

Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba

Flávio Pereira de Oliveira⁽¹⁾, Djail Santos⁽²⁾, Ivandro de França da Silva⁽²⁾, Marx Leandro Naves Silva⁽³⁾

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de determinar a tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado da Paraíba, utilizando-se quatro métodos para sua estimativa, a partir da compilação de dados de 189 perfis de solo. Os quatro métodos avaliados foram: Método I, proposto por Lombardi Neto & Bertoni (1975); Método II, modificação do Método I, por Bertol & Almeida (2000); o Método III, modificação do Método de Bertol & Almeida (2000); e o Método IV, que se diferencia do Método III quanto ao grau de permeabilidade, sendo utilizados valores determinados em campo. Os valores de tolerância de perdas de solo entre os métodos estudados apresentaram amplitude de 5,41 a 13,86 (I), 4,01 a 12,36 (II), 3,94 a 12,35 (III) e 2,82 a 10,64 (IV), expressos em $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, respectivamente. Os Latossolos apresentaram maiores valores médios de tolerância de perdas, enquanto os Luvisolos apresentaram menores valores, em consonância com seus atributos diferenciais. O método I foi menos rigoroso e a utilização do método IV resultou em menores valores de tolerância de perda de solo, sendo este último o método recomendado, devido à necessidade premente de uma maior cautela na minimização do processo erosivo.

Palavras-chave: Limites toleráveis, métodos de estimativa de erosão, profundidade efetiva.

Soil Loss Tolerance for the Paraíba State, Brazil

ABSTRACT

This study was developed with the objective to determine the soil loss tolerance by erosion for the main soils of Paraíba state, using four methods, through the compilation of data from 189 soil profiles. The appraised four methods were: Method I, proposed by Lombardi Neto & Bertoni (1975); Method II, a modification of Method I, proposed by Bertol & Almeida (2000); Method III, a modification of the Method of Galindo & Margolis (1989); and Method IV, which differs from Method III in relation to permeability degree, in which were used values determined in the field. The values of soil loss tolerance estimates ranged from 5.41 to 13.86 (I), 4.01 to 12.36 (II), 3.94 to 12.35 (III), and 2.82 to 10.64 (IV), expressed in $t\ ha^{-1}\ year^{-1}$. Oxisols presented higher values of soil loss tolerance, while Alfisols revealed smaller values in agreement with their differential attributes. Method I was the least rigorous and the use of method IV resulted in smaller values of soil tolerance, that last recommended method due to the need of caution in minimizing the erosion process.

Keywords: Tolerable limits, soil loss estimation methods, effective depth.

1 INTRODUÇÃO

O manejo sustentado do solo é uma questão estratégica do ponto de vista ambiental e econômico. Quando o solo passa a ser manejado visando uma atividade qualquer, ocorrem desequilíbrios nas relações solo-clima-planta. Neste sentido, o monitoramento das perdas de solo por erosão hídrica, através de limites estabelecidos pela tolerância de perdas de solo, é imprescindível para o manejo adequado e sustentável das atividades agrícolas (Silva et al., 2002).

O aumento da população mundial, com uma demanda crescente de alimentos, tem provocado a intensificação da atividade agropastoril, através da expansão da área cultivada, do aumento da produtividade e da busca de fontes alternativas de alimentos (Hudson, 1995). A partir do crescente avanço tecnológico em função da elevada necessidade de produção de alimentos e da impossibilidade de cultivar áreas agrícolas sem riscos de erosão, estabeleceu-se um limite tolerável ou aceitável de perdas de solo definido como sendo a intensidade máxima de erosão que ainda permitirá um nível de produtividade economicamente sustentável das culturas (Wischmeier & Smith, 1978). A taxa de erosão estará dentro dos limites de tolerância quando não for superior à taxa de formação e renovação dos solos, tendo em vista que o estágio de desenvolvimento de um determinado solo representa o balanço entre formação e remoção através de forças de pedogênese e erosão (Smith & Stamey, 1965).

De acordo com Smith & Stamey (1964), a tolerância de perda de solo deve: 1) prover a preservação ou melhoria permanente do solo; 2) ser compatível com taxas de erosão e pedogênese de quaisquer características do solo; 3) ser específica para cada ambiente; 4) ser independente dos agentes causadores da erosão; 5) permitir o desgaste de qualquer característica do solo que esteja excessiva. McCormack et al. (1982) propuseram vários critérios a serem considerados na determinação da tolerância de perda de solo incluindo a taxa de intemperismo, mudanças na qualidade do solo, imposto sobre a qualidade de água etc.

De acordo com Lombardi Neto & Bertoni (1975), os valores de tolerância não impõem restrições arbitrárias ao uso e manejo do solo, mas simplesmente estabelecem limites dentro dos quais as escolhas das técnicas adotadas devem ser feitas. A manutenção da qualidade do solo, água e ar deve ser uma prioridade global, especialmente em relação a agricultura em países de economia emergente (Lal, 1998).

Enquanto níveis de tolerância de perdas de solo da ordem de 4,5 a 11,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ foram estabelecidos para os Estados Unidos da América (EUA) (Wischmeier & Smith, 1978), para solos de regiões tropicais, a disponibilidade de dados é escassa. Lal (1983), utilizou o método de Skidmore (1979) e estimou valores de tolerância variando de 0,05 a 2 t ha⁻¹ ano⁻¹ para oito solos rasos e cascalhentos do oeste da Nigéria. Mbagwu (1991), usando este mesmo método em solos do sul da Nigéria, encontrou valores de 0,75, 2,00 a 3,05 e 1,58 a 3,60 t ha⁻¹ ano⁻¹ para Inceptisols, Ultisols e Alfisols, respectivamente. Para o Brasil, os estudos já realizados indicam que os valores de tolerância de perda também situam-se próximos a essa faixa. Lombardi Neto & Bertoni (1975) verificaram valores de 4,5 a 13,4 e de 9,6 a 15,0 t ha⁻¹ ano⁻¹ para solos de São Paulo, com horizontes B textural e B latossólico, respectivamente. Estudos semelhantes foram realizados para solos de Pernambuco (Galindo & Margolis, 1989), da região Amazônica (Vieira & Vieira, 1990); solos da área de influência do Reservatório da Hidrelétrica de Itutinga e Camargos (MG) (Giarola et al., 1997); Bacia do Ceveiro, em Piracicaba (Sparovek et al., 1997); para o estado de Santa Catarina (Bertol & Almeida, 2000); para a região Centro Leste do estado de Minas Gerais (Silva et al., 2002), para uma microbacia hidrográfica no Espírito Santo (Martins et al., 2003) e para o estado de São Paulo, com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Mannigel et al., 2002). Entretanto, os valores obtidos em estudos no Brasil estão provavelmente superestimados pela importância dada aos primeiros centímetros dos horizontes superficiais (Lal, 1984). Este autor argumenta que taxas de 12,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ são muito elevadas para solos tropicais de baixa fertilidade natural, a exemplo de solos brasileiros.

Os métodos de estimativa da tolerância de perdas de solo por erosão, embora utilizem atributos que influenciam a erosão do solo e tenham uma base de sustentação lógica e racional, são empíricos, notadamente no que se refere à definição dos fatores de ponderação utilizados para expressar o efeito de cada variável, o que conduz a estimativas de tolerância variáveis para um mesmo solo (Bertol & Almeida, 2000). Mannering (1981) já havia enfatizado que os métodos para determinação da tolerância de perda de solo por erosão não tinham qualquer base científica para prever taxas de formação de solos e efeitos da erosão sobre a produtividade do solo. Todavia, torna-se importante definir a tolerância para diferentes classes de solo, ainda que por métodos empíricos, com o objetivo de definir um critério de monitoramento da eficácia de sistemas de manejo do solo na redução da erosão (Bertol & Almeida, 2000).

As informações sobre a tolerância de perdas de solo por erosão podem ser utilizadas em conjunto com a Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE). Qualquer combinação de práticas agrícolas, avaliada através da RUSLE, deverá resultar em perdas de solo menores que o limite tolerável, controlando satisfatoriamente o processo de erosão (Skidmore, 1982).

A partir da constatação da inexistência de informações sobre os valores de tolerância de perda de solos por erosão para o estado da Paraíba, este trabalho teve como objetivo gerar e disponibilizar estes dados e avaliar os resultados obtidos por diferentes métodos tendo como base o método proposto por Lombardi Neto & Bertoni (1975).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Centro de Ciências Agrárias da UFPB, em Areia-PB, a partir da compilação de dados de 189 perfis de solos representativos do estado da Paraíba, descritos em diversas fontes de consulta, conforme Tabela 1.

Os perfis de solo descritos em Brasil (1972) foram reclassificados por Campos & Queiroz (2006), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), em nível

de Grande Grupo, sendo o mesmo procedimento adotado para os demais perfis estudados.

As estimativas de tolerância de perda de solo foram calculadas por quatro métodos: Método I, proposto por Lombardi Neto & Bertoni (1975); Método II, modificação do Método I, por Bertol & Almeida (2000); Método III, modificado de Bertol & Almeida (1989); e Método IV, modificação do Método III.

Método I

A tolerância de perdas de solo foi calculada por meio da seguinte equação (Lombardi Neto & Bertoni, 1975):

$$T = h \cdot r \cdot 1.000^{-1}$$

onde:

T = tolerância de perdas de solo (mm ano⁻¹);

h = profundidade efetiva do solo (mm), limitada a 1.000 mm;

r = coeficiente que expressa o efeito da relação textural entre os horizontes B e A na ponderação das perdas de solo (g kg⁻¹); e

1.000 = constante que expressa o período de tempo (anos) necessário para desgastar uma camada de solo de 1.000 mm de espessura, segundo o procedimento de Lombardi Neto & Bertoni (1975). O limite de profundidade efetiva do solo em um metro, ou mil milímetros, no cálculo da tolerância de perda de solo é justificado pela suposição de que uma camada de solo de um metro de espessura é desgastada a cada mil anos, desconsiderando a reposição natural de solo (Bertol & Almeida, 2000).

Para valores de relação textural inferiores a 1,5, a tolerância de perdas de solo de um dado perfil foi obtida multiplicando-se a sua profundidade efetiva (limitada a um metro) por um valor r igual a 1,00. Para uma relação textural entre 1,5 e 2,5, o valor de r utilizado foi de 0,75 e, quando superior a 2,5, utilizou-se um valor de r igual a 0,50. A relação textural foi obtida por meio do coeficiente entre o teor médio de argila do horizonte B (excluindo-se o B3, atual BC) e o teor médio de argila do horizonte A.

Para Neossolos Litólicos, nos quais o horizonte B não está presente, adotou-se valores de r de 0,75 e 0,50, quando o horizonte A ocorre

acima do horizonte C ou diretamente sobre a rocha, respectivamente, já que essa condição limita a quantidade de água infiltrada no solo (Bertol & Almeida, 2000). No caso de Neossolos Quartzarênicos, que também não possuem horizonte B, adotou-se um valor r igual a 1,00, por ser a variação no teor de argila do horizonte A

para o horizonte C muito baixa em relação às demais classes de solo estudadas, o que favorece a infiltração da água no solo (Bertol & Almeida, 2000). O cálculo da relação textural não foi possível em outros solos sem horizontes subsuperficiais.

Tabela 1. Solos representativos do estado da Paraíba utilizados neste estudo, número de perfis por solo e fonte de consulta.

Solos	Símbolo	Número de perfis	Fonte de consulta
Argissolo Amarelo Eutrófico	PAe	7	2, 11, 13
Argissolo Amarelo Distrófico	PAd	19	1, 3, 11, 14, 18
Argissolo Vermelho Eutrófico	PVe	9	1, 11
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	PVAe	6	1, 4, 11, 16
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	PVAd	3	1, 11
Argissolo Acinzentado Distrófico	PACd	1	1
	Subtotal	45	
Cambissolo Háptico Ta Eutrófico	CXve	6	1, 6, 11
Cambissolo Háptico Tb Eutrófico	CXbe	3	1, 11
Cambissolo Háptico Ta Distrófico	CXvd	1	13
Cambissolo Háptico Tb Distrófico	CXbd	2	2, 11
	Subtotal	12	
Latossolo Amarelo Eutrófico	LAe	1	9
Latossolo Amarelo Distrófico	LAd	13	1, 10, 11, 13
Latossolo Vermelho Eutrófico	LVe	2	11
Latossolo Vermelho Distrófico	LVd	3	11
Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico	LVAe	2	1, 11
	Subtotal	21	
Luvissolo Crômico Órtico	TCo	16	1, 11, 12
Luvissolo Hipocrômico Órtico	TPo	9	1, 11
	Subtotal	25	
Neossolo Litólico Eutrófico	RLe	14	1, 11, 19
Neossolo Litólico Distrófico	RLd	3	11, 13
Neossolo Litólico Psamítico	RLq	3	11, 14
Neossolo Litólico Húmico	RLh	1	13
Neossolo Regolítico Eutrófico	RRe	4	1, 8, 11
Neossolo Regolítico Distrófico	RRd	3	13, 18
Neossolo Regolítico Psamítico	RRq	16	1, 8, 11, 13, 14
Neossolo Flúvico	RU	3	7
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	RUve	2	1, 13
Neossolo Flúvico Tb Eutrófico	RUbe	6	5, 6, 11
Neossolo Flúvico Sódico	RUn	9	5, 6
Neossolo Flúvico Psamítico	RUq	1	13
Neossolo Quartzarênico Órtico	RQo	5	1, 14, 15
	Subtotal	70	
Planossolo Háptico Eutrófico	SXe	9	1, 11, 14
Planossolo Háptico Distrófico	SXd	2	17, 18
Planossolo Nátrico	SN	1	7
Planossolo Nátrico Órtico	SNo	4	1, 11

⁽¹⁾Brasil (1972); ⁽²⁾Brasil (1981); ⁽³⁾Cavalcante Filho (1999); ⁽⁴⁾Cantalice (1987); ⁽⁵⁾Chaves et al. (2002a); ⁽⁶⁾Chaves et al. (2002b); ⁽⁷⁾Corrêa et al. (2003); ⁽⁸⁾Leal (2001); ⁽⁹⁾Lima (1993); ⁽¹⁰⁾Nóbrega (1996); ⁽¹¹⁾Paraíba (1978); ⁽¹²⁾Rolim (2003); ⁽¹³⁾Santos et al. (2002); ⁽¹⁴⁾Santos (2001a); ⁽¹⁵⁾Santos (2001b); ⁽¹⁶⁾Santos (1998); ⁽¹⁷⁾Silva (1997); ⁽¹⁸⁾Silva (2000); ⁽¹⁹⁾Vieira (1996).

Método II

O Método II é uma modificação do Método I, proposto por Bertol & Almeida (2000), quanto ao limite de intervalos na relação textural entre os horizontes B e A e quanto à introdução do teor de argila do horizonte A como variável associada à relação textural. Com os novos valores para a variável r do Método I, redenominada de r_a , a equação é modificada para:

$$T = h \cdot r_a \cdot 1.000^{-1}$$

onde:

T , h e 1.000 = mesmas definições do Método I;

r_a = relação que expressa, conjuntamente, o efeito da relação textural entre os horizontes B e A e do teor de argila do horizonte A.

Para uma relação textural inferior a 1,5, a tolerância de perdas de solo de cada perfil foi obtida multiplicando-se a sua profundidade efetiva (limitada a um metro) por um valor r_a igual a 1,0, 0,9 e 0,8, para solos com teor de argila no horizonte A maior que 40 %, entre 40 e 20 %, e menor que 20 %, respectivamente. Para uma relação textural de 1,5 a 2,0, os valores de r_a utilizados foram de 0,8, 0,7, e 0,6 e, quando superior a 2,0, utilizaram-se valores de r_a de 0,6, 0,5 e 0,4, para os mesmos intervalos de teores de argila anteriormente referidos.

Método III

Neste Método, além das variáveis e fatores de ponderação adotados no Método II, foram acrescentadas duas propriedades importantes do ponto de vista da erodibilidade: o teor de matéria orgânica na camada de 0-20 cm de profundidade e o grau de permeabilidade do solo,

conforme sugerido por Galindo & Margolis (1989). O Método III foi o proposto por Bertol & Almeida (2000), conforme a equação:

$$T = h \cdot r_a \cdot m \cdot p \cdot 1.000^{-1}$$

onde:

T , h e 1.000 = mesmas definições dos Métodos I e II;

r_a = mesma definição do método II;

m = fator que expressa o efeito da matéria orgânica na camada de 0-20 cm;

p = fator que expressa o efeito da permeabilidade do solo.

Com referência ao teor de matéria orgânica, expresso pelo fator m , adotou-se o critério de Galindo & Margolis (1989): (a) para solos com teor de matéria orgânica maior que 2 g dm^{-3} , multiplicou-se a espessura da camada de solo calculada pelo fator 1,15; (b) para teores de matéria orgânica entre 1 e 2 g dm^{-3} , multiplicou-se a espessura da camada de solo calculada pelo fator 1,00 (c) para solos com teor de matéria orgânica menor que 1 g dm^{-3} , multiplicou-se a espessura da camada de solo calculada pelo fator 0,85.

A permeabilidade de cada horizonte dos perfis estudados baseou-se em informações de textura e grau de desenvolvimento da estrutura do solo (Tabela 2) nos respectivos horizontes dos solos do banco de dados, segundo metodologia de Galindo & Margolis (1989): (a) para uma permeabilidade rápida, multiplicou-se a espessura da camada de solo calculada pelo fator 1,15; (b) para uma permeabilidade moderada, multiplicou-se a espessura da camada de solo calculada pelo fator 1,00; e (c) para uma permeabilidade lenta, multiplicou-se a espessura da camada de solo calculada pelo fator 0,85.

Tabela 2. Determinação das classes de permeabilidade do solo em função da textura e grau de estrutura, segundo Galindo & Margolis (1989).

Textura	Grau de estrutura	Classe de permeabilidade
Argilosa e muito argilosa (argila \geq 35 %)	Fraca	Lenta
	Moderada	Lenta
	Forte	Moderada
Média (15 % \leq argila \leq 35 %)	Fraca	Moderada
	Moderada	Moderada
	Forte	Rápida
Arenosa (argila + silte \leq 15 %)	Fraca	Moderada
	Moderada	Rápida
	Forte	Rápida

Método IV

O Método IV é uma modificação do Método III, considerando-se valores de permeabilidade do solo obtidos em campo. A definição do fator que expressa a permeabilidade foi baseada na distribuição dos diferentes solos em classes de permeabilidade, segundo Silva & Andrade (1984). A permeabilidade foi classificada como rápida, moderada e lenta, atribuindo-se os valores 1,00, 0,85 e 0,70, para o fator p, respectivamente.

Os valores de tolerância de perdas de solo obtidos a partir de cada método, expressos em mm ano⁻¹, foram convertidos para t ha⁻¹ ano⁻¹, a partir dos valores de densidade do solo. Para os perfis que não apresentavam valores de densidade do solo, este parâmetro foi estimado a partir da espessura de horizontes, composição granulométrica (areia, silte e argila) e teor de carbono orgânico utilizando o método de Baumer (Acutis & Donatelli, 2003).

Os valores de tolerância de perda de solo obtidos pelos quatro métodos foram comparados entre si, entre solos dentro de cada método e entre métodos para o conjunto dos solos, pelo teste de

Tukey a 5% de nível de significância, adotando-se procedimentos sugeridos por Gomes (1985).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando-se os valores médios de tolerância de perdas de solo (Tabela 4), observa-se que houve uma variação entre os métodos utilizados. A amplitude foi de 5,41 a 13,86 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Método I), 4,01 a 12,36 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Método II), 3,94 a 12,35 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Método III) e 2,82 a 10,64 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Método IV). Esses valores situam-se para alguns métodos (Método I e II) dentro dos limites definidos pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), com perdas de 12 t ha⁻¹ ano⁻¹ para solos profundos e bem drenados, e de 2 a 4 t ha⁻¹ ano⁻¹ para solos rasos e de baixa permeabilidade (FAO, 1965) bem como dentro da faixa de 4,5 a 11,5 t ha⁻¹ ano⁻¹, estabelecida para os EUA (Wischmeier & Smith, 1978).

As tolerâncias de perdas de solo obtidas pelo Método I (Tabela 4), variaram conforme a profundidade efetiva do solo e a relação textural entre os horizontes B e A (Tabela 3). Os

Luvissolos e os Neossolos apresentaram os mais baixos valores de tolerância (5,41 e 6,30 t ha⁻¹ ano⁻¹). Tal comportamento pode ser explicado pela baixa profundidade efetiva (Tabela 4), resultando em uma taxa infiltração (i) / deflúvio superficial (d) desfavorável (i / d < 1,0), aumentando os riscos de erosão. Nos Neossolos Quartzarênicos, a despeito da acentuada drenagem de água no perfil, a baixa resistência à erosão hídrica é conferida pelos altos teores de areia e baixos de argila e matéria orgânica, resultando em fraca agregação (Bertol & Almeida, 2000). Comportamento semelhante pode ser atribuído aos Neossolos Regolíticos.

Os solos que apresentaram os maiores valores de tolerância foram os Latossolos, com valores médios variando de 10,6 a 13,9 t ha⁻¹ ano⁻¹ para os métodos IV e I, respectivamente. A permeabilidade acentuada, resultado da elevada profundidade efetiva e da baixa relação textural, associadas à predominância de textura média/argilosa, estrutura bem desenvolvida (tipicamente entre blocos e granular) e teores consideráveis de matéria orgânica, contribuem para a maior resistência à erosão hídrica desses solos (Resende, 1985).

Os solos com horizontes B plânico (Planossolos) e B textural (Argissolos e Luvissolos) apresentaram os maiores valores de relação textural entre os horizontes B e A (Tabela 3). A maior relação textural indica um acúmulo de argila em profundidade, favorecendo a formação de um gradiente de drenagem entre os horizontes superficial e subsuperficial, condicionando, por este aspecto, um maior deflúvio superficial. Adicionalmente, Planossolos e Luvissolos apresentaram baixa profundidade efetiva que limita o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Estas características, em conjunto, limitam grandemente a capacidade de drenagem interna, aumentando a suscetibilidade à erosão. Os Argissolos apresentaram maior valor de tolerância à erosão que os Luvissolos (p < 0,05), indicando que estes solos se diferenciam quanto ao comportamento em campo frente aos processos erosivos. Os Luvissolos são solos de ocorrência expressiva no estado da Paraíba, principalmente na zona semi-árida, e constituem,

segundo Resende et al. (1988), um sistema tipicamente mais suscetível à erosão hídrica, apesar do relevo relativamente suave em que ocorrem. Os fatores para a maior tendência a perdas por erosão nestes solos são: a distribuição e intensidade das chuvas da região semi-árida (Chaves et al., 1985) e a pouca cobertura vegetal e a grande incidência de superfícies encrostadas (Resende, 1983). Em ambientes de ocorrência dos Luvissolos eutróficos, possuindo minerais primários alteráveis, a erosão laminar, embora remova muitos nutrientes, permite a recuperação da fertilidade, por pousio, num período de cerca de 5 anos. Se, por outro lado, o solo é distrófico, a erosão laminar, sob o ponto de vista do ecossistema, torna este ambiente mais frágil (Resende, 1983).

Na determinação da tolerância de perdas de solo obtida pelo Método II (Tabela 4), pode-se verificar três grupos distintos com menores, intermediários e maiores valores de tolerância de perda de solo. Comportamento similar foi verificado por Bertol & Almeida (2000), em trabalho realizado no estado de Santa Catarina. O grupo representado pelos menores valores engloba Luvissolos e Planossolos, apresentando tolerância de perdas de 4,01 e 4,94 t ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, sendo que ambos não diferiram estatisticamente em relação ao Método I (Tabela 4). O grupo constituído pelos valores de tolerância intermediários foi representado pelos Argissolos e Cambissolos, com valores de tolerância de 6,67 e 8,83 t ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, enquanto o grupo constituído pelos maiores valores de tolerância foi representado pelo Latossolos, com valor de tolerância de 12,36 t ha⁻¹ ano⁻¹. Ressalta-se que no caso dos Argissolos, o Método II diferiu estatisticamente do Método I, enquanto nas demais não houve diferença significativa (Tabela 4). Valores semelhantes para Latossolos foram verificados em trabalhos realizados por Silva et al. (2002), em estudo realizado no Vale do Rio Doce na região Centro Leste do estado de Minas Gerais, enquanto Mannigel et al. (2002) obtiveram valores médios de 10,46 t ha⁻¹ ano⁻¹ para Latossolos do estado de São Paulo.

Tabela 3. Valores médios de profundidade efetiva dos perfis e de relação textural entre os horizontes subsuperficial e superficiais dos principais solos do estado da Paraíba.

Solos	Profundidade efetiva	Relação textural
	m	
Argissolo Amarelo Eutrófico	0,93	3,1
Argissolo Amarelo Distrófico	1,51	2,5
Argissolo Vermelho Eutrófico	0,97	2,1
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	0,77	2,1
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1,23	2,8
Argissolo Acinzentado Distrófico	1,60	2,9
Média	1,20	2,5
Cambissolo Háptico Ta Eutrófico	0,57	1,3
Cambissolo Háptico Tb Eutrófico	1,17	1,2
Cambissolo Háptico Ta Distrófico	0,73	0,5
Cambissolo Háptico Tb Distrófico	1,33	1,3
Média	0,86	1,2
Latossolo Amarelo Eutrófico	0,60	1,6
Latossolo Amarelo Distrófico	1,75	1,4
Latossolo Vermelho Eutrófico	1,30	1,2
Latossolo Vermelho Distrófico	1,24	1,3
Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico	1,15	1,3
Média	1,52	1,4
Luvisso Crômico Órtico	0,51	2,8
Luvisso Hipocrômico Órtico	0,47	2,6
Média	0,49	2,7
Neossolo Litólico Eutrófico	0,25	0,6
Neossolo Litólico Distrófico	0,40	0,7
Neossolo Litólico Psamítico	0,37	0,7
Neossolo Litólico Húmico	0,40	0,5
Neossolo Regolítico Eutrófico	0,27	0,8
Neossolo Regolítico Distrófico	0,96	0,75
Neossolo Regolítico Psamítico	0,61	0,9
Neossolo Flúvico	0,19	1,0
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	0,16	0,9
Neossolo Flúvico Tb Eutrófico	0,62	1,1
Neossolo Flúvico Sódico	0,39	1,0
Neossolo Flúvico Psamítico	0,10	0,75
Neossolo Quartzarênico Órtico	0,41	1,0
Média	0,43	0,8
Planossolo Háptico Eutrófico	0,72	4,4
Planossolo Háptico Distrófico	0,72	5,6
Planossolo Nátrico	0,80	10,8
Planossolo Nátrico Órtico	0,61	3,3
Média	0,70	4,7

Os valores médios de tolerância de perdas de solo obtidos pelo Método III (Tabela 4), revelaram comportamento similar ao reportado para o Método II para a maioria das Ordens de

solos, mesmo quando foram acrescentadas duas propriedades importantes do ponto de vista da erodibilidade (teor de matéria orgânica na camada de 0-20 cm de profundidade e o grau de

permeabilidade do solo). Em relação ao Método IV, os valores médios de tolerância de perda de solo obtidos demonstraram que o uso deste método resultou em maior rigor para o estabelecimento do limite de perdas de solo, conforme verificado pelos menores valores de tolerância para as ordens dos Latossolos e Luvisolos. O método IV difere apenas do método I para Argissolos, Latossolos, Luvisolos e Neossolos; e difere dos métodos I e II para Planossolos. Portanto, a maior diferença ocorreu entre o método I e IV.

Foram verificadas diferenças significativas entre valores médios de tolerância dentro das ordens de solos, para os métodos utilizados no cálculo da tolerância de perda (Tabela 4). Os Latossolos revelaram os maiores valores e os Luvisolos os menores. Em relação à comparação entre métodos (Tabela 4), o Método IV apresentou menor valor de tolerância, não diferindo apenas do Método III, que por sua vez foi igual ao método II e menor que o método I.

Tabela 4. Valores médios de tolerância de perdas de solo por erosão ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) para as principais ordens de solos do estado da Paraíba, determinados por quatro métodos⁽¹⁾.

Ordens de solos	Método I	Método II	Método III	Método IV	Média	C.V. (%)
	----- t ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----					
Argissolos	8,97Abc	6,67Bb	6,77Bb	5,69Bb	7,03c	32,3
Cambissolos	10,31Ab	8,83Ab	8,71Ab	8,27Aa	9,03b	49,8
Latossolos	13,86Aa	12,36ABa	12,35ABa	10,64Ba	12,30a	22,1
Luvisolos	5,41Ad	4,01ABc	3,94ABc	2,82Bc	4,05e	53,9
Neossolos	6,30Ad	5,18ABbc	4,97Bc	4,39Bbc	5,21d	58,6
Planossolos	6,47Acd	4,94Ac	4,48Bc	3,30Bc	4,80de	42,2
Média	8,55 A	7,00 B	6,87 BC	5,85 C		
C.V. (%)	41,0	42,6	42,7	44,9		

⁽¹⁾ Valores seguidos de mesma letra maiúscula, na linha, entre métodos, e minúscula, na coluna, entre ordens de solos, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos neste estudo devem ser interpretados como uma primeira aproximação de perda tolerável já que o conceito carece de uma definição exata, tanto no aspecto da manutenção do potencial produtivo como da preservação do recurso natural solo. Novos modelos devem incluir as taxas de formação do solo e de intemperismo de materiais de origem em diferentes regiões climáticas, além de considerar resultados de pesquisas básicas e

multidisciplinares que incluam fatores biofísicos, econômicos, sociais e políticos para ampliar a base de dados de tolerância de perda de solos (Lal, 1984).

4 CONCLUSÕES

1. Os Latossolos foram os solos com os maiores valores médios de tolerância de perdas e os Luvisolos os de menores valores, em consonância com seus atributos diferenciais;
2. O uso do Método IV, representado pela modificação do método III, resultou em menor tolerância às perdas de solo, comparado aos Métodos II e III sendo por isso o método sugerido, tendo-se em mente a importância de estabelecer limites mais rigorosos de perdas, com vistas à minimização do processo erosivo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUTIS, M.; DONATELLI, M. Soilpar 2.00: software to estimate soil hydrological parameters and functions. *European Journal of Agronomy*, v. 1, p. 373-377, 2003.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 657-668, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisas e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. I. *Levantamento exploratório de reconhecimento dos solos do Estado da Paraíba*. II. *Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba*. Rio de Janeiro, 1972. 683p. (Boletim Técnico, 15; SUDENE. Série Pedologia, 8).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. *Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, 1981. 744p. 7 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 23).

CAMPOS, M.C.C.; QUEIROZ, S.B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 6, p. 45-50, 2006.

CANTALICE, J.R.B. *Efeito de práticas conservacionistas sobre as perdas por erosão de uma Terra Roxa estruturada eutrófica de Catolé do Rocha-PB*. 1987. 56p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

CAVALCANTE FILHO, L.F. *Influência de épocas de colheita na produtividade de cultivares de mandioca (Manihot esculenta Crantz), estabelecida em solo Podzólico Vermelho Amarelo do Brejo Paraibano*. 1999. 63p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

CHAVES, I.B.; FREIRE, O.; AMORIM NETO, M.S. Características da precipitação e risco de erosão na região tropical semi-árida brasileira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 9, p. 991-998, 1985.

CHAVES, L.H.G.; CHAVES, I.B.; VASCONCELOS, A.C.F. *Estudo da salinidade e da drenabilidade dos solos no perímetro irrigado de São Gonçalo – (setores 11 e 12), Sousa-PB*. Campina Grande: DNOCS-ATECEL/UFPB, 2002a. 85p.

CHAVES, L.H.G.; CHAVES, I.B.; VASCONCELOS, A.C.F.; LEÃO, A.B. *Estudo da salinidade e da drenabilidade dos solos no Perímetro Engenho Arcoverde, Condado-PB*. Campina Grande: DNOCS-ATECEL/UFPB, 2002b. 77p.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A.; BASTOS, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 7, p. 311-324, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Soil Erosion by water: some measures for its control on cultivated lands*. Rome: FAO, 1965. 284p.

GALINDO, I.C.L.; MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, p. 95-100, 1989.

GIAROLA, N.F.B.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CHAGAS, C.S.; FERREIRA, M.M. *Solos da região sob influência do reservatório da Hidrelétrica de Itutinga/Camargos (MG): perspectiva ambiental*. Lavras: CEMIG/UFLA/FAEPE, 1997, 101p.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 2. ed., São Paulo: Nobel, 1985. 466p.

HUDSON, N. *Soil conservation*. Ames: Iowa State University Press, 1995. 391p.

LAL, R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 17, n. 4, p.319-464, 1998.

LAL, R. Soil erosion from tropical arable lands and its control. *Advances in Agronomy*, v.37, p.183-247, 1984.

LEAL, F.R.R. *Pormenorização pedológica do Regosol eutrófico fase caatinga hipoxerófila relevo suave ondulado como subsídio ao seu manejo agrícola*. 2001. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

LIMA, C.C. *Caracterização de atributos de solo submetidos à queima de resíduos vegetais*. 1993. 66p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. *Tolerância de perdas de terras para solos do Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28).

MANNIGEL, A.R.; CARVALHO, M. de P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do estado de São Paulo. *Revista Acta Scientiarum*, v. 24, p. 1335-1340, 2002.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 3, p.395-403, 2003.

NÓBREGA, J.C.A. *Estudo comparativo de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo, com ênfase na detecção de camadas compactadas ou adensadas*. 1996. 67p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Comissão Estadual de Planejamento Agrícola. *Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba*. João Pessoa: UFPB/FUNAPE-CCT-CCA/ELC, 1978. (Vol. 1: Relatório; Vol 2: Anexo de Pedologia).

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Informe Agropecuário*, v. 11, n. 128, p. 3-18, 1985.

RESENDE, M. *Bruno-Não-Cálcico: interpretação de um perfil*. Mossoró: ESAM/FGD/UFV, 1983. 165p. (Coleção Mossoroense, 218).

RESENDE, M.; CURTI, N.; SANTANA, D.P. *Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações*. Brasília: Ministério da Educação, Lavras: ESAL, Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81p.

ROLIM, H.O. *Potencial de uso agrícola do rejeito de caulim*. 2003. 100p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

SANTOS, C.D.; MOURA, E.R.T.; GONÇALVES, J.L.G.; SANTOS, D.; QUEIROZ, S.B. *Levantamento semidetalhado de solos da*

- propriedade Sítio do Jardim: reclassificação aproximada dos solos e da aptidão agrícola.* Areia: Universidade Federal da Paraíba, 2002. 79p.
- SANTOS, J.B. *Estudo das relações nitrogênio: potássio e cálcio: magnésio sobre o desenvolvimento vegetativo e produtivo do maracujazeiro amarelo.* 2001b. 88p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- SANTOS, R.F. *Ensino-aprendizagem de solos com agricultores e agricultoras de Mata Redonda, Remígio–PB a partir de levantamento utilitário.* 2001a. 123p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- SANTOS, R.F. *Sistema de manejo do solo: efeitos sobre o crescimento e rendimento do algodoeiro herbáceo em condição de sequeiro.* 1998. 56p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- SILVA, A.P. *Atributos pedoecológico e censitários relativos à desertificação: município de Soledade–Paraíba.* 1997. 60p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. *Relatório de pesquisa sobre conservação do solo 1977 – 1984.* Areia: Convênio SUDENE-UFPB, 1984, 59p.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LEITE, F.P.; CARVALHO NÓBREGA, D.V. Tolerância de perdas de solo por erosão hídrica no Vale do Rio Doce da região Centro Leste do Estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO, 14., 2002, Cuiabá. *Anais...Cuiabá: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 2002. CD ROM.
- SILVA, R.B. *Avaliação da qualidade do solo sob três agrossistemas do município de Areia - PB.* 2000. 39p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- SKIDMORE, E.L. Soil loss tolerance. In: KRAL, D.M., ed. *Determinants of soil loss tolerance.* Madison: American Society of Agronomy, 1982. Cap. 8, p. 87-93. (ASA Special Publication, 45).
- SMITH, R.M.; STAMEY, W. L. Determining the range of tolerable erosion. *Soil Science*, v. 100, p. 414-424, 1965.
- SPAROVEK, G.; WEILL, M.M.; RANIERI, S.B.L.; SCHNUG, E.; SILVA, E.F. The life-time concept as a tool for erosion tolerance definition. *Scientia Agrícola*, v. 54, p. 130-135, 1997.
- STAMEY, W.L.; SMITH, R.M. A conservation definition of erosion tolerance. *Soil Science*, v. 97, p.183-186, 1964.
- VIEIRA, M.N.F.; VIEIRA, L.S. *Tolerância de perdas de terras para alguns solos amazônicos.* Boletim FCAP, v. 19, p. 69-77, 1990.
- VIEIRA, H. *Fitossociologia de um trecho de mata ciliar em vegetação de agreste no Distrito de São José da Mata – Campina Grande – PB.* 1996. 64p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning.* Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

⁽¹⁾Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – DS/UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq. e-mail: flavio_solos@yahoo.com.br

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba, CEP 58397-000, Areia, PB. e-mail:santosdj@cca.ufpb.br, ivandro@cca.ufpb.br, iedebchaves@hotmail.com.

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, , Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras, MG. e-mail:, marx@ufla.br