

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FERTILIZANTE DE DOIS RESÍDUOS DA INDÚSTRIA FLORESTAL

ASSESSMENT OF TWO RESIDUES FROM FORESTRY INDUSTRY AS FERTILIZERS

Carmo Horta¹, Samuel Lupi¹, Ofélia Anjos¹, José Almeida¹

RESUMO

A indústria florestal produz resíduos com características e potenciais de utilização muito distintos. Por um lado, a queima de biomassa florestal para obtenção de energia conduz à produção de grandes quantidades de cinzas como produto final e, por outro lado, durante o processo de produção da pasta de papel e na sequência do tratamento por causticação é também produzido um resíduo em quantidades significativas. O objectivo deste trabalho foi avaliar o potencial fertilizante destes dois resíduos, ou seja, das cinzas provenientes da incineração de biomassa florestal e das cinzas provenientes da causticação da pasta de papel, resíduos provenientes da indústria florestal. Num ensaio em vasos estudou-se a resposta do azevém à aplicação de doses crescentes destes resíduos que corresponderiam à aplicação ao solo de 0, 0,5, 1, 3 e 5 toneladas por ha. Verificou-se que a cinza de biomassa florestal pode ser aplicada ao solo, não se observando efeitos negativos na produção ou propriedades do solo. Esta aplicação conduzirá ao fornecimento de alguns nutrientes, nomeadamente K e Ca. Em solos com relação Ca/Mg elevada aconselha-se a aplicação simultânea de Mg. O resíduo proveniente da causticação da pasta de papel, deve ser incorporado no solo com antecedência relativamente à sementeira devido à sua

causticidade. Nas culturas plurianuais não deverá ser utilizado. Apresentou valor como correctivo alcalinizante, possuindo elevado teor em Na que conduziu a um aumento significativo da condutividade eléctrica e do Na de troca, não se aconselhando uma aplicação em quantidades superiores a 1 t/ha.

Palavras-chave: Biomassa florestal, cinza, fertilização, resíduo da causticação da pasta de papel, resíduos.

ABSTRACT

Forestry industry originates residues with distinct properties which can have also differences in its management reutilization. This study aimed at evaluating the fertilizer potential of forestry biomass burning ashes and causticizing lime mud from pulp and paper industry process, which are both residues from forestry industries. In a pot trial we evaluated the effect on ryegrass biomass production and on soil properties due to soil application of increasing amounts of the two forestry industry residues. These amounts corresponds to soil incorporation of 0, 0.5, 1, 3 and 5 t per ha of the residues. It was observed that ashes from biomass burning can be applied to soil without any negative effects, neither on productivity, nor on soil properties. This residue might supply some nutrients as K and Ca. In the case of soils with a high Ca to Mg ratio the simultaneous supply of ashes and Mg might be necessary. The other residue (causticizing lime mud) should be incorporated into soil long before seeding, due to its caustic effect. It should not be

¹ Escola Superior Agrária, Quinta Sra. de Mércules, 6000-909 Castelo Branco, carmoh@esa.ipcb.pt

applied on perennial crops. As a fertilizer it might be used for alkali effect. As it has high Na content it induced a significant increase in electrical conductivity and exchangeable Na. Therefore, its application to soil should not be higher than 1 t per ha.

Key-words: Ashes, causticizing lime mud, fertilization, forestry biomass, residues.

INTRODUÇÃO

A produção de energia a partir de fontes renováveis, como a biomassa florestal, adquiriu especial importância no quadro da política energética da União Europeia. Existe actualmente uma forte dependência energética em relação ao petróleo, situação que tem vindo a agravar-se devido ao seu aumento de preço. O conceito de “biomassa florestal” encerra uma grande diversidade de produtos: como os matos, os resíduos de exploração florestal (ramos, bicadas), os subprodutos de processamento da madeira (casca, serrim, pó de madeira, licor negro) e, a própria madeira (CELPA & AIMMP, 2004). A superfície florestal em Portugal ocupa cerca de 3,275 milhões de ha, dos quais 1,9 milhões são usados para a produção de madeira. A exploração da madeira, fornece, além do material comercial, também biomassa que ainda hoje é pouco utilizada em processos industriais. Em caso de corte de madeira, como por exemplo de pinheiro ou de carvalho a quantidade de matéria, para além da que é aproveitada para madeira, é mais de 50% da massa total da árvore. As centrais de produção de energia a partir de biomassa representam assim um aproveitamento deste produto, contribuindo não só para a “limpeza” do solo da superfície florestal como também para uma diminuição das condições favoráveis à ocorrência de incêndios. A queima de biomassa florestal para obtenção de energia conduz a que nestas centrais se produzam grandes quantidades de cinzas como produto final. Alguns autores referem que as plantações de culturas energéticas e de espécies lenhosas de rápido cres-

cimento para produção de biomassa terão um incremento muito significativo nos próximos anos (Hytonen & Kaunisto, 1999; Telenius, 1999; Hytonen & Issakainen, 2001; Berndes *et al.*, 2003; Jogiste *et al.* 2003), conduzindo logicamente a um aumento na produção de cinzas.

As cinzas poderão ser utilizadas em agricultura uma vez que possuem uma concentração relativamente elevada de elementos minerais como o K, Na, Zn, Ca, Mg e Fe (Basu *et al.*, 2009). O teor em Ca das cinzas pode também contribuir para uma correcção da reacção em solos ácidos, diminuindo a aplicação de calcário (Ohno, 1992; Muse & Mitchell, 1995). Para além dos benefícios na fertilidade do solo, este pode ser um efeito relevante dado que poderá contribuir para uma diminuição na libertação de CO₂ para a atmosfera, processo que ocorre quando se usa calcário como correctivo alcalinizante (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, IPCC).

Vários autores (Etiegni & Campbell, 1991; Ulery *et al.*, 1993; Someshwar, 1996), referem que as cinzas da biomassa florestal apresentam uma composição com alguma variabilidade uma vez que essa composição depende de um conjunto de factores como sejam: o tipo de planta, a parte da planta queimada (casca, madeira, folhas), o tipo de resíduos (madeira, celulose ou resíduos de papel), a combinação com outras fontes de combustível, as condições edafo-climáticas da cultura e as condições de combustão, de colheita e de armazenamento.

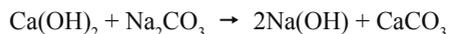
As cinzas podem conter micronutrientes e metais pesados (Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Cr, Hg, Ni) normalmente em proporções muito baixas e, dependendo da fracção da biomassa queimada, ocorrem geralmente em quantidades vestigiais. Quando são aplicadas em doses moderadas, a concentração em micronutrientes e metais pesados das cinzas não prejudica o desenvolvimento das culturas nem a actividade microbiana do solo avaliada pela decomposição da matéria orgânica (Levula *et al.*, 2000; Yrjälä *et al.*, 2004; Fritze *et al.*, 1995). Huotari *et al.* (2008) verificaram

por exemplo, que a adubação com cinzas em plantas jovens de Bétula apresentava um efeito positivo na sua germinação.

Na verdade, um dos destinos possíveis a dar a estas cinzas poderá ser o seu aproveitamento como fertilizante; no entanto por ser uma questão relativamente recente, não existem ainda, para as nossas condições edafoclimáticas, muitos dados disponíveis acerca desta utilização.

Existe também um outro resíduo proveniente da indústria da pasta de papel, que neste trabalho se denominou por cinza branca. Este resíduo é obtido na sequência de uma reacção de causticação, na qual se obtém hidróxido de sódio (NaOH) e carbonato de cálcio (CaCO₃):

[Eq. 1]



Na produção de pasta de papel pelo processo Kraft o cozimento da madeira (em aparas) é efectuado num reactor (digestor) a temperaturas próximas dos 180 °C, na presença de hidróxido de sódio e sulfureto de sódio. Deste tratamento resulta um resíduo constituído por uma solução escura (licor negro), que é formado por elementos dissolvidos resultantes da solubilização de constituintes da madeira, e pelos agentes químicos usados no seu tratamento. Após concentração por evaporação, é queimado numa caldeira para gerar energia necessária à produção da pasta de papel. Por acção do calor gerado na combustão forma-se uma massa fundente “smelt”, constituída essencialmente por carbonato de sódio e sulfureto de sódio. O “smelt” é dissolvido, posteriormente é clarificado (remoção da matéria insolúvel) e, submete-se então a um tratamento com cal viva num reactor (apagador) onde se forma hidróxido de cálcio. No apagador inicia-se a reacção de causticação, que se completa nos caustificadores de acordo com a [Eq. 1].

O resíduo assim obtido, cinza branca, foi fornecido gratuitamente aos agricultores

tendo originado nalgumas situações, danos severos nas culturas. Destes, salientamos a morte das plantas, quando aplicado em vinha, e a ausência de germinação, em culturas anuais.

Na sequência dos problemas identificados no “campo” devido à aplicação da cinza branca e na ausência de resultados publicados acerca da utilização deste resíduo, a avaliação do seu potencial fertilizante e a indicação de quantitativos a aplicar sem originar danos parece-nos importante. Por outro lado, a aplicação de cinzas provenientes da queima da biomassa florestal ao solo tem demonstrado trazer benefícios ao desenvolvimento das plantas actuando como um fertilizante.

Os nossos solos são de uma forma geral pobres em bases e com características ácidas. Esta baixa fertilidade ocasiona más condições de nutrição das culturas, conduzindo a baixas produções e a uma composição desequilibrada nomeadamente em Ca e Mg. Face às suas características, estes resíduos poderão melhorar alguns dos factores limitantes da produção e qualidade das culturas.

Numa perspectiva de gestão agro-ambiental destes resíduos, o objectivo do presente trabalho foi, deste modo, a avaliação das cinzas provenientes da incineração de biomassa florestal e da causticação da pasta de papel, como fertilizantes. Para isso foi efectuada: i) a caracterização analítica dos dois resíduos da indústria florestal com origens completamente distintas ii) a avaliação do uso potencial de cada resíduo como fertilizante, através da instalação de um ensaio em vasos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Centro de Ensaios de Nutrição Vegetal e Fertilidade do Solo da Escola Superior Agrária de Castelo Branco (ESA-CB) – Portugal. Em primeiro lugar efectuou-se a caracterização analítica dos resíduos, segundo os parâmetros e metodologias descritas no Quadro 1, e de acordo com as suas propriedades efectuou-se o delineamento experimental de um ensaio em

vasos. O resíduo proveniente da queima de biomassa florestal denominou-se cinza (C) e o proveniente da causticação da pasta de papel, como já foi referido, por cinza branca (R).

O ensaio em vasos foi delineado com a aplicação de doses crescentes de resíduos, correspondentes à aplicação ao solo de: 0; 0,5; 1; 3 e 5 toneladas de resíduo / ha. Uma vez que a cinza branca apresentava um pH elevado efectuou-se a mistura com enxofre (S, correctivo acidificante) a partir da dose de 1 t/ha de resíduo de acordo com o Quadro 2. Todas as modalidades foram efectuadas em duplicado.

A cultura utilizada foi o azevém (*Lolium perenne* L.), pois é uma cultura forrageira muito utilizada na região da Beira Interior. O ensaio foi instalado no início de Setembro (08-09-2008) ao ar livre, sendo os vasos regados a 80% da capacidade de campo. Teve a duração de três meses e realizaram-se três cortes. A produção de matéria seca foi avaliada como o somatório dos três cortes.

O solo utilizado foi um cambissolo dístico (FAO, 2006), colhido a 0,20 m de profundi-

dade e crivado por um crivo de malha de 5 mm. Apresentava uma textura arenosa-franca, era pouco ácido, tinha um teor médio em matéria orgânica (2,9%) e um teor muito alto em fósforo e potássio assimiláveis, médio em Ca e Mg e muito baixo em sódio (Quadro 3).

Os vasos foram cheios com 10 kg de terra tendo-se efectuado uma adubação de fundo por vaso de 1,5 g de P_2O_5 e 1,0 g de K_2O . O azoto aplicou-se em solução por três vezes: 0,5 g à sementeira e 0,5 g após cada corte do azevém.

Os parâmetros avaliados no solo e na planta após o ensaio estão indicados no Quadro 4.

O tratamento estatístico dos resultados foi efectuado no programa STATITIX 7 (Analytical Software, 2000) para a obtenção das equações de regressão ajustadas ao modelo linear. Os valores são apresentados relativamente à variação sofrida, tendo-se realizado o tratamento estatístico sobre a transformação logarítmica dos dados. Utilizaram-se os níveis críticos de significância de $P < 0,05$, $P < 0,01$ e $P < 0,001$.

Quadro 1 – Parâmetros analisados nos resíduos e metodologias utilizadas.

Parâmetro	Método
Matéria orgânica (MO)	EN 12879
Humidade	EN 12880
pH (H ₂ O)	NP EN 12176
Condutividade eléctrica	Método Interno (condutivímetro)
Fósforo total (P-total)	Método Interno (doseamento por colorimetria)
Potássio total (K-total)	Método Interno (doseamento por EAA ¹)
Cálcio total (Ca-total)	Digestão com HCl (doseamento por EAA)
Magnésio total (Mg-total)	Digestão com HCl (doseamento por EAA)
Sódio total (Na-total)	Digestão com HCl (doseamento por fotometria de chama)
Cloretos (Cl)	Método de Mohr
Ferro total (Fe-total)	Digestão com HCl (doseamento por EAA)
Manganés total (Mn-total)	Digestão com HCl (doseamento por EAA)
Zinco total (Zn-total)	Digestão com HCl (doseamento por EAA)
Cobre total (Cu-total)	Digestão com HCl (doseamento por EAA)

¹EAA- espectrofotometria de absorção atómica.

Quadro 2 – Modalidades efectuadas no ensaio em vasos.

Cinza “C” (t/ha) ¹		Cinza branca “R” (t/ha)	
C0	C0+S0	R0	R0+S0
C0,5	C0,5+S0	R0,5	R0,5+S0
C1	C1+S0,5	R1	R1+S0,5
C3	C3+S1	R3	R3+S1
C5	C5+S2	R5	R5+S2

¹As quantidades indicadas dizem respeito à matéria original dos resíduos (com humidade).

Quadro 3 – Propriedades químicas iniciais do solo utilizado no ensaio.

Textura	pH	MO %	P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	K ₂ O	Bases de troca (cmol _c kg ⁻¹)			
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Arenosa-franca	5,9	2,9	221	214	11,90	1,36	0,07	1,55

Quadro 4 – Parâmetros avaliados no solo e na planta após ensaio.

Amostra	Parâmetro	Método
Planta	Peso seco	Secagem em estufa a 60°C seguida de pesagem
Solo	Matéria orgânica	Incineração
	Humidade	EN 12 880
	pH (H ₂ O)	NP EN 12 176
	Fósforo assimilável (P ₂ O ₅)	Egnér <i>et al.</i> 1960 (doseamento por colorimetria)
	Potássio assimilável (K ₂ O)	Egnér <i>et al.</i> 1960 (doseamento por fotometria)
	Condutividade eléctrica (CE; 1:5 p/v)	Condutivímetro
	Bases de troca (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺)	Extracção com acetato de amónio (doseamento por EAA ¹)

¹EAA- espectrofotometria de absorção atómica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se de seguida os resultados obtidos relativamente à caracterização dos resíduos utilizados no ensaio, bem como o efeito sobre a produção do azevém e sobre as propriedades do solo decorrentes da aplicação ao solo das cinzas provenientes da incineração de biomassa florestal e das cinzas brancas obtidas através da causticação da pasta de papel.

Características dos resíduos

Os resíduos utilizados possuíam características químicas muito distintas (Quadros 5 e 6). Na composição das cinzas provenientes da queima da biomassa florestal, há a salientar a sua elevada variabilidade, nomeadamente no teor de humidade, o que se deve ao facto das cinzas serem regadas para arrefecerem mais rapidamente, e também por estarem depositadas ao ar livre, sofrendo a influência das condições meteorológicas. As cinzas com menor teor de humidade estavam depositadas há mais tempo. Apresenta-

vam também uma elevada variabilidade no teor em matéria orgânica (MO). Os valores mais elevados de MO devem-se a avarias no tubular da caldeira o que pode ocasionar combustões menos eficientes. Os elementos minerais, regra geral, estão numa proporção que reflecte a origem vegetal deste produto. No entanto, como se pode observar, as cinzas possuíam um elevado teor em cálcio, o que justificará a alcalinidade deste resíduo (pH=9,6). Este aspecto poderá ter interesse na sua aplicação em solos ácidos. Demeyer *et al.* (2001) referem que a alcalinidade das cinzas é elevada devido à formação de carbonatos e bicarbonatos durante o processo da combustão da biomassa florestal. A relação Ca/Mg das cinzas é elevada, cerca de 8,3, o que indica um desequilíbrio potencial para a nutrição das plantas em Mg, podendo induzir carência neste elemento. Os teores em elementos minerais das cinzas estão dentro dos valores referidos por Demeyer *et al.* (2001) num trabalho de revisão sobre cinzas de biomassa florestal que estes autores realizaram. As cinzas utilizadas no ensaio resultaram da mistura das várias colheitas, sendo a sua

composição final a indicada no Quadro 6.

A cinza branca (R), proveniente da causticação da pasta de papel (Quadro 6) apresentou um valor bastante elevado de pH, explicado provavelmente pela sua riqueza em Ca e em Na. Esta característica pode indicar um efeito potencial como correctivo alcalinizante do solo. No entanto, há que ter em consideração o seu elevado teor em sódio e a sua elevada condutividade eléctrica (CE), que poderão ter efeitos negativos sobre fer-

tilidade do solo, i.e., ocasionar problemas de salinização devido ao aumento da CE da solução do solo, e/ou de alcalização. O processo de alcalização ocorre quando há um aumento do teor em Na no complexo de troca do solo para valores acima dos 15%, e ocasiona efeitos negativos na estrutura (dispersão dos colóides) conduzindo a uma diminuição da porosidade com diminuição da condutividade hidráulica e resistência ao crescimento radical.

Quadro 5 – Caracterização analítica das cinzas provenientes da incineração da biomassa florestal (C), utilizadas no ensaio.

Parâmetro	Média (n=6) ± dp	Max.	Min.	C.V. ¹⁾ %
Humidade (%)	39,2 (± 19,1)	68,8	14,6	49
MO (%)	35,5 (± 16,2)	57,9	18,8	46
pH (H ₂ O)	9,6 (± 0,5)	10,3	9,4	5
P (%)	0,17 (± 0,03)	0,20	0,13	16
K (%)	1,14 (± 0,22)	1,52	0,94	19
Ca (%)	8,82 (± 2,32)	12,41	6,23	26
Mg (%)	0,67 (± 0,17)	0,87	0,46	25
Na (%)	0,21 (± 0,05)	0,27	0,16	23
Cl (mg 100g ⁻¹)	114,1 (± 61,8)	225,4	66,8	54
Fe (%)	0,41 (± 0,07)	0,53	0,31	18
Mn (mg kg ⁻¹)	995,3 (± 230,9)	1341,6	756,4	23
Zn (mg kg ⁻¹)	78,0 (± 18,1)	102,2	48,9	23
Cu (mg kg ⁻¹)	21,1 (± 3,4)	25,5	15,8	16

¹⁾EAA- espectrofotometria de absorção atómica.

Quadro 6 – Caracterização analítica dos resíduos incorporados no solo e quantidade de macronutrientes (kg) adicionada ao solo por cada tonelada de matéria seca de resíduo.

Parâmetro	Cinzas ¹ (C)	Cinzas brancas (R)	Qt. Adicionada Macronutrientes (kg/t)	
			Cinzas	Cinzas brancas
Humidade (%)	16,6	34,2	-	-
MO (%)	26,4	1,0	-	-
pH (H ₂ O)	9,6	10,8	-	-
Condutividade eléctrica (C.E.; 1/5 p/p; dS m ⁻¹)	1,16	5,60	-	-
P (%)	0,17	0,31	1,7	3,1
K (%)	1,67	0,08	16,7	0,8
Ca (%)	9,7	41,2	97,0	412,0
Mg (%)	1,16	0,55	11,6	5,5
Na (%)	0,28	1,39	2,8	13,9
Cl (mg 100g ⁻¹)	97,8	0,275	-	-
Fe (%)	0,48	0,03	-	-
Mn (mg kg ⁻¹)	895,9	409,4	-	-
Zn (mg kg ⁻¹)	50,33	13,5	-	-
Cu (mg kg ⁻¹)	19,2	2,3	-	-
Pb (mg kg ⁻¹)	100,1	nq	-	-

¹⁾Resulta da mistura das cinzas caracterizadas na Tabela 5 (n=6); nq- não quantificável.

A riqueza do resíduo em Ca e principalmente em Na pode originar também a alcalinização do solo, ou seja o, incremento do valor de pH para a zona alcalina com efeitos negativos a nível de absorção de alguns nutrientes, nomeadamente de fósforo. Estes problemas poderão ocorrer principalmente em situações de solos com capacidade de troca catiónica baixa e baixo poder tampão, como é frequente encontrar na região da Beira Interior. Por estas razões, e a fim de evitar a alcalinização do solo, testou-se a incorporação simultânea de S como correctivo acidificante, nas doses mais elevadas de utilização da cinza branca. Este resíduo, pela sua origem, praticamente não apresenta matéria orgânica e, exceptuando-se o seu teor em Ca, Na e P, tem uma composição mineral relativamente pobre.

Em síntese podemos referir que a composição das cinzas sugere que poderão ter algum potencial fertilizante no que diz respeito ao fornecimento de K, Ca e Mg, enquanto as cinzas brancas fornecerão quantidades relati-

vamente elevadas de Ca podendo ter algum interesse alcalinizante.

Resíduos e produção vegetal

No Quadro 7 observa-se o efeito da aplicação das cinzas provenientes da queima da biomassa florestal (C) e das cinzas brancas provenientes da causticação da pasta de papel (R), sobre a produção de matéria seca do azevém perene e sobre algumas propriedades do solo.

A Figura 1 representa a variação da produção (peso seco total) relativa do azevém por modalidade. Como se pode observar, a aplicação de cinza não conduziu a uma variação significativa na produção do azevém relativamente à modalidade testemunha.

O mesmo aconteceu com a aplicação da cinza branca. Verificou-se, no entanto, que a aplicação de cinza e enxofre conduziu a um decréscimo significativo na produção do azevém, com um valor médio de 36%.

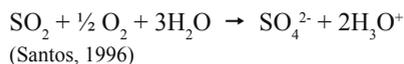
Quadro 7 – Valores médios do ensaio em vasos referentes à testemunha e modalidades para todos os parâmetros analisados.

Modalidades	Peso seco g	MO %	CE mS cm ⁻¹	pH	P ₂ O ₅ ^a mg kg ⁻¹	K ₂ O ^a mg kg ⁻¹	Ca ^b	Mg ^b cmol _c kg ⁻¹	Na ^b	K ^b
Testemunha	5,41	3,03	0,38	5,5	457	366	11,90	1,36	0,07	1,65
					Sem enxofre					
C _{0,5}	4,80	3,03	0,36	5,8	469	425	12,48	1,45	0,06	1,58
C ₁	4,60	3,07	0,42	5,7	386	415	12,69	1,50	0,07	1,67
C ₃	4,70	2,90	0,34	5,8	419	375	11,54	1,32	0,06	1,37
C ₅	4,60	3,09	0,37	5,6	438	415	11,74	1,43	0,07	1,77
R _{0,5}	6,70	3,25	0,36	5,4	435	365	10,31	1,21	0,08	1,54
R ₁	5,55	3,19	0,38	5,6	499	375	10,67	1,22	0,09	1,55
R ₃	5,90	3,33	0,44	6,2	511	335	13,90	1,25	0,17	1,51
R ₅	4,90	3,09	0,50	6,6	497	310	17,42	1,31	0,26	1,60
					Com enxofre					
C ₁ +S _{0,5}	2,90	3,10	0,51	5,3	452	455	11,68	1,36	0,07	2,19
C ₃ +S ₁	1,25	3,16	0,59	5,3	563	445	11,79	1,50	0,07	2,24
C ₅ +S ₂	1,10	3,24	0,67	5,2	479	480	11,55	1,50	0,07	2,24
R ₁ +S _{0,5}	5,55	3,18	0,54	5,5	402	470	12,04	1,34	0,10	1,74
R ₃ +S ₁	3,95	3,21	0,71	6,0	490	500	17,78	1,61	0,18	2,05
R ₅ +S ₂	3,95	3,02	0,94	6,0	524	510	20,60	1,70	0,29	2,02

MO – matéria orgânica; CE – condutividade eléctrica; a – extraíveis; b - bases de troca.

Este decréscimo na produção poderá ter sido devido ao aumento do valor de CE do solo nesta modalidade (como se pode observar na Figura 3) originado pela incorporação de S que se transformará em SO_4^{2-} aumentando assim o teor em iões do solo:

[Eq. 2]



Marques (1998) refere que a aplicação de cinza de biomassa florestal contribuiu para um aumento na produção de uma leguminosa com interesse forrageiro (*Vicia benghalensis* L.) principalmente quando aplicou maiores doses de cinza. Também outros investigadores, como Nkana *et al.* (1998) e Moyin-Jesu (2007), observaram um efeito positivo da cinza na produção de “okra” e de azevém, em ensaios com solos ácidos da região tropical. Estes autores, atribuíram este resultado ao efeito do Ca e K das cinzas na nutrição das plantas.

No nosso ensaio, contrariamente, o aumento da quantidade de cinza aplicada ao azevém, uma gramínea também com interesse forrageiro, não teve o mesmo efeito ao

nível da produção, que na *Vicia benghalensis* L. (Marques, 1998), não se verificando uma variação significativa na produção com a aplicação de cinza mesmo quando se aumenta a quantidade incorporada. O solo utilizado no ensaio apresentava níveis adequados de macronutrientes para a nutrição das plantas, podendo por este motivo não se revelar o efeito positivo da composição das cinzas sobre a nutrição do azevém, enquanto que o solo utilizado por Marques (1998) era pobre em nutrientes, nomeadamente em fósforo.

Resíduos e propriedades do solo

O potencial fertilizante dos dois resíduos em avaliação, ou seja, das cinzas provenientes da queima da biomassa florestal (C) e das cinzas brancas provenientes da causticação da pasta de papel (R) foi também avaliado a nível de algumas propriedades do solo, nomeadamente em relação à matéria orgânica, condutividade eléctrica, potássio, fósforo, pH e bases de troca (Ca, Mg, Na, K).

A metodologia que se seguiu na apresentação dos resultados foi a mesma que para a produção, ou seja calculou-se a razão entre o parâmetro do solo a estudar e o respectivo valor da testemunha (M/T). Desta forma ob-

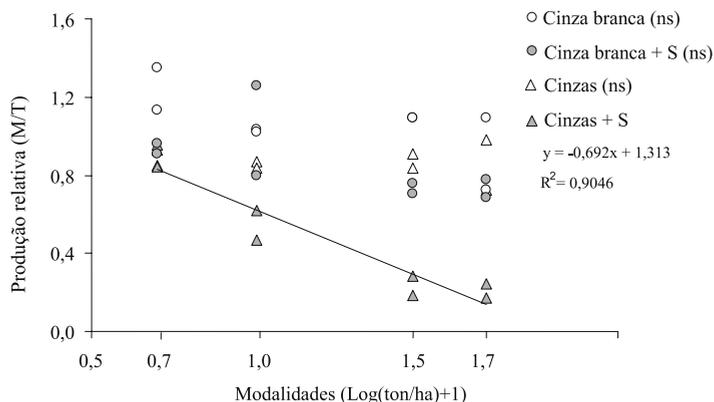


Figura 1 – Variação da produção de azevém nas várias modalidades (M- modalidades) relativamente à testemunha (T- testemunha). Equação de regressão da modalidade “Cinzas + S”, significativa a $P < 0,001$; restantes modalidades: NS

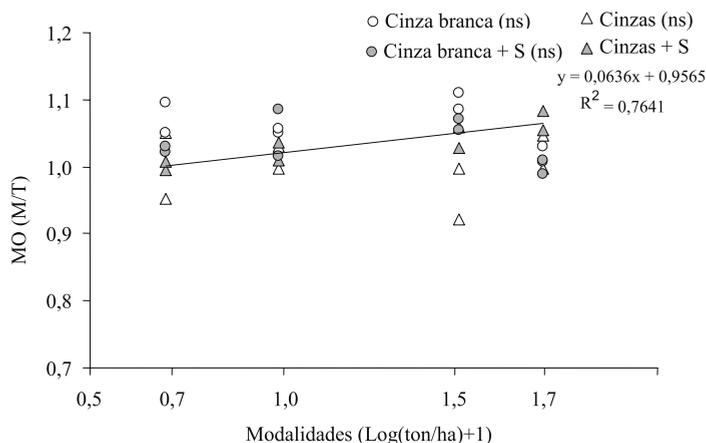


Figura 2 – Variação no teor em matéria orgânica do solo (MO) nas várias modalidades (M), relativamente à testemunha (T). Equação de regressão da modalidade “Cinzas + S”, significativa a $P < 0,01$; restantes modalidades: NS.

teve-se a variação provocada pelas modalidades (aplicação de resíduos) sobre algumas propriedades do solo.

O teor em matéria orgânica (MO) do solo manteve-se muito próximo do valor da testemunha quer na modalidade com aplicação de cinza ou com a cinza branca (Figura 2).

De facto a cinza branca apresenta um valor muito baixo em MO não se esperando portanto que influencie o seu teor no solo. Quanto à cinza, pelo processo de combustão que sofre também não seria de esperar que contribuisse de forma positiva para um aumento do teor em MO do solo. Acontece no entanto, que este resíduo parece estar incompletamente carbonizado apresentando ainda uma fracção orgânica, que apesar de neste ensaio de curta duração não se expressar poderá vir a ter um efeito positivo num período de tempo mais alargado. De facto verificou-se que no tratamento com aplicação simultânea de cinza e enxofre ocorreu um efeito positivo no teor em MO do solo. Isto poder ter acontecido, possivelmente, porque neste tratamento a actividade microbiana do solo responsável pela mineralização da MO poderá ter sido alterada, devido à presença do S; desse modo a MO da cinza terá induzido um efeito positivo. Jokinen *et*

al. (2006) observaram um aumento no teor em carbono orgânico e na actividade microbiana do solo após incorporação de cinzas provenientes da incineração de biomassa florestal, o que justificaria o efeito que observámos.

A aplicação de cinzas ao solo não teve efeito sobre a sua condutividade eléctrica (CE) ao contrário de todas as outras modalidades (Figura 3).

A aplicação de enxofre conduziu a um aumento da CE pelo motivo já exposto e este aumento originado pela aplicação de cinza branca evidencia o efeito da sua riqueza nos iões Ca e principalmente Na, como também se pode observar pelos valores das bases de troca (Quadros 7 e 8). Este facto, justificará a razão pela qual a produção de azevém aumentou com a aplicação de 0,5 t/ha de cinza branca, tendo depois decrescido com o aumento da quantidade aplicada. Na modalidade $R_{0,5}$ terá ocorrido um efeito positivo do Ca na nutrição do azevém; nas outras modalidades, apesar da produção relativa ser superior a 1, decresceu devido, possivelmente, ao efeito do sódio (elemento não nutriente) e do aumento da CE.

Os valores da CE do solo nas modalidades com aplicação de enxofre e nas doses mais

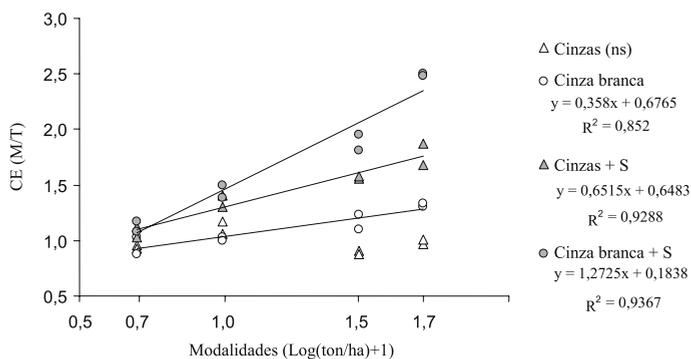


Figura 3 – Variação no valor da condutividade eléctrica (CE) do solo nas várias modalidades (M) relativamente à testemunha (T). Equações de regressão das modalidades “Cinza branca”, “Cinza branca+S” e “Cinzas + S”, significativas a $P < 0,001$; “Cinzas”: NS.

elevadas de aplicação de cinza branca ($CE > 0,40 \text{ mS cm}^{-1}$, Quadro 7) atingiram valores susceptíveis de provocar quebras na produção (INIA, 2000). Perucci *et al.* (2008) observaram aumentos significativos no valor da CE devido à aplicação de cinzas em solos alcalinos da região mediterrânea, mas os aumentos observados nos valores da CE, pH e actividade microbiana não se mantiveram a longo prazo.

O pH do solo não foi afectado significativamente pela aplicação de cinzas, mas aumentou significativamente com a aplicação da cinza branca (Figura 4).

Esta observação está de acordo com o referido anteriormente sobre a riqueza em iões da cinza branca, principalmente bases, que poderão ter ocasionado este aumento do pH. De salientar o que aconteceu na modalidade “Cinza branca + S”, na qual o enxofre parece não ter exercido um efeito acidificante, observando-se no entanto esse efeito sobre a dissolução das formas de Ca e/ou Na associadas à cinza branca, facilitando o seu efeito alcalinizante. Noutros trabalhos, como os de Arvidsson & Lundkvist (2003) e de Jokinen *et al.* (2006), referem-se incrementos no valor de pH devidos à aplicação de cinzas.

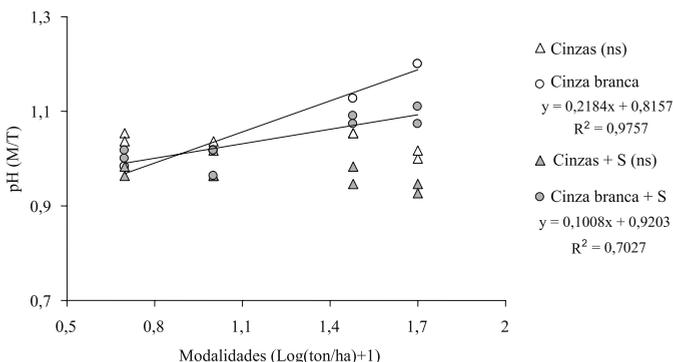


Figura 4 – Variação no valor de pH do solo nas várias modalidades (M) relativamente à testemunha (T). Equações de regressão das modalidades “Cinza branca”, “Cinza branca + S” significativas a $P < 0,001$; “Cinzas” e “Cinzas + S”: NS.

O nível inicial do solo em fósforo “assimilável” era muito alto (Quadro 4) não se tendo verificado uma alteração significativa devido à aplicação de ambos os resíduos (Quadro 8). A contribuição das cinzas em fósforo foi baixa como se pode observar no Quadro 6. Porém, mais uma vez se observou um ligeiro aumento em P na modalidade “Cinza branca + S”, o que pode ter sido devido ao efeito do S na dissolução de algumas formas de Ca precipitadas no solo, tais como fosfatos de cálcio, como atrás se referiu.

A aplicação de cinzas parece também não ter afectado significativamente o teor em K do solo (Quadro 8), enquanto que a aplicação de cinza branca conduziu a um decréscimo significativo no seu teor no solo.

O valor das bases de troca do solo não foi afectado significativamente pela aplicação de

cinzas; a cinza branca, por seu lado, conduziu a um aumento significativo nos teores em Ca e Na de troca do solo. Na modalidade “C + S” observou-se um aumento significativo nos teores em Mg, Na e K do solo (Quadro 8). Arvidsson & Lundkvist (2003) referem que a aplicação de cinzas conduziu a um aumento significativo nos teores em Ca, Mg e K de troca num solo florestal na camada de 0-0,20 m e um aumento de pH na camada de 0-0,05 m.

A relação Ca/Mg do solo era desequilibrada relativamente à nutrição da planta em Mg (Ca/Mg > 8; INIA, 2000) e a aplicação de cinza ou de cinza branca não a melhorou. Ambos os resíduos são pobres em Mg. Em solos equilibrados, o magnésio deve representar cerca de 10 a 20% do grau de saturação. As situações de deficiência surgem ge-

Quadro 8 – Equações de regressão relativas à variação do fósforo, potássio e bases de troca do solo nas várias modalidades.

Equação de regressão	R ²
$(P_2O_5)_C = -0,032 \text{ mod.} + 0,865$	0,026 (ns)
$(P_2O_5)_R = 0,115 \text{ mod} + 0,949$	0,357 (ns)
$(P_2O_5)_{C+S} = 0,192 \text{ mod} + 0,198$	0,181 (ns)
$(P_2O_5)_{R+S} = 0,223 \text{ mod} + 0,967$	0,578 (P< 0,05)
$(K_2O)_C = -0,061 \text{ mod.} + 0,995$	0,221 (ns)
$(K_2O)_R = -0,142 \text{ mod} + 0,865$	0,671 (P< 0,01)
$(K_2O)_{C+S} = 0,047 \text{ mod} + 1,092$	0,185 (ns)
$(K_2O)_{R+S} = 0,085 \text{ mod} + 1,162$	0,382 (ns)
$(Ca^{2+})_C = -0,090 \text{ mod.} + 1,037$	0,271 (ns)
$(Ca^{2+})_R = 0,582 \text{ mod} + 0,971$	0,880 (P< 0,001)
$(Ca^{2+})_{C+S} = 0,088 \text{ mod} + 0,935$	0,387 (ns)
$(Ca^{2+})_{R+S} = 0,728 \text{ mod} + 1,166$	0,865 (P< 0,001)
$(Na^+)_C = -0,038 \text{ mod.} + 0,907$	0,029 (ns)
$(Na^+)_R = 2,320 \text{ mod} + 1,475$	0,860 (P< 0,001)
$(Na^+)_{C+S} = 0,187 \text{ mod.} + 0,857$	0,519 (P< 0,05)
$(Na^+)_{R+S} = 2,430 \text{ mod} + 1,756$	0,817 (P< 0,01)
$(Mg^{2+})_C = -0,061 \text{ mod.} + 1,062$	0,092 (ns)
$(Mg^{2+})_R = 0,071 \text{ mod} + 0,902$	0,346 (ns)
$(Mg^{2+})_{C+S} = 0,194 \text{ mod} + 0,986$	0,763 (P< 0,01)
$(Mg^{2+})_{R+S} = 0,222 \text{ mod} + 1,073$	0,625 (P< 0,05)
$(K^+)_C = 0,019 \text{ mod.} + 1,025$	0,004 (ns)
$(K^+)_R = 0,023 \text{ mod} + 0,995$	0,017 (ns)
$(K^+)_{C+S} = 0,298 \text{ mod} + 1,288$	0,616 (P< 0,05)
$(K^+)_{R+S} = 1,181 \text{ mod} + 1,190$	0,638 (P< 0,05)

ralmente em solos ácidos com relações Ca/Mg superiores a 4,0.

Nas várias modalidades que se testaram neste trabalho, a relação Ca/Mg variou entre valores de 7,7 a 13,3. Estes valores correspondem a uma relação alta, levando a um nível de apreciação “desfavorável e muito desfavorável” para a nutrição da planta em Mg (Marschner, 1995; INIA, 2000).

O registo referido anteriormente, por agricultores, de danos severos nas plantas ocorridos após a aplicação da cinza branca (morte de videiras e não germinação de culturas anuais) sugere que o Ca poderá estar na forma cáustica (CaO) e que o sódio presente no resíduo poderá também contribuir para incrementar esse efeito negativo. Os danos observados seriam assim devidos à ocorrência de reacção exotérmica entre o CaO e a humidade do solo originando CaOH, bem como ao efeito de excesso de Na e consequente aumento da CE do solo. Neste ensaio, o efeito cáustico não terá ocorrido porque se permitiu que se desenvolvessem as reacções de estabilização das cinzas brancas no solo, antes da sementeira. Esta só foi efectuada uma semana após a incorporação dos resíduos no solo.

CONCLUSÕES

A cinza proveniente da incineração de biomassa florestal pode ser aplicada ao solo sem prejudicar a produção ou as propriedades do solo. Em solos com uma relação Ca/Mg desequilibrada (baixo teor em Mg relativamente ao Ca) aconselha-se a aplicação simultânea de Mg, dado que as cinzas acentuam esse desequilíbrio.

A cinza branca, proveniente da causticação da pasta de papel, apresenta um efeito cáustico, que é possível anular com a sua incorporação no solo com antecedência relativamente à sementeira. Nas culturas plurianuais não deverá ser utilizado. Este resíduo apresenta valor como correctivo alcalinizante. No entanto, não se aconselha a sua aplicação em doses superiores a 1 t/ha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arvidsson, H. & Lundkvist, H. (2003) - Effects of crushed wood ash on soil chemistry in young Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 176:121-132.
- Analytical Software (2000) - *Statistix 7 User's Manual. Analytical Software*. Tallahassee, FL, 359 pp.
- Basu M., Pande, M., Bhadoria, P.B.S. & Mahapatra, S.C. (2009) - Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. *Progress in Natural Science* 19(10): 1173-1186,
- Berndes G., Hoogwijk, M. & Van den Broek, R. (2003) - The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy* 25:1-28.
- CELPA (Associação de Industria Papeleira) & AIMMP (Associação das industrias de Madeira e Mobiliário de Portugal) (2004) - *Centrais Eléctricas de Biomassa: uma opção justificável?* Lisboa, 25 pp.
- Demeyer, A. Nkana, J.C.V. & Verloo, M.G. (2001) - Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology* 77:287-295.
- Egnér, H. Riehm, H. & Domingo, W.R. (1960) - Untersuchungen über die chemische bodenanalyse als grundlage für die beurteilung des nährstoffzustandes der boden. II. Chemische extraktionsmethoden zur phosphor, und kalium-bestimmung. *Kunglia Lantbruks-Hogskolens Annaler* 26:199-215.
- Etiegni, L. & Campbell, A.G. (1991) - Physical and chemical characteristics of wood ash. *Bioresources Technology* 37:173-178.
- FAO, ISRIC & ISSS (2006) - *World Reference Base for Soil Resources 2006*. World Soil Resources Reports 103, FAO, Rome, 128 pp.
- Fritze, H., Kapanen, A. & Vanhala, P. (1995) - Cadmium contamination of wood ash and fire-treated coniferous humus: effect on soil respiration. *Bulletin of Environ-*

- mental Contamination and Toxicology* 54: 775-782.
- Huotari N., Tillman-Sutela, E., Pasanen, J. & Kubin, E. (2008) - Ash-fertilization improves germination and early establishment of birch (*Betula pubescens* Ehrh.) seedlings on a cut-away peatland. *Forest Ecology and Management* 255: 2870-2875.
- Hytonen J. & Issakainen, J. (2001) - Effect of repeated harvesting on biomass production and sprouting of *Betula pubescens*. *Biomass and Bioenergy* 20:237-45.
- Hytonen J. & Kaunisto, S. (1999) - Effect of fertilization on the biomass production of coppiced mixed birch and willow stands on a cutaway peatland. *Biomass and Bioenergy* 17: 455-69.
- INIA (Instituto Nacional de Investigação Agrária) - Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (2000)- *Manual de Fertilização das Culturas*. Lisboa, 221 pp.
- Jogiste K, Vares, A & Sendro's, M. (2003) - Restoration of former agricultural fields in Estonia: comparative growth of planted and naturally regenerated birch. *Forestry* 76: 209-19.
- Jokinen, H.K. Kiikkila, O. & Fritze, H. (2006) - Exploring the mechanisms behind elevated microbial activity after wood ash application. *Soil Biology & Biochemistry* 38:2285-2291.
- Levula, T. Saarsalmib, A. & Rantavaara, A. (2000) - Effects of ash fertilization and prescribed burning on macronutrient, heavy metal, sulphur and ¹³⁷Cs concentrations in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea*). *Forest Ecology and Management* 126:269-279.
- Marques, P.J.P. (1998) - *Influência da aplicação de cinza de biomassa florestal nas características do solo e na produção e constituição de plantas com interesse forrageiro*. Relatório do Trabalho de Fim de Curso, Escola Superior Agrária de Castelo Branco, Castelo Branco, 48 pp.
- Marschner, H. (1995) - *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition, Academic Press, London, 889 pp.
- Moyin-Jesu, E.I. (2007) - Use of plant residues for improving soil fertility, pod nutrients, root growth and pod weight of okra (*Abelmoschus esculentum* L.). *Biore-source Technology* 98:2057-2064.
- Muse, J.K. & Mitchell, C.C. (1995) - Paper mill boiler-ash and lime by-products as soil liming materials. *Agronomy Journal* 87: 432-438.
- Nkana, J.C.V. Demeyer, A. & Verloo, M.G. (1998) - Chemical effects of wood ash on plant growth in tropical acid soils. *Biore-source Technology* 63:251-260.
- Ohno, T. (1992) - Neutralization of soil acidity and release of phosphorus and K by wood ash. *Journal Environmental Quality* 21: 433-438.
- Perucci, P. Monaci, E. Onofri, A. Vischetti, C. & Casicci, C. (2008) - Changes in physico-chemical and biochemical parameters of soil following addition of wood ash: A field experiment. *European Journal of Agronomy* 28:155-161.
- Santos, J.Q. (1996) - *Fertilização Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos*. Segunda edição, Europa-América, Lisboa, 441 pp.
- Someshwar, A.V. (1996) - Wood ash and combination wood-fired boiler ash characterization. *Journal of Environmental Quality* 25:962-972.
- Telenius, BF. (1999) - Stand growth of deciduous pioneer tree species on fertile agricultural land in south Sweden. *Biomass and Bioenergy* 16:13-23.
- Ulery, A.L. Graham, R.C. & Amrhein, C. (1993) - Wood-ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Science* 156: 358-364.
- Vance, E.D. (1996) - Land application of wood-fired and combination boiler ashes: an overview. *Journal of Environmental Quality* 25: 937-944.
- Yrjälä, K. Katainenb, R. Jurgens, G. Saarelaa, U. Saanod, A. Romantschuke, M. & Fritze, H. (2004) - Wood ash fertilization alters the forest humus Archaea community. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 199-201.