

Práticas agrícolas no cultivo da mandioca e suas relações com o escoamento superficial, perdas de solo e água¹

Agricultural practices in the cultivation of cassava and the relation to runoff, and soil and water loss

Cleene Agostinho de Lima^{2*}, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro³, Thais Emanuelle Monteiro dos Santos⁴, Eunice Maia de Andrade⁵ e Adriano Luiz Normandia Monteiro³

RESUMO - Objetivou-se com esta pesquisa avaliar as características hidráulicas do escoamento superficial e o desempenho de práticas agrícolas sob a cultura da mandioca, no controle da erosão hídrica em Latossolo Amarelo álico coeso de textura franco argilo-arenosa. O experimento foi conduzido em uma área de 240 m² e declividade de 0,07 m m⁻¹, na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil. O arranjo experimental foi em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições, em parcelas de erosão com área de 3 m², sob três intensidades de chuva simulada: 62 mm h⁻¹, 90 mm h⁻¹ (intensidade constante) e 40 e 90 mm h⁻¹ (intensidade variável) e condições de cobertura. Foram adotados os seguintes tratamentos: Mandioca morro abaixo (MMA), mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM), mandioca em nível consorciada com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) e cobertura morta (MN+F+CM) e mandioca em nível consorciada com feijão-caupi (MN+F). A classificação do regime de escoamento superficial como laminar lento permitiu indicar a ocorrência de erosão entressulcos nos tratamentos MMA e MN+F. O tratamento MMA mostrou-se uma prática susceptível à erosão hídrica, proporcionando perda total de solo de 3.912 kg ha⁻¹ e 21,5% de água, sendo 8,1 e 9,3 vezes maior em relação ao tratamento MN+F, enquanto nos tratamentos com cobertura morta não ocorreu erosão hídrica. A aplicação de cobertura morta e consórcio de culturas reduziram significativamente as perdas de solo e água, podendo ser utilizada pelos agricultores como técnica de conservação do solo e água.

Palavras-chave: Intensidades de chuva. Erosão hídrica. Cobertura morta. Consórcio de culturas.

ABSTRACT - The aim of this research was to evaluate the hydraulic characteristics of runoff, and the results of agricultural practices when cultivating cassava, on the control of water erosion in a cohesive alluvial Yellow Latosol with a sandy-clay loam texture. The experiment was carried out on an area of 240 m² and a slope of 0.07 m m⁻¹, at the Federal University of Recôncavo da Bahia, in Cruz das Almas, in the state of Bahia, Brazil. The experimental design was completely randomised, with four treatments and three replications, employing erosion plots with an area of 3 m², under three intensities of simulated rainfall: 62 mm h⁻¹, 90 mm h⁻¹ (constant intensity), and 40 and 90 mm h⁻¹ (variable intensity), and types of plant cover. The following treatments were used: Cassava on sloping ground (CS), cassava on sloping ground with mulching (CS+ MU), cassava on level ground intercropped with cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) with mulching (CL+P+MU) and cassava on level ground intercropped with cowpea (CL+P). The runoff regime, classified as slow-flow, made it possible to observe the occurrence of inter-row erosion under the CS and CL+P treatments. The CS treatment proved to be susceptible to water erosion, resulting in a total soil loss of 3,912 kg ha⁻¹ and water loss of 21.5%, being 8.1 and 9.3 times greater than the CL+P treatment. Under the treatments with mulching there was no water erosion. The application of mulching with intercropping significantly reduced soil and water loss, and can be used by farmers as a technique in the conservation of both soil and water.

Key words: Rainfall intensity. Water erosion. Mulching. Intercropping.

DOI: 10.5935/1806-6690.20150056

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 29/11/2013; aprovado em 18/05/2015

Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE; Pesquisa financiada pela CAPES e FACEPE

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola/UFRPE, Rua, Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, Brasil, 52.171-900, cleene2@hotmail.com

³Departamento de Engenharia Agrícola/UFRPE, Recife-PE, Brasil, abelardo.montenegro@yahoo.com.br, ad_normandia@hotmail.com

⁴Centro de Ciências Biológicas/UFRPE, Recife-PE, Brasil, thaisemanuelle@hotmail.com

⁵Departamento de Engenharia Agrícola/CCA/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, eandrade@ufc.br

INTRODUÇÃO

Tendo em vista ser a chuva um dos principais agentes ativos no processo da erosão hídrica, é necessário se ter conhecimento e avaliar a resposta dos solos agrícolas aos diferentes eventos de chuva (CARVALHO *et al.*, 2009). Devido às limitações ou escassez na disponibilidade de séries históricas longas de eventos pluviométricos, autores como Montenegro *et al.* (2013); Santos *et al.* (2009) e Silva *et al.* (2005) têm utilizado precipitações artificiais produzidas por simuladores de chuva, para possibilitar estudos de erosão hídrica em períodos mais curtos.

As taxas de erosão e conseqüente desgaste do solo agrícola vêm assumindo grandes proporções com implicações de ordem física, financeira e social em todo o mundo (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Para os referidos autores, a erosão hídrica tem ocasionado a cada ano no Brasil, perdas de milhões de toneladas de solo agrícola, haja vista que a maioria dos agricultores ainda não utiliza técnicas de manejo nem de conservação adequadas ao solo.

A cultura da mandioca também tem contribuído para a aceleração das perdas de solo por erosão, em função de algumas características da planta e de seu cultivo, tais como: crescimento inicial lento, amplo espaçamento entre plantas na fase inicial, movimentação do solo no plantio e na colheita (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). Em vista desta problemática, o uso dos sistemas consorciados, tendo a mandioca como cultura principal, tem-se tornado uma prática de manejo eficiente na proteção vegetativa do solo contra a erosão, controle das plantas daninhas e proporcionado

aumento de produtividade (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012; DEVIDE *et al.*, 2009; OSHUNSANYA, 2013).

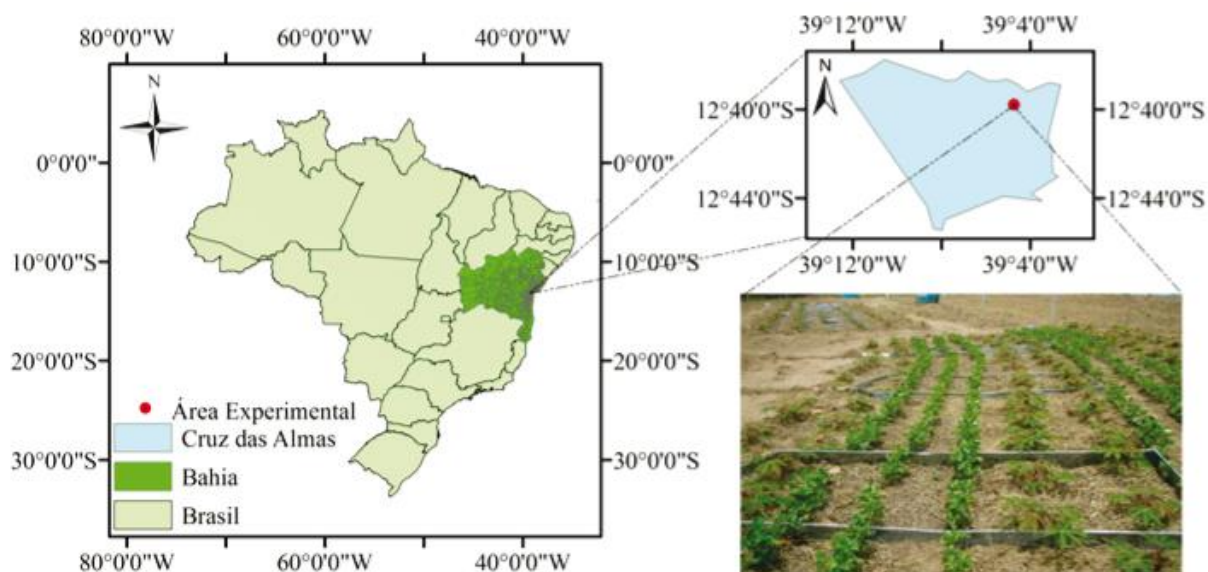
Além do consórcio, a cobertura morta é uma prática econômica que reduz os danos causados pela ação erosiva das gotas de chuva, proporcionando aumento da umidade do solo, redução do escoamento, erosão hídrica e controle da temperatura do solo (JORDÁN *et al.*, 2010; MONTENEGRO *et al.*, 2013). Neste contexto, objetivou-se avaliar as características hidráulicas do escoamento superficial e o desempenho de práticas agrícolas na cultura da mandioca, no controle das perdas de solo e água por erosão hídrica, em Latossolo Amarelo álico coeso, sob três intensidades de chuva simulada, em condição de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de setembro a novembro de 2012, em uma área experimental de 240 m² e 0,07 m m⁻¹ de declividade, sob condições de chuva simulada, no Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no Município de Cruz das Almas - Bahia, entre as coordenadas geográficas 12°40'19" S e 39°06'23" W, a 220 m de altitude (Figura 1).

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical quente e úmido, com estação chuvosa e seca). A precipitação média anual, conforme dados históricos, (1980 a 2012) é de 1.051, 18 mm, a umidade relativa do ar de 80%, e temperatura média de 24,5 °C (INMET, 2012). Durante o período de estudo, a precipitação total foi de 43,4 mm e temperatura média de 23 °C.

Figura 1 - Localização da área experimental no município de Cruz das Almas- Bahia, Brasil



O solo da área experimental é um Latossolo Amarelo álico coeso, de textura franco argilo-arenoso, profundo, com presença de horizontes subsuperficiais coesos e um relevo plano (REZENDE, 2000), (Tabela 1).

Antes da implantação do experimento na área, foi realizado o preparo convencional do solo com uma aração de 30 cm de profundidade e uma gradagem. Em seguida, foram instaladas 12 parcelas experimentais de erosão de 3 m² (1 m x 3 m), estando o comprimento maior no sentido do declive. As mesmas foram construídas com chapas metálicas de 0,20 m de altura, e cravadas 0,10 m no solo, sendo conectadas na parte inferior por um tubo de Policloreto de polivinila (PVC) de 75 mm de diâmetro para coleta da enxurrada.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos adotados foram:

T1 - Mandioca cultivada morro abaixo (MMA), com manivas da variedade Cigana Preta, plantadas no sistema de covas invertidas na horizontal, espaçadas de 0,9 x 0,9 m, em fileiras simples no sentido do declive do terreno;

T2 - Mandioca morro abaixo com cobertura morta (MMA+CM), similar ao tratamento anterior de MMA, adicionando-se uma adubação orgânica de 15 t ha⁻¹ de esterco bovino e cobertura morta de capim (*Brachiaria decumbens*), com densidade de 8 t ha⁻¹;

T3 - Mandioca em nível consorciada com feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), variedade BRS Xiquexique, e cobertura morta (MN+F+CM). O espaçamento era de 2 x 0,6 x 0,6 m para mandioca em fileira dupla e 0,5 x 0,2 m para o feijão, com mesma proporção de cobertura morta e adubação orgânica do tratamento MMA+CM;

T4 - Plantio da mandioca em nível consorciada com feijão-caupi (MN+F), seguindo as mesmas condições do T3, porém, sem o uso da cobertura morta.

O simulador de chuva empregado apresentava um bico aspersor tipo “Veejet 80-100”, localizado no centro da armação, a 2,87 m de altura do solo, o qual possui um manômetro na torre (SANTOS *et al.*, 2009). As intensidades de chuvas simuladas foram:

- 1.62 mm h⁻¹ (duração 40 min), realizada 22 dias após plantio;
- 2.90 mm h⁻¹ (duração 30 min), realizada 30 dias após o plantio, e;
3. Chuva de intensidade variável de 40 mm h⁻¹ (duração 90 min), seguida de aumento da intensidade para 90 mm h⁻¹ (duração 30 min), realizada 57 dias após o plantio.

Para atingir as intensidades desejadas, trabalhou-se com as pressões de 15 kPa, 60 kPa, 5 e 60 kPa, para as três intensidades de chuva aplicadas.

Tabela 1 - Características físico-químicas do Latossolo Amarelo álico coeso da área experimental nas camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade

Parâmetros físicos	Camadas (cm)		Parâmetros químicos	Camadas (cm)	
	0-20	20-40		0-20	20-40
Areia (g kg ⁻¹)	535,00	700,00	pH (H ₂ O)	5,10	4,90
Silte (g kg ⁻¹)	245,00	52,00	P (mg dm ⁻³)	2,16	1,35
Argila (g kg ⁻¹)	220,00	248,00	Ca (Cmol _c kg ⁻¹)	0,30	0,20
ADA (%)	7,16	7,16	Mg (Cmol _c kg ⁻¹)	0,10	0,20
Gf (%)	67,45	71,13	K (Cmol _c kg ⁻¹)	1,35	0,92
Macp. (m ³ m ⁻³)	0,17	0,20	Na (Cmol _c kg ⁻¹)	9,08	3,55
Micp. (m ³ m ⁻³)	0,21	0,21	Al (Cmol _c kg ⁻¹)	0,90	0,90
Pt. (m ³ m ⁻³)	0,38	0,41	H+Al (Cmol _c kg ⁻¹)	2,90	3,30
θ _{cc} (cm ³ cm ⁻³)	0,18	0,17	N (g kg ⁻¹)	5,56	5,33
θ _{mp} (cm ³ cm ⁻³)	0,10	0,16	M.O (g kg ⁻¹)	7,24	7,15
Ds (g cm ⁻³)	1,46	1,49	C (g kg ⁻¹)	4,20	4,15
Dp (g cm ⁻³)	2,38	2,53			
K0 (cm h ⁻¹)	0,16	5,49			

ADA - argila dispersa em água; Gf - grau de flocculação; Macp. - macroporosidade; Micp. - microporosidade; Pt porosidade total; θ_{cc} - umidade na capacidade de campo; θ_{mp} - umidade ponto de murcha permanente; Ds - densidade do solo; Dp - densidade das partículas; K₀ - condutividade hidráulica

As chuvas ocorreram na fase de brotação e desenvolvimento fenológico da cultura, sendo as intensidades estimadas a partir da equação da intensidade-duração-frequência (IDF) da precipitação para tempos de retorno de 2, 5 e 30 anos, respectivamente, para a região de Cruz das Almas-BA. Os parâmetros empíricos da equação IDF (k, a, b, c) relativos à localidade foram obtidos com auxílio do software Plúvio 2.1- Chuvas Intensas para o Brasil (UFV, 2012). Para a estimativa da energia cinética, utilizaram-se as equações propostas por Wischmeier e Smith (1958).

A perda de água foi determinada pela relação da lâmina escoada e lâmina total precipitada. As taxas de perdas de solo e a concentração de sedimentos foram determinadas pela pesagem do material coletado durante 10 segundos, em potes plásticos com capacidade de 1 L, em intervalos de 3 min. Em seguida, o material foi pesado, sendo mantido em repouso por 24 horas, o sobrenadante pipetado, e separado do material sólido restante no fundo dos recipientes. Posteriormente, os potes foram levados para secagem em estufa a 65 °C, durante 72 horas, para obtenção da massa de solo seco, seguindo o procedimento descrito por Cogo (1978).

As taxas de desagregação do solo (D) (kg m⁻²s⁻¹) foram determinadas pela Eq. 1:

$$D = \frac{M_{ss}}{A_p D_c} \quad (1)$$

em que: M_{ss} - massa do solo seco desagregado (kg); A_p - área da parcela (m²); D_c - duração da coleta em (s).

As perdas de solo (P_s) (kg ha⁻¹) foram obtidas pela Eq. 2:

$$P_s = \frac{\sum(Q C_s t_c)}{A_p} \quad (2)$$

em que: Q - vazão (L s⁻¹); C_s - concentração de sedimento (kg L⁻¹); t_c - intervalo entre as coletas (s); A_p - área da parcela (ha).

A velocidade do escoamento superficial foi obtida pela medição do tempo (intervalo de 3 minutos) necessário para que um corante azul percorresse a distância de 2 m entre dois pontos fixos na parcela. Os valores obtidos foram multiplicados por um fator de correção ($\alpha = 2/3$), de acordo com Santos *et al.* (2009).

A descarga líquida (q) foi determinada pela quantificação do volume da enxurrada, coletado na extremidade da calha coletora, em proveta, durante 10 s e dividido pela largura da parcela.

A altura da lâmina do escoamento (h) (m) foi obtida pela Eq. 3:

$$h = \frac{q}{V} \quad (3)$$

em que: q- descarga líquida total por unidade de largura em (m² s⁻¹); V- velocidade média do escoamento (m s⁻¹).

A classificação do regime do escoamento foi baseada no Número de Reynolds (Re) (Eq. 4) e no Número de Froude (Fr), expresso na Eq. 5:

$$Re = \frac{Vh}{\nu} \quad (4)$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (5)$$

em que: ν - Viscosidade cinemática da água (m² s⁻¹); e g - Aceleração da gravidade (m s⁻²).

A viscosidade cinemática (ν) foi estimada pela Eq. 6:

$$\nu = [1,14 - 0,031 (T-15) + 0,00068 (T-15)^2] * 10^{-6} \quad (6)$$

em que: T- temperatura da água em °C.

A rugosidade foi determinada pelo coeficiente de Manning (n) (s m^{-1/3}), Eq. 7:

$$n = \frac{h^{5/3} S^{1/2}}{q} \quad (7)$$

em que: h- altura da lâmina do escoamento (m); S-declive da parcela (m m⁻¹); q- descarga líquida total por unidade de largura em (m² s⁻¹).

Antes da aplicação das chuvas simuladas, determinou-se as percentagens de cobertura do solo geradas pelos dosséis das plantas, por meio do método de Mannering, descrito por Bezerra e Cantalice (2006). A umidade do solo foi medida antes e após aplicação das chuvas, na camada de 12 cm de profundidade, utilizando-se um equipamento Hydrosense II modelo CD 660 fabricado pela Campbell Pty. Ltd. Para as duas variáveis aplicou-se o teste de médias "t" de Student, entre tratamentos e dias após plantio, utilizando-se o programa Statistica 10 (STATSOFT, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os valores do número de Reynolds (< 500) e de Froude (< 1), a descarga líquida na ordem de grandeza de 10⁻⁶ e 10⁻⁵ m² s⁻¹ e altura do escoamento de 10⁻³ m (Tabela 2), o regime de escoamento superficial para os tratamentos MMA e MN+F em duas intensidades de chuva aplicadas foi classificado como laminar lento. Este tipo de regime de escoamento laminar é importante em estudos de erosão hídrica, por permitir indicar a ocorrência de erosão entressulcos, que pode ser considerada a forma mais danosa da erosão hídrica, devido ao transporte da camada superficial do mesmo, onde se encontram os elementos essenciais ao desenvolvimento das culturas; além de ser fundamental em decisões de

dimensionamento de obras hidráulicas e de conservação do solo. Estes resultados corroboram com os encontrados por Bezerra e Cantalice (2009) e Oliveira *et al.* (2012).

O tratamento MMA (Tabela 2) apresentou maiores velocidades de escoamento apenas para duas chuvas simuladas, variando de 0,007 a 0,01 m s⁻¹ para intensidade de 90 mm h⁻¹ e intensidade variável (40 e 90 mm h⁻¹), sendo a última velocidade de escoamento 2,5 vezes maior que no tratamento MN+F. Os diferentes manejos do solo contribuíram para diferenças na velocidade de escoamento, corroborando com os resultados encontrados por Santos *et al.* (2009), estudando diferentes técnicas de conservação de água e solo no semiárido pernambucano.

O tratamento MN+F (Tabela 2) proporcionou aumento das forças viscosas, da lâmina de escoamento, e reduziu o número de Froude. Diante deste contexto, o menor número de Froude (< 1), faz com que o fluxo de escoamento seja menos turbulento, reduzindo a energia de transporte das partículas do solo, e conseqüentemente, as perdas do material erodido. Além de maior coeficiente de rugosidade (0,94 s m^{-1/3}) em relação ao tratamento MMA, o efeito do consórcio aumentou a interceptação da chuva e retardou o início do escoamento, que se iniciou aos 98 minutos (Tabela 3). Tais resultados também foram evidenciados por Bezerra e Cantalice (2009).

A eficiência da cobertura morta (Tabela 2), para os tratamentos de MMA+CM e MN+F+CM, resultou na não ocorrência de escoamento superficial. A presença de resíduos na superfície do solo serviu como dissipador da energia cinética da chuva, favorecendo o aumento do tempo de oportunidade de infiltração de água no solo, e, conseqüentemente, redução do fluxo e desagregação das partículas do solo. Também foi verificada a eficiência da cobertura morta por Santos *et al.* (2009), em Argissolo do semiárido de Pernambuco.

A primeira chuva simulada, realizada aos 22 dias após o plantio (DAP), para uma lâmina precipitada de 41 mm (Tabela 3), só gerou escoamento no tratamento MMA, com uma perda de água de apenas 1% da chuva aplicada e de solo de 67,25 kg ha⁻¹, correspondente à taxa de desagregação de 1,72 x 10⁻⁵ kg m⁻² s⁻¹. Para a chuva aplicada aos 30 DAP, com intensidade de 90 mm h⁻¹, as perdas de água, solo e taxa de desagregação foram 11,43; 21,31 e 4,85 vezes maiores em relação à chuva anterior, com aumento da energia cinética de 11% (Tabela 3). A maior intensidade de chuva (90 mm h⁻¹) aplicada 30 DAP, associada à ocorrência de uma precipitação total acumulada de 11 mm, no período 22 a 30 DAP, proporcionaram estas maiores perdas de água, solo e taxa de desagregação.

Tabela 2 - Características hidráulicas do escoamento superficial para as diferentes práticas agrícolas e intensidades de chuva (médias de três repetições)

DAP	Tratamento	Re	Fr	q (m ² s ⁻¹)	V (m s ⁻¹)	h (m)	v (m ² s ⁻¹)	n (s m ^{-1/3})
Chuva intensidade constante (62 mm h ⁻¹)								
22	MMA	-	-	1,14 x 10 ⁻⁶	-	-	8,28 x 10 ⁻⁷	-
	MMA+CM	-	-	0	0	0	8,41 x 10 ⁻⁷	-
	MN+F	-	-	0	0	0	8,28 x 10 ⁻⁷	-
	MN+F+CM	-	-	0	0	0	8,41 x 10 ⁻⁷	-
Chuva intensidade constante (90 mm h ⁻¹)								
30	MMA	12,13	0,08	1,01 x 10 ⁻⁵	0,007	1,50 x 10 ⁻³	8,41 x 10 ⁻⁷	0,49
	MMA+CM	-	-	0	0	0	8,34 x 10 ⁻⁷	-
	MN+F	-	-	0	0	0	8,16 x 10 ⁻⁷	-
	MN+F+CM	-	-	0	0	0	8,41 x 10 ⁻⁷	-
Chuva intensidade variável (40 e 90 mm h ⁻¹)								
57	MMA	11,96	0,1	9,52 x 10 ⁻⁶	0,01	1,30 x 10 ⁻³	7,96 x 10 ⁻⁷	0,53
	MMA+CM	-	-	0	0	0	7,96 x 10 ⁻⁷	-
	MN+F	6,7	0,04	5,60 x 10 ⁻⁶	0,004	1,54 x 10 ⁻³	8,41 x 10 ⁻⁷	0,94
	MN+F+CM	-	-	0	0	0	7,96 x 10 ⁻⁷	-

- Parâmetros não foram determinados e/ ou não puderam ser calculados; Re - Reynolds; Fr - Froude; q - descarga líquida; V - velocidade de escoamento; h - altura da lâmina de escoamento; v - viscosidade cinemática da água; n - rugosidade; MMA - mandioca morro abaixo; MMA+CM- mandioca morro abaixo com cobertura morta; MN+F- mandioca nível consorciada com feijão-caupi; MN+F+CM- mandioca em nível consorciada com feijão-caupi e cobertura morta

Tabela 3 - Média da perda de água (PA- % da chuva aplicada), perda de solo (PS) e taxa de desagregação (TD) para as diferentes práticas agrícolas e intensidades de chuva

DAP	Tratamento	Ip	D	Ec	Pacum	Lppt	Iesc	Les	PA	PS	TD
		(mm h ⁻¹)	(min)	(J m ⁻²)	(mm)	(mm)	(min)	(mm)	(%)	(kg ha ⁻¹)	(kg m ⁻² s ⁻¹)
22	MMA			854		41	4	1,23	1,0	67,25	1,72 x 10 ⁻⁵
	MMA + CM	62	40	-	-	-	-	0	0	0	0
	MN+F			-	-	-	-	0	0	0	0
	MN+F+CM			-	-	-	-	0	0	0	0
30	MMA			946	11	45	7	5,14	11,43	1.433,10	8,35 x 10 ⁻⁵
	MMA + CM	90	30	-	-	-	-	0	0	0	0
	MN+F			-	-	-	-	0	0	0	0
	MN+F+CM			-	-	-	-	0	0	0	0
57	MMA	40	90	2.140	32,4	105	59	9,53	9,07	2.411,60	7,76 x 10 ⁻⁴
	MMA + CM	90	30	-	-	-	-	0	0	0	0
	MN+F	-	-	-	-	-	98	2,77	2,64	421,03	2,83 x 10 ⁻⁵
	MN+F+CM	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0

Ip - Intensidade de precipitação; D - duração da chuva; Pacum - precipitação acumulada; Lppt - lâmina total precipitada; Iesc-início do escoamento Les - lâmina escoada; Ec - energia cinética total

Para o último teste de chuva (57 DAP), de intensidade variável (40 e 90 mm h⁻¹), enquadrado no perfil de precipitação atrasado, a energia cinética foi de 2,5 e 2,3 vezes maior em relação às duas chuvas anteriores (Tabela 3). O aumento da energia cinética proporcionou, respectivamente, perdas de solo, água e taxa de desagregação no tratamento MMA de 5,7; 3,4 e 27,38 vezes maiores em relação ao tratamento MN+F. Tais resultados podem ser explicados pela alta energia cinética, juntamente com a precipitação de perfil atrasado e a precipitação total acumulada (32,4 mm), os quais foram responsáveis pela desagregação das partículas e maior carreamento do solo. Autores como Oliveira *et al.* (2010) e Lima *et al.* (2013) constataram que o aumento da energia cinética, associado a chuva enquadrada no perfil de precipitação atrasada e a umidade antecedente foram considerados fatores que contribuíram para maiores perdas de solo, água e taxa de desagregação.

O tratamento MN+F (Tabela 3) proporcionou reduções das perdas de água, solo e taxa de desagregação de 70,89; 82,5 e 96,35%, respectivamente, em relação ao tratamento MMA, para última chuva simulada, aos 57 DAP. Assim, a prática do cultivo consorciado mostrou-se uma alternativa de manejo eficaz na redução da lâmina escoada, das perdas de solo e taxa de desagregação, ocasionadas pela erosão hídrica, podendo ser recomendada em cultivos agrícolas como alternativa sustentável do uso do solo, além de poder proporcionar uma renda adicional aos agricultores.

A ausência de perdas de solo, água e taxa de desagregação nos tratamentos MMA+CM e MN+F+CM (Tabela 3), para as três intensidades de chuva simuladas, foi devido a aplicação de cobertura morta de 8 t ha⁻¹ ter reduzido o impacto da gota da chuva, aumentado a interceptação da precipitação pluviométrica e diminuído a velocidade do escoamento superficial. A colocação da cobertura morta sob o solo evitou a desagregação das partículas, e o transporte de solo pela enxurrada. Montenegro *et al.* (2013) também constatou que a densidade de 8 t ha⁻¹ de cobertura morta gerou uma redução de 92% do transporte de sólido em relação ao tratamento solo nu, em solo de região semiárida de Portugal. Dinâmica semelhante também foi evidenciada pelos autores Jordán *et al.* (2010) e Silva *et al.* (2005).

As perdas totais de solo foram de 3.912 e 421 kg ha⁻¹ para os tratamentos MMA e MN+F, respectivamente. Enquanto as perdas de água foram de 21,5 e 2,6% de água da chuva aplicada para os respectivos tratamentos (Tabela 4). O tratamento MMA mostrou-se uma prática bastante susceptível à erosão hídrica, proporcionando perdas de solo e água de 8,1 e 9,3 vezes maiores em relação ao tratamento MN+F. Essas maiores perdas de solo e água estão relacionadas ao plantio realizado no sentido do declive do terreno, maior exposição do solo, devido ao crescimento inicial lento da cultura e tipo de manejo.

Tabela 4 - Perda total de água, solo e eficiência do uso do solo sob o controle da erosão para as diferentes práticas agrícolas

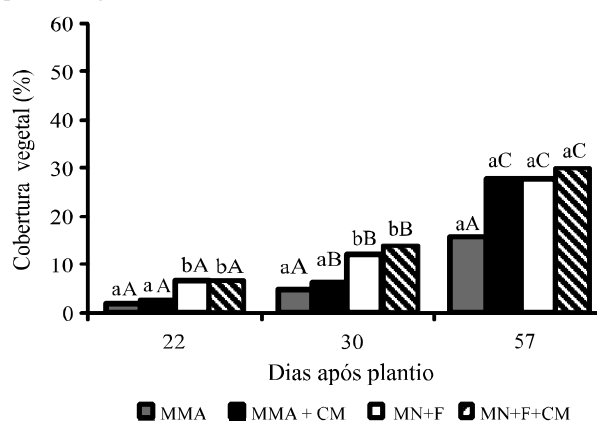
Tratamento	Perda de água		Perda de solo		Eficiência do uso do solo	
	%		(kg ha ⁻¹)		%	
MMA+CM	0		0		100	
MN+F+CM	0		0		100	
MN+F	2,6		421		89	
MMA	21,5		3.912		0	

Para Andrade *et al.* (1999), o cultivo da mandioca em, camalhão morro abaixo, favoreceu perdas de solo de 0,7 t ha⁻¹ e 32,5 mm de água. Já Podwojewski *et al.* (2008) quantificaram em 2 a 7 t ha⁻¹ano⁻¹ as perdas médias de solo e 16% do escoamento superficial para a cultura da mandioca; em torno de 10 a 20 vezes maiores em relação as culturas da Brachiaria e floresta. De acordo com Putthacharoen *et al.* (1998), as maiores perdas de solo para a cultura da mandioca ocorrem durante os três primeiros meses após o plantio, devido ao espaçamento e crescimento inicial lento da cultura.

A presença de cobertura morta nos manejos MMA+CM e MN+F+CM (Tabela 4) atuou na interceptação das gotas da chuva, dissipação da energia cinética e redução da área exposta, evitando o desprendimento das partículas do solo. Assim, a aplicação de cobertura morta sobre o solo mostrou-se uma prática eficiente na redução de 100% nas perdas de água e solo.

A porcentagem de cobertura vegetal (Figura 2) apresentou acréscimos com as mudanças das fases da cultura, dos 22 DAP na brotação, para os 57 DAP no crescimento. Este aumento foi significativo a 5%, exceto para as condições de MMA, que apresentou menores porcentagens na fase de crescimento (16%), enquanto para os demais tratamentos foram: 28% no MMA+CM, 28% no MN+F e 30% no MN+F+CM. Dentre os fatores que determinam o desenvolvimento da cobertura vegetal, encontram-se as condições climáticas e o solo (ARDJASA *et al.*, 2001). Estes autores observaram que, aos 60 dias após o plantio, a mandioca atingiu 50% de cobertura do solo, em Argissolo em clima tropical de monção, na Indonésia.

Verificam-se na Figura 3 as variações das taxas de perda de água e solo para os tratamentos de MMA e MN+F (somente na chuva de intensidade variável 40 e 90 mm h⁻¹). Para o tratamento MMA, sob intensidade de chuva de 62 mm h⁻¹ (Figura 3A), o escoamento superficial teve início aos 4 minutos de chuva. Na fase inicial, ocorreu um aumento da taxa de perda de água até esta atingir um pico máximo de 6 mm h⁻¹ e uma perda de solo de 47,06 kg ha⁻¹ (Figura 3D), aos 13 minutos

Figura 2 - Percentagem de cobertura vegetal para as diferentes práticas agrícolas

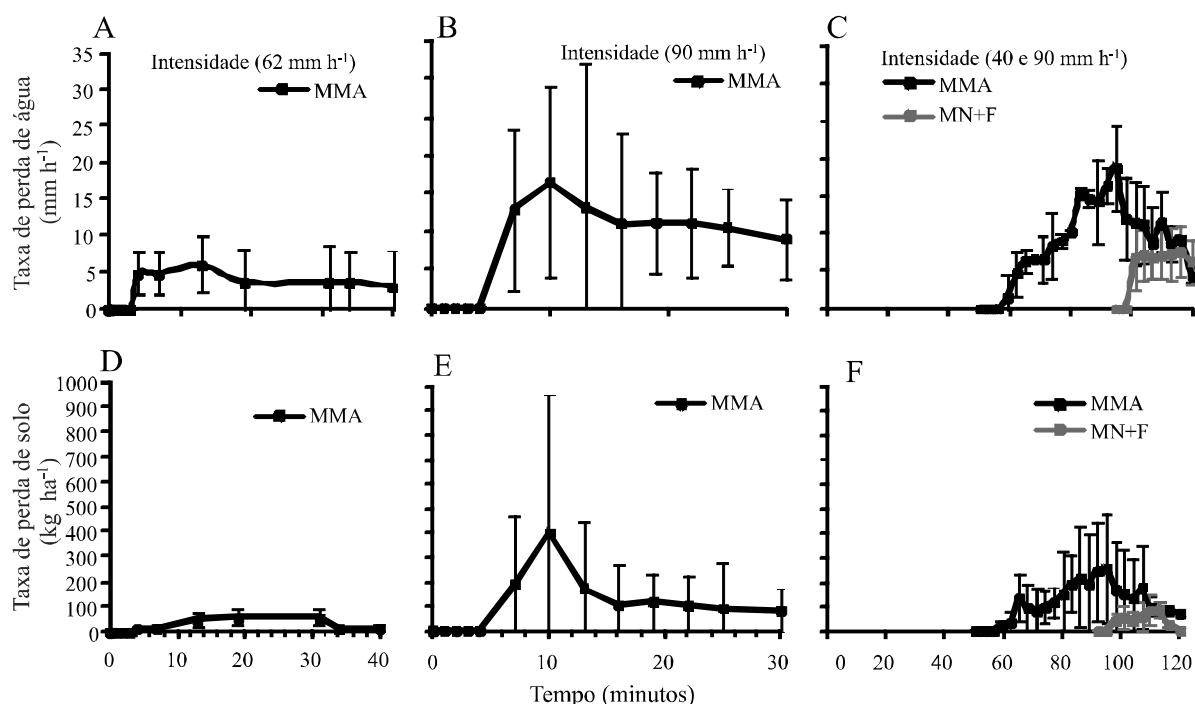
Letras minúsculas correspondem a comparação entre os tratamentos e maiúsculas correspondem a comparação no tempo pelo teste "t" de Student ($p < 0,05$)

de escoamento superficial; posteriormente, houve um decréscimo na taxa do fluxo ao longo da chuva.

Para a intensidade da chuva (90 mm h⁻¹), aos 30 dias após o plantio, o escoamento superficial teve início aos 7 minutos de chuva (Figura 3B), atingindo o pico de intensidade, aos 10 minutos de chuva, sendo responsável por uma taxa de escoamento de 16,4 mm h⁻¹ e maior perda de solo de 399,31 kg ha⁻¹ (Figura 3E). Esta taxa foi incrementada em 611,9% quando comparada com a perda de solo no evento de maior pico da chuva anterior.

Para a terceira chuva, com intensidade variável (40 e 90 mm h⁻¹), realizada aos 57 dias após o plantio, observou-se que o escoamento só foi pronunciado aos 62 minutos de chuva no tratamento MMA, com o maior pico de enxurrada aos 95 minutos de chuva, correspondente a uma taxa de 18,64 mm h⁻¹ de água (Figura 3C) e 255,69 kg ha⁻¹ de solo (Figura 3F). Esta maior perda de solo no final da chuva caracteriza o padrão de chuva atrasado, onde o pico de maior intensidade ocorre no final da chuva erosiva, quando o

Figura 3 - Variação das taxas médias das perdas de água e solo para as diferentes intensidades de chuva e práticas agrícolas, em função do tempo total do teste de aplicação da chuva simulada



solo apresenta uma maior umidade do solo, produzindo assim maiores lâminas escoadas. Carvalho *et al.* (2009) e Oliveira *et al.* (2010), estudando os padrões de chuva, também constataram maiores perdas de solo e água no padrão atrasado.

Já no tratamento MN+F (Figura 3C), o escoamento superficial iniciou-se aos 98 minutos da chuva para a intensidade de 90 mm h⁻¹, com pico de maior enxurrada de 7,6 mm h⁻¹ e uma maior perda de solo de 87,67 kg ha⁻¹ (Figura 3F), no final da chuva. Este retardamento do início do escoamento foi ocasionado pela interceptação das gotas da chuva e dissipação da energia cinética pela cobertura vegetal.

Os tratamentos MMA e MN+F apresentaram as maiores e menores taxas de perda de água e solo (Figura 3), respectivamente, evidenciando então, a importância do consórcio no processo de dissipação da energia cinética da gota de chuva e da interceptação, em consequência, na minimização do processo erosivo. Oshunsanya (2013) comprovou em estudo no sul da Nigéria que o cultivo da mandioca em consórcio com o capim (*Vetiver sebes L.*), aumentou a eficiência na redução da perda de solo.

A umidade antecedente do solo (Tabela 5) para o tratamento MMA+CM apresentou significância estatística ao nível de 5% em relação ao tratamento

MN+F aos 22 DAP, que apresentou valores superiores decorrente da cobertura do solo por resíduos, corroborando com resultados encontrados por Montenegro *et al.* (2013), os quais verificaram que a presença da cobertura morta contribuiu para a manutenção da umidade do solo, devido a redução da evaporação que ocorreria no solo nu. Para os 57 DAP verificou-se diferença significativa entre o tratamento MMA em relação aos tratamentos MMA+CM e MN+F (Tabela 5), por apresentarem valores superiores de umidade no período de maior demanda hídrica da cultura. Tal fato expressa mais uma vez a importância da cobertura morta e consórcio de culturas no controle de perda de água e solo.

Em relação aos dias após o plantio (Tabela 5), verificou-se diferença nas condições de MMA+CM, MN+F+CM e MN+F, que apresentaram valores baixos de umidade do solo aos 57 DAP, por causa da maior massa foliar da cultura, que causaram maior requerimento de água pela cultura.

A umidade do solo após a chuva simulada (Tabela 5) apresentou diferença significativa entre o tratamento MMA em relação aos demais tratamentos, que apresentaram valores superiores de umidade, devido à influência da interceptação da chuva pelo feijão, presença de curvas de nível e da contribuição da cobertura morta pela permanência da água no perfil do solo.

Tabela 5 - Umidade antecedente e após as chuvas simuladas para as diferentes práticas agrícolas e intensidades de chuva

Tratamento	Umidade antecedente da chuva (%)		
	DAP		
	22	30	57
MMA	14,99 abAB	14,29 aB	13,21 aA
MMA + CM	15,23 bA	15,15 aA	13,63 bB
MN+F	14,40 aA	14,93 aA	13,61 bB
MN+F+CM	14,69 abA	14,38 aA	13,27 abB
Umidade após chuva (%)			
MMA	20,63 aA	21,03 aA	19,83 aB
MMA + CM	21,53 aA	21,26 aA	21,30 aA
MN+F	20,53 aA	20,99 aA	20,44 aA
MN+F+CM	20,49 aA	21,12 aA	22,62 aA

Médias seguidas de letras minúsculas representam diferença entre os tratamentos na mesma coluna e de letras maiúsculas entre dias após o plantio na mesma linha, não diferem entre si pelo teste "t" de Student ($p < 0,05$)

CONCLUSÕES

1. A classificação do regime do escoamento superficial como laminar lento permitiu indicar a ocorrência de erosão entressulcos nos tratamentos MMA e MN+F;
2. O tratamento mandioca morro abaixo (MMA) em relação aos demais tratamentos foi responsável pelo aumento da fragilidade do solo, através da erosão hídrica, sendo um cultivo que requer uso de práticas agrícolas;
3. A utilização do consórcio e aplicação da cobertura morta sobre o solo foram práticas conservacionistas eficazes na diminuição da erosão hídrica e perdas de água por escoamento superficial, podendo ser utilizada pelos agricultores, como técnica de conservação do solo e água;
4. O conteúdo de umidade após chuva simulada diferiu significativamente entre o tratamento MMA e os demais, que apresentaram valores superiores a ele; sendo que estes tratamentos foram influenciados pela interceptação da chuva pelo feijão, presença de curvas de nível e cobertura morta, proporcionando maior infiltração.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e FACEPE pela concessão da Bolsa e suporte à pesquisa, a UFRB pela parceria e UFRPE pelo apoio institucional; e ao CNPq e Finep pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A. A. *et al.* Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 3, p. 532-538, 2012.
- ANDRADE, A. P. *et al.* Perda de solo e água por erosão num Latossolo Vermelho Amarelo submetido a diferentes práticas agrícolas. **Agropecuária Técnica**, v. 20, n. 1, p. 14-19, 1999.
- ARDJASA, W. S.; ANDO, H.; KIMURA, M. Yield and soil erosion among cassava-based cropping patterns in South Sumatra. **Soli Science and Plant Nutrition**, v. 47, n. 1, p. 101-112, 2001.
- BEZERRA, S. A. & CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 565-573, 2006.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Influência da cobertura do solo nas perdas de água e desagregação do solo em entressulcos. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 18-28, 2009.
- CARVALHO, D. F. *et al.* Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 3-9, 2009.
- COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada: 1ª aproximação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA, 1978. 481 p.

- DEVIDE, A. C. P. *et al.* Produtividade de raízes de mandioca consorciada com milho e caupi em sistema orgânico. **Bragantia**, v. 68, n. 01, p. 145-153, 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados meteorológicos do posto Cruz das Almas - BA (1980-2012)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 13 nov. 2014.
- JORDÁN, A. *et al.* Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. **Catena**, v. 81, p. 77-85, 2010.
- LIMA, C. A. *et al.* Characteristics of rainfall and erosion under natural conditions of land use in semi-arid regions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1222-1229, 2013. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 18 mai. 2015.
- MONTENEGRO, A. A. A. *et al.* Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109 p. 139-149, 2013.
- OLIVEIRA, F. P. *et al.* Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 337-346, 2012.
- OLIVEIRA, J. R. *et al.* Erosão hídrica em um argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 140-147, 2010.
- OSHUNSANYA, S. O. Spacing effects of vetiver grass (*Vetiveria nigriflora* Stapf) hedgerows on soil accumulation and yields of maize-cassava intercropping system in Southwest Nigeria. **Catena**, v. 104, p. 120-126, 2013.
- PODWOJEWSKI, P. *et al.* Land-use impacts on surface runoff and soil detachment within agricultural sloping lands in Northern Vietnam. **Catena**, v. 74, p. 109-118, 2008.
- PUTTHACHAROEN, S. *et al.* Nutrient uptake and soil erosion losses in cassava and six other crops in a psamment in eastern Thailand. **Field Crops Research**, v. 57, p. 113-126, 1998.
- REZENDE, J. O. **Solos coesos de tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000.117 p.(séries estudos agrícolas).
- SANTOS, T. E. M. *et al.* Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 217-225, 2009.
- SILVA, D. D. *et al.* Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo vermelho amarelo utilizando simulador de chuva. **Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 25, n. 2, p. 409-419, 2005.
- STATSOFT, Inc. **Statistica (data analysis software system)**, version 10. Disponível em: www.statsoft.com. Acesso em 20 maio 2011.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **PLÚVIO 2.1 - Chuvas intensas para o Brasil**. Viçosa, 2012. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 13 nov. 2014.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophys, Portland**, v. 39, n. 2, p. 28591, 1958.