

Determinação de áreas referenciais para medidas de distribuição de ^{137}Cs em solos aplicados ao estudo de erosão na bacia do Riacho Salgado - semiárido de Pernambuco

¹AZAMBUJA, Renata Nunes. renatanaz@yahoo.com.br

²CORRÊA, Antonio Carlos de Barros. dbiasi2001@terra.com.br

³CAMPOS, Ivo Matias. Ivo_matias@yahoo.com.br¹

Resumo: Embora ainda seja uma técnica pouco utilizada para quantificações de perda por erosão no Brasil, a estimativa de ^{137}Cs no solo tem se apresentado como uma boa alternativa para modelagem de redistribuição de sedimentos sobre condições diversas de uso e ocupação. Para tanto é necessário definir previamente áreas de referência, que estiveram nas últimas décadas, submetidas à condições estáveis de preservação. Esta pesquisa apresenta resultados comparativos a outras áreas, localizadas no Nordeste do Brasil, que obtiveram valores diversificados quanto a contagem de ^{137}Cs no perfil de análise. Foram coletadas ao todo duas amostras para contagem de referência, em posições interfluviais de uma bacia semiárida. As atividades de ^{137}Cs encontradas foram de 71 Bq m⁻² em Ref.1 e 61 Bq m⁻² em Ref.2. Comparativamente aos resultados obtidos para todo restante da bacia, como faixa erosiva, as medidas acompanharam resultados similares a outras áreas referenciais no estado de Pernambuco.

Palavras-chave: Atividade de ^{137}Cs , Redistribuição de sedimentos, Semiárido

Abstract: *Although still a little used technique for the measurement of loss by erosion in Brazil, estimated ^{137}Cs in the soil has been presented as a good alternative for modeling sediment redistribution on various conditions of use and occupation. To this end it is necessary to define areas of reference, which have been in recent decades, subject to stable conditions for preservation. This research presents comparative data to other areas in the Northeast of Brazil, which obtained manifold values as ^{137}Cs count in the analysis profile. They collected a total of two samples for reference counting in interfluvial positions of a semi-arid basin. The ^{137}Cs activities found were 71 Bq m⁻² Ref.1 and 61 Bq m⁻² Ref.2. Compared to the results obtained for the whole rest of the basin, such as erosive range the measures followed similar results to other reference areas in the state of Pernambuco.*

Key-words: ^{137}Cs Activit, Redistribution of Sediments, Semiarid

¹ Professora Dra. do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Sergipe;

² Professor Dr. do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco;

³ Aluno do curso de Graduação em Física da Universidade Federal de Sergipe.

Introdução

Em se tratando de estudos ambientais, tanto a problemática focada nas mudanças climáticas, quanto à erosão e degradação acelerada dos solos é considerada como representantes potenciais da perda de equilíbrio dos sistemas geomorfológicos. Na tentativa de obter dados e/ou produzir modelos de projeção de possíveis cenários futuros, o emprego de pesquisas voltadas para a medição de radionuclídeos ambientais, em particular o ^{137}Cs pode fornecer importantes informações acerca da redistribuição de sedimentos em unidades da paisagem naturalmente vulneráveis a pequenas mudanças.

Considerando as especificidades contidas na dinâmica geomorfológica semiárida brasileira, tais como a alta densidade demográfica, elevadas taxas de erosão/sedimentação além de crescente aumento pela demanda de produção de alimentos, calcula-se que anualmente tais ambientes estejam submetidos a uma extensa degradação dos solos.

A utilização de radionuclídeos ambientais como marcadores do movimento de sedimentos tem sido empregada por inúmeros estudos na última década (LU e HIGGITT; NOURIA et al., 2003; SIMMS et al., 2008; EVRARD et al., 2010). Além de fornecer informações sobre a redistribuição de sedimentos dentro de uma bacia hidrográfica, por exemplo, os radionuclídeos são traços cronológicos de acumulação em rios efêmeros, caso do objeto deste estudo, bem como em lagos e reservatórios, como referido por Simms et al. (2008).

No Brasil a aplicação da técnica do ^{137}Cs tem sido pouco desenvolvida no que diz respeito a medição de erosão em parcelas de cultivo. Tais esforços tem se concentrado nas porções centro/sul do país. O primeiro estudo realizado com este tipo de aplicação em parcelas de cultivo foi de Guimarães (1988) e teve como objetivo principal estimar a erosão e sedimentação de solos em uma bacia do município de Piracicaba. Andrello (1997, 2004) apresentou também grande contribuição para o desenvolvimento da técnica no país, aplicando dados empíricos sobre modelos equacionais, tais como o Modelo proporcional e Modelo de Balanço de Massa Simplificado em áreas de cultivo no Paraná. Camargo (2010) apresentou resultados referentes à aplicação de *fallout* de ^{137}Cs e análises micromorfológicas.

No Nordeste do Brasil, alguns esforços tem sido direcionado para construir um inventário de amostras referenciais, utilizadas na aplicação de Modelos matemáticos, como etapa importante no estabelecimento de parâmetros regionais de assimilação do ^{137}Cs por solos diferentes dos encontrados no Centro-sul do país. Fraga e Salcedo (2004), Santos (2004) e Antunes et al. (2010), procuraram estabelecer o inventário

médio para os estados da Paraíba e Pernambuco, respectivamente. Sendo verificado que, em latitudes baixas a médias, o inventário de referência normalmente é muito menor que os valores obtidos em latitudes médias e altas.

Levando em consideração a importância da obtenção de dados referenciais para aplicação do método, os valores de referência correspondem, via de regra, ao levantamento do estoque e da distribuição de ^{137}Cs detectável em perfis de solos do semiárido nordestino sob condições de estabilidade, onde a perda ou ganho de solo tenham sido insignificante, desde o início da deposição de ^{137}Cs por emissão de testes atômicos.

Dentro desta perspectiva, verifica-se que estudos relacionados ao *fallout* de ^{137}Cs e seu uso como instrumento de medida de erosão e deposição, ainda encontra-se em estágio incipiente de desenvolvimento, necessitando ainda de outros estudos neste âmbito, para que haja um maior consenso entre os resultados obtidos para diversas áreas em ambiente semiárido do Brasil.

Material e Método

Área de estudo e amostragem

As parcelas de análise estão situadas a sudoeste do estado de Pernambuco, na mesorregião do Sertão do São Francisco, tendo como foco a bacia do Riacho Salgado. Localizada a 510 Km da cidade do Recife, no município de Belém de São Francisco, a área em questão é delimitada pelos paralelos $8^{\circ}32'00''$ S e $8^{\circ}35'00''$ S e meridianos $38^{\circ}48'00''$ W e $38^{\circ}52'00''$ W. Em geral, as estruturas geológicas não comportam grandes elevações, predominando sobre a bacia analisada superfícies pedimentares com largos interflúvios e plainos aluviais atulhados de sedimentos. O sistema fluvial integra o vasto pediplano do Baixo São Francisco, com altitude média variando entre 300 e 400m.

Em virtude da necessidade de escolher locais pouco perturbados pela atividade antrópica, foram selecionadas duas áreas sobre o interflúvio da bacia, próximo a sua nascente. Sendo assim, os solos amostrados pertencem à classe de Neossolos Litólicos segundo a EMBRAPA (2000). A cobertura vegetal apresenta-se na forma de caatinga hiperxerófila, com precipitação média de 426,4 mm e temperaturas de 24°C .

Seguindo o protocolo de coleta apresentado por Walling e Quine (1993), o método escolhido baseou-se na utilização de um *scraper plate*, com moldura de aço medindo 40x40cm e uma placa presa a barras cilíndricas de metal ajustável para cada 1cm, com a finalidade de raspar ou remover camadas de sedimentos.

Embora o instrumento fabricado tenha um alcance de até 40 cm de profundidade, impedimentos tais como, a alta densidade de fragmentos rochosos subsuperficiais, a presença de raízes, além da baixa contagem em profundidades superiores a 12 cm, induziram nossas coletas até estes primeiros centímetros, replicado em praticamente todos os outros pontos posteriormente amostrados na bacia.

Análise das amostras

Após coletadas e armazenadas em sacos plásticos, as amostras foram levadas Laboratório de Geomorfologia do Quaternário (LabGEQUA) da UFPE, com finalidade de analisar a granulometria, extração de matéria orgânica e densidade das amostras, descritos por Gale e Hoare (1991) e Embrapa (1997) respectivamente.

Para análise de radionuclídeos seguiu-se a metodologia apresentada por Pennock e Appleby (2002), determinando a *priori* a densidade de solos e sedimentos como etapa necessária a conversão de concentração de radionuclídeos mensurados para o inventário total (relatado em Bq m⁻²).

Análise da atividade do ¹³⁷Cs

Em uma segunda etapa, a medição de atividade de ¹³⁷Cs nas amostras coletadas foi realizada no Laboratório de Instrumentação Nuclear (LIN), do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Para determinação da atividade do ¹³⁷Cs nas amostras de solo, foi utilizada a espectrometria gama com detector de germânio hiperpuro (HPGe), Canberra, do tipo BeGe (Broad Energy Germanium), com 4,54 cm de diâmetro externo e volume ativo de 41,1 cm³, e software Genie-2000, Canberra. O ¹³⁷Cs como um átomo instável, possui meia vida de 30,2 anos, que decai por emissão beta (β^-) para o ¹³⁷Ba, metaestável, com meia-vida de 2,55 min, tornando-se estável após a emissão de um raio gama de energia 661,6 keV. Esta emissão do ¹³⁷Ba, formado a partir do ¹³⁷Cs, é considerada característica da presença do ¹³⁷Cs e usada para sua detecção.

De posse do gráfico de correlação entre o número de contagem e a amplitude de pulso (energia), foi determinado o cálculo da eficiência de contagem do detector Ge, afim de acurar a atividade global do radionuclídeo da amostra como proposto por Wallbrink et al (2002). Como resultado as atividades de ¹³⁷Cs foram expressas em Bq Kg⁻¹ e a eficiência da detecção foi definida para estoques contidos a cada 3 cm de profundidade. Após a obtenção do cálculo de eficiência, medidas de distribuição espacial do ¹³⁷Cs foram determinadas através do cálculo de atividade areal sobre os

valores de referência e sua média de erro padrão, a partir dos critérios sugeridos por Loughran et al. (2002)

Resultados e discussão

Embora não tenha sido possível aplicar na área o procedimento padrão de amostragem para obtenção do inventário de referência, com um mínimo de 10 amostragens como referido por Walling e Quine (1990), foi verificado através de duas amostragens na bacia, uma estimativa da atividade areal de 66,9 (Bq m⁻²) para o ¹³⁷Cs (Tabela 01). Este valor aproxima-se de outras estimativas obtidas para áreas referenciais no estado de Pernambuco, como encontrado por Antunes et al. (2010) em três diferentes locais. Araripina obteve o menor índice, com atividade de 64,0 ±13,8, enquanto Goiana obteve índice intermediário de 71,6±6,3 (Bq m⁻²) e máximo encontrado foi em Sertânia, 95,5 ±9,8 (Bq m⁻²). Ainda que as amostras referenciais tenham sido em número inferior para a bacia do riacho Salgado, ambos perfis de amostras referenciais demonstraram curvas descendentes compatíveis com os modelos apresentados Hacıyakupoglu et al (2005), Schuler et al (2007) e Jange et al. (2010).

Tabela 01: Estoque de ¹³⁷Cs em amostras de solos coletados para a bacia do Riacho Salgado, convertida em atividade areal de Bq m⁻²

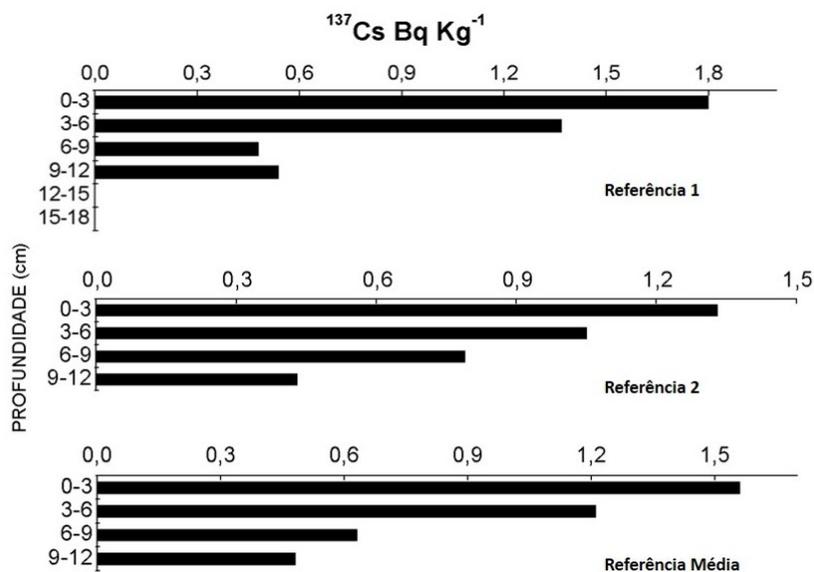
Camada	Ref.1	Ref.2	Ref. Média
cm	Bq m ⁻²		
0 - 3	30,59 ± 0,23	22,68 ± 0,23	26,64 ± 0,23
3 - 6	23,29 ± 0,25	17,78 ± 0,34	20,53 ± 0,29
6 - 9	8,23 ± 0,21	13,44 ± 0,22	11,18 ± 0,21
9 - 12	9,83 ± 0,22	7,27 ± 0,27	8,55 ± 0,24
12 - 15	0	0	0
15 - 18	0	0	0
Total	71,94 ± 0,22	61,17 ± 0,26	66,90 ± 0,24

Nesta primeira aproximação compreende-se que a concentração do inventário de ¹³⁷Cs em áreas teoricamente não perturbadas alcançam valores superiores aos apresentados nos transectos de amostragem em toda a bacia. Tanto na primeira amostra quanto na segunda, ocorreu um aumento na concentração nas primeiras camadas.

A primeira coleta de amostra realizada superou os 18 cm de profundidade, porém não foram encontrados inventário abaixo de 12 cm não acompanhando o resultado esperado para tais profundidades. Ainda assim, o perfil Ref.1 obteve o maior número de contagem por atividade de ¹³⁷Cs dentre todas as coletas de amostras. Na

amostra de Ref.2 a curva apresentou decréscimo na concentração de ^{137}Cs , em comparação com a primeira área de referência, assemelhando-se a resultados obtidos para áreas de medida de erosão na bacia. A figura 01 apresenta o gráfico de variação na concentração de ^{137}Cs em Bq Kg^{-1} para as amostras analisada e a obtenção da média de distribuição.

Figura 01: Perfil de distribuição da concentração de ^{137}Cs nos horizontes, em função da profundidade medidos a partir das amostras Ref.1 e Ref.2 e a média obtida para bacia estudada.



Como o fluxo global de decaimento varia de acordo com a latitude é de se esperar que em baixas latitudes ocorra uma gradativa diminuição no estoque do radionuclídeo ^{137}Cs . Comparativamente, estes resultados corroboram com a tendência descrita por Ritchie e McHenry (1990) e Shcuch et al. (1994). Através de resultados preliminares, Antunes et al (2010) verificou que o maior índice encontrado em Pernambuco, no município de Sertânia, possui forte correlação com o tipo de argila (2:1), possibilitando uma maior assimilação do ^{137}Cs nestes solos. Neste caso, nem tanto o fator pluviométrico determinou estoque mais elevado na área úmida de Goiana.

Andrello (2004) em trabalho realizado no estado do Paraná, região sul do Brasil, encontrou para parcelas cultivadas, bem como para áreas de pastagem, valores médios de $250 \text{ (Bq m}^{-2}\text{)}$, acompanhando resultados obtidos por Shcuch et al. (1994) de estoque de ^{137}Cs de 329, 159, 150 e 170 (Bq m^{-2}) sobre as latitudes de 28, 26, 22, e 13 °S (ANTUNES et al., 2010). Estes resultados mostram que, de forma geral, os estoques podem diminuir simultaneamente com a latitude, porem ha casos em que pode haver variação na mesma latitude como verificado por Fraga e Salcedo (2004) na Paraíba. Estoques de 118 (Bq m^{-2}) foram encontrados a 8°S de latitude,

valor este que se assemelha aos encontrados em latitude de 13°S. Assim, tanto a amostra Ref.1 e Ref.2 obtiveram valores semelhantes e aceitáveis para o parâmetro referencial de estudo da bacia do riacho Salgado.

Embora a área de estudo se assemelhe com as áreas referências de Araripina e Sertânia, ambas localizadas na região semiárida do estado de Pernambuco, as condições hidrodinâmicas encontradas de acordo com a classificação textural, o grau de seleção, a assimetria e curtose direcionam para um ambiente de forte atividade erosiva, favorecendo a realização de transporte dos sedimentos mais finos e manutenção das areias nas faixas de cabeceira da bacia.

De acordo com os resultados de classificação textural das amostras, aplicados ao diagrama de Pejrup (1988), as áreas referenciais apresentaram hidrodinâmica muito alta, com concentração de 68 a 80% de areia em todas as camadas de solo coletadas. O caráter de assimetrias negativas e muito negativas, explica-se pelo fato da atuação de fluxos difusos que removem as partículas finas e redistribuem-nas para os baixos pedimentos e plano aluvial.

A amostra Ref.1 apresentou uma condição de maior concentração de sedimentos finos, o que provavelmente favoreceu a uma maior assimilação de ¹³⁷Cs nas primeiras camadas de solo coletado. Já na amostra Ref.2 o decréscimo de finos acompanhou uma diminuição igualmente de armazenamento do ¹³⁷Cs. Este resultado demonstrou que provavelmente essa segunda área, ainda que tenha sido escolhida a partir das características fisionômicas preservadas, possivelmente é afetada de forma semelhante ao restante da bacia, em termos de movimento das partículas de solo. (Tabela 03). Não foi possível analisar a amostra Ref.2 de na primeira camada devido a sua perda após leitura da contagem de ¹³⁷Cs.

Tabela 02: Características física e dinâmica das classes texturais encontradas em cada camada de análise.

Profundidade cm	Areia	Silte/Argila g Kg ⁻¹	Seleção	Assimetria	Curtose	Granulometria
Ref 1 0-3	71	29	Pobr. Selec.	Negativa	Platicúrtica	Areia fina
Ref 1 3-6	68	32	Pobr. Selec.	Negativa	Platicúrtica	Areia fina
Ref 1 6-9	68	32	Pobr. Selec.	Negativa	Platicúrtica	Areia fina
Ref 1 9-12	80	20	Pobr. Selec.	Negativa	Platicúrtica	Areia fina
Ref 2 0-3	-	-	-	-	-	-
Ref 2 3-6	76	24	Pobr. Selec.	Muito neg.	Mesocúrtica	Areia fina
Ref 2 6-9	69	31	Pobr. Selec.	Muito neg.	Platicúrtica	Areia mt. fina
Ref 2 9-12	72	28	Pobr. Selec.	Muito neg.	Platicúrtica	Areia mt. fina

Considerações Finais

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que os valores encontrados para as duas áreas referenciais de 71 e 61 Bq m⁻² reforça a tese de que o ambiente semiárido brasileiro em conjugação com as baixas latitudes apresentam menores concentrações de atividade de ¹³⁷Cs. Perdas significativas de sedimentos argilosos sobre ambientes de forte hidrodinâmica também podem ser considerados como fator condicionante de uma menor atividade areal deste radionuclídeo em solos de pouca profundidade.

Como esperado as maiores concentrações ocorreram nas primeiras duas camadas de solo (6 cm), correspondendo a 75 e 53% das amostras Ref.1 e Ref.2 com decréscimo linear de acordo com a profundidade atingida e não apresentando leitura abaixo de 12 cm.

Espera-se com isso contribuir para o crescimento de inventários relacionados a determinação de atividades referenciais dos ambientes semiáridos do Nordeste brasileiro.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de Doutorado e ao Banco Nacional do Nordeste (BNB) pelo financiamento deste projeto de Pesquisa.

Referências Bibliográficas

ANTUNES, P.D.; SAMPAIO, E.V. de S.B.; FERREIRA-JUNIOR, A.V.; GALINDO, I.C.L. e SALCEDO, I.H. Distribuição de ¹³⁷Cs em três solos representativos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência dos Solos**, 2010, n. 34 p.935-943.

ANDRELLO, A. C. **Metodologia do ¹³⁷Cs para Determinação da Erosão e Deposição de Solo em uma Bacia de Solo do Norte do Paraná**. Paraná, 1997. 106p. Dissertação de Mestrado Departamento de Física da Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

ANDRELLO, A. C. **Aplicabilidade do ¹³⁷Cs para medir erosão do solo: Modelos teóricos e empíricos**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Física. Tese de Doutorado, 2004, p.192.

CAMARGO, M. F. **Retenção de sedimentos avaliada pelas técnicas do ¹³⁷Cs e da micromorfologia do solo em áreas cultivadas no Cerrado**. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia

EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade de solos do Estado de Pernambuco. **Boletim de pesquisa n.11**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.

EVARD, O.; NEMERY, J. GRATIOT, N.; DUVERT, C.; AYRAULT, S.; LEFEVRE, I. POULENARD, J.; PRAT, C.; BONTE, P. e ESTEVES, M. Sediment dynamics during the rainy season in tropical highland catchments of central Mexico using fallout radionuclides. **Geomorphology**. 2010, n. 124, p.42-54.

FRAGA, V.D. & SALCEDO, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 2004, n.68, p. 215-224.

GALE, S. J. e HOARE, P. G. **Quaternary Sediments: Petrographic Methods for the Study of Unlithified Rocks**. Londres: Bethaven Press, 1991, p.318.

GUIMARAES, M. F. **¹³⁷Cs da Precipitação Radioativa (“fallout”) no Estudo da Erosão e Sedimentação de Solo**. Tese de Doutorado apresentada a Escola Superior de Agricultura. Piracicaba, 1988, p. 136.

HACIYAKUPOGLU, S.; ERTEK, T.A.; WALLING, D.E.; OZTURK, Z.F; KARAHAN, G.; ERGINAL, A.E e CELEBI, N. Using cesium-137 measurements to investigate soil erosion rates in western Istanbul (NW Turkey). **Catena**, 2005, n. 64, p. 222-231.

JANGE, B.; MABIT, L.; DERCON, G.; WALLING, D.E.; ABAIDOO, R.; CHIKOYE, D. e STAHR, K. First use of the ¹³⁷Cs technique in Nigeria for estimating medium-term soil redistribution rates on cultivated farmland. **Soil Tillage Research**, 2010, n.110, p. 211-220.

LOUGHRAN, R.J.; PENNOCK, D.J e WALLING, D.E. Spatial distribution of Cesium-137. **Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides**. Netherland: IAEA, 2002, p.97-109.

LU, X.X. e HIGGITT, D.L. Estimating erosion rates on sloping agricultural land in the Yangtze Three Gorges, China, from cesium-137 measurements. **Catena**. 2000, p. 33-51

NOUIRA, A.; SAYOUTY, E.H. e BENMANSOUR, M. Use of ¹³⁷Cs technique for soil erosion study in agricultural region of Casablanca in Morocco. **Journal of Environmental Radioactivity**. 2003, n. 68, p.11-26.

PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P. L.; VAN GELDER, A. e NIO, S. D. (Ed). **Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies**: D.Reidel, Dordrecht. 1988, p.289-300.

PENNOCK, D.J e APPLEBY, P.G.(b) Sample Processing. In: ZAPATA, F. **Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides**. Netherland: IAEA, 2002 p.59-65.

RITCHIE, J.C. E MCHENRY, J.R. Application of radioactive fallout ¹³⁷Cs for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. **Journal Environmental Quality**. 1990, n.19, p.215-233.

SANTOS, A.C. **Redistribuição de ¹³⁷Cs em distintas profundidades e posições topográficas em solo sob pastagem e vegetação nativa**. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2004, p.68. (Tese de Doutorado).

SCHUCH, L.A.; NORDENMANM, D.J.R.; BARRETO, W.O.; CARDOSO, A. & ZAGO, A. Natural and artificial radionuclides in soils from Parana, Brasil. **J. Radioanal. Nucl. Chem.**, 1994, p. 39-404.

SHULLER, P.; WALLING, D.E.; SEPULVEDA, A.; CASTILLO, A. e PINO, I. Changes in soil erosion associated with the shift from conventional tillage to a no-tillage system, documented using ¹³⁷Cs measurements. **Soil & Tillage Research**. 2007, 94: 183-192.

SIMMS, A. D.; WOOLDROFFE, C.; JONES, B. G., HEIJNIS, H., MANN, R. A. e HARRISON, J. Use of ²¹⁰Pb e ¹³⁷Cs to simultaneously constrain ages and sources of postdam sediments in the Cordeaux reservoir, Sydney, Australia. **Journal of Environmental Radioactivity**. 2008, n.99, p.1111-1120.

WALLBRINCK, P. J.; WALLING, D. E. e HE, Q. Radionuclide measurement using HPGe Gamma Spectrometry. In: ZAPATA, F. **Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides**. Netherland: IAEA, 2002, p. 67- 96.

WALLING, D.E. & QUINE, T.A. Calibration of ¹³⁷Cs measurements to provide quantitative erosion rate data. **Land Degradation and. Rehabilitation**, 1990, n. 2, p.161-175.

WALLING, D.E., & QUINE, T. A. **Use of caesium-137 as a tracer of erosion and sedimentation:handbook for the application of the caesium-137 technique**. Exeter: University of Exeter. 1993.