



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Estabilidade de agregados dos solos em uma topossequência cultivada com cana-de-açúcar em Astorga-PR

Francieli Sant'ana Marcatto¹, Hélio Silveira², Alan Charles Fontana³

¹ Doutorado em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá, email: fran_marcatto@hotmail.com. ² Professor associado do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM), email: hesilveira70@hotmail.com. ³ Doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), email: geofont@gmail.com

Artigo recebido em 03/04/2021 e aceito em 13/12/2021

RESUMO

A cana-de-açúcar têm se expandido no Brasil, principalmente sobre as áreas cultivadas com pastagens, aumentando a degradação estrutural dos solos. Diante disso, este trabalho propõe determinar a estabilidade de agregados dos solos ao longo de uma topossequência derivada de arenitos da Formação Santo Anastácio, visando compreender a dinâmica natural destes solos e a interferência do manejo da cana-de-açúcar na sua qualidade estrutural e suscetibilidade erosiva. Os procedimentos metodológicos incluíram o levantamento da topossequência, a abertura de trincheiras, a descrição morfológica dos perfis e a coleta de amostras para a determinação da granulometria, argila dispersa em água, densidade do solo, diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico e óxidos de ferro e alumínio. O diâmetro dos agregados variou de acordo com as características morfológicas dos solos e o manejo empregado no cultivo da cana-de-açúcar, com a formação de agregados pequenos e mais suscetíveis a erosão no horizonte superficial do Luvisolo e Argissolo. No Latossolo foi identificado indícios de compactação superficial e a formação de agregados grandes devido a processos mecânicos relacionados ao manejo.

Palavras-chave: degradação estrutural, bacia hidrográfica do Pirapó, solos arenosos, suscetibilidade a erosão.

Soil aggregates stability in a toposequence cultivated with sugarcane in Astorga-PR

ABSTRACT

Sugarcane has expanded in Brazil, mainly over areas cultivated with pastures, increasing the structural degradation of soils. Therefore, this work proposes to determine the stability of soil aggregates along a toposequence derived from sandstones of the Santo Anastácio Formation, to understand the natural dynamics of soils and the interference of sugarcane management in its structural quality and erosive susceptibility. The methodological procedures included the survey of the toposequence, the opening of trenches, the morphological description of the profiles and the collection of samples to determine the granulometry, clay dispersed in water, soil density, mean weight diameter of aggregates, organic carbon, iron and aluminum oxide. The diameter of the aggregates varied according to the morphological characteristics of the soils and the management used in the cultivation of sugarcane, with the formation of small aggregates and more susceptible to erosion in the superficial horizon of Luvisol and Argisol. In the Latosol, signs of superficial compaction and the formation of large aggregates were identified due to mechanical processes related to management.

Keywords: structural degradation, Pirapó watershed, sandy soils, susceptibility to erosion.

Introdução

A cana-de-açúcar tem se expandido sobre as áreas agricultáveis no Brasil, atendendo a demanda energética internacional. Segundo a Conab (2020), na safra de 2019/2020 a área total cultivada com cana-de-açúcar foi de 10.039.100 hectares, com expansão que ocorre principalmente na região Centro-Sul do país, sobre as áreas

cultivadas com pastagens (Adami et al., 2012), que por sua vez, avançam sobre as áreas de vegetação nativa (Cherubin et al., 2016a; Lopes et al., 2020).

As mudanças no uso da terra têm ocasionado alterações significativas nas propriedades dos solos, principalmente naqueles cultivados com cana-de-açúcar. O uso mais

frequente de maquinários pesados, sobretudo com a adoção do cultivo da cana verde e da colheita mecanizada, aumentou as forças compressivas que atuam na superfície do solo, causando a sua compactação e degradação estrutural (Barbosa et al., 2019), além de afetar processos e funções dos solos (Canisares et al., 2020; Cherubin et al., 2016a). Estudos com enfoque nos atributos físicos e hídricos dos solos têm demonstrado que o cultivo com cana-de-açúcar aumentou a densidade do solo e causou a diminuição da porosidade, infiltração e agregação (Tavares Filho et al., 2010; Rachid et al., 2012; Hunke et al., 2015; Kunde et al., 2018; Cavalcanti et al., 2020; Jimenez et al., 2020; Pereira et al., 2020). Entre os atributos químicos, a principal consequência observada é a diminuição dos teores de matéria orgânica (Kunde et al., 2018; Luz et al., 2019; Pang et al., 2021), reduzindo o seu papel como agente cimentante na formação dos agregados dos solos, principalmente naqueles de textura média e arenosa.

Como consequência, os solos com a estrutura degradada aumentam o risco do escoamento superficial e da formação de processos erosivos (Cherubin et al., 2016a). A diminuição do espaço poroso e conseqüentemente da infiltração, aumenta o volume de água disponível em superfície para carregar partículas, potencializando a perda de solos por erosão. Estudos que avaliaram a perda de solos entre diferentes usos (cana-de-açúcar, pastagens e mata nativa) obtiveram como resultado maior perda na cana-de-açúcar (Youlton et al., 2016; Anache et al., 2018; Gomes et al., 2019), demonstrando o potencial deste uso em acelerar processos e degradar os recursos naturais.

Tradicionalmente, as mudanças na qualidade física dos solos têm sido avaliadas por meio de atributos relacionados a sua estrutura, como a distribuição do tamanho dos agregados dos solos (Cavalcanti et al., 2020), determinada pelo diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa). Mudanças na estabilidade dos agregados podem ser indicadores de degradação ou recuperação dos solos (Laskar et al., 2021; Li et al., 2021), pois são capazes de indicar as condições estruturais e físicas dos solos, como a aeração, infiltração e a capacidade do solo em resistir aos processos erosivos (Kraemer et al., 2021; Cherubin et al., 2016b).

Além de ser um indicador direto da saúde do solo, a estabilidade dos agregados se relaciona diretamente com a erodibilidade, uma vez que a quebra dos agregados pela ação erosiva da água da chuva é a primeira etapa para a formação dos processos erosivos (Liu et al., 2021). Para tanto, estudar a estabilidade dos agregados é fundamental

para determinar a qualidade física dos solos e os fatores relacionados a formação e intensificação de processos erosivos.

No Paraná, as áreas de ocorrência dos arenitos do Grupo Bauru são reconhecidas pela sua suscetibilidade natural à erosão, potencializada pelo uso e manejo empregado nestes solos, onde a cana-de-açúcar se torna cada vez mais recorrente na paisagem, mantendo uma tendência de avanço sobre as áreas de pastagens, conforme identificado por Nóbrega et al. (2015). Em solos de textura média e arenosa, como os encontrados no noroeste paranaense, a matéria orgânica desempenha papel de destaque na formação de agregados maiores e mais resistentes a ação erosiva da água da chuva, visto que é o principal agente cimentante em solos empobrecidos em argila (Tavares Filho et al., 2010). Assim, nestes solos, o tipo de uso e o manejo interfere não somente na quebra dos agregados e na sua exposição aos agentes de erosão, mas também na sua formação, devido ao maior ou menor fornecimento de matéria orgânica e na aceleração da taxa de mineralização do carbono orgânico, associado ao revolvimento das camadas mais próximas a superfície.

Para entender a dinâmica erosiva destes solos é importante avaliar a sua qualidade física e a capacidade do manejo em causar alterações em suas propriedades. Considerando o avanço da cana sobre o território paranaense, pretende-se investigar se uso com cana-de-açúcar tem potencializado a degradação estrutural dos solos de textura média e arenosa transformando a sua estrutura, seja pela utilização intensiva de maquinários pesados ou pela alteração da dinâmica da matéria orgânica no solo.

Assim, este trabalho propõe determinar a estabilidade de agregados dos solos ao longo de uma toposequência derivada de arenitos da Formação Santo Anastácio, visando compreender a dinâmica natural destes solos e a interferência do manejo da cana-de-açúcar na sua qualidade estrutural e suscetibilidade erosiva.

Material e métodos

A toposequência em estudo encontra-se na região norte central do Paraná, no município de Astorga, localizado entre as coordenadas 23°14'19.46" de latitude sul e 51°44'44.11" de longitude oeste, conforme mostra a Figura 1. Está inserida na bacia hidrográfica do rio Pirapó, sendo que a área de estudo limita-se aos solos de textura média e arenosa, derivados da alteração dos arenitos da Formação Santo Anastácio.

A toposequência de solos está associada a uma vertente que ocorre em relevo suave ondulado, com cotas altimétricas superiores a 620 m, típica da área de ocorrência dos arenitos da Formação Santo Anastácio nessa região. As vertentes se caracterizam por serem alongadas, geralmente convexas e com declividades que se acentuam no terço inferior da vertente.

O substrato geológico são os arenitos da Formação Santo Anastácio, que estão assentados sobre a Formação Caiuá na região norte e noroeste do Paraná. Essa formação é composta por arenitos com granulometria fina a muito fina e coloração marrom-arroxeadada clara (Fernandes, 1998).

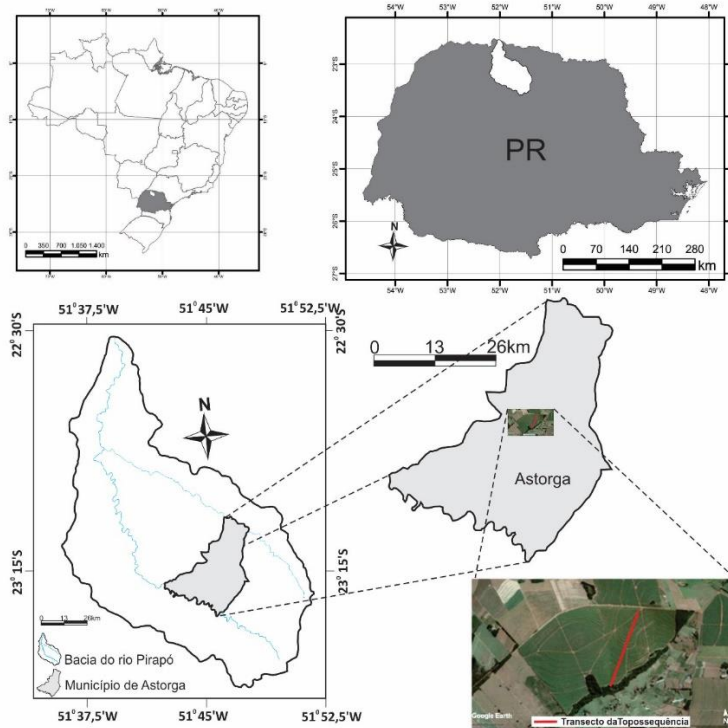


Figura 1. Localização geográfica da toposequência de solos

Os principais tipos de usos da terra observados na região dos arenitos no norte e noroeste paranaense são a cana-de-açúcar e as pastagens. No setor de jusante da bacia hidrográfica do rio Pirapó, onde ocorrem os arenitos das Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina, a cana-de-açúcar ocupa aproximadamente 42% da área agricultável, demonstrando a relevância em analisar este tipo de uso na região de estudo.

A área de estudo encontra-se cultivada com a cana-de-açúcar desde o ano de 2013. O manejo adotado na área prevê a subsolagem para descompactação entre as profundidades de 45 e 50 cm e a colheita realizada em cana crua, de forma mecanizada.

Para realizar a pesquisa, definiu-se previamente uma vertente típica da área de ocorrência dos arenitos da Formação Santo Anastácio na bacia hidrográfica do Pirapó.

O levantamento topográfico da vertente e a definição das transições verticais e laterais dos horizontes pedológicos foi realizado conforme a

metodologia da Análise Bidimensional da Cobertura Pedológica, proposta por Boulet et al. (1982). O levantamento prévio dos solos ocorreu com a realização de sondagens à trado e, posteriormente, foram definidos os locais para a abertura das trincheiras, sendo que foram alocadas três trincheiras, uma em cada tipo de solo observado ao longo da vertente.

Nas trincheiras foram realizadas a descrição morfológica dos perfis, conforme os critérios propostos por Lemos e Santos (1996). Procedeu-se também, a coleta de amostras deformadas e indeformadas, para posterior determinação dos atributos físicos e químicos dos solos. Foram realizadas análises de granulometria, argila naturalmente dispersa em água, densidade do solo, carbono orgânico, óxidos de ferro, óxidos de alumínio e estabilidade de agregados. Esses atributos foram determinados em todos os horizontes pedológicos identificados nos perfis de solos.

As análises físicas de granulometria e argila natural foram determinadas pelo método da

pipeta; a densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico, em três repetições; a estabilidade dos agregados dos solos foi determinada pelo método via seca, com a realização de cinco repetições para cada amostra coletada e a posterior determinação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa). A argila dispersa em água foi utilizada para determinar o grau de dispersão (GD) e o grau de floculação das argilas (GF). Todos os atributos físicos foram obtidos seguindo os procedimentos descritos pela Embrapa (2017).

Nas análises químicas, determinou-se os óxidos de ferro e alumínio em extrato sulfúrico (H₂SO₄) seguindo os procedimentos da Embrapa (2017). O carbono orgânico foi obtido com base na metodologia de Walkley e Black (1934), onde a matéria orgânica é oxidada em meio ácido e a determinação é feita por titulação do dicromato de potássio com sulfato ferroso.

As análises estatísticas foram realizadas no software R e no Excel. Os gráficos de distribuição de classes de agregados foram elaborados no Excel, com acabamento no Corel Draw. A topossequência de solos e a distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados em classes foram elaboradas no software Corel Draw.

Resultados e discussão

A topossequência de solos denominada de Água do Guarujá está associada a uma vertente com relevo suave ondulado, com declividade média de 4%. No topo e na alta vertente a sua geoforma é retilínea, com declividade inferior a 3%. A partir do terço médio da vertente ocorre um aumento da declividade, que se acentua no terço

inferior, variando entre 5 e 9%. O aumento da declividade condiciona a atuação mais intensa dos fluxos de água, que transporta materiais e possibilita a transformação dos horizontes pedológicos, resultando na formação de diferentes tipos de solos.

Ao longo dos 990 metros de extensão foram identificados três tipos de solos, formando um sistema pedológico constituído por Latossolo que se estende do topo até a média vertente, onde cede lugar a um Argissolo que se prolonga até a baixa vertente. Lateralmente, o Argissolo se transforma em um Luvissole na baixa vertente, que possui ocorrência pontual e logo desaparece, surgindo novamente o Argissolo, que possui características morfológicas diferentes daquele identificado na média vertente (Figura 2).

A coleta de amostras e análises dos solos foram realizadas em trincheiras: uma no topo (TRI), onde foi identificado um Latossolo Vermelho com sequência de horizontes Ap, AB, Bw1 e Bw2; na baixa vertente (TRII) em solo classificado como Luvissole Crômico, com sequência de horizontes Ap, E, Bt e BC; no sopé (TRIII), em Argissolo Vermelho-Amarelo, que se organiza nos horizontes A, E1, E2, E3 e Bt.

Os horizontes pedológicos identificados se diferenciam morfolologicamente, com características distintas associados aos fatores internos do seu autodesenvolvimento e a fatores externos, como a declividade da vertente, atuação dos fluxos hídricos e manejo do solo. As características macromorfológicas dos horizontes pedológicos descritos nos perfis podem ser consultadas no Quadro 1.

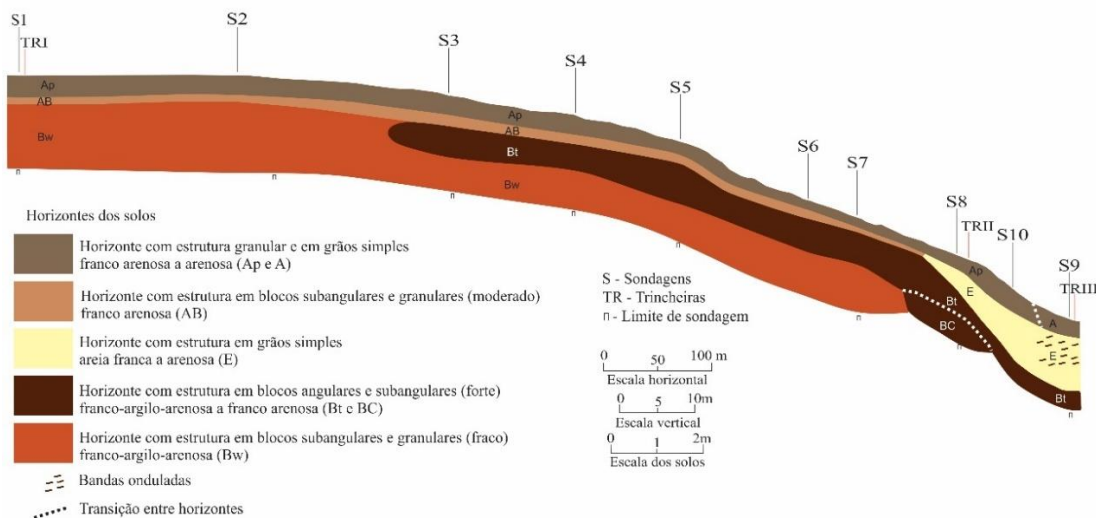


Figura 2. Distribuição dos horizontes pedológicos na topossequência de solos Água do Guarujá

Quadro 1. Descrição morfológica dos perfis da topossequência de solos Água do Guarujá

Hor. ¹	Prof. (cm)	Cor	Estrutura ²			Consistência ³		
			Tipo	Grau	Tam.	Seca	Um.	Molh.
TRI – Perfil do Latossolo Vermelho								
Ap	0-35	2,5YR 4/6	gran.	forte	peq.	lig.du	firme	lig.plást. lig.peg.
AB	35-70	2,5YR 4/4	bl. sub., gran.	mod.	peq./ méd.	solta	muito friável	lig.plást. lig.peg.
Bw1	70-121	2,5YR 3/6	bl. sub., gran.	fraco	méd.	solta	muito friável	lig.plást. lig.peg.
Bw2	121-200+	2,5YR 3/4 a 3/6	bl. sub., gran.	fraco	peq./ méd.	solta	solta	lig.plást. lig.peg.
TRII – Perfil do Luvisolo Crômico								
Ap	0-19	10YR 6/6	mac., gs	-	-	solta	solta	ñ.plást. ñ.peg.
E	19-94	10YR 7/3 5YR 6/6	gs	-	-	solta	solta	ñ.plást. ñ.peg.
Bt	94-117	2,5YR 5/4	bl. ang., bl. sub.	forte	grand.	mac.	muito friável	m.plást. m.peg.
BC	117-187	2,5YR 5/6	bl. ang., bl. sub., prism.	forte	grand.	mac.	muito friável	m.plást. m.peg.
R	187-200+	10R 4/4 4/6; 2,5YR 7/4	-	-	-	-	-	-
TRIII – Perfil do Argissolo Vermelho-Amarelo								
A	0-26	5YR 5/4	mac./gs	-	-	solta	solta	ñ.plást. ñ.peg.
E1	26-72	10YR 6/4	mac./gs	-	-	solta	solta	ñ.plást. ñ.peg.
E2	72-143	10YR 5/4	gs	-	-	solta	solta	ñ.plást. ñ.peg.
E3	143-180	10YR 5/6 a 5/8	bl. sub./ gs.	fraco	peq.	mac.	mto friável	ñ.plást. ñ.peg.
Bt	180-200+	5 YR 5/4	bl. ang., sub.	forte	med./ grand.	mac.	firme	m.plást. m.peg.

Nota: 1 Hor.= horizonte; ² Estruturas: gran.= granular, gs = grãos simples, mac.= maciça, bl. sub.= blocos subangulares, bl. ang.= blocos angulares, prism.= prismática; Grau: mod.= moderado; ³Consistência: mac.= macia, ñ. plástica= não plástica, ñ. pegajosa= não pegajosa, lig. plástica= ligeiramente plástica; lig. pegajosa= ligeiramente pegajosa.

A composição granulométrica dos solos indica a dominância da fração areia, com valores superiores a 665 g Kg⁻¹ em todos os horizontes identificados ao longo da topossequência. O horizonte superficial e o horizonte E foram os que apresentaram os maiores teores de areia, chegando a 918 g Kg⁻¹, conforme verificado no E do Luvisolo e E1 do Argissolo, ambos localizados no sopé da vertente. O aumento da fração areia nos horizontes resultou em uma diminuição proporcional da fração argila, com valores inferiores a 97 g Kg⁻¹ nos horizontes de origem eluvial (Tabela 1).

No Latossolo identificado no topo, os dados granulométricos apresentaram

homogeneidade, principalmente entre os 35 e 200 cm de profundidade, entre os horizontes AB e Bw2. A homogeneidade textural entre os horizontes subsuperficiais é uma característica comum dos Latossolos e foram observados nos estudos de Cunha et al. (1999), Montanari et al. (2010) e Cunha et al. (2016). Neste perfil, os teores de areia variaram entre 714 e 750 g Kg⁻¹ e a argila entre 191 e 230 g Kg⁻¹.

Ao contrário, no Luvisolo e Argissolo houve arenização superficial e um incremento de argila em profundidade, característica comum nos solos destas ordens, devido a presença dos horizontes E, de textura arenosa e Bt, de textura mais enriquecida em argila. No Luvisolo, os

teores de areia variaram entre 665 e 918 g Kg⁻¹ e argila de 27 a 262 g Kg⁻¹. Para o Argissolo observou-se o aumento progressivo da fração argila a partir dos 26 cm de profundidade, com valores

variando entre 51 e 187 g Kg⁻¹ ao longo do perfil (Tabela 1).

Tabela 1. Granulometria e atributos físicos dos horizontes pedológicos da topossequência de solos Água do Guarujá

Hor.	Prof. (cm)	Granulometria (g Kg ⁻¹)			GD (%)	GF (%)	Ds (g.dm ³)	Pt (%)
		Areia	Silte	Argila				
TRI - Latossolo Vermelho								
Ap	0-35	750	59	191	72,8	27,2	1,82	29,2
AB	35-70	751	48	201	61,1	38,9	1,83	30,8
Bw1	70-121	714	56	230	64	36	1,60	44,7
Bw2	121-200+	733	53	214	41,9	58,1	1,50	44,0
TRII – Luvisolo Crômico								
Ap	0-19	892	49	59	57,2	42,8	1,61	40,0
E	19-94	918	55	27	50,9	49,1	1,69	38,2
Bt	94-117	767	72	161	72,5	27,5	1,77	29,5
BC	117-187	665	73	262	11,7	88,3	1,78	31,5
TRIII - Argissolo Vermelho-Amarelo								
A	0-26	884	44	72	35,1	64,9	1,31	47,0
E1	26-72	918	31	51	68,6	31,4	1,61	41,5
E2	72-143	905	33	62	95,2	4,8	1,57	42,2
E3	143-180	869	34	97	91,5	8,5	1,66	40,0
Bt	180-200+	759	54	187	90,0	10,0	1,74	30,6

Nota: GF = grau de floculação, GD= grau de dispersão, Ds= densidade do solo, Pt = porosidade total.

A fração silte variou entre 31 e 73 g Kg⁻¹, sendo mais abundante nos horizontes Bt e BC do Luvisolo e menos abundante nos horizontes E1, E2 e E3 do Argissolo.

Em relação ao grau de dispersão das argilas, foi observado que ele é mais elevado até aproximadamente 120 cm de profundidade no Latossolo e Luvisolo. Nos horizontes Bw1 do Latossolo e BC do Argissolo os valores são inferiores a 40% e para os demais horizontes variam entre 50,9 e 72,8%. No Argissolo há uma tendência de aumento da dispersão da argila em profundidade, chegando a valores superiores a 90% a partir do horizonte E2.

As mudanças nas características morfológicas dos horizontes pedológicos, as variações texturais, os teores de óxidos de ferro, óxidos de alumínio e carbono orgânico e a atuação do manejo agrícola influenciaram no tamanho dos agregados ao longo da topossequência. O tamanho médio dos agregados e os demais atributos

relacionados a estabilidade estrutural podem ser consultados na Tabela 2.

No Latossolo Vermelho descrito no topo da vertente, os resultados indicaram uma diminuição significativa do tamanho médio dos agregados em profundidade, contrariando os dados de argila e óxidos, que são maiores nos horizontes mais profundos. Nos horizontes Ap e AB, o DMPa é de 1,45 mm e 0,9 mm, respectivamente, passando para 0,52 e 0,47 mm nos horizontes Bw1 e Bw2 (Tabela 2). Dessa forma, foi observado que nos horizontes mais próximos a superfície (Ap e AB) houve maior distribuição na classe de agregados maiores do que 4 mm, sendo que 55,6 e 42,8% dos agregados desses horizontes são grandes, respectivamente. Para os horizontes Bw1 e Bw2, os agregados se distribuem de forma mais homogênea, predominando as classes de 4 – 2 mm e 0,5 – 0,25 mm, com percentuais semelhantes, que variam entre 22,8 e 25,7% em ambas as classes e horizontes (Figura 3).

Tabela 2. Diâmetro médio ponderado, argila, óxidos de ferro e alumínio e carbono orgânico dos horizontes pedológicos da topossequência de solos Água do Guarujá

Horizonte	Prof. (cm)	DMPa (mm)	Argila			Carbono orgânico (g.dm ³)
			Fe ₂ O ₃ (g Kg ⁻¹)	Al ₂ O ₃		
TRI – Latossolo Vermelho						
Ap	0-35	1,45	191	31	57	7,04
AB	35-70	0,9	201	32	58	4,50
Bw1	70-121	0,52	230	35	68	4,50
Bw2	121-200+	0,47	214	34	66	4,30
TRII – Luvisolo Crômico						
Ap	0-19	0,51	59	11	17	3,66
E	19-94	0,40	27	4	6	0,84
Bt	94-117	1,65	161	12	47	1,97
BC	117-187	2,5	262	18	74	1,97
TRIII – Argissolo Vermelho-Amarelo						
A	0-26	0,84	72	8	20	7,04
E1	26-72	0,59	51	4	16	2,53
E2	72-143	0,70	62	4	18	1,97
E3	143-180	1,27	97	5	25	1,69
Bt	180-200+	2,3	187	9	55	2,53

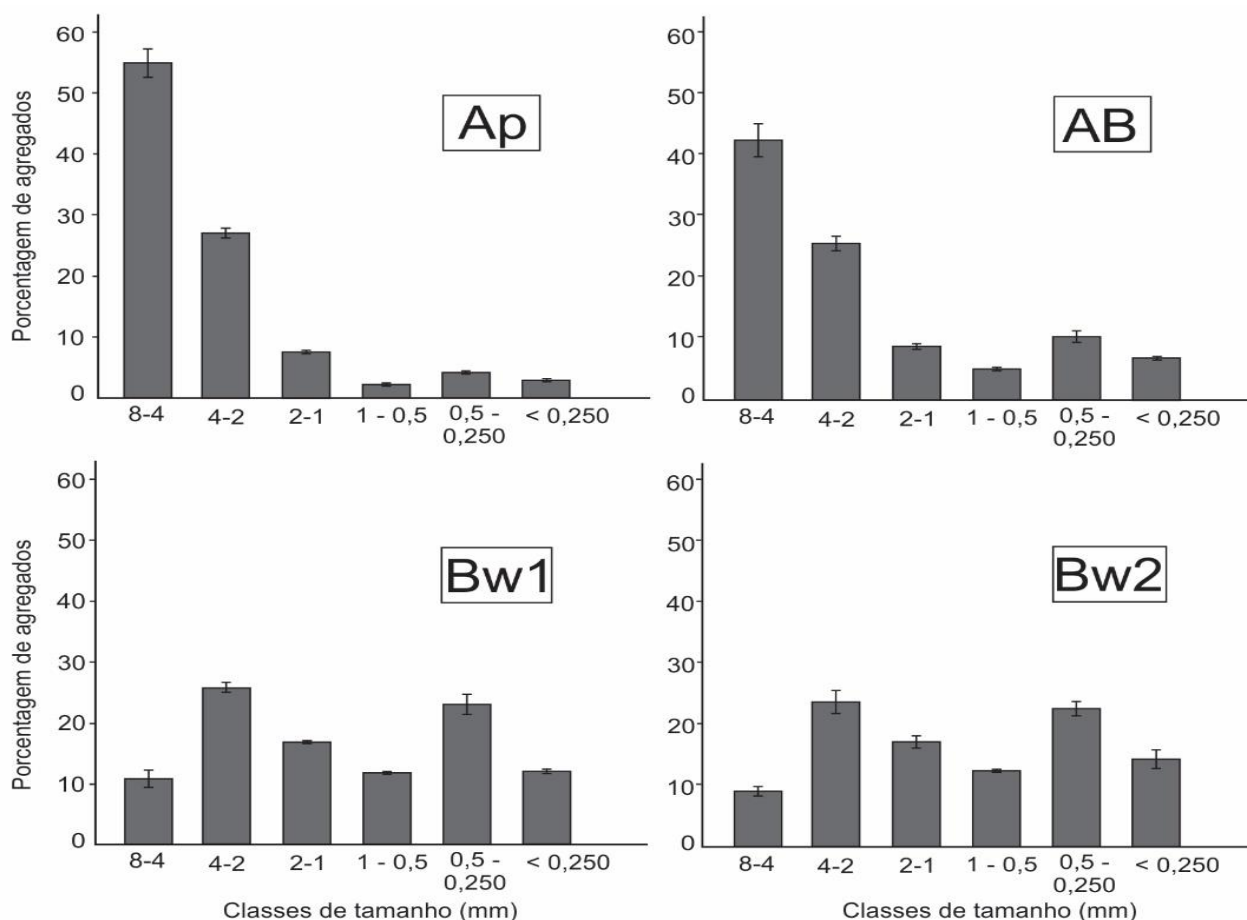


Figura 3. Percentual de agregados por classes de tamanho no Latossolo Vermelho da topossequência de solos Água do Guarujá

Os resultados obtidos no Latossolo relevaram que a variação dos agregados ao longo do perfil não está em consonância com os teores de argila e óxidos, pois a argila foi de 191 g Kg⁻¹ no horizonte Ap, passando a 230 e 214 g Kg⁻¹ nos horizontes Bw1 e Bw2. Os teores de óxido de ferro variaram de forma pouco significativa, entre 31 e 35 g Kg⁻¹ e o óxido de alumínio foi de 57 g Kg⁻¹ em superfície e 66 g Kg⁻¹ no horizonte Bw2, com aumento gradativo em profundidade. A única variável que pode ter contribuído positivamente para o aumento dos agregados no horizonte Ap é o carbono orgânico, que foi de 7,04 g.dm³ neste horizonte e inferior a 4,5 g.dm³ nos horizontes subjacentes.

A justificativa para a variação no diâmetro dos agregados obtidos no Latossolo pode ser atribuída a diversos fatores, que atuam em conjunto neste solo e altera a sua organização estrutural. O primeiro destes fatores se relaciona ao manejo da cana-de-açúcar, reconhecido por promover a compactação dos horizontes mais próximos a superfície (Souza et al., 2010; Severiano et al., 2009; Soares et al., 2005). A elevada densidade do solo obtida nos horizontes Ap e AB dessa cobertura (1,8 g.cm³) sugerem que os agregados foram formados por processos mecânicos, devido a atuação dos implementos agrícolas. A correlação positiva e significativa da densidade do solo com o DMPa corrobora com essa afirmação ($r=0,51$) (Tabela 3). Além disso, o horizonte superficial foi classificado como de consistência ligeiramente dura quando seco e firme quando úmido, sendo que

ambos são indícios macromorfológicos da compactação superficial, também observados nos estudos de Silva e Castro (2015), em Latossolos Vermelhos cultivados com cana-de-açúcar no estado de Goiás.

Outros fatores que podem ser mencionados são os ciclos de umedecimento e secagem, e a mudança no grau de desenvolvimento estrutural dos agregados ao longo do perfil. Os ciclos sucessivos de umedecimento e secagem causam a desintegração dos ligantes orgânicos e inorgânicos dos solos, o que contribui para formar agregados com diâmetros maiores, principalmente nos horizontes superficiais, onde atuam de forma mais intensa (Vasconcelos et al., 2010).

Quanto a ocorrência de agregados pequenos no Bw, isso justifica-se pela organização estrutural desse horizonte. Apesar de todos os horizontes apresentarem agregados granulares e em blocos subangulares (exceto o Ap, que é exclusivamente granular), eles se tornam menos desenvolvidos em profundidade. No horizonte Ap e AB os agregados são fortes a moderadamente desenvolvidos e nos horizontes Bw1 e Bw2 são fracamente desenvolvidos (Quadro 1). As estruturas menos desenvolvidas são mais facilmente desintegradas quando submetidas as forças externas, assim, ao serem destorroadas e agitadas, foram desintegradas mais facilmente em unidades menores. Agregados pequenos em Bw também foram observados nos estudos de Terassi et al. (2014) e Medeiros et al. (2018) em solos derivados do arenito Caiuá, no noroeste do Paraná.

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson de variáveis relacionadas a estabilidade de agregados.

	Argila	AD	CO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	DMPa
Densidade do solo	0,41*	0,22	-0,30*	0,22	0,39*	0,51*
Argila		-0,28	0,23	0,78*	0,99*	0,53*
Argila dispersa			-0,20	-0,26	-0,27	-0,18
Carbono orgânico				0,56*	0,26	-0,15
Óxido de ferro					0,80*	-0,05
Óxido de alumínio						0,50*

Nota: AD= Argila dispersa, CO= carbono orgânico, DMPa= diâmetro médio ponderado dos agregados. * Correlações significativas ($p<0,05$).

No Luvissole Crômico levantado na TRII, a quantidade de argila no perfil e os teores de óxidos foram os principais responsáveis pela variação do tamanho dos agregados, principalmente o óxido de alumínio, com correlação positiva e significativa entre o DMPa e a argila ($r= 0,53$) e DMPa e o óxido de alumínio ($r=0,50^*$) (Tabela 3). Nos horizontes mais arenosos, cuja atuação dos fluxos hídricos removeram os óxidos e a argila, os agregados foram menores, comparados aos horizontes onde

ocorre maior concentração de argila. Assim, nos horizontes Ap e E os agregados possuem DMPa de 0,5 e 0,4 mm, respectivamente, enquanto nos horizontes Bt e BC o diâmetro foi de 1,6 e 2,5 mm (Tabela 2).

A diferenciação entre o tamanho dos agregados em solos com horizontes E e Bt foram identificadas por Medeiros et al. (2018) em Argissolos do noroeste do Paraná. Hickmann et al. (2012) também mencionaram o papel relevante da

argila como agente cimentante no horizonte Bt de Argissolos.

Neste solo nota-se que os agregados de maiores diâmetros se concentram no BC, com DMPa quase 1 mm superior se comparado ao Bt. Esses valores se justificam pelo teor e estado da fração argila e pela variação nos teores de óxidos, sendo estes, importantes elementos para a agregação. No Bt, o teor de argila foi de 161 g Kg⁻¹, os óxidos de ferro e alumínio foram de 12 e 47 g Kg⁻¹, respectivamente, além de que a fração argila encontra-se predominantemente dispersa (72,5%). Já no horizonte BC há um aumento de 100 g Kg⁻¹ no teor de argila, os teores de óxidos de ferro e alumínio foram de 18 e 74 g Kg⁻¹ e a argila encontra-se predominantemente floculada. Ao analisar os dados do Bt, como a dominância de argila dispersa, a perda de óxidos e a coloração mais brunada, sugere-se que possivelmente o Bt encontra-se em transformação. O teor de carbono orgânico foi muito reduzido em todo o perfil, com valores inferiores a 3,6 g.dm³, o que reduziu a sua contribuição para a formação de agregados maiores e mais estáveis.

A distribuição dos agregados em classes de tamanho revelou diferenças entre os horizontes pedológicos ao longo do perfil do Luvissole. No horizonte E, que possui textura classificada como arenosa, predomina os agregados da classe de 0,5 – 0,25 mm, representando 30,5% do total. Em seguida ocorre a classe de 4-2 mm, com percentual de 22,7% e a classe com agregados menores do que 0,25 mm, com 18,2%. Neste horizonte, quase metade dos seus agregados possuem tamanho muito pequeno (menor que 0,5 mm), associados a reduzida concentração de argila na sua composição granulométrica. Nos horizontes mais argilosos, como o Bt e BC a condição é inversa, com dominância das classes de agregados superiores a 4 mm. No Bt, 55,8% dos agregados possuem diâmetro maior do que 4 mm, enquanto no BC, esse valor chega a 70,4%. Ao somar o percentual das classes de diâmetro superiores a 2 mm, 82,7% dos agregados do Bt estão nesta classe e 89,5% do BC também se enquadram em macroagregados (Figura 4).

No sopé da vertente, onde foi identificado o Argissolo Vermelho-Amarelo, o DMPa apresentou maior variação no perfil, associado ao teor de argila, óxidos e ao carbono orgânico. Os agregados possuem diâmetros menores nos horizontes Ap, E1, E2 e E3, onde o percentual de argila é inferior a 97 g Kg⁻¹ e os óxidos de ferro e alumínio não ultrapassam os valores de 8 e 20 g Kg⁻¹, respectivamente. O horizonte Ap, mais

enriquecido de argila, óxidos e carbono orgânico do que o E1 e E2 apresentou DMPa de 0,84 mm. Nos horizontes E1, E2 e E3 ocorre um aumento progressivo do DMPa em profundidade, que passa de 0,59 mm no E1 para 1,27 mm no E3. O aumento do diâmetro dos agregados nos horizontes arenosos é justificado pelo incremento de argila, que foi 46 g Kg⁻¹ superior no E3, quando comparado ao E1. A partir de 180 cm de profundidade surge o Bt, mais enriquecido de argila e óxidos, sobretudo de óxido de alumínio, que foi de 55 g Kg⁻¹. Os teores mais elevados de agentes cimentantes resultou em agregados com DMPa de 2,3 mm.

A distribuição dos agregados em classes de diâmetro no perfil de Argissolo indicou maior proporção de agregados menores nos horizontes mais arenosos. No horizonte Ap, E1 e E2, onde o DMPa foi inferior a 0,9 mm, o percentual de agregados com tamanho menor do que 0,5 mm variou entre 44,6 e 51,6%. Nestes horizontes, os agregados com diâmetro superior a 2 mm representaram valores entre 41,3 e 31,1%, sendo mais abundantes no Ap. Cavalcanti et al. (2020), ao estudarem Argissolos franco arenosos preparados para o plantio da cana-de-açúcar, obtiveram resultados semelhantes. Na camada superficial (0 - 10 cm) os agregados menores do que 0,5 mm representaram aproximadamente 45% do total. Entre os agregados com tamanho superior a 1,5 mm, os valores aproximados foram de 36% (Cavalcanti et al., 2020).

Para o horizonte E3 predominou os agregados de diâmetro superiores a 2 mm, com 46,9% do total e os agregados inferiores a 0,5 mm foram de 34,6%. Para o horizonte Bt o percentual de agregados superiores a 2 mm foi de 89%, sendo que mais de 70% deles têm diâmetro maior do que 4 mm, explicando o DMPa de 2,3 mm encontrado neste horizonte (Figura 5).

A distribuição do DMPa em classes de tamanho ao longo da topossequência foi representada na Figura 6. Ao analisar a distribuição dos agregados, é evidente a variação do tamanho de acordo com o percentual de argila, sendo que os agregados maiores vão se concentrar nos horizontes de origem iluvial (Bt). Os horizontes mais arenosos, como o Ap e E da cobertura luvisólica e argissólica possuem agregados muito pequenos e mais suscetíveis a ação erosiva da água da chuva. No horizonte Bw, o reduzido diâmetro se justifica pela condição natural da estrutura desse horizonte, com agregados menores e menos desenvolvidos, conforme identificado na descrição macromorfológica realizada em campo.

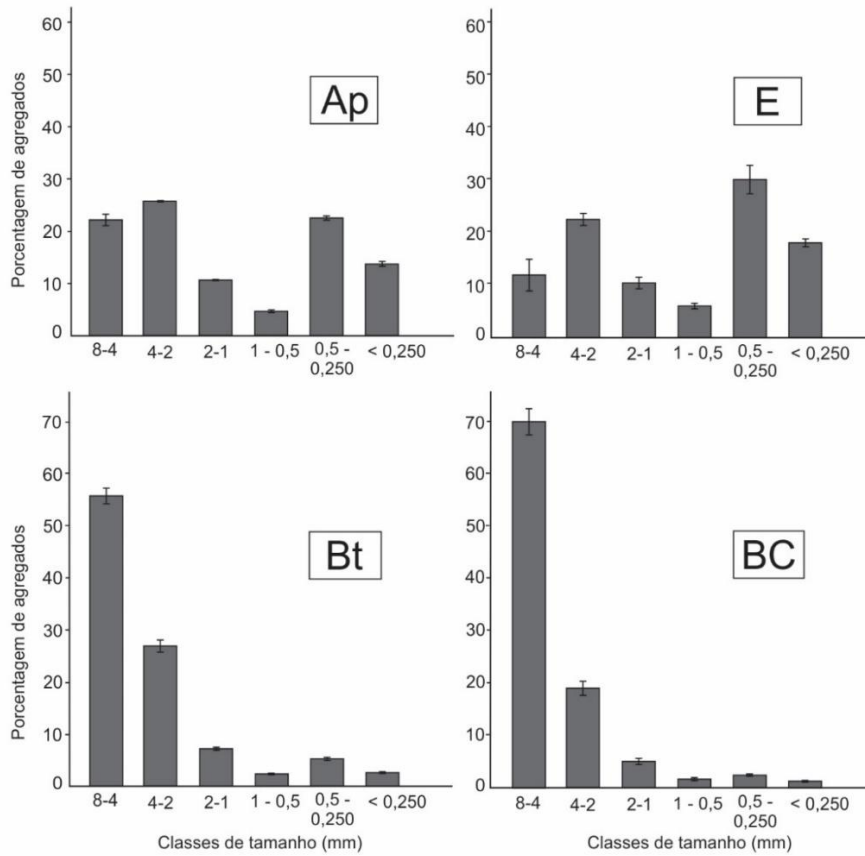


Figura 4. Percentual de agregados por classes de tamanho no Luvissole Crômico da topossequência de solos Água do Guarujá

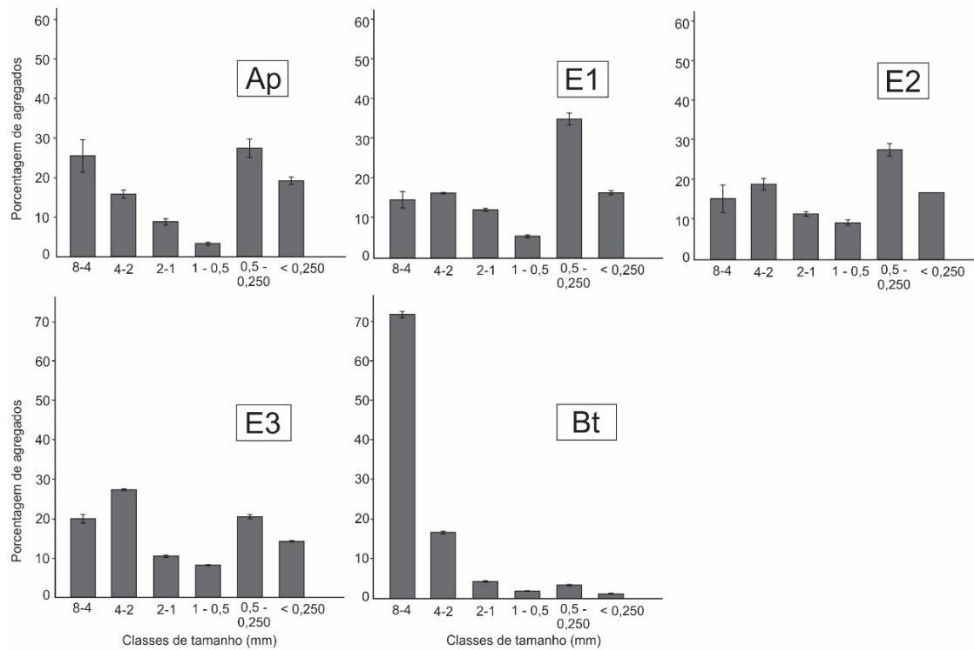


Figura 5. Percentual de agregados por classes de tamanho no Argissolo Vermelho-Amarelo da topossequência de solos Água do Guarujá

A ocorrência de agregados pequenos em associação aos Argissolos e Luvissoles identificados no terço inferior da vertente reflete

sobre a capacidade do solo em resistir a ação erosiva da água da chuva. Quando em contato com a chuva, eles se quebram e as suas partículas são

carreadas pelos fluxos superficiais em direção ao sopé da vertente. Apesar dessa condição estar relacionada às características morfológicas destes solos, que possuem textura arenosa, o manejo da cana-de-açúcar potencializa essas condições a medida em que deixa o solo exposto e reduz a quantidade de matéria orgânica.

Em solos de textura arenosa, a matéria orgânica tem papel fundamental na formação de agregados estáveis (Tavares Filho et al., 2010), entretanto, quando o tipo de uso e o sistema de manejo fornece pouca matéria orgânica ou atua na diminuição da sua concentração, ele contribui para que os agregados não se formem ou tenham tamanho muito reduzido.

Neste sentido, observou-se que o cultivo da cana-de-açúcar forneceu quantidades muito reduzidas de carbono orgânico, conforme identificado neste estudo, onde os valores não ultrapassaram 7 g.dm³, sendo que, no horizonte superficial arenoso do Luvissole, o valor foi de 3,66 g.dm³. Em estudo realizado por Marcatto e Silveira (2020) em solos de textura semelhantes, também localizados no estado do Paraná, foram identificados valores muito reduzidos de CO no cultivo da cana-de-açúcar quando comparados a

outros usos. Os autores obtiveram teor de carbono de 6,62 g.dm³ no horizonte superficial de um Argissolo com cana e valores superiores a 12 g.dm³ em solos sob mata e pastagem, o que implicou em DMPa reduzido na cultura de cana-de-açúcar. Galdos et al. (2009) obtiveram valores de carbono orgânico 30% menores em solos cultivados com cana-de-açúcar quando comparado a floresta nativa, mesmo sob o sistema de manejo da cana crua, onde há a manutenção da palhada sobre o solo e maior fornecimento de resíduos orgânicos. Valores reduzidos de carbono orgânico em solos cultivados com cana-de-açúcar comparados a outros usos da terra também foram identificados por Bordonal et al. (2017), Novak et al. (2017), Kunde et al. (2018), sendo atribuído tanto ao menor aporte de resíduos orgânicos dessa cultura, quanto ao revolvimento intenso do solo e aumento da taxa de mineralização do carbono.

A quantidade reduzida de carbono orgânico proporcionada pelo cultivo da cana-de-açúcar nos solos analisados, interferiu no tamanho dos agregados e na manutenção de sua estrutura, o que é compatível com os resultados de Cavalcanti et al. (2020) e Castioni et al. (2018).

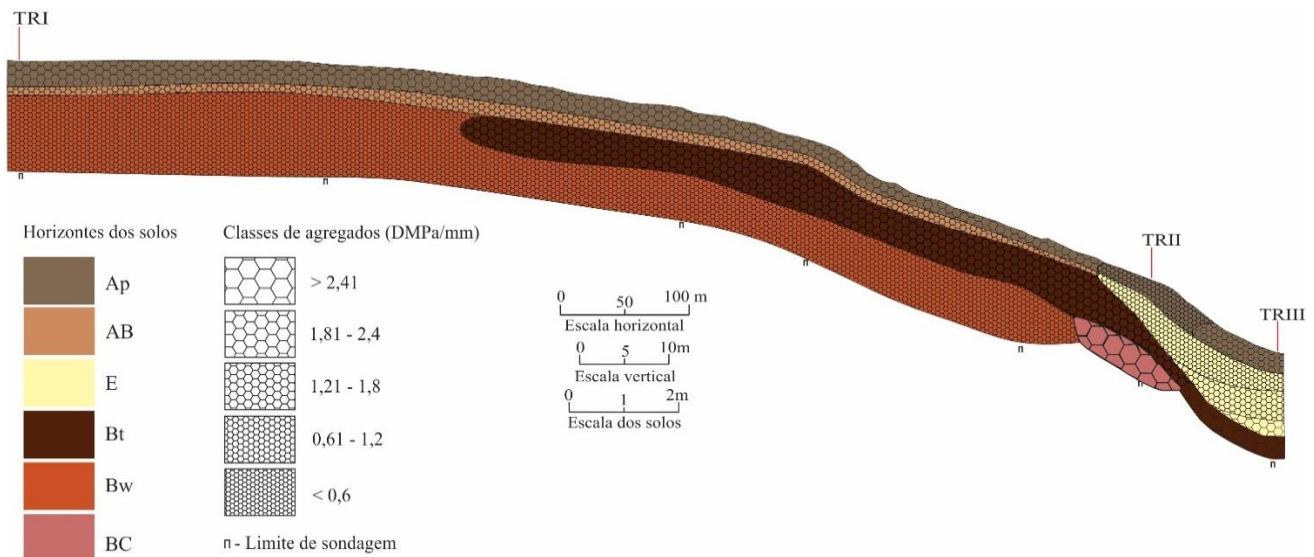


Figura 6. Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) em classes, nos horizontes pedológicos da toposequência Água do Guarujá

Outros fatores que potencializam a destruição dos agregados no cultivo da cana-de-açúcar se relacionam a exposição dos solos aos agentes erosivos nos períodos de entressafras, onde não há cobertura cultural e as operações de preparo do solo pulverizam a sua estrutura. Ambos os fatores contribuem para a destruição dos agregados e para a formação e intensificação de feições erosivas, sobretudo as laminares e em sulcos, que

ocorrem em diversos pontos da área de estudo e tem contribuído para o assoreamento do curso d'água a jusante da toposequência.

Martinelli e Filoso (2008) corroboram com essa afirmação ao explicarem que as maiores perdas de solos ocorrem nos períodos em que estes ficam descobertos, seja no período entressafras e nos primeiros meses após o plantio ou na ocasião em que há a renovação dos canaviais, onde os solos

encontram-se pulverizados e ficam expostos por meses. A degradação é potencializada quando a exposição coincide com os períodos de chuvas, aumentando a quantidade de sedimentos erodidos e transportados para os cursos d'água.

No Latossolo, apesar do DMPa indicar a dominância de agregados maiores nos horizontes mais próximos a superfície, não significa que eles possam uma boa qualidade estrutural (Bertol et al., 2004), pois a presença de agregados grandes e compactados interfere na distribuição dos poros e na circulação de água (Conte et al., 2011). Assim, os agregados formados pela atuação de implementos agrícolas não possuem a mesma estabilidade daqueles formados por processos naturais.

Conclusão

O diâmetro dos agregados dos solos da topossequência Água do Guarujá variou em consonância com as características morfológicas dos solos e com o manejo adotado na área. Os agregados foram muito pequenos nos horizontes superficiais do Luvisolo e Argissolo, onde a quantidade de argila e carbono foram muito reduzidas e aumentaram em profundidade, onde houve um incremento de argila. No Latossolo, apesar dos agregados serem maiores nos horizontes mais próximos a superfície, foram identificados indícios de compactação, o que sugere a formação de agregados por processos mecânicos, relacionados ao manejo da cana-de-açúcar.

Apesar dos solos da área serem muito friáveis e naturalmente suscetíveis a erosão, o manejo da cana-de-açúcar potencializou a degradação estrutural dos solos, seja por meio da pulverização de agregados durante as operações de preparo, formação de agregados maiores relacionados a processos mecânicos ou ainda, pelo reduzido fornecimento de matéria orgânica. Essas condições implicam na formação e evolução de processos erosivos, principalmente os laminares e em sulcos, que foram identificados na área de estudo, bem como com o assoreamento do ribeirão Água do Guarujá.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de auxílio financeiro para a realização da pesquisa, ao laboratório de Agroquímica e de Análises de solos, adubos e plantas da Universidade Estadual de Maringá, pelo apoio para realização dos ensaios químicos.

Referências

- Adami, M., Rudorf, B.F.T., Freitas, R.M., Aguiar, D.A., Sugawara, L.M., Mello, M.P., 2012. Remote Sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in Brazil. *Sustainability* 4, 574-585. Disponível: <https://doi.org/10.3390/su4040574>. Acesso: 01 abr. 2021
- Anache, J.A.A., Flanagan, D.C., Srivastava, A., Wendland, E.C., 2018. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. *Science of the total Environment* 622-623, 140-157. Disponível:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.257>. Acesso: 21 out. 2021
- Barbosa, L. C., Magalhães, P.S.G., Bordonal, R.O., Cherubin, M.R., Castioni, A.F., Tenelli, S., Franco, H.C.J., Carvalho, J.L.N., 2019. Soil physical quality associated with tillage practices during sugarcane planting in south-central Brazil. *Soil and Tillage Research* 195, 104383. Disponível:<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104383>. Acesso: 09 fev. 2021
- Bertol, I., Albuquerque, J.A., Leite, D., Amaral, A.J., Zoldan Junior, W.A., 2004. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28, 155-163. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>. Acesso: 25 fev. 2021
- Bordonal, R.O., Lal, R., Ronquim, C. C., Figueiredo, E.B.de., Carvalho, J. L. N., Maldonado Jr., W., Milori, D.M.B.P., La Scala Jr., N., 2017. Changes in quantity and quality of soil carbon due to the land-use conversion to sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 240, 54-65. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.016>. Acesso: 01 abr. 2021
- Boulet, R., Chauvel, A., Humbel, F. X., Lucas, Y., 1982. Analyse structurale et cartographie en pédologie: Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. *Cah O.R.S.T.O.M.* XIX, 309-321
- Canisares, L. P., Cherubin, M.R., Silva, L.F.S.da., Franco, A.L.C., Cooper, M., Mooney, S.J., Cerri, C.E.P., 2020. Soil microstructure alterations induced by land use change for sugarcane expansion in Brazil. *Soil Use and Management* 36, 189-199. Disponível:

- <https://doi.org/10.1111/sum.12556>. Acesso: 24 mar. 2021
- Castioni, G.A.F., Cherubin, M.R., Bordonal, R.de.O., Barbosa, L.C., Menandro, L.M.S., Carvalho, J.L.N., 2019. Straw Removal Affects Soil Physical Quality and Sugarcane Yield in Brazil. *BioEnergy Research* 12, 789-800. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10000->. Acesso: 20 out. 2021
- Cavalcanti, R. Q., Rolim, M.M., Lima, R.P. de., Tavares, U.E., Pedrosa, E.M.R., Cherubin, M.R., 2020. Soil physical changes induced by sugarcane cultivation in the Atlantic Forest biome, northeastern Brazil. *Geoderma* 370. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114353>. Acesso: 22 mar. 2021
- Cherubin, M. R., Karlen, D.L., Franco, A.L.C., Tormena, C.A., Cerri, C.E.P., Davies, C.A., Cerri, C.C., 2016a. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. *Geoderma* 267, 156–168. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.004>. Acesso: 15 mar. 2021
- Cherubin, M. R., Karlen, D.L., Franco, A.L.C., Cerri, C.E.P., Tormena, C.A., Cerri, C.C., 2016b. A Soil Management Assessment Framework (SMAF) Evaluation of Brazilian Sugarcane Expansion on Soil Quality. *Soil Science Society of America Journal* 80, 215–226. Disponível: <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.09.0328>. Acesso: 25 fev. 2021
- Conab. Companhia Nacional de Abastecimento, 2020. Acompanhamento da safra brasileira 2019/2020, 1-57
- Conte, O., Wesp, C.L., Anghinoni, I., Carvalho, P.C.F., Levien, R., Nabinger, C., 2011. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35, 579-587
- Cunha, J.E., Castro, S.S., Salomão, F.X.T., 1999. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 23, 943-951
- Cunha, J.E., Nóbrega, M.T.de., Castro, S.S., Guimarães, M.de.F., 2016. Escoamento superficial e perdas de solos por erosão hídrica em uma topossequência sobre Arenito Caiuá no noroeste do estado do Paraná. *Boletim de Geografia* 34, 141-153
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2017. Manual de métodos de Análise de Solo. Brasília
- Fernandes, L. A., 1998. Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). Tese (Doutorado em Geociências). São Paulo, USP
- Galdos, M.V.; Cerri, C.C.; Cerri, C.E.P., 2009. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma* 153, 347-352. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.025>. Acesso: 14 set. 2020
- Gomes, T.F., Broek, M.V.de., Govers, G., Silva, R.W.C., Moraes, J.M., Camargo, P.B., Mazzi, E.A., Martinelli, L.A., 2019. Runoff, soil loss, and sources of particulate organic carbon delivered to streams by sugarcane and riparian areas: An isotopic approach. *Catena* 181. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104083>. Acesso: 22 out. 2021
- Hickmann, C., Costa, L.M., Schaefer, C.E.G.R., Fernandes, R.B.A., Andrade, C.L.T., 2012. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um Argissolo após 23 anos de diferentes manejos. *Revista Caatinga* 25, 128-136
- Hunke, P., Roller, R., Zeilhofer, P., Schroder, B., Mueller, E.N., 2015. Soil changes under different land-uses in the Cerrado of Mato Grosso, Brazil. *Geoderma Regional* 4, 31–43. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.12.001>. Acesso: 13 set. 2020
- Jimenez, K. J., Rolim, M.M., Lima, R.P. de., Cavalcanti, R.Q., Silva, E.F.F., Pedrosa, E.M.R., 2020. Soil Physical Indicators of a Sugarcane Field Subjected to Successive Mechanised Harvests. *Sugar Tech*. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00916-w>. Acesso: 01 abr. 2021
- Kraemer, F., Morrás, H., Fernández, P.L., Duval, M., Galantini, J., Garibaldi, L., 2021. Influence of edaphic and management factors on soils aggregates stability under no-tillage in Mollisols and Vertisols of the Pampa Region, Argentina. *Soil and Tillage Research* 209. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104901>. Acesso: 01 abr. 2021
- Kunde, R. J., Lima, C.L.R.de., Anjos e Silva, S.D.dos., Pillon, C.N., 2018. Tensile strength, friability, aggregation, and soil organic matter physical fractions of an Oxisol cultivated with sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 53, 487–494. Disponível:

- <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000400010> . Acesso: 8 set. 2020
- Laskar, S. Y., Sileshi, G.W., Pathak, K., Debnath, N., Nath, A.J., Laskar, K.Y., Singnar, P., Das, A.K. 2021. Variations in soil organic carbon content with chronosequence, soil depth and aggregate size under shifting cultivation. *Science of the Total Environment* 762. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143114>. Acesso: 01 abr. 2021
- Lemos, R.C., Santos, R.D., 1996. Manual de método de trabalho de campo. Rio de Janeiro
- Li, C., Veum, K.S., Goyne, K.W., Nunes, M.R., Acosta-Martinez, V., 2021. A chronosequence of soil health under tallgrass prairie reconstruction. *Applied Soil Ecology* 164. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103939>. Acesso: 01 abr. 2021
- Liu, J., Hu, F., Xu, C., Wang, Z., Ma, R., Zhao, S., Liu, G., 2020. Comparison of different methods for assessing effects of soil interparticle forces on aggregate stability. *Geoderma* 385. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114834>. Acesso: 01 abr. 2020
- Lopes, V.C., Parente, L.L., Baumann, L.R.F., Miziara, F., Ferreira, L.G., 2020. Land-use dynamics in a Brazilian agricultural frontier region, 1985-2017. *Land Use Policy* 97. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104740>. Acesso: 13 mar. 2020
- Luz, F.B., Silva, V.R., Mallmann, F.J.K., Pires, C.A.B., Debiassi, H., Franchini, J.C., Cherubin, M.R., 2019. Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 281. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.05.006> R. Acesso: 21 out. 2021
- Marcatto, F.S., Silveira, H. 2019. Efeito do uso e manejo no comportamento físico-hídrico da cobertura pedológica de textura média e arenosa da bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. *In: Marcatto, F.S. et al. (Org.). Construindo o saber geográfico*. Maringá, PGE Editora, 174-190
- Martinelli, L. A.; Filoso, S., 2008. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: Environmental and social challenges. *Ecological Applications* 18, 885–898
- Medeiros, F.B., Marcatto, F.S., Silveira, H., Nóbrega, M.T.de., 2018. Avaliação da estabilidade de agregados e a vulnerabilidade à erosão ao longo de uma vertente no município de Araruna, região noroeste do Paraná-Brasil. *Caderno de Geografia* 28, 845-862. Disponível: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2018v28n55p845-862>. Acesso: 8 set. 2020
- Montanari, R., Marques Junior, J., Campos, M.C.C., Souza, Z.M., Camargo, L.A., 2010. Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. *Revista Ciência Agronômica* 41, 191-199.
- Nóbrega, M.T., Serra, E., Silveira, H., Terassi, P.M., Bonifácio, C.M., 2015. Landscape structure in the Pirapó, Parapanema 3 and 4 Hydrographic Unit, in the state of Paraná. *Brazilian Journal of Biology* 75
- Novak, E., Carvalho, L.A., Santiago, E.F., Portilho, I.O.R., 2017. Chemical and microbiological attributes under different soil cover. *Cerne* 23, 19-30. Disponível: <https://doi.org/10.1590/01047760201723012228>. Acesso: 01 abr. 2020
- Oliveira, I.A., Campos, M.C.C., Aquino, R.E.de., Freitas, L.de., Souza, Z.M. de., Cunha, J.D.da., Soares, M.D.R., Silva, D.M.P. da., Fonseca, J.da.S., Silva, L.S., Souza, F.G., 2018. Spatial variability of chemical pedoindicators in Haplic Inceptisol under different management systems in southern Amazonas state, Brazil. *Australian Journal of Crop Science* 12, 1250-1258
- Pang, Z., Tayyab, M., Kong, C., Liu, Q., Liu, Y., Hu, C., Huang, J., Weng, P., Islam, W., Lin, W., Yuan, Z., 2021. Continuous sugarcane planting negatively impacts soil microbial community structure, soil fertility, and sugarcane agronomic parameters. *Microorganisms* 9
- Pereira, N.A., Di Prima, S., Bovi, R.C., Silva, L.F.S.da., Godoy, G.de., Naves, R.P., Cooper, M., 2020. Does the process of Passive Forest Restoration affect the hydrophysical attributes of the Soil superficial horizon? *Water* 12, 1689. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w12061689>. Acesso: 13 dez. 2020
- Rachid, C. T.C.C., Picollo, M.S., Leite, D.C.A., Balieiro, F.C., Coutinho, H.L.C., Van Elsas, J.D., Peixoto, R.S., Rosado, A.S., 2012. Physical-chemical and microbiological changes in Cerrado Soil under differing sugarcane harvest management systems. *BMC Microbiology* 12
- Severiano, E.C., Oliveira, G.C.de., Curi, N., Dias Júnior, M.de.S., 2009. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO).

- Revista Brasileira de Ciência do Solo 33, 159-168. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100017>. Acesso: 13 dez. 2020
- Silva, A.A., Castro, S.S., 2015. Indicadores macro e micromorfológicos da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar. Mercator 14. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4215/RM2015.1403.0010>. Acesso: 13 dez. 2020
- Soares, J.L.N., Espindola, C.R., Foloni, L.L., 2005. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. Ciência Rural 35, 353-359. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000200016>. Acesso: 13 dez. 2020
- Souza, Z.M., Marques Junior, J., Pereira, G.T., 2010. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Ciência Rural 40, 48-56. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000243>. Acesso: 13 dez. 2020
- Tavares Filho, J., Barbosa, G. M. de. C., Ribon, A. A., 2010. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. Revista Brasileira de Ciência do Solo 34, 925 - 933. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300034>. Acesso: 01 abr. 2021
- Terassi, P.M.B., Silveira, H., Bonifácio, C.M., 2014. Variação da estabilidade de agregados e as suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região noroeste do Paraná. Boletim de Geografia 32, p. 166-172. Disponível: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v32i1.18169>. Acesso: 03 abr. 2021
- Vasconcelos, R.F., Cantalice, J.R.B., Oliveira, V.S.de., Costa, Y.J. da., Cavalcante, D.M., 2010. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo Distrocoeso de Tabuleiro Costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo 34, 309-316. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200004>. Acesso: 01 abr. 2021
- Walkley, A., Black, I., 1934. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37, 29-38
- Youlton, C., Wendland, E., Anache, J.A.A., Poblete-Echeverría, C., Dabney, S., 2016. Changes in Erosion and Runoff due to Replacement of Pasture Land with Sugarcane Crops. Sustainability 8. Disponível: <https://doi.org/10.3390/su8070685>. Acesso: 21 out. 2021