



Aplicação de lodo celulósico em plantios de pinus

Shizuo Maeda¹

Helton Damin da Silva²

Epitágoras Rodson Oliveira Costa³

Itamar Antonio Bognola⁴

Toda a atividade humana é geradora de resíduos e sua periculosidade ao ambiente e aos seres vivos depende de sua composição química e do tratamento a ele destinado. No caso da reciclagem de papel, um dos grandes desafios das indústrias é o gerenciamento dos resíduos, principalmente de lodos, hoje dispostos em aterros em algumas indústrias. Essa é uma alternativa onerosa e gera uma responsabilidade pela sua guarda que pode se eternizar, resultando em custo permanente.

A reciclagem de papel cumpre importantes funções, tanto social, pela geração de emprego e renda, quanto ambiental pelo reaproveitamento de material com potencial poluidor e de liberação de carbono e pela redução da necessidade de plantios florestais para a produção de matéria-prima. A taxa de recuperação de papéis recicláveis no Brasil em 2009 foi de 46% enquanto da Coreia do Sul foi de 91,6% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 2010), o que indica um grande caminho a ser trilhado no Brasil no que se refere à reciclagem de aparas de papel. O consumo de aparas em 2009 foi de 3.914,4

milhões de toneladas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 2010), com potencial de geração variável de lodos entre as unidades industriais.

No lodo resultante do tratamento de efluentes da reciclagem de papel encontram-se presentes fibras celulósicas fragmentadas e não reaproveitadas no processo, e carga mineral contida nas aparas de papel processadas para reciclagem (BALBINOT JÚNIOR et al., 2006). Pelas suas características químicas, o lodo celulósico é enquadrado na classe IIA – resíduo não inerte, por liberar, nos testes de solubilização, alguns compostos em níveis superiores aos limites estabelecidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). Em função da presença de nutrientes para as plantas em sua composição química, esse resíduo tem potencial para utilização como insumo florestal, sendo necessário, para tal destinação, o pleno conhecimento de suas características, principalmente de seus efeitos no ambiente e às plantas. A aplicação em solos florestais é uma alternativa atraente para a disposição do resíduo

¹ Engenheiro-agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Florestas, maeda@cnpf.embrapa.br

² Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da Embrapa Florestas, helton@cnpf.embrapa.br

³ Engenheiro-agrônomo, Mestre, Gerente florestal da Volta Grande Florestal, epitagoras@cvg.ind.br

⁴ Engenheiro-agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Florestas, iabog@cnpf.embrapa.br

pela capacidade depurativa do solo (BELLOTE et al., 1998) e pela presença de nutrientes para as plantas além da capacidade do mesmo atuar como condicionador do solo substituindo o calcário como corretivo da acidez e fornecendo Ca e Mg.

Na análise da viabilidade do uso de lodo celulósico como insumo para plantio florestal, além de aspectos técnicos e econômicos a serem abordados, a presença de contaminantes potencialmente perigosos, tais como metais pesados. Constituem-se em uma das principais preocupações quando se considera o impacto ambiental gerado pela disposição desse resíduo em solos florestais e que apresenta embasamento na legislação referente à questão (CONAMA, 2009; COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005). Alloway (1995) define metal pesado como aquele elemento químico com densidade maior do que 6 g dm^{-3} , embora o termo não seja completamente satisfatório do ponto de vista químico. Outras denominações são também encontradas como “elementos traços” e “oligoelementos” em razão de serem encontrados em baixas concentrações no ambiente ou mesmo “elementos potencialmente tóxicos” em razão de propriedades prejudiciais dos mesmos pela sua capacidade de bioacumulação, sendo que esse termo vem tendo aceitação crescente segundo o mesmo autor.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do lodo celulósico gerado em estação de tratamento de efluentes da unidade industrial recicladora de aparas de papel da CVG, instalada no distrito de Volta Grande, Município de Rio Negrinho, SC, no crescimento de árvores de *Pinus taeda* e na contaminação do solo por oligoelementos presentes no lodo celulósico estudado.

Doses do lodo celulósico (0; 10; 20; 30 e 40 Mg ha^{-1} , em base seca) foram aplicadas superficialmente e sem incorporação em parcelas experimentais delimitadas em talhão comercial de *Pinus taeda*, com um ano de idade, pertencente à Companhia Volta Grande, CVG, localizado no distrito de Volta Grande, Município de Rio Negrinho, SC. O solo da área utilizada foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico léptico, A húmico.

Considerando que a viabilidade técnica e ambiental da disposição do lodo celulósico em plantios

florestais deve ser embasada na ausência de efeitos restritivos ao desenvolvimento da cultura do *P. taeda* e da não contaminação do solo por componentes presentes no resíduo, notadamente de “elementos potencialmente tóxicos”, esses foram os aspectos abordados na avaliação.

A avaliação da contaminação do solo por “elementos potencialmente tóxicos” foi feita em amostras coletadas na camada 0 a 20 cm, em outubro de 2008, no ensaio em que a aplicação do lodo foi realizada em 2006, um ano após o plantio de mudas da espécie. A preparação das amostras constou da secagem em estufa a $45 \text{ }^\circ\text{C}$, moagem em moinho específico para preparo de amostra de solo e finalmente as amostras foram passadas em peneira com malha 0,2 cm. A abertura das amostras, em duplicata, foi realizada conforme Method 3050B (1996) e a quantificação dos teores dos elementos em ICP/EOS.

Nos casos em que os teores dos elementos analisados foram superiores aos limites de detecção, os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos ($P < 0,05$), as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ($P < 0,05$). Os teores de Cd, Mo e Se ficaram abaixo do nível de detecção do aparelho utilizado e por essa razão não foi possível realizar a análise estatística dos dados.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados, respectivamente, os resultados analíticos de amostra de lodo celulósico e as quantidades estimadas de elementos químicos incorporadas às parcelas experimentais de acordo com cada tratamento estudado.

Não foram observados efeitos da aplicação do lodo celulósico nas características biométricas das árvores de *Pinus taeda* avaliadas, nas diferentes épocas de avaliação realizadas (Figura 1). Provavelmente, a ausência de resposta esteja relacionada com a baixa exigência nutricional da espécie, a qual foi atendida pelos nutrientes originalmente presentes no solo utilizado.

A aplicação do lodo celulósico reduziu o teor de Zn no solo na maior dose estudada. Nas demais variáveis analisadas não houve efeito da aplicação do lodo (Figura 2 e Tabela 3).

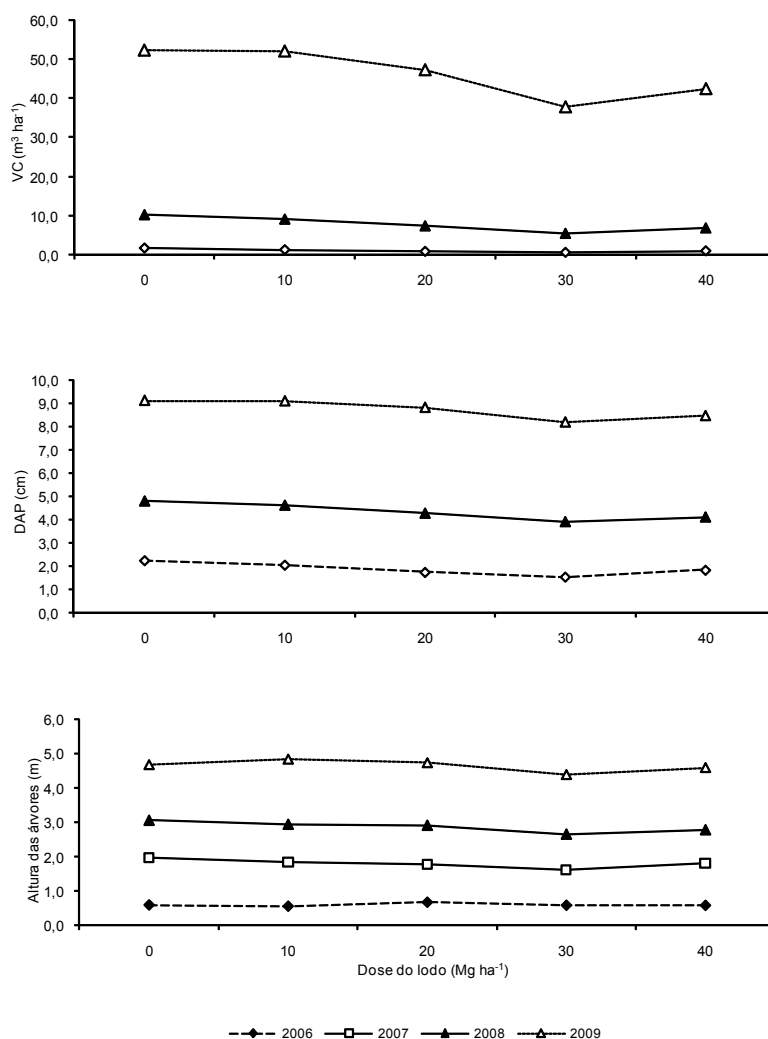
Tabela 1. Resultados analíticos da caracterização química realizada na amostra do lodo celulósico.

Caracterização química da amostra bruta			
Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
pH em água	8,60	Ca – g kg ⁻¹	150,04
Umidade a 65° C - %	0,90	Pb – mg kg ⁻¹	10,99
Umidade a 105° C - %	1,55	Co – mg kg ⁻¹	< 9,99
Cinzas - %	55,54	Cu – mg kg ⁻¹	49,14
Matéria Orgânica - %	42,92	Cr total – mg kg ⁻¹	7,09
C total - %	23,84	Fe – g kg ⁻¹	2,48
N total - %	0,03	Mg – g kg ⁻¹	1,76
S total - %	0,04	Mn – mg kg ⁻¹	44,35
P total - %	0,23	Hg – mg kg ⁻¹	0,18
Fenóis totais – mg kg ⁻¹	5,35	Mo – mg kg ⁻¹	< 9,99
Al – g kg ⁻¹	13,30	Ni – mg kg ⁻¹	< 9,99
As – mg kg ⁻¹	< 49,94	K – mg kg ⁻¹	136,79
Ba – mg kg ⁻¹	94,76	Ag – mg kg ⁻¹	< 4,99
Be – mg kg ⁻¹	< 1,00	Se – mg kg ⁻¹	< 49,94
B – mg kg ⁻¹	< 499,45	Na – mg kg ⁻¹	171,54
Cd – mg kg ⁻¹	< 9,99	Zn – mg kg ⁻¹	265,22
Caracterização química do solubilizado			
Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Cloretos – mg L ⁻¹	123,76	Cu – mg L ⁻¹	< 0,10
Fenóis totais – mg L ⁻¹	0,11 *	Cr total – mg L ⁻¹	< 0,05
Detergente – mg L ⁻¹	0,49	Fe – mg L ⁻¹	12,93*
Nitrato – mg L ⁻¹	1,50	Mn – mg L ⁻¹	0,26*
Sulfato – mg L ⁻¹	< 0,10	Hg – mg L ⁻¹	< 0,001
Al – mg L ⁻¹	7,74*	Ag – mg L ⁻¹	< 0,05
As – mg L ⁻¹	< 0,0025	Se – mg L ⁻¹	< 0,005
Ba – mg L ⁻¹	0,89*	Na – mg L ⁻¹	12,95
Cd – mg L ⁻¹	< 0,0005	Zn – mg L ⁻¹	< 0,10
Pb – mg L ⁻¹	< 0,005		

* valores superiores aos limites da NBR 10.004/04

Tabela 2. Quantidade de elementos químicos adicionados ao solo com a aplicação das doses de lodo celulósico.

Elemento químico	Doses do lodo celulósico (Mg ha ⁻¹)			
	10	20	30	40
	Quantidade dos elementos (kg ha⁻¹)			
N total	3,000	6,000	9,000	12,000
S total	4,000	8,000	12,000	16,000
P total	23,000	46,000	69,000	92,000
K	1,370	2,740	4,110	5,480
Ca	1 500,400	3 000,800	4 501,200	6 001,600
Mg	17,600	35,200	52,800	70,400
Cu	0,490	0,980	1,470	1,960
Mn	0,440	0,880	1,320	1,760
Fe	24,800	49,600	74,400	99,200
Zn	2,650	5,300	7,950	10,600
Al	133,000	266,000	399,000	532,000
Pb	0,110	0,220	0,330	0,440
Ba	0,950	1,900	2,850	3,800
Hg	0,002	0,004	0,006	0,008
Cr total	0,070	0,140	0,210	0,280
Na	1,710	3,420	5,130	6,840

**Figura 1.** Diâmetro à altura do peito (DAP), altura e volume cilíndrico (VC) de árvores de *Pinus taeda* avaliadas no plantio de 2006 e em 2007, 2008, 2009 e 2010. Aplicação realizada 1 ano após plantio.

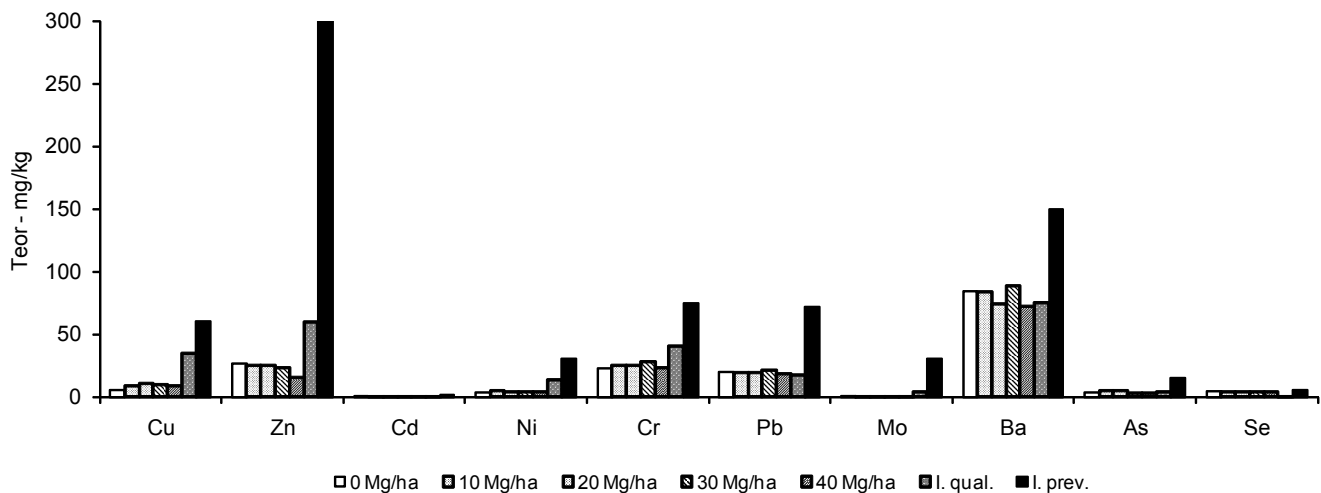


Figura 2. Índices de qualidade do solo e de prevenção apresentados por Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2005) e teores de metais na camada 0-20 cm, observados nos tratamentos de lodo celulósico aplicado um ano após o plantio de *Pinus taeda*, avaliados 2 anos após a aplicação do lodo.

Tabela 3. Teores de elementos* e seus índices de qualidade do solo (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005) e de prevenção (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2009) na camada 0 a 20 cm, observados nos tratamentos aplicados um ano após o plantio de *Pinus taeda* e avaliados 2 anos após a aplicação do lodo.

Dose	Cu	Zn	Cd	Ni	Cr	Pb	Mo	Ba	As	Se
Mg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹									
0	5,55	26,75 a	0,20	3,50	22,50	20,00	0,20	84,25	3,25	4,00
10	8,50	25,25 a	0,20	4,75	25,25	19,50	0,20	84,00	4,00	4,00
20	10,50	25,25 a	0,20	4,25	25,25	19,25	0,20	74,00	5,00	4,00
30	9,25	22,75 ab	0,20	4,00	28,25	21,50	0,20	88,25	3,00	4,00
40	8,25	15,75 b	0,20	3,75	23,50	18,75	0,20	72,00	2,75	4,00
P	ns	0,01	na	0,05	ns	ns	na	ns	ns	na
CV - %	32,60	16,40	na**	13,30	15,00	26,30	na	50,20	53,60	na
I. qual Cetesb***	35	60	< 0,5	13	40	17	< 4	75	3,5	0,25
I. prev Cetesb***	60	300	1,3	30	75	72	30	150	15	5
I. prev. Conama***	60	300	1,3	30	75	72	30	150	15	5

* valores seguidos por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si a 5% pelo teste de Tukey; ausência de letras indica igualdade entre os valores pelo mesmo teste; ** na – não analisados estatisticamente – valores abaixo dos níveis de detecção; *** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2005) e Conselho Nacional do Meio Ambiente (2009).

Análises realizadas conforme Method 3050B (1996).

É possível que a redução observada no teor de Zn na maior dose de lodo estudada deva-se à lixiviação do elemento para camadas mais profundas do solo, dado a sua mobilidade no solo (OLIVEIRA ; MATTIAZZO, 2001) e pelo esgotamento da capacidade de retenção do elemento em função da quantidade aportada como mencionado por Mattias et al. (2004). Outra hipótese é que tenha ocorrido maior absorção de Zn pelas plantas do pinus, embora essa maior absorção não tenha resultado em alterações no crescimento das árvores.

A ausência de efeito das doses do lodo celulósico nos teores dos demais elementos analisados deve-

se às quantidades dos elementos em questão presentes no resíduo (Tabela 2) aplicado no solo serem insuficientes para promover alterações nas concentrações dos mesmos no solo nos níveis de detecção do aparelho utilizado nas determinações.

Mesmo na maior dose estudada, os conteúdos de elementos químicos presentes no lodo utilizado (Tabela 2) foram inferiores às “cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas presentes no lodo” estabelecidas em Conselho Nacional do Meio Ambiente (2006), embora a referência mencionada trate da aplicação de lodo de esgoto em solos, sendo a mesma utilizada nessa

avaliação pela inexistência de legislação específica para resíduos industriais.

Destacam-se nos resultados desse trabalho (Tabela 3) os teores de Pb, Ba e As no tratamento testemunha, por superarem os teores índices de qualidade do solo mencionados por Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2005), o que indica a necessidade de estabelecer valores padrões de referência de qualidade para o solo utilizado.

Conclusões

Na maior dose, a aplicação do lodo celulósico diminui o teor de Zn;

A aplicação do lodo celulósico não altera os teores de Cu, Ni, Cr, Pb, Ba e As no solo, e

A aplicação do lodo celulósico não interfere no desenvolvimento das árvores de *Pinus taeda* até a idade avaliada.

Referências

- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2nd ed. London: Blackie Academic & Professional, 1995. 368 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Relatório anual: 2009/2010**. [São Paulo], 2010. 60 p. (Estatísticas Bracelpa).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- BALBINOT JÚNIOR, A. A.; TÔRRES, A. N. L.; FONSECA, J. A. da; TEIXEIRA, J. R.; NESI, C. N. Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 5, n. 1. p. 16-25, 2006.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. de C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, jul./dez. 1998.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos valores orientadores de 2001, e dá outras providências. Disponível em: <HTTP://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2011.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 375, de 30 de agosto de 2006. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 30 ago. 2006. Seção 1, p. 141-146.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 249, 30 dez. 2009. p. 81-84. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 21 fev. 2011.
- MATTIAS, J. L.; MOREIRA, I. C. L.; CERETTA, C. A.; POCOJESKI, E.; GIOTTO, E.; TRENTIN, E. E. Lixiviação de cobre, zinco e manganês no solo sob aplicação de dejetos líquidos de suínos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO- FERTIBIO 2004, 5., 2004, Lages, SC. **Anais...** Lages: SBCS, 2004. 1 CD-ROM.
- METHOD 3050B: acid digestion of sediments, sludges, and soils. 1996. Disponível em: <http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2011.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 4, p. 807-812, out./dez. 2001
- SILVA, F.C. da (Org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, DF – Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro – Embrapa Solos; Campinas – Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p.

Comunicado Técnico, 283

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na: **Embrapa Florestas**
Endereço: Estrada da Ribeira Km 111, CP 319
Fone / Fax: (0***) 41 3675-5600
E-mail: sac@cnpf.embrapa.br



1ª edição
Versão eletrônica (2011)

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Comitê de Publicações

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos
Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida
Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Antonio Aparecido Carpanezzi, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Dalva Luiz de Queiroz, Guilherme Schnell e Schuhli, Luís Cláudio Maranhão Froufe, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaiad

Expediente

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos
Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté
Normalização bibliográfica: Francisca Rasche
Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté