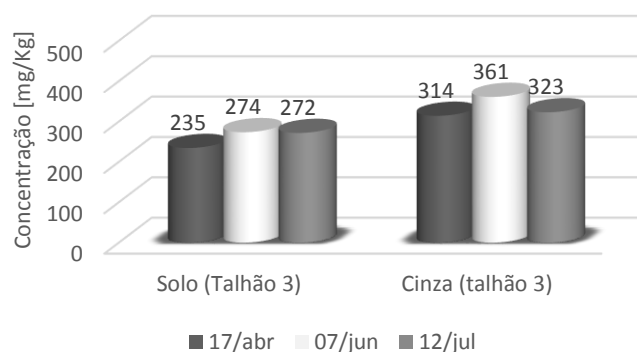


Figura 39- Comparação dos resultados da concentração de Mn, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

Com base na Figura 38 constata-se que, a concentração de Mn nas cinzas de fundo, mantém-se praticamente constante, decrescendo a abundância deste elemento um pouco mais no Talhão 4.

Quanto ao solo, na Figura 39 é possível observar que houve um ligeiro aumento da concentração de Mn, na ordem dos 40 mg/kg e que a concentração de Mn nas cinzas de fundo se manteve praticamente constante. Ao comparar a abundância de Mn presente no solo e na cinza conclui-se que no solo há menor concentração deste elemento, podendo este beneficiar com a aplicação da cinza.

Ferro

Os valores obtidos referentes ao Fe nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 40, extraídos por digestão em água régia, em g/kg. Na Figura 41 pode-se observar a comparação entre a concentração de Fe no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em g/kg.

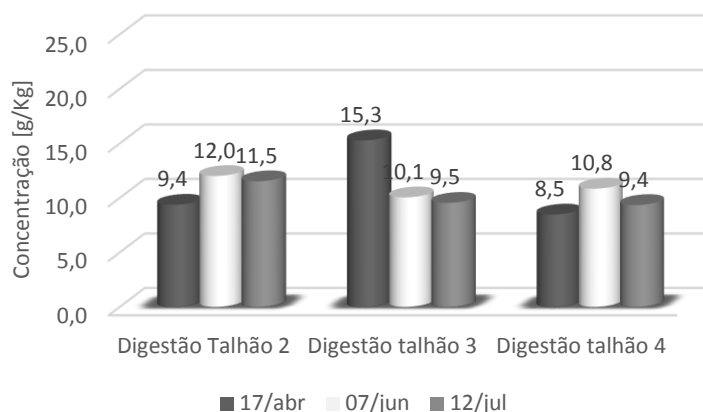


Figura 40- Resultados obtidos da concentração de Fe, g/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes ao Talhão 2, 3 e 4.

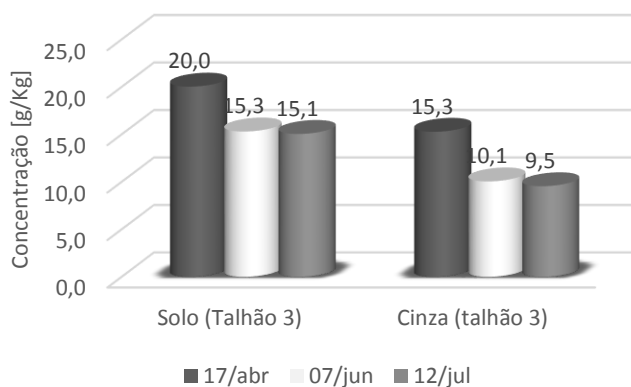


Figura 41- Comparação dos resultados da concentração de Fe, g/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

Graficamente observa-se que a quantificação da concentração de Fe nas cinzas de fundo deu origem a um comportamento irregular no decorrer da experiência.

Quanto aos valores da concentração de Fe no solo e nas cinzas de fundo, Figura 41, houve uma diminuição da concentração deste de Abril até Julho, em cerca de 5000 mg/kg e 6000 mg/kg, respetivamente. Comparando o solo e a cinza verifica-se que há uma maior concentração do elemento Fe no solo do que nas cinzas.

Zinco

Os valores obtidos referentes ao Zn nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 42, extraídos por digestão em água régia, em g/kg. Na Figura 43 pode-se observar a comparação entre a concentração de Zn no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em mg/kg.

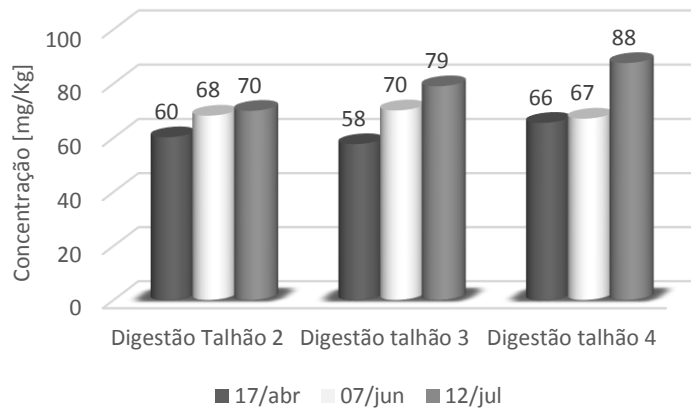


Figura 43- Resultados obtidos da concentração de Zn, mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes ao Talhão 2, 3 e 4.

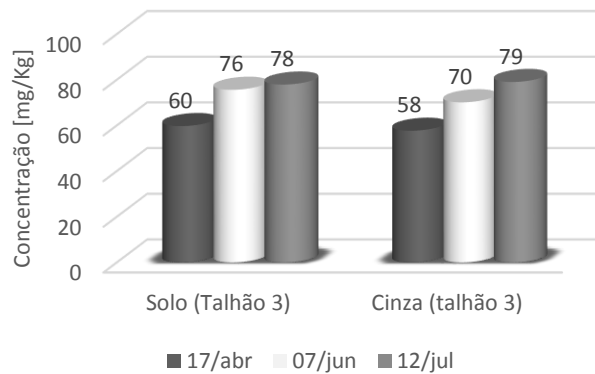


Figura 42- Comparação dos resultados da concentração de Zn, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

Relativamente ao Zn, na Figura 42 é possível observar que a quantificação da concentração nas cinzas de fundo, aumenta ligeiramente em todos os talhões ao longo do tempo.

Ao compararmos os valores das Figuras 42 e 43 com os valores paramétricos estipulados no Decreto-Lei nº 276/2009 que se destina á aplicação de lamas no solo, (por analogia) se observa que os valores da concentração de Zn no solo e na cinza de fundo encontram-se abaixo do valor paramétrico recomendado, que é de 2500 mg/kg, situando-se entre os 60 e os 80 mg/kg. O solo e a cinza revelam concentrações idênticas deste elemento.

De acordo com a Tabela 1 do Capítulo 1, na Suécia o valor mínimo admissível de Zn nas cinzas para incorporação nos solos agrícolas e florestais é de 0,5 g/kg, ao comparar com os valores obtidos das cinzas de fundo conclui-se que não atinge o requisito, uma vez que o valor máximo presente nas cinzas em estudo é de cerca de 0,1 g/kg, nesta mesma tabela mas agora como metal pesado,

o Zn encontra-se dentro dos limites máximos admissíveis pela Alemanha, Áustria, Suécia e Finlândia, de 1000, 1500, 7000 e 45000, mg/kg, respetivamente.

Níquel

Os valores obtidos referentes ao Ni nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 44, extraídos por digestão em água régia, em mg/kg. Na figura 45 pode-se observar a comparação entre a concentração de Ni níquel no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em mg/kg.

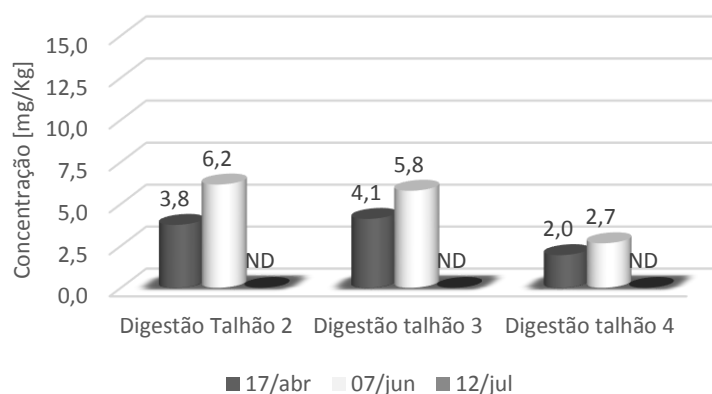


Figura 44- Resultados obtidos da concentração de Ni mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.

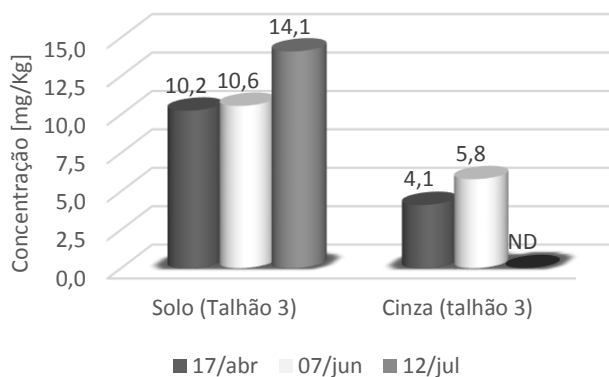


Figura 45- Comparação dos resultados da concentração de Ni, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

Com base na Figura 45 observa-se que, a quantificação da concentração de Ni nas cinzas de fundo, por digestão em água régia, aumenta em todos os talhões de Abril a Julho, mas dentro de valores baixos próximos do limite de deteção, (ou seja, com uma elevada incerteza). Não sendo possível a sua deteção por espectroscopia de emissão atómica nas amostras recolhidas em Julho.

Ao comparar os valores das Figuras 44 e 45 com o valor paramétrico estipulado no Decreto-Lei nº 276/2009 de 300 mg/kg para o Ni, observa-se que estes se encontram abaixo do valor paramétrico recomendado, situando-se entre 10 a 14 mg/kg no solo e 2 a 6 mg/kg na cinza. No solo do Talhão 3 ena cinza deste mesmo talhão registou-se um ligeiro aumento deste elemento, na ordem dos 2 mg/kg. Comparando a concentração de Ni na cinza e no solo, observa-se que há maior abundância deste elemento no solo do que nas cinzas.

Na Suécia, Alemanha, Áustria e Finlândia, os valores máximos admissíveis para o Ni são 70, 80, 100 e 100/150 mg/kg, respetivamente, verificando-se que o Ni cumpre os requisitos, ver Tabela 1 Capítulo 1.

Cobre

Os valores obtidos referentes ao Cu nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 46, extraídos por digestão em água régia, em mg/kg. Na Figura 47 pode-se observar a comparação entre a concentração de Cu no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em mg/kg.

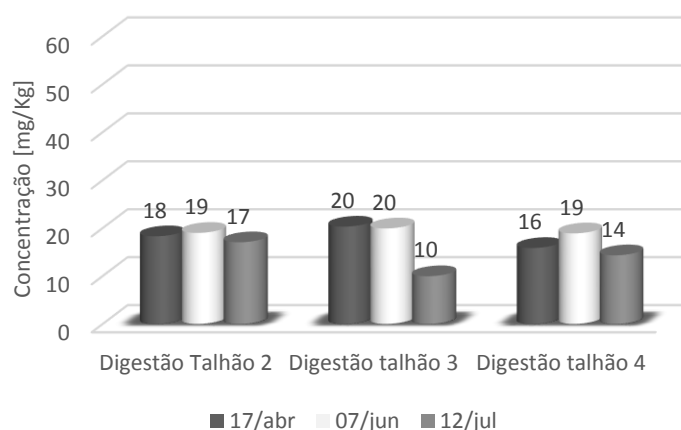


Figura 46- Resultados obtidos da concentração de Cu, mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.

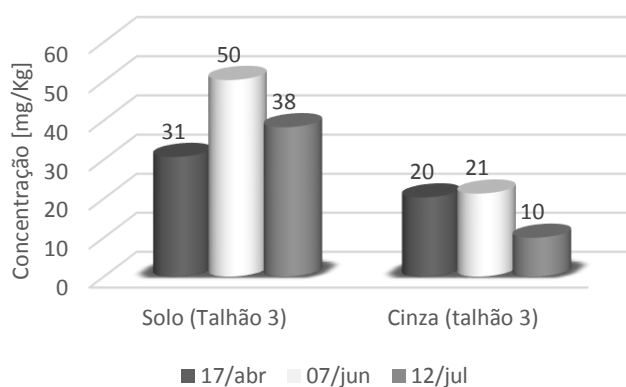


Figura 47- Comparação dos resultados da concentração de Cu, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

Relativamente ao Cu é possível observar, pela Figura 46, que a quantificação da concentração nas cinzas de fundo e no solo, é algo irregular, pois está associada alguma incerteza, pelo facto dos valores se situarem próximos do limite de deteção.

Ao comparar o valor paramétrico estipulado no Decreto-Lei nº 276/2009 de 1000 mg/kg para o Cu, observa-se que os valores obtidos da concentração deste elemento na cinza de fundo encontram-se abaixo do valor paramétrico recomendado, situando-se na ordem dos 10 a 20 mg/kg nas cinzas de fundo. Pela análise da Figura 47 o solo e a cinza do Talhão 3 observa-se uma maior abundância do elemento Cu no solo do que nas cinzas ao longo do tempo experimental.

De acordo com a Tabela 1 do Capítulo 1, o cobre encontra-se também dentro dos valores limite máximo admissíveis pela Alemanha, Áustria, Suécia e Finlândia, de 70, 250, 400 e 600/750, mg/kg, respetivamente.

Crómio

Os valores obtidos referentes ao Cr nas cinzas de fundo, em todos os talhões, são apresentados na Figura 48, extraídos por digestão em água régia, em mg/kg. Na Figura 49 pode-se observar a comparação entre a concentração de Cr no solo e na cinza de fundo no Talhão 3, em mg/kg.

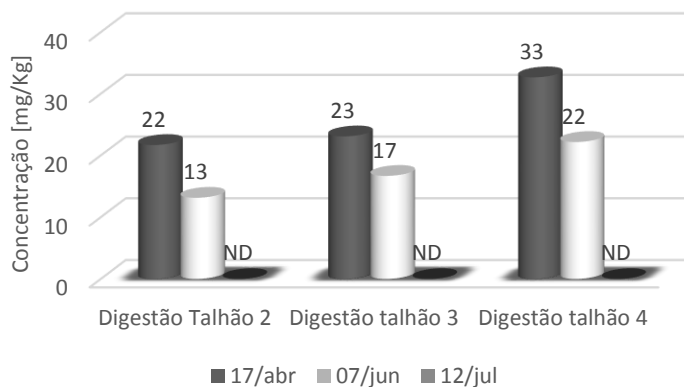


Figura 48- Resultados obtidos da concentração de Cr, mg/kg, nas cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referentes aos Talhões 2, 3 e 4.

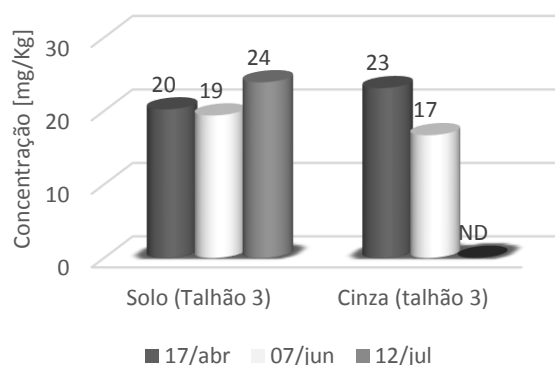


Figura 49- Comparação dos resultados da concentração de Cr, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

As Figuras 48 e 49 não apresentam os resultados de 12 de Julho, uma vez que não foi possível a deteção do elemento Cr.

Com base na Figura 48 e 49 verifica-se que a concentração de Cr nas cinzas de fundo e no solo, Cu é algo irregular, pois está associada alguma incerteza, pelo facto dos valores se situarem próximos do limite de deteção, à semelhança do verificado para os elementos, Ni e Cu.

Pela análise dos valores obtidos e comparando-os com o valor paramétrico estipulado no Decreto-Lei nº 276/2009, de 1000 mg/kg para o Cr, observa-se que os valores obtidos da concentração deste elemento nas cinzas de fundo e no solo encontram-se abaixo do valor paramétrico recomendado, situando-se na ordem dos 10 a 30 mg/kg. Comparando o solo e a cinza do Talhão 3, Figura 49, verifica-se ligeiramente mais concentração de Cr no solo do que na cinza.

Por último, segundo a Tabela 1 do Capítulo 1, o Cr também se encontra dentro dos limites máximos admissíveis pela Áustria, Dinamarca, Suécia e Finlândia, de 250 100, 100 e 600/700, mg/kg, respetivamente.

Cádmio

Não se detetaram valores para o metal pesado Cd, para o qual o limite de deteção foi 7 mg Cd/kg bs.

Chumbo

Para este elemento só foi possível a deteção de Pb no solo e nos meses de Abril a Junho, como se verifica na Figura 50 houve um aumento de Abril para Junho, em cerca de 20 mg/kg.

O limite de deteção do Pb foi 27 mg Pb/kg bs.

Ao comparar os valores obtidos entre o valor paramétrico estipulado no Decreto-Lei nº 276/2009 de 750 mg/kg para o Pb, verifica-se que os valores obtidos da concentração deste elemento no solo se encontram abaixo do valor paramétrico recomendado, situando-se na ordem dos 45 a 70 mg/kg.

Segundo a Tabela 1 do Capítulo 1, na Alemanha, o valor máximo admissível para o Pb é de 150 mg/kg, este elemento químico cumpre os requisitos.

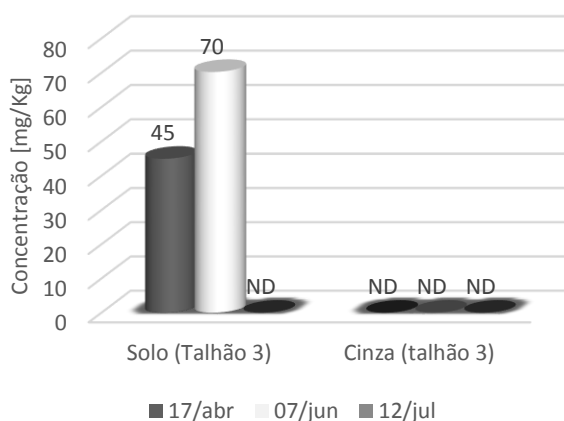


Figura 50- Comparação dos resultados da concentração de Pb, mg/kg, entre o solo e as cinzas de fundo, extraídos por digestão em água régia, referente ao Talhão 3.

Após a análise e comparação de alguns elementos químicos, como os metais pesados Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, com os Decretos-Lei existentes em Portugal conclui-se que os valores obtidos na cinza e no solo em estudo se encontram abaixo dos valores paramétricos existentes.

Foi também realizada uma comparação com a Tabela 1 do presente estudo, onde são apresentados os valores limite legais para alguns metais pesados presentes nas cinzas de biomassa que são aplicadas na agricultura e florestas em diversos países europeus, como a Alemanha, Áustria, Dinamarca, Suécia e Finlândia. Esta comparação veio reafirmar que os valores do Cr, Cu, Ni, Pb e Zn não são prejudiciais e encontram-se dentro dos valores limite estipulados por estes países. De acordo com valores guia dos países referidos anteriormente, comparando com a Suécia, os nutrientes Ca, K, Mg e Zn não cumprem os requisitos estabelecidos, encontrando-se abaixo do valor mínimo admissível, não apresentando teores de elementos adequados para uso nos solos agrícolas e florestais, como fonte de nutrientes e micronutrientes.

5.2.2 Caracterização da água de percolação dos lisímetros e da água de escorrência superficial ao longo do ensaio experimental

As alterações ocorridas ao longo do tempo na água de escorrência superficial, recolhida entre o Talhão 3 e 4, e na água de percolação, coletada nos três lisímetros instalados nos –Talhões 1, 3 e 4, foram analisadas para avaliação de alguns parâmetros, como o pH, a condutividade e alguns elementos químicos com interesse para o estudo.

pH e condutividade

De seguida são apresentados os resultados obtidos do pH e da condutividade da água de percolação captada dos lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4. E os resultados relativos à água de escorrência superficial.

Talhão 1 - Controlo

Na Figura 51 pode observar-se os valores de pH e da condutividade, em $\mu\text{S}/\text{cm}$, na água de percolação captada no lisímetro do Talhão 1.

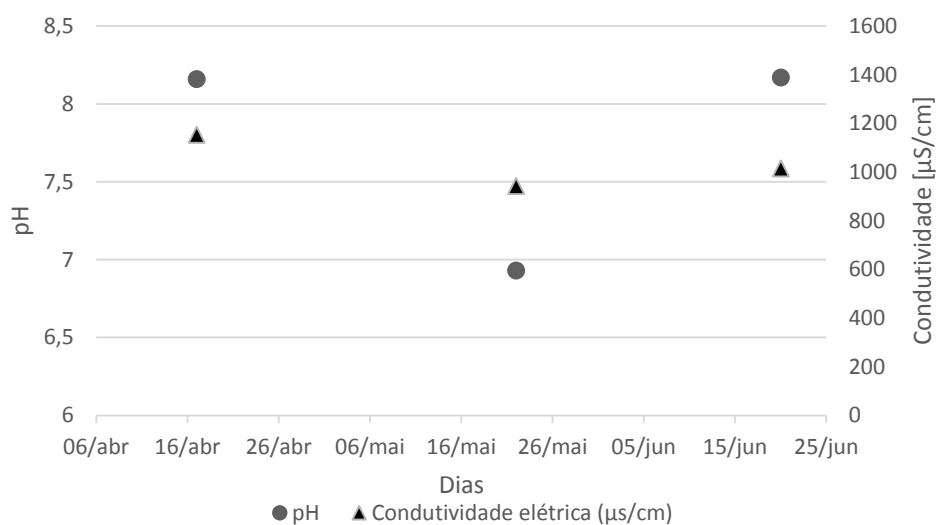


Figura 51- Valores obtidos do pH e da condutividade ao longo do ensaio experimental, da água de percolação captada no lisímetro do Talhão 1.

Ao analisar-se a Figura 51 conclui-se que o pH e a condutividade no talhão de controlo apresentam um comportamento semelhante, o pH encontra-se entre os 7,0 e os 8,5 e a condutividade entre os 1000 e os 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O valor registado a 26 de Maio pode ter sido influenciado pelo intervalo de tempo decorrido entre a precipitação no local e a recolha da amostra, que foi maior do que nas

restantes amostragens, permitindo que reacções microbiológicas tenham lugar no líquido percolado, alterando o pH.

Os valores de pH igual a 8,5 e de condutividade igual a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondem aos VMR para água destinada a PACH.

Talhão 3 - Aplicação da cinza com uma camada de espessura de 20 cm no solo sem *tout venant*

Na Figura 52 pode-se observar os valores obtidos do pH e da condutividade, em $\mu\text{S}/\text{cm}$, na água de percolação captada no lisímetro do Talhão 3.

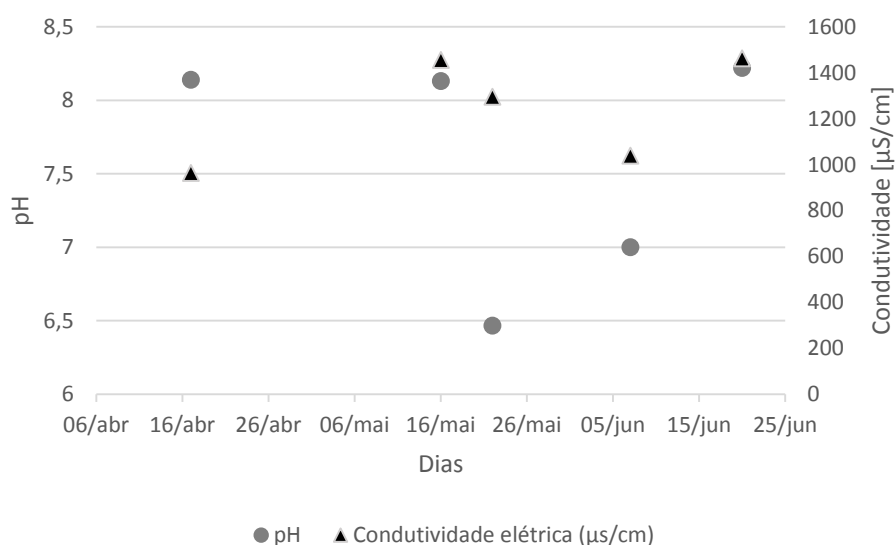


Figura 52- Valores obtidos do pH e da condutividade ao longo do ensaio experimental, da água de percolação captada no lisímetro do Talhão 3.

Ao observar-se a Figura 52 anterior conclui-se que o pH no Talhão 3 apresenta um comportamento oscilatório, mas verifica-se que quer no início do ensaio experimental, quer no fim, o pH situa-se entre os 8,0 e os 8,5 e a condutividade entre os 1000 e os 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores de 26 de Maio e 15 de Junho podem ter sido influenciados pelo intervalo de tempo decorrido entre a precipitação e a recolha da amostra. Verificando-se assim que no Talhão 3 mesmo com aplicação de cinza de fundo não houve alterações significativas do pH em relação ao talhão de controlo e em relação à situação de referência (ponto de 17-Abril). Relativamente aos valores de condutividade, revelam-se um pouco mais elevados do que os registados no talhão de controlo e na situação de referência (ponto de 17-Abril).

Talhão 4 - Aplicação da cinza com uma camada de espessura de 20 cm no solo sem *tout venant*

Na Figura 53 pode-se verificar os valores obtidos do pH e da condutividade, em $\mu\text{s}/\text{cm}$, na água de percolação captada no lisímetro do Talhão 4.

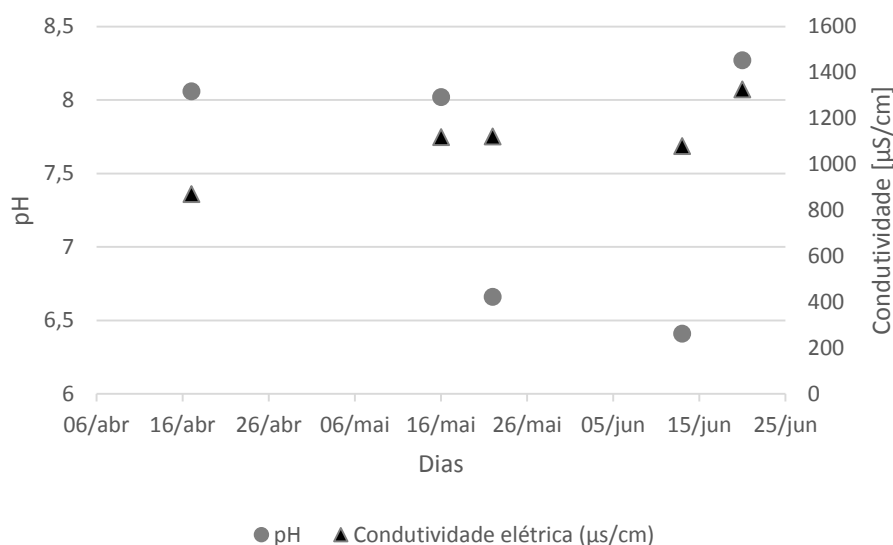


Figura 53- Valores obtidos do pH e da condutividade ao longo do ensaio experimental, da água de percolação captada no lisímetro do Talhão 4.

Graficamente conclui-se que o pH no Talhão 4 apresenta um comportamento oscilatório, semelhante ao do controlo, mas verifica-se que quer no início do ensaio experimental, quer no fim, o pH situa-se entre os 8,0 e os 8,5 e a condutividade entre os 900 e os 1400 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Os valores de 26 de Maio e 15 de Junho podem ter sido influenciados pelo intervalo de tempo decorrido entre a precipitação no local e a recolha da amostra. Verificando-se que no Talhão 4 mesmo com aplicação de cinza de fundo não houve alterações significativas em relação ao talhão de controlo e em relação à situação de referência (ponto de 17-Abril). Relativamente aos valores de condutividade, revelam-se um pouco mais elevados do que os registados no talhão de controlo e na situação de referência (ponto de 17-Abril).

Água de escorrência superficial

Na Figura 54 observa-se os valores obtidos do pH e da condutividade, em $\mu\text{s}/\text{cm}$, na água de escorrência superficial.

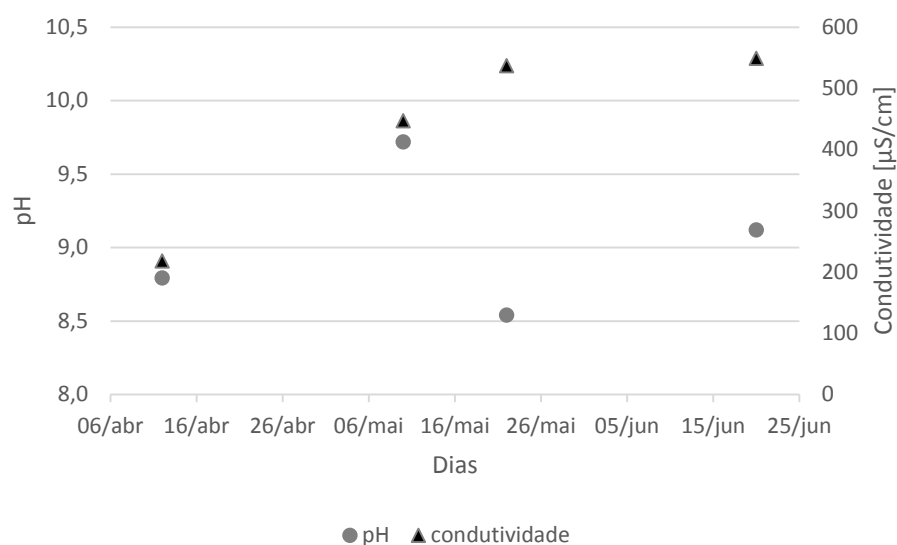


Figura 54- Valores obtidos do pH e da condutividade ao longo do ensaio experimental, da água de escorrência superficial.

Após a análise da Figura 54 estima-se que o pH da água de escorrência superficial é em média, cerca de 9,0, idêntico ao da situação de referência (Tabela 20), já a condutividade aumenta para mais do dobro, relativamente à situação de referência (Tabela 20), mantendo-se constante nos últimos meses de estudo.

5.2.2.1 **Orgânico Halogenados**

A análise efetuada aos orgânicos halogenados não detetou a sua presença nas águas de percolação e de escorrência.

5.2.2.2 **Cloretos**

Nos resultados referentes aos cloretos apenas se registou a presença destes no Talhão 3 a 16 de Abril e no Talhão 1 a 22 de Maio, 14 mg/L e 21 mg/L, respetivamente, valores estes, que são menores do que o VMR para água destinada a PACH (Decreto-Lei 236/98).

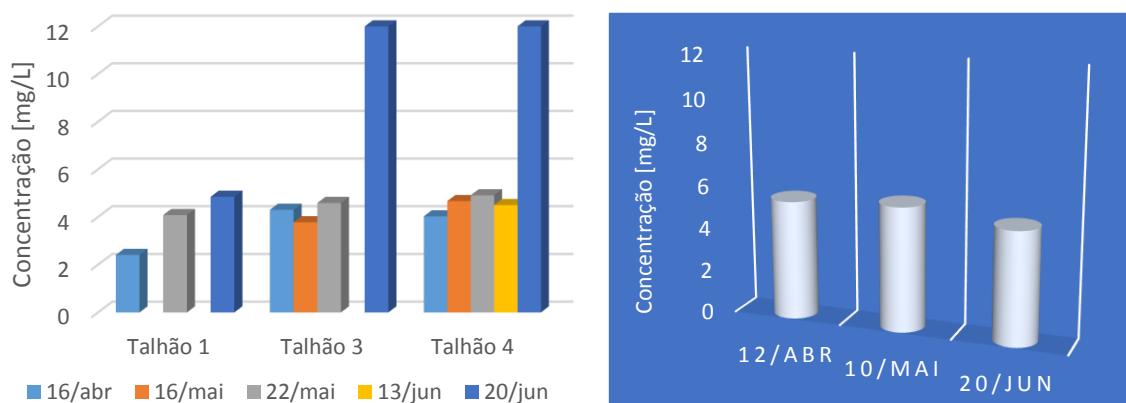
5.2.2.3 **Elementos químicos**

De seguida são apresentados os resultados obtidos da concentração de cada elemento químico, em estudo, na água de percolação e na água de escorrência superficial ao longo do ensaio experimental. Em cada ilustração estão indicados os dias em que foram realizadas as recolhas das amostras.

É de salientar que não é possível apresentar os resultados obtidos para a água de percolação e água de escorrência superficial dos elementos Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr e compostos orgânicos halogenados, uma vez que, ou não foram detetados, ou se detectaram em concentrações abaixo do limite de deteção: 0,2 mg Cd/L, 0,5 mg Cu/L, 0,2 mg Ni/L, 0,3 mg Pb/L, 0,1 mg Zn/L e 0,5 mg Cr/L, respetivamente.

Sódio

Na Figura 55 A são apresentados os resultados da concentração do Na em cada talhão, onde se encontram instalados os lisímetros e os dias de recolha da amostra de água de percolação. E na Figura 55 B pode-se observar a concentração de Na ao longo do ensaio experimental para a água de escorrência superficial. Os resultados são apresentados em concentração, com as unidades de mg/L.



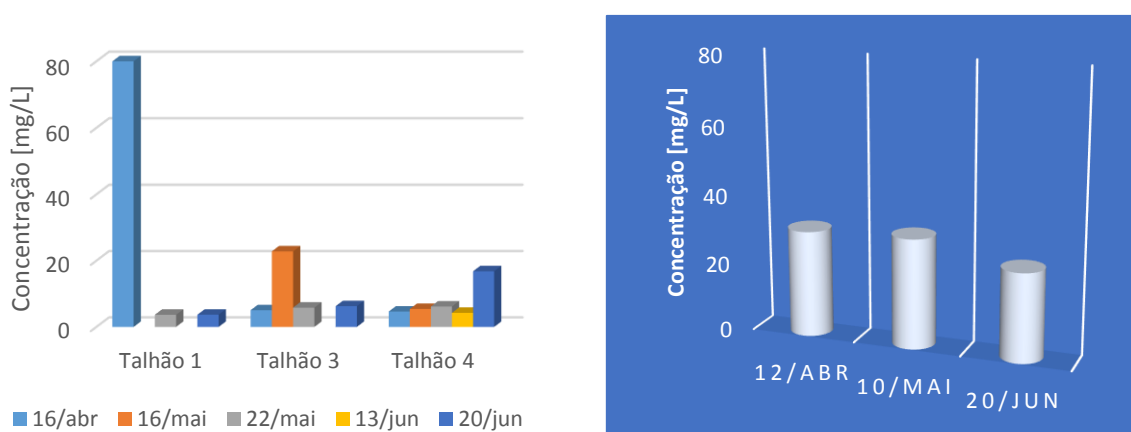
A- Resultados obtidos da concentração de Na, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4. B Resultados obtidos da concentração de Na, na água de escorrência superficial captada.

Figura 55- Resultados obtidos da concentração de Na, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4 e a água de escorrência superficial.

Ao analisar-se os resultados presentes na Figura 55 A, conclui-se que no lisímetro instalado no Talhão 1 (talhão de controlo) houve um ligeiro aumento da concentração de Na nas águas de percolação, em cerca de 2,5 mg/L. Nos restantes talhões a concentração de Na da água de percolação manteve-se relativamente constante aumentando na última amostragem, na ordem dos 8 mg/L. Na Figura 55 B, observa-se que a concentração de Na na água de escorrência superficial se situa entre os 5 a 6 mg/L, semelhante à da situação de referência (Tabela 22). Verifica-se que há transferência deste elemento químico para a água de percolação.

Potássio

Na Figura 56 A são apresentados os resultados da concentração do elemento K em cada talhão, onde se encontram instalados os lisímetros, e os dias de recolha da amostra de água de percolação. E na Figura 56 B pode-se observar a concentração de K ao longo do ensaio experimental para a água de escorrência superficial. Os resultados são apresentados em concentração, com as unidades de mg/L.



A- Resultados obtidos da concentração de K, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4.

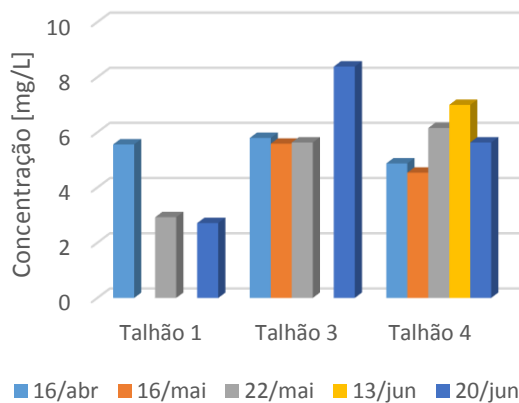
B- Resultados obtidos da concentração de K, na água de escorrência superficial captada.

Figura 56- Resultados obtidos da concentração de K, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4 e a água de escorrência superficial.

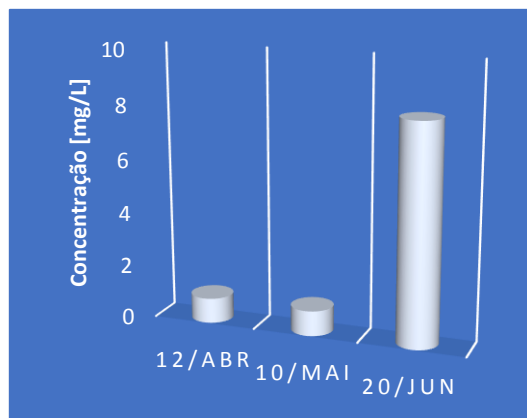
Na Figura 56 A é possível observar que no lisímetro instalado no Talhão 1 (talhão de controlo) que o primeiro valor amostrado é destinto dos restantes, cerca de 80 mg/L, podendo ter ocorrido uma perturbação não detetada na amostragem, uma vez que os restantes momentos de amostragem se encontravam com uma concentração de K na ordem dos 4,0 mg/L. Nos restantes talhões a concentração de K na água de percolação manteve-se relativamente constante rondando os 4,0 mg/L, à exceção de um aumento no Talhão 3, a 16 de Maio, e no Talhão 4 a 20 de Junho, registando-se valores de cerca de 20 mg/L. Na Figura 56 B, observa-se que a concentração de K na água de escorrência superficial se situa entre os 25 e os 32 mg/L, mas não se registando mobilização de K à superfície, por comparação com a situação de referência, (Tabela 22).

Magnésio

Na Figura 57 A são apresentados os resultados da concentração do elemento Mg em cada talhão, onde se encontram instalados os lisímetros, e os dias de recolha da amostra de água de percolação. E na Figura 57 B pode-se observar a concentração de Mg ao longo do ensaio experimental para a água de escorrência superficial. Os resultados são apresentados em concentração, com as unidades de mg/L.



A- Resultados obtidos da concentração de Mg, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4.



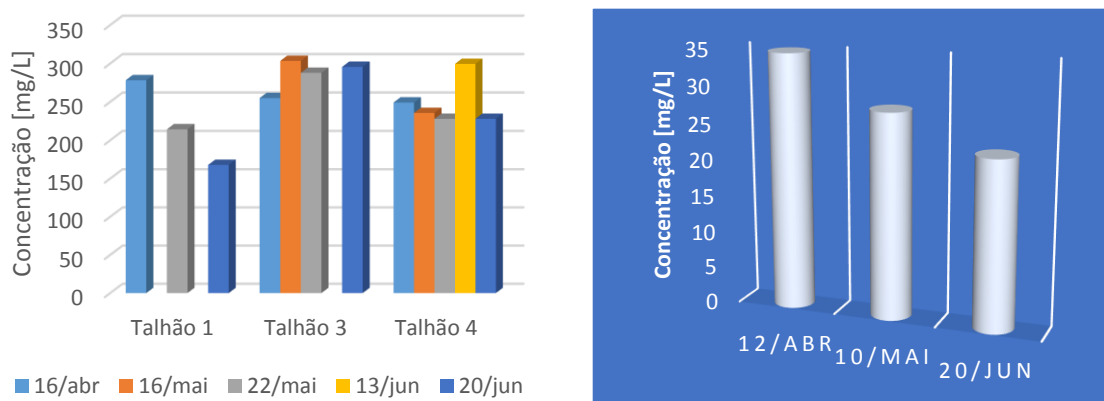
B- Resultados obtidos da concentração de Mg, na água de escorrência superficial captada.

Figura 57- Resultados obtidos da concentração de Mg, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4, e água de escorrência superficial.

Com base na Figura 57 A conclui-se que no lisímetro instalado no Talhão 1 (talhão de controlo) houve uma ligeira diminuição da concentração de Mg nas águas de percolação. Nos restantes talhões a concentração de Mg da água de percolação manteve-se relativamente constante apresentando valores ligeiramente superiores aos do Talhão 1 ao longo do ensaio, especialmente na última amostragem do Talhão 3. Na Figura 57 B, observa-se que a concentração de Mg na água de escorrência superficial se situa entre os cerca de 1,0 a 8,0 mg/L, havendo uma elevada mobilização de Mg à superfície apenas no último dia de recolha.

Cálcio

Na Figura 58 A são apresentados os resultados da concentração do elemento Ca em cada talhão, onde se encontram instalados os lisímetros, e os dias de recolha da amostra de água de percolação. E na Figura 58 B pode-se observar a concentração de Ca ao longo do ensaio experimental para a água de escorrência superficial. Os resultados são apresentados em concentração, com as unidades de mg/L.



A- Resultados obtidos da concentração de Ca, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4.

B- Resultados obtidos da concentração de Ca, na água de escorrência superficial captada.

Figura 58- Resultados obtidos da concentração de Ca, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no Talhão 1, 3 e 4, e água de escorrência superficial.

Pela análise dos resultados da Figura 58 A conclui-se que no lisímetro instalado no Talhão 1 (talhão de controlo) houve uma ligeira diminuição da concentração de Ca nas águas de percolação. Nos restantes talhões (3 e 4) a concentração de Ca na água de percolação mantém-se relativamente constante apresentando valores superiores aos do Talhão 1 ao longo do ensaio, nomeadamente no Talhão 3 onde a concentração quase que duplica, no entanto mantém-se semelhante à da situação de referência. Na Figura 58 B observa-se que a concentração de Ca na água de escorrência superficial se situa entre cerca de 25 e 35 mg/L, não havendo mobilização de Ca à superfície.

Manganês

Na Figura 59 são apresentados os resultados da concentração do elemento Mn para cada talhão, onde se encontram instalados os lisímetros, e os dias de recolha da amostra de água de percolação.

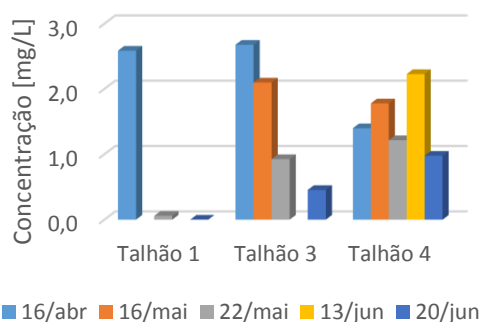


Figura 59- Resultados obtidos da concentração de Mn, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no talhão 1, 3 e 4, e água de escorrência superficial.

Com base na Figura 59 constata-se que no lisímetro instalado no Talhão 1 (talhão de controlo) há uma diminuição da concentração de Mn, quase deixando de ser detetável. Nos restantes talhões (3 e 4) a concentração de Mn na água de percolação decresce ligeiramente. Ao comparar os valores obtidos para a água de percolação com o VMR para água destinada a PACH para o Mn, de 0,05 mg/L, verifica-se que os valores ultrapassam o limite uma vez que se encontram entre os 0,05 e os 3 mg/L, no entanto, pode ser usada para rega, pois segundo o Decreto-Lei 236/98, o valor paramétrico para o Mn é de 10 mg/L. No entanto, não é clara uma correlação entre os níveis de Mn verificados, com a aplicação de cinzas no terreno, pois os valores mais elevados de Mn encontram-se na situação de referência (Tabela 21). Na água de escorrência superficial não foi detetada a presença de Mn.

Ferro

Na Figura 60 são apresentados os resultados da concentração do elemento Fe para cada talhão, onde se encontram instalados os lisímetros, e os dias de recolha da amostra de água de percolação.

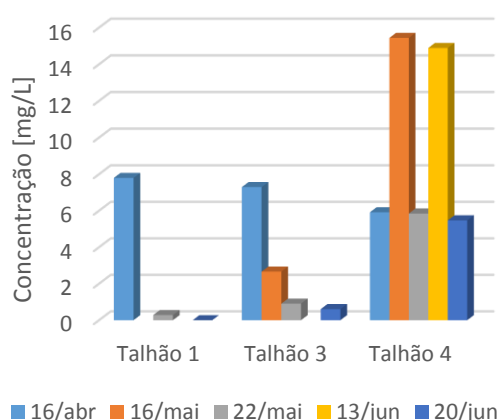


Figura 60- Resultados obtidos da concentração de Fe, na água de percolação captadas nos três lisímetros instalados no talhão 1, 3 e 4, e água de escorrência superficial.

Pela Figura 60 é possível observar que no lisímetro instalado no Talhão 1 (talhão de controlo) há uma diminuição da concentração de Fe, deixando de ser detetável no último dia de recolha de amostras. No s talhão 3 a concentração de Fe na água de percolação também decresce ao longo do ensaio, no Talhão 4 observa-se que no dia 16 de Maio e no dia 13 de Junho há um aumento da concentração para o dobro, mas baixa posteriormente para cerca de 5 mg/L. Ao comparar-se os valores obtidos para a água de percolação e o VMA na água destinada a PACH, para o Fe, de 0,3 mg/L, verifica-se que os valores ultrapassam o limite uma vez que se encontram entre os 0,5 e os 15 mg/L. Segundo o Decreto-Lei nº 236/98, o valor da concentração de Fe na água destinada a rega não deve ultrapassar 5 mg/L, registando-se valores superiores a este também não é recomendada a sua utilização p para rega. No entanto, não é clara uma correlação entre os níveis de Fe verificados e a aplicação de cinzas no terreno, pois a situação de referência (Tabela 22) já apresenta valores elevados de Fe. Por outro lado, na água de escorrência superficial, não foi detetada a presença de Fe.

6 Conclusões

O trabalho realizado teve como principal objetivo avaliar o impacto ambiental, decorrente da aplicação de cinzas de fundo no terreno, envolvendo a quantificação da mobilização de elementos químicos para o solo e para a água. Para tal foram realizados diversos ensaios num terreno de um parque industrial, no qual foram instalados três lisímetros e um recipiente provido de uma manga, que possibilitaram o armazenamento e a recolha da água de percolação (lisímetros) e a água de escorrência superficial, provenientes maioritariamente da precipitação natural.

Os testes realizados implicaram a divisão do terreno em estudo em 4 talhões. Foram posteriormente analisados diversos parâmetros na cinza, no solo, na água de percolação e de escorrência superficial, tal como o pH, a condutividade, e alguns elementos químicos e compostos, relevantes para o estudo (ver Tabela 12) e de acordo com a regulamentação aplicável, permitindo assim retirar algumas conclusões que são apresentadas em seguida.

O pH da cinza de biomassa sofre alterações evidentes, em todos os talhões, em geral ocorre uma descida do pH ao longo do tempo até à sua estabilização (findos os três meses de ensaio) passando de valores de pH da ordem dos 11 para os 10, enquanto o pH do solo, sob a cinza, aumenta, verificando-se a subida de pH de cerca de 7,0 para 8,0. Quanto ao pH da água de percolação recolhida nos lisímetros não foram registadas grandes alterações entre o lisímetro do talhão de controlo, Talhão 1, sem aplicação da cinza de fundo, e os restantes talhões (2, 3 e 4) com aplicação de cinza.

A condutividade da cinza de biomassa diminuiu em todos os talhões. Quanto aos valores da condutividade na água de percolação recolhida nos lisímetros, verificou-se um aumento ao longo dos três meses de ensaio, relativamente ao estado de referência e à água recolhida no lisímetro do talhão de controlo. Na água de escorrência superficial também se verificou um claro aumento (dobro) na condutividade. Estes aumentos na condutividade das águas refletem a dissolução de alguns sais presentes na cinza, nomeadamente, o Na e o K, pois a solubilização destes elementos, a partir das cinzas, aumentou com o decorrer dos ensaios.

No Talhão 2 foi efetuada a comparação da deposição da cinza em camada de 15 cm versus camada de 30 cm, após dois e três meses da aplicação no talhão. Para o efeito, foram recolhidas e analisadas amostras de cinza digeridas com água régia. Verificou-se que os elementos em maior concentração são o Ca, Fe, e K, não se verificando valores distintos entre as duas parcelas, apenas se detetou uma diminuição na concentração de cálcio na parcela de 30 cm. Seria interessante complementar este aspeto, com uma avaliação das características mecânicas de cada camada.

A análise das cinzas depositadas em camada de 20 cm (Talhão 3 e 4) revelou que os elementos em maior abundância na cinza, por extração aquosa são o Ca, K e Na, e por digestão em água régia o Ca, Fe e K. Verificou-se que a quantidade de K solúvel (massa por kg de cinza bs) claramente aumentou no decorrer da experiência, o mesmo acontecendo com o Na e o Mg, mas em menor extensão, por outro lado, quantidade de Ca solúvel sofreu pequena variação. Relativamente à quantificação dos elementos por digestão da cinza em água régia, verificou-se a diminuição da abundância de Ca na cinza, no final da experiência. Outros elementos como Fe, Mn e Cr, apresentaram variações mas não são conclusivas.

No Talhão 3 a cinza foi aplicada diretamente sobre o solo "original" do terreno após a prévia remoção da camada de *tout venant*, permitindo retirar amostras de solo para análise. No estado inicial, os elementos que se encontraram em maior abundância no solo foram o Fe, Ca e K. O Fe apresentou maior abundância no solo do que na cinza e os elementos Ni, Zn, Pb, Cu e Cr aparentemente (com incerteza analítica), também. A análise do solo durante o ensaio permitiu concluir que ocorreu transferência do Na da cinza para o solo uma vez que a concentração de Na no solo aumentou, enquanto que na cinza ocorreu o inverso.

A análise elementar da água de percolação recolhida nos lisímetros dos Talhões 3 e 4 revelou que, decorridos três meses de experiência, se observa, um aumento na concentração de Na, Mg, Fe e Mn, relativamente à situação de referência e ao controlo (água do lisímetro do Talhão 1).

É também de referir que os resultados não mostraram diferenças evidentes nas concentrações dos elementos nas águas de percolação, pelo facto de existir ou não uma camada de *tout venant*, entre a cinza e o solo. A essa camada só poderá ser associada a uma maior concentração de Fe na água de percolação.

Na água de escorrência superficial observou-se o aumento da concentração de Mg.

Os elementos Cr, Cd, Cu, Ni, Zn e Pb, não foram detetados nas águas de percolação e de escorrência superficial. Os compostos orgânicos halogenados não foram detetados em nenhuma das amostras aquosas. Os cloretos na forma de ião Cl⁻ foram detetados e quantificados em três situações: no extrato aquoso da cinza de fundo, no início, 6,6 mg/L; numa amostra de água de percolação da situação de referência, 14 mg/L; na água de percolação de 22 de Maio, no talhão de controlo, 21 mg/L.

Nas águas de percolação verificaram-se excedências relativamente ao VMR da condutividade, ao VMR do Mn e ao VMA do Fe, para água destinada a PACH (produção de água para consumo humano, Decreto-Lei 236/98).

Quanto aos metais pesados, após a análise e comparação dos elementos químicos, Cr, Cu, Cd, Ni, Pb e Zn, com os regulamentos existentes em Portugal conclui-se que os valores obtidos para a

cinza e para o solo em todos os talhões se encontram abaixo dos valores paramétricos existentes. Estes metais cumprem os valores limite legais na Alemanha, Áustria, Dinamarca, Suécia e Finlândia.

Em suma, há mobilização de Na da cinza para o solo e de Na, Mg, Fe e Mn, do solo para a água que percola no solo, neste caso específico deverá estudar-se mais aprofundadamente os elementos Mn e Fe, no entanto, há que se ter em atenção que a abundância de Fe, Pb, Cu, Ni, Cr e Zn no solo do terreno onde se procedeu à realização dos ensaios já era elevada, antes da colocação das cinzas, havendo maior abundância destes elementos no solo do que nas cinzas de fundo aplicadas.

Seria interessante a continuação deste trabalho, uma vez que constituiu uma experiência piloto, que contribui para aperfeiçoar todo o processo de valorização das cinzas de fundo, com origem na combustão de biomassa, na pavimentação de terrenos, mas também, porque se deveria, verificar a evolução num período de tempo maior e num local com outras características.

Referências

Bibliografia

- AHMARUZZAMAN, M. 2010. A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36, 327-363.
- BHATTACHARYA, S.C. 1998. "State of the Art of Biomass Combustion", in: Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 20: 113-135.
- BIEDERMANN, F. & OBERNBERGER, I. 2005. Ash-related Problems during Biomass Combustion and Possibilities for a Sustainable Ash Utilization. *World Renewable Energy Congress (WREC)*. Scotland: Elsevier Ltd.
- CARVALHO, F. D., SILVA, L. D. B., GUERRA, J. G. M., CRUZ, F. A. & SOUZA, A. P. 2007. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. *Engenharia Agrícola*, 58, 363-372.
- COELHO, A. M. S. L. 2010. Gestão de Cinzas produzidas em centrais de cogeração operadas com biomassa. *Departamento de Ambiente e Ordenamento*. Universidade de Aveiro.
- DAHL, O., NURMESNIEMI, H., PÖYKIÖ, R. & WATKINS, G. 2010. Heavy metal concentrations in bottom ash and fly ash fractions from a large-sized (246MW) fluidized bed boiler with respect to their Finnish forest fertilizer limit values. *Fuel Processing Technology*, 91, 1634-1639.
- DEMIRBAS, A. 2004. Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 219-230.
- DEMIRBAS, A. 2005. Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31, 171-192.
- DERBY, N., KNIGHTON, R.E. & MONTGOMERY, R. 2002. Construction and performance of large soil core lysimeters. *Soil Science Society of American Journal*, 66, 1446-1453.
- DIAS, S.M., SILVA, R.B., BARREIRO, F., COSTA, M. 2006. Avaliação do potencial de produção e utilização de CDR em Portugal Continental – Estudos base, CEBQ – Centro de Engenharia Biológica e Química, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- DINIZ, D. D. S. 2008. *Produção de álcool etílico utilizando como matérias-primas resíduos florestais e agrícolas*. Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- JAMES, A., THRING, R., HELLE, S. & GHUMAN, H. 2012. Ash Management Review—Applications of Biomass Bottom Ash. *Energies*, 5, 3856-3873.

- JENKINS, B. M., Baxter, L. L., Miles Jr, T. R. & Miles, T. R. 1998. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54, 17-46.
- KHAN, A. A., JONG, W. D., JANSENS, P. J. & SPLIETHOFF, H. 2008. Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potencial problemas and remedies. *Fuel Processing Technology*, 21-50.
- ETIÉGNI, L e CAMPBELL, A.G.. 1991. Physical and chemical characteristics of wood ash. *Bioresource Technology* 37, 173-178.
- LAM, C. H. K., IP, A. W. M., BARFORD, J. P. & MCKAY, G. 2010. Use of Incineration MSW Ash: A Review. *sustainabilityHong Kong*.
- LECKNER, B. 1998. Fluidized bed combustion: Mixing and pollutant limitation. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31-61.
- LOO, S. V. & KOPPEJAN, J. 2008. *The Handbook of Biomass Combustion and Cofiring*, Londres.
- LOPES, M. G. 2010. *Reciclagem de escórias de incineração de RSU como agregados para a construção*. Mestrado, Universidade de Aveiro.
- MATOS, M. A. A. D. 2012. *Tratamento Termoquímico de Resíduos- Módulo C*. Universidade de Aveiro.
- MCKENDRY, P. 2002. Energy production from Biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83, 37-46.
- MUSSELMAN, C. N. E. A. 1994. The New Hampshire bottom ash paving demonstrations US route 3, Laconia, New Hampshire. *National Waste Conference Proceedings*.
- NAIK, T. R. 1999. Tests of wood ash as a potential source for construction materials. In: CBU-1999-09 (ed.) *UWM Center for By-Products Utilization*. University of Wisconsin-Milwaukee, Department of Civil Engineering and Mechanics.
- NAIK, T. R. & KRAUS, R. N. 2002. Demonstration of manufacturing technology for concrete and CLSM utilizing wood ash wisconsin. In: CBU-2002-30 (ed.) *Project # 01-06 UWM Center for By-Products Utilization*. Milwaukee: Department of Civil Engineering and Mechanics, University of Wisconsin-Milwaukee.
- NAIK, T. R., KRAUS, R. N. & SIDDIQUE, R. 2003. Controlled Low-Strength Materials Containing Mixtures of Coal Ash and New Pozzolanic Material. *Materials Journal*, 100, 208-215.
- NURMESNIEMI, H., MANSKIENEN, K., R, P. & O.DAHL 2012. Forest fertilizer properties of the bottom ash and fly ash from a large-sized (115 MW) industrial power plant incinerating wood-based biomass residues. *University of Chemical Technological and Metallurgy*, 47, 43-52.

- NUSSBAUMER, T. (2003). "Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction", in: *Energy & Fuels*, 17: 1510-1521.
- OBERNBERGER, I., BRUNNER, T. & BARNTHALER, G. 2006. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. *biomass and energy* 30, 973-982.
- OBERNBERGER, I. & SUPANCIC, K. 2009. Possibilities of ash utilisation from biomass combustion plants. *17th European Biomass Conference and Exhibition*. Hamburg.
- PINHO, J. P. R. 2010. Lixiviação de biomassa e seu efeito nos produtos de combustão. Dissertação de Mestrado. *Departamento de Ambiente e Ordenamento*. Universidade de Aveiro.
- PINTO, J. C. F. 2011. Características da cinza de combustão de biomassa em leito fluidizado. Dissertação de Mestrado. *Departamento do Ambiente e Ordenamento*. Universidade de Aveiro.
- PITMAN, R. M. 2006. Wood ash use in forestry - a review of the environmental impacts. *Forestry*, 79, 563-588.
- QUAAK, P., KNOEF, H. & STASSEN, H. 1999. Energy from Biomass- A review of Combustion and Gasification Technologies. *In: SERIES, E. (ed.)*. Washington
- SAIDUR, R., ABDELAZIZ, E. A., DEMIRBAS, A., HOSSAIN, M. S. & MEKHILEF, S. 2011. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2262-2289.
- SHIH, H. C. & MA, H. W. 2011. Assessing the health risk of reuse of bottom ash in road paving. *Chemosphere*, 82, 1556-1562.
- SIDDIQUE, R. 2012. Utilization of wood ash in concrete manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 67, 27-33.
- SUPANCIC, K. & OBERNBERGER, I. Wood as utilisation as a stabiliser in road construction- first results of large-scale tests. 19th European Biomass Conference & Exhibition, 2011 Berlin, Germany. Bioenergy20020.
- UDOEYO, F. F., INYANG, H., YOUNG, D. T. & OPARADU, E. E. 2006. Potential of Wood Waste Ash as an Additive in Concrete. *Materials in Civil Engineering* 18, 605-611.
- VAMVUKA, D. & KAKARAS, E. 2011. Ash properties and environmental impact of various biomass and coal fuels and their blends. *Fuel Processing Technology*, 92, 570-581.
- VAN EIJK, R. J. K. Options for increased utilization of ash from biomass combustion and co-firing. 2012. 11.
- VASSILEV, S. V., BAXTER, D., ANDERSEN, L. K. & VASSILEVA, C. G. 2010. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89, 913-933.

WERTHER, J., SAENGER, M., HARTGE, E. U., OGADA, T., SIAGI, Z. (2000). Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science*. 26 (1): 1-27.

WILDBACHER, N. (2007). BYE/03/G31 Project “Biomass Energy for Heating and Hot Water Supply in Belarus” - Fact sheet ash utilisation, BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, Austria.

YIN, C., ROSENDAHL, L. A. & K.KAER, S. 2008. Grate-firing of biomass for heat and power production. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 725-754.

YOUCAI, Z., LUOCHUN, W., RENHUA, H., DIMIN, X. & GUOWEI, G. 2002. A comparison of refuse attenuation in laboratory and field scale lysimeters. *Waste management*, 22.

Documentos legais

Decreto-lei nº 73/2011 de 17 de Julho, que vem alterar a Lei-quadro dos resíduos, nomeadamente o Decreto-Lei nº 178/2006 de 5 de Outubro, transpondo a Diretiva nº 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro. Estabelece o Regime Geral de Gestão de resíduos e define as prioridades de gestão dos mesmos.

Decreto-Lei nº 276/2009 de 2 de Outubro, que transpõe a Diretiva Europeia 86/278/EC relativa à proteção do ambiente e, em especial, dos solos na utilização agrícola de lamas de depuração. Este apresenta os valores limite de concentração de metais pesados para as lamas de depuração a serem aplicadas em solos agrícolas ou florestais, estabelece também os valores limite nos solos recetores, a quantidade de metais pesados que podem ser anualmente introduzidas em solos cultivados e os valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas destinadas à agricultura.

Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto, que revê o Decreto-Lei nº 243/2001 de 5 de Setembro, estabelece o regime jurídico de qualidade da água para consumo humano. Este estipula os valores estabelecidos para efeitos de controlo da qualidade da água para consumo humano.

Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto, que pretende melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Este documento legal estabelece valores máximos admissíveis para vários parâmetros de interesse.

Consulta eletrónica

Carta de solos. Fonte:

(http://www.apambiente.pt/_zdata/planos/PGRH4/RB%5CParte%202%5C1.Caracterizacao_Geral%5C1.6_Solo_OrdenamentoTerritorio%5Crh4_p2_s1_6_d1_6_01_d.pdf). Consultada em 2013/03/15).

Anexo - Resultados dos elementos químicos analisados, em todos os talhões.

SÓDIO

Tabela 28- Valores obtidos do elemento sódio no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} extraída [g]	m _{na} amostra [mg]	Fração _{Na} [mg/kg]	Fração _média Na [mg/kg]	σ^4	Cv ⁵ (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	0,70	3,48E+02⁶			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	0,64	3,16E+02	3,07E+02	13,08	4,3
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	0,60	2,98E+02			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	0,83	4,16E+02			
12/12/12	Solo	T2#2	1,99	0,57	2,86E+02	2,99E+02	18,96	6,3
12/12/12	Solo	T2#3	2,00	0,63	3,13E+02			
12/12/12	Solo	T3#1	2,00	0,58	2,92E+02			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	0,54	2,73E+02	2,84E+02	9,42	3,3
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	0,58	2,86E+02			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	1,00	5,01E+02			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	0,89	4,44E+02	4,72E+02	39,72	8,4
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	0,70	3,55E+02			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	2,84	1,41E+03			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	3,87	1,94E+03	1,48E+03	87,37	5,9
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	3,05	1,54E+03			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	3,29	1,64E+03			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	3,08	1,55E+03	1,55E+03	96,46	6,2
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	2,92	1,45E+03			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	4,13	2,05E+03			
Foram 13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	4,27	2,14E+03	2,08E+03	55,81	2,7
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	4,08	2,04E+03			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	0,94	4,68E+02			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	0,90	4,51E+02	4,60E+02	12,53	2,7
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	0,24	1,18E+02			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	3,67	1,85E+03			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	3,13	1,56E+03	1,90E+03	61,02	3,2
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	3,86	1,94E+03			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	2,97	1,48E+03			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	3,24	1,61E+03	1,65E+03	56,47	3,4
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	3,39	1,69E+03			

⁴ σ - Desvio padrão⁵ Cv- Coeficiente de variação⁶ As frações [mg/L] a Bold foram rejeitadas

07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	3,35	1,67E+03			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	2,90	1,46E+03	1,47E+03	9,64	0,7
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	2,96	1,47E+03			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	3,95	1,98E+03			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	3,16	1,59E+03	1,54E+03	77,29	5,0
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	2,96	1,49E+03			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	4,17	2,09E+03			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	3,75	1,87E+03	2,04E+03	153,27	7,5
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	4,32	2,16E+03			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	3,83	1,92E+03			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	3,75	1,88E+03	1,90E+03	23,27	1,2
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	3,36	1,69E+03			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	0,90	4,52E+02			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	0,97	4,83E+02	4,53E+02	15,86	3,5
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	0,93	4,65E+02			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	0,89	4,43E+02			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	0,93	4,69E+02	4,82E+02	24,61	5,1
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	0,97	4,92E+02			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	3,85	1,92E+03			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	3,54	1,78E+03	1,76E+03	37,25	2,1
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	3,43	1,73E+03			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	0,17	8,43E+01			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	0,17	8,78E+01	8,60E+01	2,45	2,9
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	0,69	3,48E+02			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	3,53	1,78E+03			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	4,38	2,21E+03	2,17E+03	228,56	10,5
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	4,24	2,13E+03			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	2,73	1,36E+03			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	4,11	2,08E+03	2,08E+03	11,01	0,5
17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	4,17	2,09E+03			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	3,08	1,55E+03			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	3,67	1,84E+03	1,79E+03	72,23	4,0
17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	3,47	1,74E+03			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	5,48	2,76E+03			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	3,18	1,58E+03	1,54E+03	51,17	3,3
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	3,01	1,50E+03			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	3,53	1,76E+03			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	3,22	1,62E+03	1,66E+03	86,91	5,2
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	3,21	1,60E+03			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	3,11	1,57E+03			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	3,06	1,52E+03	1,60E+03	99,00	6,2
12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	3,42	1,71E+03			

12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	3,56	1,77E+03			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	3,35	1,69E+03	1,73E+03	55,89	3,2
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	3,01	1,49E+03			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	3,14	1,55E+03			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	2,55	1,27E+03	1,64E+03	125,13	7,6
12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	3,46	1,73E+03			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	2,74	1,38E+03			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	2,75	1,39E+03	1,37E+03	17,57	1,3
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	2,68	1,35E+03			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	2,99	1,49E+03			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	3,45	1,72E+03	1,70E+03	40,51	2,4
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	3,36	1,67E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	2,89	1,44E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	2,35	1,19E+03	1,24E+03	79,68	6,4
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	2,61	1,30E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	3,45	1,71E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	3,60	1,79E+03	1,74E+03	41,07	2,4
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	3,45	1,73E+03			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	2,75	1,36E+03			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	2,72	1,37E+03	1,37E+03	9,76	0,7
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	2,77	1,38E+03			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	2,63	1,30E+03			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	2,34	1,18E+03	1,24E+03	91,07	7,3
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	1,62	8,12E+02			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	1,54	7,73E+02			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	1,59	8,01E+02	7,86E+02	14,03	1,8
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	1,57	7,85E+02			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	0,54	2,69E+02			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	0,51	2,56E+02	2,63E+02	6,72	2,6
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,01	0,53	2,64E+02			

Tabela 29- Valores obtidos do elemento sódio no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m seca_extraída [g]	m na amostra [mg]	Fração _{Na} [mg/kg]	Fração _{média_Na} [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	91,14	2,96	3,25E+01	
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	91,17	5,78	6,34E+01	5,25E+01
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	101,17	6,23	6,16E+01	
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	91,32	4,76	5,21E+01	
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	91,11	4,40	4,83E+01	5,08E+01
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	91,41	4,74	5,19E+01	

13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	97,36	4,29	4,41E+01	
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	99,36	8,45	8,51E+01	5,47E+01
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	96,94	4,64	4,79E+01	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	90,29	4,15	4,59E+01	4,58E+01
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	90,05	4,11	4,56E+01	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	90,06	3,01	3,34E+01	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	89,97	3,25	3,61E+01	3,63E+01
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	90,09	3,54	3,93E+01	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	89,98	3,37	3,74E+01	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	90,20	3,58	3,97E+01	3,84E+01
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	90,26	3,44	3,81E+01	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	106,47	3,61	3,40E+01	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	98,64	4,72	4,79E+01	4,58E+01
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	99,04	5,40	5,46E+01	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	99,33	4,64	4,67E+01	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	93,29	3,36	3,60E+01	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	93,99	4,34	4,61E+01	3,60E+01
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	94,01	4,43	4,72E+01	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	93,64	4,79	5,11E+01	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	93,87	3,73	3,97E+01	4,97E+01
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	94,29	5,48	5,81E+01	

Tabela 30- Valores obtidos do elemento sódio na água de escorrência superficial e de percolação.

Data recolha	de	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração _{Na} [mg/L]
16/04/13		Água de percolação	T1	2,41
16/04/13		Água de percolação	T3	4,30
16/04/13		Água de percolação	T4	4,03
16/05/13		Água de percolação	T3	3,78
16/05/13		Água de percolação	T4	4,66
22/05/13		Água de percolação	T1	4,08
22/05/13		Água de percolação	T3	4,59
22/05/13		Água de percolação	T4	4,91
20/06/13		Água de percolação	T1	4,85

20/06/13	Água de percolação	T3	4,79
20/06/13	Água de percolação	T4	12,02
13/06/13	Água de percolação	T4#1	4,57
13/06/13	Água de percolação	T4#2	4,43
20/06/13	Água de escorrência superficial		5,22
22/03/13	Água de percolação	T 4	3,18
12/04/13	Água de escorrência superficial		5,51
10/05/13	Água de escorrência superficial		5,75
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	7,90
22/03/13	Água de percolação	T3	4,63

POTÁSSIO

Tabela 31- Valores obtidos do elemento potássio no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} extraída [g]	m _{na} amostra [mg]	Fração _K [mg/kg]	Fração _{média K} [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	3,56	1,77E+03			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	2,83	1,41E+03	1,42E+03	14,45	1,0
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	2,87	1,43E+03			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	3,77	1,89E+03			
12/12/12	Solo	T2#2	1,99	2,87	1,44E+03	1,66E+03	312,41	18,8
12/12/12	Solo	T2#3	2,00	1,89	9,45E+02			
12/12/12	Solo	T3#1	2,00	3,38	1,69E+03			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	2,63	1,32E+03	1,65E+03	53,27	3,2
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	3,26	1,61E+03			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	4,72	2,36E+03			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	4,45	2,22E+03	2,29E+03	96,10	4,2
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	3,43	1,73E+03			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	12,16	6,05E+03			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	15,66	7,87E+03	6,31E+03	367,11	5,8
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	13,01	6,57E+03			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	12,59	6,30E+03			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	12,69	6,38E+03	6,34E+03	55,86	0,9
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	10,37	5,16E+03			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	12,85	6,39E+03			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	14,51	7,29E+03	6,37E+03	33,55	0,5

13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	12,69	6,34E+03			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	5,07	2,52E+03			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	5,19	2,59E+03	2,53E+03	55,33	2,2
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	4,97	2,48E+03			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	13,52	6,83E+03			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	11,60	5,77E+03	6,58E+03	347,57	5,3
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	12,61	6,34E+03			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	10,90	5,45E+03			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	11,81	5,88E+03	5,78E+03	293,49	5,1
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	12,02	6,01E+03			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	10,99	5,49E+03			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	8,92	4,48E+03	5,44E+03	76,83	1,4
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	10,82	5,38E+03			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	16,10	8,05E+03			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	12,91	6,52E+03	6,06E+03	653,77	10,8
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	11,13	5,60E+03			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	13,88	6,98E+03			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	13,14	6,54E+03	6,40E+03	654,24	10,2
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	11,38	5,69E+03			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	15,01	7,50E+03			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	13,54	6,80E+03	7,15E+03	494,10	6,9
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	11,66	5,86E+03			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	4,47	2,25E+03			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	5,16	2,58E+03	2,30E+03	78,16	3,4
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	4,74	2,36E+03			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	5,09	2,54E+03			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	4,92	2,47E+03	2,45E+03	28,67	1,2
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	4,81	2,43E+03			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	10,63	5,32E+03			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	10,72	5,40E+03	5,36E+03	60,05	1,1
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	9,47	4,78E+03			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	3,97	1,99E+03			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	4,02	2,03E+03	2,02E+03	25,25	1,3
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	4,04	2,03E+03			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	12,93	6,52E+03			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	11,54	5,81E+03	6,74E+03	306,63	4,6
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	13,85	6,95E+03			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	7,07	3,54E+03			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	12,16	6,14E+03	5,85E+03	406,22	6,9
17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	11,10	5,56E+03			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	11,23	5,67E+03	6,91E+03	123,59	1,8
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	13,93	7,00E+03			

17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	13,59	6,83E+03			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	12,92	6,49E+03			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	13,04	6,46E+03	6,55E+03	130,61	2,0
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	13,40	6,70E+03			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	17,00	8,48E+03			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	16,97	8,52E+03	8,49E+03	30,40	0,4
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	16,96	8,46E+03			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	12,76	6,43E+03			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	11,17	5,55E+03	6,16E+03	535,35	8,7
12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	13,02	6,52E+03			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	16,18	8,02E+03			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	14,53	7,33E+03	7,02E+03	441,10	6,3
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	13,54	6,71E+03			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	12,63	6,26E+03			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	12,35	6,16E+03	6,26E+03	93,40	1,5
12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	12,68	6,35E+03			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	13,61	6,84E+03			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	13,92	7,02E+03	6,87E+03	141,68	2,1
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	13,36	6,74E+03			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	15,40	7,70E+03			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	17,41	8,71E+03	7,90E+03	283,99	3,6
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	16,32	8,10E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	15,25	7,57E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	19,70	9,94E+03	7,45E+03	164,47	2,2
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	14,76	7,34E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	15,11	7,49E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	14,38	7,14E+03	7,34E+03	182,36	2,5
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	14,77	7,39E+03			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	11,97	5,93E+03			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	11,73	5,90E+03	5,99E+03	130,00	2,2
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	12,32	6,14E+03			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	3,92	1,94E+03			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	4,83	2,43E+03	2,19E+03	344,20	15,7
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	6,49	3,25E+03			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	6,40	3,21E+03			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	3,38	1,70E+03	1,86E+03	231,19	12,4
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	4,06	2,02E+03			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	4,43	2,22E+03			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	4,10	2,06E+03	2,22E+03	83,03	3,7
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,01	4,38	2,18E+03			

Tabela 32- Valores obtidos do elemento potássio no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	de	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m [g]	m _{seca_extraída}	m _{na amostra} [mg]	Fração_K [mg/kg]	Fração_média_K [mg/kg]
13/06/13		Cinza	Extração aquosa	T4S1	91,14		5,0821	5,58E+01	
13/06/13		Cinza	Extração aquosa	T4S2	91,17		11,2721	1,24E+02	1,03E+02
13/06/13		Cinza	Extração aquosa	T4S4	101,17		13,1664	1,30E+02	
07/06/13		Cinza	Extração aquosa	T3S4	91,32		7,1026	7,78E+01	
07/06/13		Cinza	Extração aquosa	T3S2	91,11		6,6754	7,33E+01	9,00E+01
13/06/13		Cinza	Extração aquosa	T3S3	91,41		10,8640	1,19E+02	
13/06/13		Cinza	Extração aquosa	T2S1	95,38		6,8888	7,22E+01	
13/06/13		Cinza	Extração aquosa	T2S2	97,36		8,1378	8,36E+01	1,12E+02
13/06/13		Cinza	Extração aquosa	T2S3	99,36		20,7677	2,09E+02	
13/06/13		Cinza	Extração aquosa	T2S4	96,94		8,0049	8,26E+01	
17/04/13		Cinza	Extração aquosa	T2#1	90,29		7,5815	8,40E+01	8,31E+01
17/04/13		Cinza	Extração aquosa	T2#2	90,05		7,4059	8,22E+01	
17/04/13		Cinza	Extração aquosa	T3#1	90,06		3,9072	4,34E+01	
17/04/13		Cinza	Extração aquosa	T3#2	89,97		4,4899	4,99E+01	4,90E+01
17/04/13		Cinza	Extração aquosa	T3#3	90,09		4,8370	5,37E+01	
17/04/13		Cinza	Extração aquosa	T4#1	89,98		5,8754	6,53E+01	
17/04/13		Cinza	Extração aquosa	T4#2	90,20		5,2463	5,82E+01	6,01E+01
17/04/13		Cinza	Extração aquosa	T4#3	90,26		5,1302	5,68E+01	
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T2S1	106,47		6,0512	5,68E+01	
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T2S2	98,64		8,6674	8,79E+01	8,98E+01
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T2S3	99,04		12,6754	1,28E+02	
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T2S4	99,33		8,5798	8,64E+01	
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T3S2	93,29		6,4230	6,89E+01	
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T3S3	93,99		9,3924	9,99E+01	8,00E+01
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T3S4	94,01		6,6896	7,12E+01	
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T4S1	93,64		11,0312	1,18E+02	
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T4S2	93,87		7,1646	7,63E+01	1,06E+02
12/07/13		Cinza	Extração aquosa	T4S4	94,29		11,6505	1,24E+02	

Tabela 33- Valores obtidos do elemento potássio na água de escorrência superficial e de percolação

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração_K [mg/L]
16/04/13	Água de percolação	T1	80,57
16/04/13	Água de percolação	T3	5,03
16/04/13	Água de percolação	T4	4,63
16/05/13	Água de percolação	T3	22,80
16/05/13	Água de percolação	T4	5,44
22/05/13	Água de percolação	T1	3,68
22/05/13	Água de percolação	T3	5,83
22/05/13	Água de percolação	T4	6,16
20/06/13	Água de percolação	T1	3,70
20/06/13	Água de percolação	T3	6,27
20/06/13	Água de percolação	T4	16,80
13/06/13	Água de percolação	T4#1	4,14
13/06/13	Água de percolação	T4#2	4,38
20/06/13	Água de escorrência superficial		25,77
22/03/13	Água de percolação	T 4	7,00
12/04/13	Água de escorrência superficial		30,97
10/05/13	Água de escorrência superficial		31,95
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	7,63
22/03/13	Água de percolação	T3	3,40

MAGNÉSIO

Tabela 34- Valores obtidos do elemento magnésio no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m_seca_extraiada [g]	m_na_amostra [mg]	Fração_Mg [mg/kg]	Fração_média Mg [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	3,22	1,60E+03			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	3,02	1,50E+03	1,55E+03	71,73	4,6
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	2,52	1,25E+03			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	3,55	1,78E+03			
12/12/12	Solo	T2#2	1,99	3,43	1,72E+03	1,58E+03	38,39	2,4
12/12/12	Solo	T2#3	2,00	3,40	1,70E+03			

12/12/12	Solo	T3#1	2,00	2,19	1,10E+03			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	2,18	1,09E+03	1,12E+03	48,51	4,3
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	2,38	1,18E+03			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	1,88	9,39E+02			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	2,00	1,00E+03	9,70E+02	43,25	4,5
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	2,42	1,22E+03			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	4,26	2,12E+03			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	4,31	2,16E+03	2,11E+03	59,99	2,8
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	4,05	2,04E+03			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	4,63	2,32E+03			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	3,67	1,85E+03	1,77E+03	111,56	6,3
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	3,39	1,69E+03			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	5,38	2,68E+03			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	5,87	2,95E+03	2,63E+03	64,83	2,5
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	5,17	2,58E+03			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	3,69	1,84E+03			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	3,45	1,72E+03	1,74E+03	92,57	5,3
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	3,31	1,65E+03			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	4,94	2,49E+03			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	5,71	2,84E+03	2,54E+03	65,81	2,6
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	5,15	2,59E+03			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	5,26	2,63E+03			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	4,73	2,35E+03	2,54E+03	165,28	6,5
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	5,29	2,64E+03			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	4,28	2,14E+03			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	4,47	2,25E+03	2,19E+03	73,98	3,4
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	3,51	1,75E+03			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	3,96	1,98E+03			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	3,77	1,90E+03	1,93E+03	39,53	2,0
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	3,82	1,92E+03			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	5,45	2,74E+03			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	5,75	2,86E+03	2,69E+03	195,24	7,2
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	4,96	2,48E+03			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	4,52	2,26E+03			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	4,35	2,19E+03	2,22E+03	50,05	2,3
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	7,36	3,70E+03			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	3,51	1,76E+03			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	3,48	1,74E+03	1,74E+03	17,57	1,0
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	3,47	1,73E+03			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	3,19	1,60E+03			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	4,37	2,20E+03	2,15E+03	58,86	2,7
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	4,18	2,11E+03			

Avaliação do impacte das cinzas de fundo num parque industrial, 2013

13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	4,98	2,49E+03			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	5,12	2,58E+03	2,62E+03	150,48	5,7
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	5,52	2,78E+03			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	3,12	1,56E+03			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	3,14	1,59E+03	1,61E+03	61,40	3,8
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	3,33	1,68E+03			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	4,59	2,31E+03			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	5,03	2,53E+03	2,41E+03	115,10	4,8
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	4,73	2,37E+03			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	3,77	1,89E+03			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	3,63	1,83E+03	1,86E+03	101,62	5,5
17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	3,37	1,69E+03			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	3,89	1,96E+03			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	3,65	1,84E+03	1,93E+03	85,59	4,4
17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	3,98	2,00E+03			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	4,86	2,44E+03			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	5,99	2,97E+03	2,71E+03	371,10	13,7
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	7,01	3,50E+03			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	3,81	1,90E+03			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	4,06	2,04E+03	2,06E+03	167,72	8,1
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	4,48	2,24E+03			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	3,88	1,96E+03			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	3,87	1,92E+03	1,94E+03	16,31	0,8
12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	3,87	1,94E+03			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	3,96	1,96E+03			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	2,84	1,43E+03	1,36E+03	103,55	7,6
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	2,60	1,29E+03			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	2,52	1,25E+03			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	5,15	2,57E+03	1,17E+03	107,30	9,1
12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	2,19	1,10E+03			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	5,59	2,81E+03			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	6,14	3,10E+03	2,74E+03	98,68	3,6
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	5,29	2,67E+03			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	6,14	3,07E+03			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	6,16	3,08E+03	2,87E+03	10,85	0,4
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	4,98	2,47E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	7,12	3,54E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	4,83	2,44E+03	2,48E+03	59,02	2,4
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	5,07	2,52E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	5,29	2,62E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	6,02	2,99E+03	2,65E+03	36,61	1,4
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	5,35	2,68E+03			

12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	5,55	2,75E+03			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	6,48	3,26E+03	2,73E+03	26,50	1,0
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	5,44	2,71E+03			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	4,12	2,04E+03			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	4,10	2,06E+03	2,08E+03	46,14	2,2
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	4,24	2,13E+03			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	3,97	1,99E+03			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	3,15	1,58E+03	1,79E+03	289,21	16,2
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	1,91	9,51E+02			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	3,65	1,83E+03			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	3,84	1,93E+03	1,89E+03	52,20	2,8
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,01	3,83	1,91E+03			

Tabela 35- Valores obtidos do elemento magnésio no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m [g]	m _{seca_extraída} [mg]	m _{na amostra} [mg]	Fração_Mg [mg/kg]	Fração_média_Mg [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	0,0911	0,4241	4,65E+00		
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	0,0912	0,4440	4,87E+00		4,05E+00
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	0,1012	0,2663	2,63E+00		
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	0,0913	0,2430	2,66E+00		
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	0,0911	0,0761	8,36E-01		1,28E+00
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	0,0914	0,0303	3,32E-01		
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	0,0954	0,5274	5,53E+00		
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	0,0974	0,0977	1,00E+00		
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	0,0994	0,0552	5,56E-01		7,83E-01
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	0,0969	0,0766	7,91E-01		
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	0,0903	0,1351	1,50E+00		1,37E+00
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	0,0901	0,1116	1,24E+00		
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	0,0901	0,0379	4,21E-01		
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	0,0900	0,0046	5,15E-02		2,64E-01
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	0,0901	0,0289	3,20E-01		
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	0,0900	0,3847	4,28E+00		
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	0,0902	0,4977	5,52E+00		3,76E+00
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	0,0903	0,1331	1,47E+00		
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	0,1065	0,1653	1,55E+00		1,90E+00

12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	0,0986	0,3168	3,21E+00	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	0,0990	0,1005	1,01E+00	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	0,0993	0,1797	1,81E+00	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	0,0933	0,2337	2,50E+00	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	0,0940	0,2438	2,59E+00	2,81E+00
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	0,0940	0,5944	6,32E+00	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	0,0936	0,0740	7,90E-01	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	0,0939	0,2099	2,24E+00	1,86E+00
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	0,0943	0,2393	2,54E+00	

Tabela 36- Valores obtidos do elemento magnésio na água de escorrência superficial e de percolação.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração _{Mg} [mg/L]
16/04/13	Água de percolação	T1	5,56
16/04/13	Água de percolação	T3	5,80
16/04/13	Água de percolação	T4	4,87
16/05/13	Água de percolação	T3	5,58
16/05/13	Água de percolação	T4	4,53
22/05/13	Água de percolação	T1	2,92
22/05/13	Água de percolação	T3	5,63
22/05/13	Água de percolação	T4	6,16
20/06/13	Água de percolação	T1	2,71
20/06/13	Água de percolação	T3	8,39
20/06/13	Água de percolação	T4	5,63
13/06/13	Água de percolação	T4#1	6,79
13/06/13	Água de percolação	T4#2	7,21
20/06/13	Água de escorrência superficial		8,07
22/03/13	Água potes	T 4	5,57
12/04/13	Água de escorrência superficial		0,93
10/05/13	Água de escorrência superficial		0,93
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	0,41
22/03/13	Água de percolação	T3	0,38

CÁLCIO

Tabela 37- Valores obtidos do elemento cálcio no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} _extraída [g]	m _{na} amostra [mg]	Fração _{Ca} [mg/kg]	Fração _média Ca [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	366,47	1,82E+05			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	419,88	2,09E+05	1,86E+05	13287	6,8
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	336,80	1,68E+05			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	375,37	1,88E+05			
12/12/12	Solo	T2#2	1,99	244,81	1,23E+05	1,10E+05	12919	11,7
12/12/12	Solo	T2#3	2,00	194,36	9,72E+04			
12/12/12	Solo	T3#1	2,00	8,35	4,17E+03			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	9,24	4,64E+03	4,41E+03	234	5,3
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	15,91	7,88E+03			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	31,49	1,57E+04			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	27,26	1,36E+04	1,47E+04	1057	7,2
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	8,57	4,33E+03			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	51,76	2,58E+04			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	76,52	3,85E+04	3,74E+04	1075	2,9
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	71,88	3,63E+04			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	60,66	3,03E+04			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	57,95	2,91E+04	2,97E+04	604	2,0
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	46,34	2,31E+04			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	87,74	4,37E+04			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	93,54	4,70E+04	4,42E+04	2106	4,8
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	83,87	4,19E+04			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	14,24	7,08E+03			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	13,46	6,73E+03	7,11E+03	316	4,5
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	15,01	7,50E+03			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	66,46	3,36E+04			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	56,40	2,81E+04	3,38E+04	192	0,6
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	67,56	3,39E+04			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	75,83	3,79E+04			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	67,17	3,34E+04	3,56E+04	1837	5,2
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	71,10	3,56E+04			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	58,90	2,94E+04			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	49,45	2,48E+04	2,31E+04	1789	7,8
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	42,76	2,13E+04			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	53,78	2,69E+04			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	49,84	2,52E+04	2,63E+04	795	3,0
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	53,39	2,68E+04			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	69,92	3,51E+04			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	65,98	3,28E+04	3,33E+04	1391	4,2

13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	63,62	3,18E+04			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	56,93	2,85E+04			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	61,65	3,10E+04	2,98E+04	1035	3,5
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	59,69	3,00E+04			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	14,69	7,38E+03			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	26,89	1,34E+04	1,27E+04	768	6,1
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	23,94	1,19E+04			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	23,54	1,18E+04			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	17,05	8,57E+03	1,10E+04	736	6,7
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	20,39	1,03E+04			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	70,31	3,52E+04			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	62,44	3,15E+04	3,33E+04	1851	5,6
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	86,46	4,36E+04			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	22,36	1,12E+04			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	19,21	9,70E+03	1,04E+04	744	7,1
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	29,25	1,47E+04			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	70,71	3,57E+04			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	80,55	4,06E+04	4,05E+04	3889	9,6
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	90,00	4,52E+04			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	62,83	3,15E+04			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	42,36	2,14E+04	2,18E+04	418	1,9
17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	44,33	2,22E+04			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	54,96	2,77E+04			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	34,88	1,75E+04	2,46E+04	3135	12,7
17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	42,76	2,15E+04			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	44,89	2,26E+04			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	46,80	2,32E+04	2,32E+04	537	2,3
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	47,76	2,39E+04			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	35,74	1,78E+04			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	40,97	2,06E+04	1,92E+04	1373	7,1
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	48,81	2,44E+04			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	60,39	3,04E+04			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	59,27	2,94E+04	3,00E+04	420	1,4
12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	60,31	3,02E+04			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	44,10	2,19E+04			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	44,42	2,24E+04	2,22E+04	229	1,0
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	44,89	2,22E+04			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	37,49	1,86E+04			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	36,26	1,81E+04	1,89E+04	805	4,3
12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	39,92	2,00E+04			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	36,05	1,81E+04	1,81E+04	52	0,3
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	36,00	1,82E+04			

12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	35,74	1,80E+04			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	29,99	1,50E+04			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	31,03	1,55E+04	1,59E+04	946	5,9
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	34,67	1,72E+04			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	44,10	2,19E+04			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	28,16	1,42E+04	1,57E+04	1497	9,5
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	34,59	1,72E+04			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	31,29	1,55E+04			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	37,83	1,88E+04	1,80E+04	733	4,1
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	34,59	1,73E+04			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	34,59	1,71E+04			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	34,95	1,76E+04	1,68E+04	854	5,1
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	31,29	1,56E+04			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	14,39	7,13E+03			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	13,42	6,75E+03	7,16E+03	198	2,8
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	14,34	7,19E+03			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	36,56	1,84E+04			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	28,92	1,45E+04	1,43E+04	202	1,4
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	28,33	1,41E+04			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	11,20	5,62E+03			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	5,84	2,94E+03	5,22E+03	392	7,5
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,01	9,71	4,83E+03			

Tabela 38- Valores obtidos do elemento cálcio no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca_extraída} [g]	m _{na amostra} [mg]	Fração _{_Ca} [mg/kg]	Fração _{_média_Ca} [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	91,14	98,11	1,08E+03	
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	91,17	90,54	9,93E+02	1,35E+03
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	101,17	149,71	1,48E+03	
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	91,32	120,93	1,32E+03	
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	91,11	160,14	1,76E+03	1,70E+03
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	91,41	183,30	2,01E+03	
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	95,38	132,27	1,39E+03	
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	97,36	177,24	1,82E+03	1,18E+03
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	99,36	168,58	1,70E+03	
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	96,94	48,54	5,01E+02	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	90,29	225,80	2,50E+03	2,45E+03
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	90,05	216,94	2,45E+03	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	90,06	130,50	1,45E+03	1,53E+03

17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	89,97	149,85	1,67E+03	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	90,09	133,29	1,48E+03	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	89,98	127,57	1,42E+03	
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	90,20	136,22	1,51E+03	1,47E+03
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	90,26	133,58	1,48E+03	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	106,47	85,04	7,99E+02	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	98,64	133,79	1,36E+03	1,40E+03
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	99,04	174,03	1,76E+03	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	99,33	168,41	1,70E+03	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	93,29	169,78	1,82E+03	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	93,99	133,24	1,42E+03	1,49E+03
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	94,01	115,78	1,23E+03	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	93,64	210,88	2,25E+03	
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	93,87	144,72	1,54E+03	1,73E+03
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	94,29	130,74	1,39E+03	

Tabela 39- Valores obtidos do elemento cálcio na água de escorrência superficial e de percolação.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração _{Ca} [mg/L]
16/04/13	Água de percolação	T1	278,14
16/04/13	Água de percolação	T3	254,93
16/04/13	Água de percolação	T4	249,13
16/05/13	Água de percolação	T3	303,29
16/05/13	Água de percolação	T4	235,59
22/05/13	Água de percolação	T1	214,31
22/05/13	Água de percolação	T3	287,81
22/05/13	Água de percolação	T4	227,85
20/06/13	Água de percolação	T1	167,89
20/06/13	Água de percolação	T3	295,55
20/06/13	Água de percolação	T4	227,85
13/06/13	Água de percolação	T4#1	330,37
13/06/13	Água de percolação	T4#2	268,47
20/06/13	Água de escorrência superficial		23,02
22/03/13	Água de percolação	T 4	235,59

12/04/13	Água de escorrência superficial		34,62
10/05/13	Água de escorrência superficial		27,85
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	225,92
22/03/13	Água de percolação	T3	160,15

MANGANÊS

Tabela 40- Valores obtidos do elemento manganês no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} extraída [g]	m _{na} amostra [mg]	Fração _{Mn} [mg/kg]	Fração _{média Mn} [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,010	0,429	2,14E+02			
12/12/12	Solo	T1#2	2,010	0,288	1,43E+02	2,18E+02	6,69	3,1
12/12/12	Solo	T1#3	2,010	0,448	2,23E+02			
12/12/12	Solo	T2#1	2,000	0,441	2,20E+02			
12/12/12	Solo	T2#2	1,990	0,581	2,92E+02	3,24E+02	44,71	13,8
12/12/12	Solo	T2#3	2,000	0,711	3,55E+02			
12/12/12	Solo	T3#1	2,000	0,482	2,41E+02			
12/12/12	Solo	T3#2	1,990	0,452	2,27E+02	2,48E+02	25,43	10,2
12/12/12	Solo	T3#3	2,020	0,559	2,77E+02			
12/12/12	Solo	T4#1	2,000	0,502	2,51E+02			
12/12/12	Solo	T4#2	2,000	0,513	2,56E+02	2,61E+02	12,35	4,7
12/12/12	Solo	T4#3	1,980	0,543	2,74E+02			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,010	0,897	4,46E+02			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,990	0,912	4,59E+02	4,52E+02	6,11	1,4
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,980	0,893	4,51E+02			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,000	0,722	3,61E+02			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,990	0,760	3,82E+02	3,68E+02	12,06	3,3
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,010	0,726	3,61E+02			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,010	1,300	6,47E+02			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,990	2,388	1,20E+03	5,28E+02	168,30	31,9
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,000	0,817	4,09E+02			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,010	0,559	2,78E+02			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,000	0,521	2,60E+02	2,63E+02	13,78	5,2
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,000	0,502	2,51E+02			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,980	0,726	3,67E+02			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,010	0,661	3,29E+02	3,15E+02	19,30	6,1
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,990	0,600	3,02E+02			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,000	0,909	4,54E+02	4,43E+02	14,37	3,2

13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,010	0,858	4,27E+02			
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,000	0,897	4,49E+02			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,000	0,615	3,07E+02			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,990	0,574	2,88E+02	3,16E+02	33,56	10,6
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,010	0,711	3,54E+02			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,000	0,692	3,46E+02			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,980	0,619	3,13E+02	3,28E+02	16,73	5,1
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,990	0,646	3,25E+02			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,990	0,825	4,15E+02			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,010	0,706	3,51E+02	4,08E+02	9,54	2,3
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,000	0,802	4,01E+02			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,000	0,684	3,42E+02			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,990	0,775	3,90E+02	3,94E+02	6,76	1,7
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,990	0,795	3,99E+02			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,990	0,543	2,73E+02			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,000	0,680	3,40E+02	2,92E+02	27,29	9,3
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,010	0,764	3,80E+02			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,000	0,623	3,12E+02			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,990	0,536	2,69E+02	3,66E+02	4,47	1,7
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,980	0,521	2,63E+02			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,000	0,756	3,78E+02			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,985	0,848	4,27E+02	3,86E+02	17,93	4,9
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,982	0,699	3,53E+02			
17/04/13	Solo	T3#1	1,998	0,465	2,33E+02			
17/04/13	Solo	T3#2	1,980	0,452	2,28E+02	2,35E+02	7,65	3,3
17/04/13	Solo	T3#3	1,984	0,482	2,43E+02			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,983	1,026	5,17E+02			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,984	1,262	6,36E+02	5,27E+02	104,57	19,8
17/04/13	Cinza	T2#3	1,992	0,852	4,28E+02			
17/04/13	Cinza	T3#1	1,997	0,814	4,07E+02			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,981	0,608	3,07E+02	3,14E+02	10,62	3,4
17/04/13	Cinza	T3#3	1,995	0,642	3,22E+02			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,981	0,662	3,34E+02			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,990	0,703	3,53E+02	3,51E+02	10,11	2,9
17/04/13	Cinza	T4#3	1,991	0,696	3,49E+02			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,989	0,881	4,43E+02			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,018	0,754	3,73E+02	4,08E+02	49,30	12,1
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,000	0,579	2,89E+02			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,005	0,745	3,72E+02			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,991	0,701	3,52E+02	3,62E+02	13,81	3,8
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,004	0,429	2,14E+02			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,986	0,840	4,23E+02	4,30E+02	13,93	3,2

12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,014	0,846	4,20E+02			
12/07/13	Cinza	T2S3#3	1,997	0,890	4,46E+02			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,018	0,780	3,87E+02			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,983	0,762	3,84E+02	3,82E+02	5,85	1,5
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,019	0,758	3,76E+02			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,019	0,704	3,49E+02			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,003	0,750	3,74E+02	3,54E+02	18,56	5,2
12/07/13	Cinza	T3S2#1	1,997	0,675	3,38E+02			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,989	0,616	3,10E+02			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,982	0,802	4,05E+02	3,13E+02	4,64	1,5
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,981	0,627	3,16E+02			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,001	0,600	3,00E+02			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,000	0,679	3,40E+02	3,03E+02	4,05	1,3
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,015	0,616	3,06E+02			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,014	0,570	2,83E+02			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,983	0,653	3,29E+02	3,06E+02	23,22	7,6
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,012	0,616	3,06E+02			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,018	0,587	2,91E+02			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,015	0,614	3,05E+02	2,93E+02	10,51	3,6
12/07/13	Cinza	T4S1#3	1,998	0,567	2,84E+02			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,018	0,524	2,60E+02			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,987	0,789	3,97E+02	2,46E+02	19,80	8,1
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,006	0,464	2,32E+02			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,017	0,568	2,81E+02			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,990	0,451	2,27E+02	2,87E+02	7,82	2,7
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,993	0,583	2,92E+02			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,990	0,627	3,15E+02			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,991	0,616	3,09E+02	3,12E+02	4,01	1,3
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,006	0,412	2,05E+02			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,995	0,350	1,76E+02			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,990	0,438	2,20E+02	2,17E+02	4,30	2,0
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,010	0,430	2,14E+02			

Tabela 41- Valores obtidos do elemento manganês no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Fração _{Mn} [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND

13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND

Tabela 42- Valores obtidos do elemento manganês na água de escorrência superficial e de percolação.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração_Mn [mg/L]
16/04/13	Água de percolação	T1	2,59
16/04/13	Água de percolação	T3	2,68
16/04/13	Água de percolação	T4	1,40
16/05/13	Água de percolação	T3	2,10
16/05/13	Água de percolação	T4	1,78
22/05/13	Água de percolação	T1	0,06
22/05/13	Água de percolação	T3	0,93

22/05/13	Água de percolação	T4	1,21
20/06/13	Água de percolação	T1	ND
20/06/13	Água de percolação	T3	0,45
20/06/13	Água de percolação	T4	0,98
13/06/13	Água de percolação	T4#1	2,25
13/06/13	Água de percolação	T4#2	2,20
20/06/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T 4	0,07
12/04/13	Água de escorrência superficial		0,01
10/05/13	Água de escorrência superficial		0,01
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	0,07
22/03/13	Água de percolação	T3	ND

FERRO

Tabela 43- Valores obtidos do elemento ferro no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} _{extraída} [g]	m _{na} _{amostra} [mg]	Fração _{Fe} [mg/kg]	Fração _{média Fe} [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	26,16	1,30E+04			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	23,19	1,15E+04	1,22E+04	749	6,1
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	24,27	1,21E+04			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	30,49	1,52E+04			
12/12/12	Solo	T2#2	1,99	34,27	1,72E+04	1,62E+04	1399	8,6
12/12/12	Solo	T2#3	2,00	41,30	2,06E+04			
12/12/12	Solo	T3#1	2,00	39,14	1,96E+04			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	36,16	1,82E+04	1,89E+04	700	3,7
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	38,32	1,90E+04			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	34,27	1,71E+04			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	39,95	2,00E+04	1,64E+04	1036	6,3
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	31,03	1,57E+04			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	20,35	1,01E+04			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	24,11	1,21E+04	1,03E+04	287	2,8
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	20,85	1,05E+04			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	18,35	9,17E+03	9,13E+03	56	0,6
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	18,10	9,09E+03			

13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	16,59	8,25E+03			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	19,10	9,50E+03			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	21,10	1,06E+04	1,08E+04	228	2,1
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	21,85	1,09E+04			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	33,13	1,65E+04			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	35,89	1,79E+04	1,74E+04	781	4,5
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	35,39	1,77E+04			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	24,11	1,22E+04			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	17,34	8,63E+03	9,49E+03	1219	12,8
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	20,60	1,04E+04			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	19,85	9,92E+03			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	19,35	9,63E+03	9,78E+03	211	2,2
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	22,11	1,11E+04			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	21,60	1,08E+04			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	22,11	1,11E+04	1,03E+04	1066	10,3
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	18,35	9,13E+03			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	22,86	1,14E+04			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	19,10	9,65E+03	9,68E+03	55	0,6
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	19,35	9,72E+03			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	29,37	1,48E+04			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	32,88	1,64E+04	1,56E+04	1131	7,3
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	25,61	1,28E+04			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	26,87	1,34E+04			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	25,36	1,27E+04	1,31E+04	487	3,7
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	34,64	1,74E+04			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	38,15	1,92E+04			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	35,64	1,78E+04	1,85E+04	954	5,2
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	16,59	8,25E+03			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	32,88	1,64E+04			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	20,60	1,04E+04	1,01E+04	411	4,1
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	19,35	9,77E+03			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	24,86	1,24E+04			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	29,87	1,51E+04	1,26E+04	259	2,1
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	25,36	1,28E+04			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	40,65	2,03E+04			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	20,85	1,05E+04	2,00E+04	434	2,2
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	39,15	1,97E+04			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	18,60	9,38E+03			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	18,60	9,37E+03	9,38E+03	3	0,0
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	27,87	1,40E+04			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	7,82	3,92E+03	1,53E+04	789	5,2
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	31,38	1,58E+04			

17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	29,37	1,47E+04			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	15,84	8,00E+03			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	20,60	1,04E+04	8,48E+03	684	8,1
17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	17,84	8,96E+03			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	20,27	1,02E+04			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	20,30	1,01E+04	1,01E+04	97	1,0
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	22,77	1,14E+04			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	26,01	1,30E+04			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	24,44	1,23E+04	1,26E+04	496	3,9
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	21,02	1,05E+04			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	21,15	1,06E+04			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	20,02	9,94E+03	1,10E+04	444	4,1
12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	22,52	1,13E+04			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	25,26	1,25E+04			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	24,41	1,23E+04	1,24E+04	144	1,2
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	22,27	1,10E+04			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	16,36	8,10E+03			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	14,29	7,13E+03	8,25E+03	214	2,6
12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	16,78	8,40E+03			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	16,38	8,24E+03			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	25,51	1,29E+04	8,23E+03	12	0,1
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	16,28	8,22E+03			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	22,27	1,11E+04			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	26,51	1,33E+04	1,22E+04	1062	8,7
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	24,41	1,21E+04			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	22,52	1,12E+04			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	14,79	7,46E+03	7,93E+03	670	8,4
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	16,91	8,40E+03			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	26,51	1,31E+04			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	22,77	1,13E+04	1,22E+04	919	7,5
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	24,39	1,22E+04			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	16,38	8,12E+03			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	15,29	7,70E+03	7,91E+03	300	3,8
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	18,78	9,36E+03			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	35,86	1,78E+04			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	34,99	1,76E+04	1,76E+04	182	1,0
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	34,71	1,74E+04			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	23,52	1,18E+04			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	23,87	1,20E+04	1,19E+04	120	1,0
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	20,02	9,98E+03			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	27,26	1,37E+04			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	31,00	1,56E+04	1,57E+04	138	0,9

12/07/13 Solo T3S2#3 2,01 31,70 1,58E+04

Tabela 44- Valores obtidos do elemento ferro no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Fração _Fe [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	ND
17/04/13	Solo	Extração aquosa	T3#1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND

Tabela 45- Valores obtidos do elemento ferro na água de escorrência superficial e percolação.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração _{Fe} [mg/L]
16/04/13	Água de percolação	T1	7,79
16/04/13	Água de percolação	T3	7,29
16/04/13	Água de percolação	T4	5,91
16/05/13	Água de percolação	T3	2,66
16/05/13	Água de percolação	T4	15,44
22/05/13	Água de percolação	T1	0,28
22/05/13	Água de percolação	T3	0,91
22/05/13	Água de percolação	T4	5,84
20/06/13	Água de percolação	T1	ND
20/06/13	Água de percolação	T3	0,61
20/06/13	Água de percolação	T4	5,47
13/06/13	Água de percolação	T4#1	11,93
13/06/13	Água de percolação	T4#2	17,84
20/06/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T 4	0,08
12/04/13	Água de escorrência superficial		0,01
10/05/13	Água de escorrência superficial		0,01
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	ND
22/03/13	Água de percolação	T3	ND

ZINCO

Tabela 46- Valores obtidos do elemento zinco no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} extraída [g]	m _{na} amostra [mg]	Fração _{Zn} [mg/kg]	Fração _média Zn [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	0,1142	5,68E+01			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	0,1218	6,06E+01	5,87E+01	2,66	4,5
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	0,1629	8,10E+01			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	0,1315	6,58E+01	6,72E+01	1,96	2,9

12/12/12	Solo	T2#2	1,99	0,1364	6,85E+01			
12/12/12	Solo	T2#3	2,00	0,1548	7,74E+01			
12/12/12	Solo	T3#1	2,00	0,1192	5,96E+01			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	0,1240	6,23E+01	6,23E+01	2,63	4,2
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	0,1310	6,48E+01			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	0,1181	5,91E+01			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	0,1390	6,95E+01	6,65E+01	4,30	6,5
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	0,1256	6,34E+01			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	0,1568	7,80E+01			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	0,1510	7,59E+01	7,69E+01	1,49	1,9
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	0,1332	6,72E+01			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	0,1386	6,93E+01			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	0,1180	5,93E+01	6,82E+01	1,58	2,3
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	0,1348	6,71E+01			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	0,1310	6,52E+01			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	0,1514	7,61E+01	6,55E+01	0,42	0,6
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	0,1315	6,58E+01			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	0,1546	7,69E+01			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	0,1793	8,96E+01	7,67E+01	13,02	17,0
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	0,1272	6,36E+01			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	0,1466	7,40E+01			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	0,1364	6,78E+01	6,72E+01	0,85	1,3
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	0,1326	6,66E+01			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	0,1471	7,35E+01			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	0,1186	5,90E+01	6,63E+01	10,27	15,5
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	0,1975	9,88E+01			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	0,1326	6,63E+01			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	0,1315	6,61E+01	6,62E+01	0,15	0,2
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	0,1176	5,85E+01			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	0,1267	6,33E+01			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	0,1240	6,26E+01	6,23E+01	1,22	2,0
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	0,1213	6,10E+01			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	0,1820	9,14E+01			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	0,1498	7,45E+01	6,92E+01	7,52	10,9
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	0,1278	6,39E+01			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	0,1508	7,54E+01			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	0,1390	6,99E+01	7,26E+01	3,93	5,4
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	0,1852	9,31E+01			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	0,1482	7,45E+01			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	0,1670	8,35E+01	7,85E+01	4,59	5,9
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	0,1557	7,75E+01			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	0,1616	8,08E+01	7,17E+01	1,40	2,0

07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	0,1406	7,07E+01			
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	0,1439	7,27E+01			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	0,1487	7,44E+01			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	0,1369	6,90E+01	6,99E+01	4,08	5,8
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	0,1315	6,64E+01			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	0,1466	7,34E+01			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	0,1213	6,13E+01	5,97E+01	2,19	3,7
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	0,1154	5,82E+01			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	0,1235	6,23E+01			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	0,1154	5,82E+01	6,02E+01	2,89	4,8
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	0,1634	8,20E+01			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	0,1181	5,91E+01			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	0,1385	6,99E+01	5,77E+01	2,05	3,6
17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	0,1122	5,62E+01			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	0,1192	6,02E+01			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	0,1691	8,50E+01	6,55E+01	7,60	11,6
17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	0,1412	7,09E+01			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	0,1634	8,22E+01			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	0,1516	7,51E+01	7,42E+01	1,32	1,8
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	0,1465	7,33E+01			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	0,1721	8,59E+01			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	0,1588	7,98E+01	8,09E+01	4,55	5,6
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	0,1542	7,70E+01			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	0,1102	5,55E+01			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	0,1097	5,45E+01	5,50E+01	0,72	1,3
12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	0,1506	7,54E+01			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	0,1434	7,11E+01			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	0,1409	7,11E+01	6,99E+01	2,06	2,9
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	0,1363	6,75E+01			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	0,1706	8,45E+01			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	0,1742	8,69E+01	8,53E+01	1,44	1,7
12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	0,1685	8,44E+01			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	0,1347	6,78E+01			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	0,1680	8,48E+01	6,66E+01	1,63	2,5
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	0,1296	6,54E+01			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	0,1767	8,83E+01			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	0,1675	8,37E+01	8,52E+01	2,68	3,1
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	0,1685	8,36E+01			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	0,1537	7,63E+01			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	0,1982	1,00E+02	9,72E+01	3,89	4,0
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	0,1900	9,45E+01			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	0,1388	6,88E+01	8,96E+01	7,23	8,1

12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	0,1905	9,46E+01			
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	0,1685	8,43E+01			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	0,1506	7,46E+01			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	0,1568	7,89E+01	7,61E+01	2,41	3,2
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	0,1501	7,48E+01			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	0,1956	9,70E+01			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	0,1869	9,40E+01	9,58E+01	1,62	1,7
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	0,1923	9,65E+01			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	0,1588	7,98E+01			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	0,1399	7,02E+01	7,02E+01	0,02	0,0
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	0,1409	7,02E+01			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	0,1312	6,58E+01			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	0,1910	9,60E+01	6,77E+01	2,71	4,0
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,01	0,1399	6,96E+01			

Tabela 47- Valores obtidos do elemento zinco no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca_extraída} [g]	m _{na amostra} [mg]	Fração _{Zn} [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	91,14	-	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	91,17	-	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	101,17	-	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	91,32	-	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	91,11	-	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	91,41	-	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	97,36	-	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	99,36	-	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	96,94	-	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	90,29	-	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	90,05	-	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	90,06	-	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	89,97	-	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	90,09	-	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	89,98	-	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	90,20	-	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	90,26	-	ND
17/04/13	Solo	Extração aquosa	T3#1	95,18	2,34E-01	2,46E+00
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	95,38	-	ND

12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	106,47	1,03E-01	9,65E-01
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	98,64	-	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	99,04	-	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	99,33	-	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	93,29	-	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	93,99	-	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	94,01	-	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	93,64	-	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	93,87	-	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	94,29	-	ND

Tabela 48- Valores obtidos do elemento zinco na água de escorrência superficial e de percolação.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração _{Na} [mg/L]
16/04/13	Água de percolação	T1	0,09
16/04/13	Água de percolação	T3	0,06
16/04/13	Água de percolação	T4	ND
16/05/13	Água de percolação	T3	0,33
16/05/13	Água de percolação	T4	0,22
22/05/13	Água de percolação	T1	0,06
22/05/13	Água de percolação	T3	0,05
22/05/13	Água de percolação	T4	ND
20/06/13	Água de percolação	T1	ND
20/06/13	Água de percolação	T3	ND
20/06/13	Água de percolação	T4	ND
13/06/13	Água de percolação	T4#1	ND
13/06/13	Água de percolação	T4#2	ND
20/06/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T 4	ND
12/04/13	Água de escorrência superficial		ND
10/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	0,05

22/03/13	Água de percolação	T3	ND
----------	--------------------	----	----

NÍQUEL

Tabela 49- Valores obtidos do elemento níquel no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} extraída [g]	m _{na amostra} [mg]	Fração _{Ni} [mg/kg]	Fração _média Ni [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	2,74E-01	1,37E+02			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	2,17E-01	1,08E+02	1,08E+02	0,00	0,0
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	2,17E-01	1,08E+02			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	5,62E-01	2,81E+02			
12/12/12	Solo	T2#2	1,99	5,55E-01	2,79E+02	2,80E+02	1,55	0,6
12/12/12	Solo	T2#3	2,00	6,19E-01	3,10E+02			
12/12/12	Solo	T3#1	2,00	3,97E-01	1,98E+02			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	3,63E-01	1,82E+02	1,90E+02	8,12	4,3
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	3,80E-01	1,88E+02			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	4,54E-01	2,27E+02			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	3,82E-01	1,91E+02	1,92E+02	1,57	0,8
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	3,83E-01	1,93E+02			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	2,18E-02	1,09E+01			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	1,47E-02	7,36E+00	7,75E+00	0,54	7,0
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	1,61E-02	8,13E+00			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	1,32E-02	6,61E+00			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	6,03E-03	3,03E+00	5,88E+00	1,03	17,6
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	1,03E-02	5,15E+00			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	1,61E-02	8,01E+00			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	1,47E-02	7,36E+00	7,69E+00	0,45	5,9
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	3,16E-03	1,58E+00			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	2,33E-02	1,16E+01			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	2,76E-02	1,38E+01	1,12E+01	0,47	4,2
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	2,18E-02	1,09E+01			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	1,03E-02	5,22E+00			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	8,91E-03	4,43E+00	4,83E+00	0,56	11,6
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	3,16E-03	1,59E+00			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	1,47E-02	7,33E+00			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	4,60E-03	2,29E+00	1,93E+00	0,50	25,8
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	3,16E-03	1,58E+00			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	7,47E-03	3,74E+00			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	3,16E-03	1,59E+00	4,80E+00	1,50	31,3
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	1,18E-02	5,86E+00			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	4,60E-03	2,30E+00	1,94E+00	0,50	25,8
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	-1,15E-03	-5,81E-01			

13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	3,16E-03	1,59E+00			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	1,03E-02	5,20E+00			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	8,91E-03	4,43E+00	4,82E+00	0,54	11,3
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	3,16E-03	1,58E+00			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	4,60E-03	2,30E+00			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	1,32E-02	6,64E+00	1,94E+00	0,50	25,8
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	3,16E-03	1,59E+00			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	1,90E-02	9,53E+00			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	2,76E-02	1,38E+01	9,84E+00	0,44	4,5
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	2,04E-02	1,02E+01			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	2,18E-02	1,09E+01			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	2,04E-02	1,03E+01	1,06E+01	0,47	4,5
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	3,16E-03	1,60E+00			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	1,32E-02	6,61E+00			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	1,18E-02	5,94E+00	6,27E+00	0,48	7,6
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	3,16E-03	1,59E+00			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	2,47E-02	1,24E+01			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	1,61E-02	8,13E+00	1,02E+01	3,00	29,3
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	3,16E-03	1,59E+00			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	9,08E-02	4,58E+01			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	6,03E-03	3,04E+00	3,76E+01	1,01	26,9
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	8,91E-03	4,47E+00			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	1,03E-02	5,18E+00			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	6,03E-03	3,05E+00	4,11E+00	1,51	36,7
17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	3,16E-03	1,58E+00			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	4,60E-03	2,32E+00			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	4,05E-02	2,04E+01	1,95E+00	0,52	26,5
17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	3,16E-03	1,59E+00			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	-	-	ND		
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	-	-	ND		
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	-	-	ND		
12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	-	-	ND		
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	-	-	ND		

12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	-	-	ND		
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	-	-	ND		
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	-	-	ND		
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	-	-	ND		
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	-	-	ND		
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	-	-			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	2,75E-02	1,36E+01			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	0,00E+00	0,00E+00	1,41E+01	0,65	4,6
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	2,90E-02	1,46E+01			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	-	-			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	-	-	ND		
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	-	-			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	-	-			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	-	-	ND		
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,01	-	-			

Tabela 50- Valores obtidos do elemento níquel no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Fração _{Ni} [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND

17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	ND
17/04/13	Solo	Extração aquosa	T3#1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND

Tabela 51- Valores obtidos do elemento níquel na água de escorrência superficial e de percolação.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração _{Ni} [mg/L]
16/04/13	Água de percolação	T1	ND
16/04/13	Água de percolação	T3	ND
16/04/13	Água de percolação	T4	ND
16/05/13	Água de percolação	T3	ND
16/05/13	Água de percolação	T4	ND
22/05/13	Água de percolação	T1	ND
22/05/13	Água de percolação	T3	ND
22/05/13	Água de percolação	T4	ND
20/06/13	Água de percolação	T1	ND
20/06/13	Água de percolação	T3	ND
20/06/13	Água de percolação	T4	ND

13/06/13	Água de percolação	T4#1	ND
13/06/13	Água de percolação	T4#2	ND
20/06/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T 4	ND
12/04/13	Água de escorrência superficial		ND
10/05/13	Água de escorrência superficial		ND
28/06/13	Branco		ND
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	ND
22/03/13	Água de percolação	T3	ND

COBRE

Tabela 52- Valores obtidos do elemento cobre no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} extraída [g]	m _{na amostra} [mg]	Fração _{Cu} [mg/kg]	Fração _{média Cu} [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	0,07	3,39E+01			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	0,06	2,90E+01	3,42E+01	0,43	1,3
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	0,07	3,45E+01			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	0,08	3,83E+01			
12/12/12	Solo	T2#2	1,99	0,08	4,10E+01	3,79E+01	1,87	4,9
12/12/12	Solo	T2#3	2,00	0,11	5,42E+01			
12/12/12	Solo	T3#1	2,00	0,12	5,97E+01			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	0,11	5,51E+01	5,82E+01	2,66	4,6
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	0,12	5,97E+01			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	0,08	4,20E+01			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	0,12	6,03E+01	4,13E+01	1,01	2,4
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	0,08	4,06E+01			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	0,04	1,87E+01			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	0,08	3,91E+01	2,16E+01	4,12	19,1
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	0,05	2,45E+01			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	0,04	1,76E+01			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	0,03	1,58E+01	1,54E+01	0,54	3,5
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	0,03	1,51E+01			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	0,13	6,37E+01			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	0,14	7,23E+01	6,80E+01	6,09	9,0
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	0,10	4,87E+01			

07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	0,09	4,73E+01			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	0,09	4,75E+01	4,74E+01	0,14	0,3
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	0,09	4,75E+01			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	0,24	1,23E+02			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	0,04	1,75E+01	2,40E+01	9,24	38,4
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	0,06	3,06E+01			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	0,03	1,51E+01			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	0,03	1,63E+01	1,57E+01	0,81	5,1
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	0,04	2,06E+01			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	0,03	1,70E+01			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	0,04	1,95E+01	1,82E+01	1,80	9,8
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	0,25	1,26E+02			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	0,03	1,70E+01			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	0,03	1,71E+01	1,79E+01	1,42	7,9
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	0,04	1,95E+01			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	0,04	1,83E+01			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	0,04	1,81E+01	1,84E+01	0,36	2,0
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	0,04	1,88E+01			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	0,05	2,31E+01			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	0,05	2,32E+01	2,31E+01	0,08	0,4
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	0,05	2,56E+01			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	0,11	5,33E+01			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	0,10	5,12E+01	5,02E+01	3,71	7,4
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	0,09	4,60E+01			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	0,10	4,81E+01			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	0,11	5,33E+01	5,34E+01	0,19	0,4
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	0,11	5,35E+01			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	0,05	2,49E+01			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	0,07	3,43E+01	2,32E+01	2,45	10,6
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	0,04	2,14E+01			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	0,03	1,64E+01			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	0,06	3,01E+01	3,07E+01	0,83	2,7
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	0,06	3,13E+01			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	0,07	3,45E+01			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	0,04	1,83E+01	1,83E+01	0,05	0,3
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	0,04	1,83E+01			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	0,05	2,56E+01			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	0,04	2,02E+01	2,03E+01	5,19	25,5
17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	0,03	1,52E+01			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	0,03	1,53E+01			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	0,04	2,01E+01	1,59E+01	0,81	5,1
17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	0,03	1,64E+01			

12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	0,02	1,06E+01			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	0,04	1,82E+01	1,44E+01	5,41	37,5
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	0,06	2,92E+01			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	0,02	1,12E+01			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	0,02	1,20E+01	1,15E+01	0,46	4,0
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	0,02	1,12E+01			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	0,02	1,20E+01			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	0,02	8,32E+00	1,02E+01	2,63	25,8
12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	0,04	1,99E+01			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	0,07	3,24E+01			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	0,05	2,65E+01	2,95E+01	4,19	14,2
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	0,02	1,04E+01			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	0,02	1,11E+01			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	0,02	1,05E+01	1,12E+01	0,74	6,6
12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	0,02	1,20E+01			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	0,02	8,43E+00			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	0,02	9,18E+00	8,45E+00	0,72	8,5
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	0,02	7,74E+00			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	0,02	9,09E+00			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	0,02	1,12E+01	1,03E+01	1,09	10,6
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	0,02	1,05E+01			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	0,02	1,12E+01			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	0,02	9,18E+00	1,02E+01	1,41	13,9
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	0,05	2,26E+01			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	0,04	2,18E+01			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	0,05	2,40E+01	2,37E+01	0,36	1,5
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	0,05	2,34E+01			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	0,02	8,31E+00			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	0,02	9,16E+00	9,1E+00	0,06	0,7
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	0,02	9,07E+00			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	0,09	4,31E+01			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	0,09	4,44E+01	4,35E+01	0,83	1,9
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	0,09	4,29E+01			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	0,06	3,07E+01			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	0,06	3,00E+01	2,95E+01	1,62	5,5
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	0,06	2,76E+01			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	0,08	4,07E+01			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	0,09	4,30E+01	4,19E+01	1,13	2,7
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,01	0,08	4,18E+01			

Tabela 53- Valores obtidos do elemento cobre no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Fração _{Cu} [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	ND
17/04/13	Solo	Extração aquosa	T3#1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND

Tabela 54- Valores obtidos do elemento cobre na água de escorrência superficial e de percolação.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção)	Concentração _{Cu} [mg/L]
-----------------	-----------------	-----------------------------	--------------------------------------

# (réplica)			
16/04/13	Água de percolação	T1	0,04
16/04/13	Água de percolação	T3	ND
16/04/13	Água de percolação	T4	ND
16/05/13	Água de percolação	T3	ND
16/05/13	Água de percolação	T4	ND
22/05/13	Água de percolação	T1	ND
22/05/13	Água de percolação	T3	ND
22/05/13	Água de percolação	T4	ND
20/06/13	Água de percolação	T1	ND
20/06/13	Água de percolação	T3	ND
20/06/13	Água de percolação	T4	0,03
13/06/13	Água de percolação	T4#1	ND
13/06/13	Água de percolação	T4#2	ND
20/06/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T 4	ND
12/04/13	Água de escorrência superficial		ND
10/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	ND
22/03/13	Água de percolação	T3	ND

CRÓMIO

Tabela 55- Valores obtidos do elemento crómio no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} extraída [g]	m _{na amostra} [mg]	Fração _{Cr} [mg/kg]	Fração _{média Cr} [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	0,59	2,92E+02			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	0,47	2,33E+02	2,37E+02	5,24	2,2
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	0,48	2,41E+02			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	1,27	6,36E+02			
12/12/12	Solo	T2#2	1,99	1,26	6,32E+02	6,34E+02	3,03	0,5

12/12/12	Solo	T2#3	2,00	1,88	9,41E+02			
12/12/12	Solo	T3#1	2,00	1,36	6,81E+02			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	1,18	5,94E+02	6,70E+02	15,18	2,3
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	1,33	6,59E+02			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	1,29	6,44E+02			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	1,44	7,18E+02	6,76E+02	38,29	5,7
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	1,32	6,65E+02			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	0,04	1,85E+01			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	0,05	2,62E+01	2,55E+01	0,97	3,8
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	0,05	2,48E+01			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	0,03	1,56E+01			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	0,02	1,12E+01	1,12E+01	0,08	0,7
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	0,02	1,11E+01			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	0,03	1,55E+01			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	0,04	2,02E+01	1,79E+01	3,28	18,4
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	0,07	3,35E+01			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	0,05	2,30E+01			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	0,04	1,86E+01	2,08E+01	3,08	14,8
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	0,03	1,41E+01			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	0,03	1,58E+01			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	0,03	1,41E+01	1,49E+01	1,21	8,1
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	0,03	1,72E+01			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	0,07	3,35E+01			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	0,07	3,48E+01	3,54E+01	2,29	6,5
13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	0,08	3,79E+01			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	0,02	9,67E+00			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	0,02	9,72E+00	9,70E+00	0,03	0,4
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	0,02	1,11E+01			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	0,02	8,18E+00			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	0,02	9,77E+00	8,98E+00	1,12	12,5
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	0,01	6,73E+00			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	0,02	1,12E+01			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	0,03	1,70E+01	1,04E+01	1,09	10,5
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	0,02	9,67E+00			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	0,02	9,67E+00			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	0,05	2,47E+01	3,51E+01	31,99	91,1
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	0,14	7,10E+01			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	0,04	1,87E+01			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	0,03	1,71E+01	1,79E+01	1,12	6,2
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	0,03	1,26E+01			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	0,03	1,56E+01			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	0,04	2,02E+01	1,95E+01	0,99	5,1

07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	0,04	1,88E+01			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	0,03	1,71E+01			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	0,05	2,32E+01	2,02E+01	4,33	21,5
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	0,02	9,76E+00			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	0,04	2,01E+01			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	0,04	1,88E+01	2,02E+01	1,48	7,3
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	0,04	2,18E+01			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	0,08	4,13E+01			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	0,05	2,33E+01	2,17E+01	2,18	10,0
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	0,04	2,02E+01			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	0,05	2,61E+01			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	0,08	3,98E+01	2,31E+01	4,20	18,2
17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	0,04	2,01E+01			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	0,05	2,63E+01			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	0,12	6,21E+01	3,27E+01	26,76	81,8
17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	0,02	9,72E+00			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	0,05	2,36E+01	2,37E+01	0,16	0,7
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	0,05	2,38E+01			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	-	-	ND	-	-

12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	-	-			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	-	-			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	-	-	ND	-	-
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	-	-			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	0,05	2,39E+01			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	-	-	2,39E+01	-	-
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	-	-			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	-	-			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	-	-	ND	-	-
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,01	-	-			

Tabela 56- Valores obtidos do elemento crómio no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Fração _{Cr} [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	ND
17/04/13	Solo	Extração aquosa	T3#1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND

12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND

Tabela 57- Valores obtidos do elemento crómio na água de escorrência superficial e de percolação.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração _{cr} [mg/L]
16/04/13	Água de percolação	T1	ND
16/04/13	Água de percolação	T3	ND
16/04/13	Água de percolação	T4	ND
16/05/13	Água de percolação	T3	ND
16/05/13	Água de percolação	T4	ND
22/05/13	Água de percolação	T1	ND
22/05/13	Água de percolação	T3	ND
22/05/13	Água de percolação	T4	ND
20/06/13	Água de percolação	T1	ND
20/06/13	Água de percolação	T3	ND
20/06/13	Água de percolação	T4	ND
13/06/13	Água de percolação	T4#1	ND
13/06/13	Água de percolação	T4#2	ND
20/06/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T 4	ND
12/04/13	Água de escorrência superficial		ND
10/05/13	Água de escorrência superficial		0,05
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	ND
22/03/13	Água de percolação	T3	ND

CÁDMIO VALORES NÃO DETETADOS.**CHUMBO**

Tabela 58- Valores obtidos do elemento chumbo no solo e na cinza, digestão em água régia.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	m _{seca} _{extraída} [g]	m _{na amostra} [mg]	Fração _{Pb} [mg/kg]	Fração _{média Pb} [mg/kg]	σ	Cv (%)
12/12/12	Solo	T1#1	2,01	0,14	6,78E+01			
12/12/12	Solo	T1#2	2,01	0,12	6,04E+01	6,78E+01	0,00	0,0
12/12/12	Solo	T1#3	2,01	0,14	6,78E+01			
12/12/12	Solo	T2#1	2,00	0,14	6,81E+01			
12/12/12	Solo	T2#2	1,99	0,14	7,22E+01	6,94E+01	2,25	3,2
12/12/12	Solo	T2#3	2,00	0,14	7,19E+01			
12/12/12	Solo	T3#1	2,00	0,19	9,41E+01			
12/12/12	Solo	T3#2	1,99	0,20	9,83E+01	9,88E+01	5,06	5,1
12/12/12	Solo	T3#3	2,02	0,21	1,04E+02			
12/12/12	Solo	T4#1	2,00	0,56	2,79E+02			
12/12/12	Solo	T4#2	2,00	0,22	1,09E+02	2,77E+02	3,30	1,2
12/12/12	Solo	T4#3	1,98	0,54	2,75E+02			
07/06/13	Cinza	T3S3#1	2,01	0,12	6,04E+01			
07/06/13	Cinza	T3S3#2	1,99	0,05	2,38E+01	ND	-	-
07/06/13	Cinza	T3S3#3	1,98	0,04	2,02E+01			
13/06/13	Cinza	T2S1#1	2,00	0,03	1,63E+01			
13/06/13	Cinza	T2S1#2	1,99	0,04	2,01E+01	ND	-	-
13/06/13	Cinza	T2S1#3	2,01	0,02	8,84E+00			
13/06/13	Cinza	T2S3#1	2,01	0,03	1,25E+01			
13/06/13	Cinza	T2S3#2	1,99	-	-	ND	-	-
13/06/13	Cinza	T2S3#3	2,00	-	-			
07/06/13	Solo	T3S4#1	2,01	0,15	7,52E+01			
07/06/13	Solo	T3S4#2	2,00	0,13	6,44E+01	6,63E+01	2,62	4,0
07/06/13	Solo	T3S4#3	2,00	0,14	6,81E+01			
07/06/13	Cinza	T3S2#1	1,98	0,03	1,27E+01			
07/06/13	Cinza	T3S2#2	2,01	-	-	ND	-	-
07/06/13	Cinza	T3S2#3	1,99	-	-			
13/06/13	Cinza	T4S4#1	2,00	0,03	1,26E+00			
13/06/13	Cinza	T4S4#2	2,01	-	-	ND	-	-

13/06/13	Cinza	T4S4#3	2,00	-	-			
07/06/13	Cinza	T3S4#1	2,00	0,03	1,26E+00			
08/06/13	Cinza	T3S4#2	1,99	-	-	ND	-	-
09/06/13	Cinza	T3S4#3	2,01	-	-			
13/06/13	Cinza	T4S2#1	2,00	0,03	1,63E+01			
13/06/13	Cinza	T4S2#2	1,98	-	-	ND	-	-
13/06/13	Cinza	T4S2#3	1,99	-	-			
13/06/13	Cinza	T2S4#1	1,99	0,03	1,64E+01			
13/06/13	Cinza	T2S4#2	2,01	-	-	ND	-	-
13/06/13	Cinza	T2S4#3	2,00	-	-			
13/06/13	Cinza	T4S1#1	2,00	0,03	1,63E+01			
13/06/13	Cinza	T4S1#2	1,99	-	-	ND	-	-
13/06/13	Cinza	T4S1#3	1,99	-	-			
07/06/13	Solo	T3S3#1	1,99	0,14	7,22E+01			
07/06/13	Solo	T3S2#1	2,00	0,14	6,81E+01	7,02E+01	2,87	4,1
07/06/13	Solo	T3S3#2	2,01	0,11	5,68E+01			
07/06/13	Solo	T3S3#3	2,00	0,12	6,07E+01			
07/06/13	Solo	T3S2#2	1,99	0,14	7,22E+01	7,43E+01	2,90	3,9
07/06/13	Solo	T3S2#3	1,98	0,15	7,63E+01			
13/06/13	Cinza	T2S2#1	2,00	0,03	1,26E+01			
13/06/13	Cinza	T2S2#2	1,99	-	-	ND	-	-
13/06/13	Cinza	T2S2#3	1,98	-	-			
17/04/13	Solo	T3#1	2,00	0,08	4,23E+01			
17/04/13	Solo	T3#2	1,98	0,08	4,26E+01	4,50E+01	4,38	9,7
17/04/13	Solo	T3#3	1,98	0,10	5,00E+01			
17/04/13	Cinza	T2#1	1,98	0,03	1,27E+01			
17/04/13	Cinza	T2#2	1,98	-	-	ND	-	-
17/04/13	Cinza	T2#3	1,99	-	-			
17/04/13	Cinza	T3#1	2,00	0,04	2,00E+01			
17/04/13	Cinza	T3#2	1,98	-	-	ND	-	-
17/04/13	Cinza	T3#3	2,00	-	-			
17/04/13	Cinza	T4#1	1,98	0,01	5,23E+00			
17/04/13	Cinza	T4#2	1,99	-	-	ND	-	-
17/04/13	Cinza	T4#3	1,99	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S1#1	1,99	0,03	1,50E+01			
12/07/13	Cinza	T2S1#2	2,02	0,03	1,47E+01	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T2S1#3	2,00	0,04	2,08E+01			
12/07/13	Cinza	T2S2#1	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S2#2	1,99	0,04	2,09E+01	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T2S2#3	2,00	0,04	2,08E+01			
12/07/13	Cinza	T2S3#1	1,99	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S3#2	2,01	-	-	ND	-	-

12/07/13	Cinza	T2S3#3	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S4#1	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T2S4#2	1,98	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T2S4#3	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S2#3	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S2#2	2,00	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T3S2#1	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S3#1	1,99	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S3#2	1,98	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T3S3#3	1,98	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S4#1	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T3S4#2	2,00	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T3S4#3	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,01	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	1,98	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,01	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#1	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S1#2	2,01	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T4S1#3	2,00	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S4#1	2,02	-	-			
12/07/13	Cinza	T4S4#2	1,99	-	-	ND	-	-
12/07/13	Cinza	T4S4#3	2,01	-	-			
12/07/13	Solo	T3S3#1	2,02	-	-			
12/07/13	Solo	T3S3#2	1,99	0,03	1,32E+01	ND	-	-
12/07/13	Solo	T3S3#3	1,99	0,03	1,31E+01			
12/07/13	Solo	T3S4#1	1,99	0,03	1,32E+01			
12/07/13	Solo	T3S4#2	1,99	-	-	ND	-	-
12/07/13	Solo	T3S4#3	2,01	0,03	1,36E+01			
12/07/13	Solo	T3S2#1	1,99	0,03	1,73E+01			
12/07/13	Solo	T3S2#2	1,99	0,03	1,73E+01	ND	-	-
12/07/13	Solo	T3S2#3	2,01	-	-			

Tabela 59- Valores obtidos do elemento chumbo no solo e na cinza, extração aquosa.

Data de recolha	Tipo de amostra	Método	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Fração_Pb [mg/kg]
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
07/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND

13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T2#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T3#3	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#1	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#2	ND
17/04/13	Cinza	Extração aquosa	T4#3	ND
17/04/13	Solo	Extração aquosa	T3#1	ND
13/06/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T2S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S3	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T3S4	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S1	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S2	ND
12/07/13	Cinza	Extração aquosa	T4S4	ND

Tabela 60- Valores obtidos do elemento chumbo na água de percolação e de escorrência superficial.

Data de recolha	Tipo de amostra	T (talhão) S (subsecção) # (réplica)	Concentração _{Pb} [mg/L]
16/04/13	Água de percolação	T1	ND
16/04/13	Água de percolação	T3	ND
16/04/13	Água de percolação	T4	ND
16/05/13	Água de percolação	T3	ND
16/05/13	Água de percolação	T4	ND
22/05/13	Água de percolação	T1	ND
22/05/13	Água de percolação	T3	ND
22/05/13	Água de percolação	T4	ND

20/06/13	Água de percolação	T1	ND
20/06/13	Água de percolação	T3	ND
20/06/13	Água de percolação	T4	ND
13/06/13	Água de percolação	T4#1	ND
13/06/13	Água de percolação	T4#2	ND
20/06/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T 4	ND
12/04/13	Água de escorrência superficial		ND
10/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/05/13	Água de escorrência superficial		ND
22/03/13	Água de percolação	T2	ND
22/03/13	Água de percolação	T3	ND