

# DO CRESCIMENTO ECONÔMICO PARA OS DESAFIOS AMBIENTAIS: A INFLUÊNCIA DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA ALTERAÇÃO DA QUALIDADE HIDROFÍSICA DOS SOLOS NO NORTE DO PARANÁ<sup>1</sup>

Gustavo Henrique Andrade da Cruz<sup>2</sup>

Hélio Silveira<sup>3</sup>

Maria Cleide Baldo<sup>4</sup>

Francieli Sant'ana Marcatto<sup>5</sup>

## INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e seus derivados têm contribuído substancialmente para o crescimento econômico não apenas de municípios isolados, mas também de todo o estado do Paraná. Isso se deve, em grande parte, aos empregos gerados pelas atividades do setor sucroalcooleiro (Souza; Moraes, 2014).

Na mesorregião Norte do estado, assim como no Noroeste, a cultura da cana-de-açúcar foi introduzida em meados da década de 1990, predominantemente em solos derivados de formações areníticas (Serra, 2010), que são altamente erodíveis (Thomaz; Fidalski, 2020). Com isso, o sistema de manejo da cultura da cana-de-açúcar tem contribuído para o aumento da taxa de perda de solo (Thomaz; Marcatto; Antoneli, 2020).

Apesar da importância econômica e do conhecimento sobre a vulnerabilidade dos solos que sustentam a cultura da cana-de-açúcar na região, a compreensão dos efeitos de seu cultivo ainda é pouco abordada na literatura científica. Diante dessa lacuna, neste estudo buscou-se analisar os impactos do uso e manejo da cana-de-açúcar na qualidade física e na dinâmica da água no solo ao longo de uma vertente no município de Iguaraçu, no norte do Paraná, bem como seu papel no desenvolvimento de formas erosivas.

## REFERENCIAL TEÓRICO

A variação espacial da qualidade física e do comportamento hídrico da cobertura pedológica deriva de uma relação multifatorial complexa, resultante da interação entre as

---

<sup>1</sup> Este trabalho é parte da iniciação científica do primeiro autor.

<sup>2</sup> Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Estadual de Maringá - PR, [gusttavohnq@gmail.com](mailto:gusttavohnq@gmail.com);

<sup>3</sup> Doutor pelo Curso de Geociência e Meio Ambiente da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - SP, [hesilviera70@hotmail.com](mailto:hesilviera70@hotmail.com);

<sup>4</sup> Doutora pelo Curso de Geografia da Universidade Estadual "Paulista Júlio de Mesquita Filho" - SP, [mcbaldo33@hotmail.com](mailto:mcbaldo33@hotmail.com);

<sup>5</sup> Doutora pelo Curso de Geografia da Universidade Estadual de Maringá - PR, [fran\\_marcatto@hotmail.com](mailto:fran_marcatto@hotmail.com);

características naturais do processo de formação e evolução dos solos, e do uso e manejo a que são submetidos.

O aumento da densidade do solo é o principal fator que afeta sua qualidade física, o que leva a mudanças significativas na dinâmica da água, predispondo-o à erosão hídrica. O adensamento pode ser de ordem natural, oriundo da translocação e deposição de frações finas em subsuperfície (argila) (Silva *et al.*, 1999), ou, de maneira mais expressiva, pela compressão mecânica provocada pelo tráfego constante de máquinas sobre o solo (Collares *et al.*, 2006), e pelo uso de implementos agrícolas, como o arado de disco (Gabriel Filho *et al.*, 2000). Nesta última causa, o problema resulta da pulverização da superfície enquanto a subsuperfície se mantém compactada (Machado, 2003).

Assim, a mecanização pode provocar expressivas alterações no sistema de poros dos solos, como a redução da porosidade total em relação a macroporosidade e a microporosidade; além da redução da estabilidade e do tamanho médio dos agregados, e da capacidade de infiltração e movimentação de água no solo (Cavalcanti *et al.*, 2020).

Em resposta à menor taxa de volume de poros na subsuperfície, ocorre a dificuldade de infiltração e percolação da água no topo dos horizontes mais adensados, resultando na concentração dos fluxos hídricos laterais. Essa situação, associada à baixa estruturação da superfície, favorece a formação de formas erosivas (Bertol *et al.*, 2001).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Considerando que as características intrínsecas à evolução dos solos, como as transformações pedogenéticas laterais, levam à formação de uma cobertura pedológica com variação espacial de suas propriedades físicas, hídricas e químicas, para a realização deste estudo foi selecionada uma vertente com topografia plana a suavemente ondulada, ao qual cria condições de equilíbrio para os sistemas pedológicos. Isso possibilitou compreender de forma mais direta os efeitos do manejo sobre o solo ao longo da vertente.

Assim, a área experimental está localizada no município de Iguaraçu, na mesorregião Norte Central do estado do Paraná, especificamente entre as coordenadas de 23°08'36.38'' e 23°08'16.66'' de latitude Sul e 51°50'52.90'' e 51°51'29.09'' de longitude Oeste.

Os pontos experimentais na vertente foram selecionados com base no levantamento dos solos realizados por Barbosa (2020), na mesma área de estudo. Dessa

maneira, foram abertas três trincheiras com 50 cm de profundidade, estrategicamente alocadas na alta, média e baixa vertente.

Em campo, foi realizada a análise morfológica, incluindo as observações de cor, textura, estrutura, profundidade e espessura dos horizontes, além da consistência do solo. Além disso, foram coletadas amostras de cada horizonte pedológico encontrado utilizando anéis volumétricos (contemplando amostragem triplicada), com estrutura deformada e indeformada, conforme descrito por Santos *et al.* (2015).

No laboratório, determinou-se os seguintes parâmetros físicos do solo, conforme metodologia analítica descrita pela EMBRAPA (2017): granulometria, utilizando o método da pipeta; determinação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa), por meio do método via seco; porosidade, empregando o método da mesa de tensão para obtenção da microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e porosidade total (Pt); e densidade do solo (Ds) pelo método do anel volumétrico.

Seguindo o mesmo manual técnico (EMBRAPA, 2017), para a análise do comportamento hídrico do solo, considerou-se como parâmetro a condutividade hidráulica saturada com carga constante ( $K_{sat}$ ) pelo método do anel volumétrico.

Além disso, como parâmetro auxiliar da avaliação da estabilidade física dos solos, foi realizada a análise do teor de carbono orgânico ( $C_{org}$ ) pelo método do dicromato de potássio, no qual a matéria orgânica (M.O) presente em cada amostra de solo é oxidada em meio ácido. A partir de um fator de transformação, foi possível determinar o teor de  $C_{org}$  em cada amostra (Pavan *et al.*, 1992).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A descrição morfológica revelou a presença de um horizonte superficial com textura areia franca, com uma espessura média de 25 cm, que se estende ao longo de todo o declive e é classificado como Ap. Entretanto, este horizonte pedológico apresenta uma maior espessura na alta vertente, atingindo 30 cm, e reduz sua espessura em direção à baixa encosta, onde alcança 22 cm de profundidade, sugerindo uma decapitação parcial. Sua cor é marrom avermelhado escuro, com pouca variação de croma e de valor ao longo da vertente (Quadro 1).

A estrutura do solo é granular, desagregando-se em grãos simples, com grau fraco e tamanho de agregados variando entre muito pequeno (TRII e TRIII) e pequeno a médio (TRI). Quanto à consistência, se apresentou como solto nas TRI e TRIII e macio na TRII

quando seco. Quando úmido, variou de friável nas TRI e TRII para muito friável na TRIII, enquanto molhado apresentou comportamento não plástico e não pegajoso em todos os segmentos da vertente (Quadro 1).

Quadro 1 - Descrição morfológica dos horizontes pedológicos analisados

Horiz. <sup>1/</sup> Prof. <sup>2</sup> (cm)	Cor	<sup>3</sup> Estrutura			Textura	<sup>4</sup> Consistência			Transição
		Tipo	Grau	Tamanho		Seco	Úmido	Molhado	
Trincheira I - Alta vertente									
Ap (0-30)	2,5YR 3/4	gran./ g. simples	fraca	pequena a média	areia franca	solta	friável	ñ. Plástica ñ. pegajosa	plana
AB (30-50+)	2,5YR 3/6	blocos ang.	forte	média a grande	franco arenosa	dura	firme	lig. plástica lig. pegajosa	-
Trincheira II - Média vertente									
Ap (0-23)	2,5YR 3/4	gran./ g. simples	fraca	muito pequena	franco arenoso	macia	friável	ñ. plástica ñ. pegajosa	ondulada
AB (23-50+)	2,5YR 3/6	blocos ang. e subang.	forte	grande	franco argilo arenosa	macia/ lig. dura	firme	lig. plástica lig. pegajosa	-
Trincheira III - Baixa vertente									
Ap (0-22)	5YR 3/4	gran./ g. simples	fraca	muito pequena	areia franca	solta	muito friável	ñ. plástica ñ. pegajosa	ondulada
AB (22-50+)	5YR 4/6	blocos ang. e subang.	forte	média a grande	areia franca	lig. dura á dura	firme	ñ. plástica ñ. pegajosa	-

<sup>1</sup>Horiz. = horizonte; <sup>2</sup>Prof.= profundidade; <sup>3</sup>Estrutura - Tipo: gran. = granular, g. simples = grãos simples, blocos ang.= blocos angulares, blocos subang.= blocos subangulares; <sup>4</sup>Consistência: ñ. plástica= não plástica, ñ. pegajosa= não pegajosa, lig. Plástica= ligeiramente plástica; lig. pegajosa= ligeiramente pegajosa.

Fonte: O autor (2020).

Apesar da predominância da fração areia em todos os horizontes pedológicos analisados, atributo transmitido pelo material parental (arenitos da Formação Santo Anastácio), em subsuperfície ocorre a formação de um horizonte caracterizado pelo aumento de argila em relação ao superficial Ap (Tabela 1), classificado como AB, uma vez que a relação textural B/A não atende aos critérios para ser considerado um Bt, horizonte diagnóstico do Argissolo (EMBRAPA, 2018).

Tabela 1 - Composição granulométrica, microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds) dos horizontes pedológicos analisados

Horizonte /Profundidade (cm)	Granulometria			Classe textural	Mi	Ma	Pt	Ds
	Areia	Silte	Argila					
	(g.Kg <sup>-1</sup> )				(%)			(g.cm <sup>3</sup> )
Trincheira I - Alta vertente								
Ap (0-30)	832,0	68,5	99,5	areia franca	31,57	14,40	45,97	1,49
AB (30-50)	808,0	70,5	121,5	franco-arenosa	23,59	2,71	26,30	1,88
Trincheira II - Média vertente								
Ap (0-23)	775,7	67,8	156,5	franco-arenosa	31,26	8,52	39,79	1,58
AB (23-50)	734,2	48,3	217,5	franco-argilo- arenosa	23,57	2,19	25,75	1,88
Trincheira III - Baixa vertente								
Ap (0-22)	858,0	52,5	89,5	areia franca	34,46	7,62	42,08	1,37
AB (22-50)	839,2	32,3	128,5	areia franca	24,66	5,27	29,94	1,73

Fonte: O autor (2020).

O aumento da fração fina resulta em mudanças no comportamento estrutural desde o horizonte (AB), que passa a apresentar agregados com blocos angulares na TRI e também subangulares na TRII e TRIII, com grau forte em todos os compartimentos e tamanho variando de médio a grande (TRI e TRIII) a grande (TRII) (Quadro 1).

O notável aumento da fração argila em subsuperfície, especialmente no setor médio da vertente (217,5 g.Kg-1) (Tabela 1), como destacado por Barbosa (2020), está associado a declividade suavemente mais acentuada. Essa conjuntura dos processos de transformação pedogenética promove condições favoráveis ao aumento dos fluxos hídricos laterais e ao transporte de frações com características coloidais, como as argilas. Como resultado, desenvolve-se o processo de argiluviação (e-iluviação da fração argila).

Os valores de densidade do solo (Ds) ao longo da vertente variaram entre 1,37 e 1,49 g/cm<sup>3</sup> no horizonte Ap, aumentando significativamente no horizonte AB, especialmente na TRI e na TRII, onde os teores de Ds atingiram 1,88 g/cm<sup>3</sup>, enquanto na TRIII esse valor foi de 1,73 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 1). Nessas condições, os horizontes subsuperficiais apresentam valores críticos de densidade que podem comprometer a circulação da água e o desenvolvimento das plantas, conforme os limites estabelecidos por Reichert, Reinert e Braida (2003).

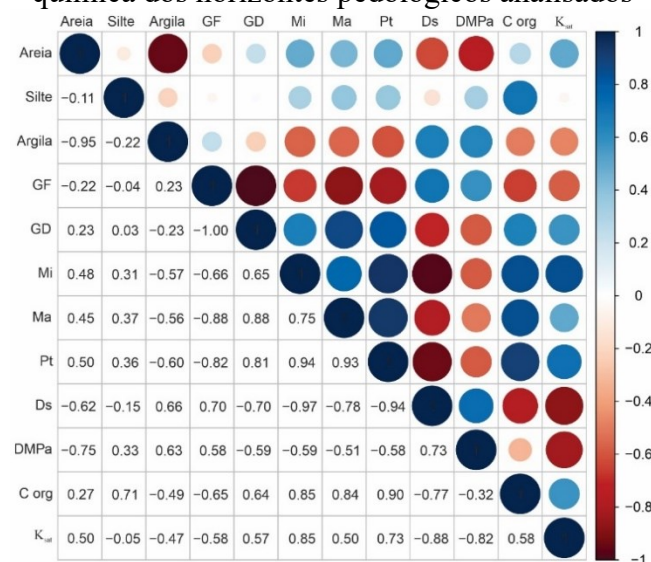
Na média vertente, a migração vertical e lateral da argila, que resulta em valores incrementais em subsuperfície, contribui para o adensamento natural, corroborando com o estudo de Silva *et al.* (2005). No entanto, a tendência de aumento de densidade em subsuperfície em áreas onde não há um gradiente textural vertical marcante, como na alta vertente, pode indicar os efeitos do manejo do solo, como a utilização do arado de disco, conforme ressaltado por Gabriel Filho *et al.* (2000).

A variação da densidade do solo (Ds) reflete diretamente sobre o comportamento do sistema de poros. Assim, de maneira inversa, os horizontes superficiais (Ap), que de forma geral se apresentam menos adensados, exibem maiores taxas de porosidade, especialmente na alta e baixa vertente (Tabela 1).

Desse modo, a Pt apresenta, linearmente, correlação forte negativa com a Ds ( $r = -0,94$ ), assim como a Mi ( $r = -0,97$ ) e a Ma ( $r = -0,78$ ) (Figura 1). Apesar de significativa, a correlação entre a porosidade e o teor de argila foram abaixo de  $-0,60$ , sugerindo que, embora ocorra, o adensamento natural atua de maneira menos expressiva sobre o sistema de poros, enquanto a compactação provocada pelo uso e manejo agrícola, sobretudo na manutenção dos solos entre safras, atua de maneira mais contundente (Figura 1). A

correlação direta entre o aumento da Ds sobre a configuração do sistema de poros do solo também foi observada por Stone, Guimarães e Moreira (2002).

Figura 1 - Matriz de correlação de Pearson (r) entre as variáveis físicas, hídrica e química dos horizontes pedológicos analisados



Fonte: O autor (2024).

O diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) apresentou correlação positiva com os atributos de argila ( $r= 0,63$ ), considerada um dos agentes cimentantes dos agregados, e com a densidade do solo (Ds) ( $r= 0,73$ ), possivelmente resultante da compactação do solo (Tabela 2). Embora o teor de carbono orgânico (C<sub>org</sub>) também contribua para a agregação, sua influência é menos expressiva (Figura 1). Assim, os maiores índices de DMPa estão associados ao horizonte AB, em subsuperfície, com valores que oscilam entre 1,08 e 1,81 mm (Tabela 2).

Tabela 2 - Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa), carbono orgânico (C org) e condutividade hidráulica saturada (K<sub>sat</sub>) dos horizontes pedológicos analisados

Horizonte/ Profundidade (cm)	DMPa (mm)	C org (g.dm <sup>3</sup> )	K <sub>sat</sub> (mm/h)
Trincheira I – Alta vertente			
Ap (0-30)	0,84	11,03	152,6
AB (30-50)	1,81	6,65	31,1
Trincheira II – Média vertente			
Ap (0-23)	1,83	9,29	100,4
AB (23-50)	1,57	5,57	92,2
Trincheira III – Baixa vertente			
Ap (0-22)	0,52	9,17	257,5
AB (22-50)	1,08	4,41	76,7

Fonte: O autor (2020).

Devido ao maior adensamento dos horizontes subsuperficiais, que causa obstrução parcial da rede de poros, as maiores taxas de condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) ocorrem nos horizontes superficiais ( $A_p$ ), variando lateralmente entre 100,4 e 257,5 mm/h (Tabela 2). A maior taxa de infiltração no horizonte  $A_p$ , seguida por uma redução abrupta em subsuperfície ( $AB$ ), onde a  $K_{sat}$  oscila lateralmente entre 31,1 e 92,2 mm/h, faz com que os fluxos hídricos se acumulem no topo do horizonte mais adensado e de menor infiltração, causando hidromorfia temporária. Isso, associado aos menores índices de agregação na superfície, pode levar ao desenvolvimento de feições erosivas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento da água no solo ao longo da vertente está diretamente associado aos processos de transformação pedogenética, como a translocação da fração argila, que leva ao adensamento natural e à alteração dos poros do solo. No entanto, de maneira mais expressiva, o manejo do solo, manifestado pelo uso de arado de disco, causa a compactação da subsuperfície e lhes conferem condições favoráveis para o desenvolvimento de fluxos hídricos laterais no topo do horizonte  $AB$ , resultando no surgimento de feições erosivas em superfície.

**Palavras-chave:** Solo; Uso e manejo; Cana-de-açúcar; Comportamento físico-hídrico; Processos erosivos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Maringá (UEM) pelo suporte e pela estrutura física onde foram realizadas as análises laboratoriais.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. F.; A relação entre o sistema pedológico e o relevo no município de Iguaraçu-PR. 2020. **Iniciação Científica** – Universidade Estadual de Maringá. 2020.
- BERTOL, I. et al. Propriedades Físicas de um Cambissolo Húmico. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.
- CAVALCANTI, R. Q. et al. Soil physical changes induced by sugarcane cultivation in the Atlantic Forest biome, northeastern Brazil. **Geoderma**, v. 370, p. 1-11, 2020.

COLLARES, G. L. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5ed. Brasília: Embrapa, 2018. 590p.

EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de Análise de Solo**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2017. 573 p.

GABRIEL FILHO, A. et al. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, v. 30, p. 953-957, 2000.

MACHADO, P. L. O. A. Compactação do solo e crescimento de plantas: como identificar, evitar e remediar. **Embrapa**, 2003. 18p.

PAVAN, M. A. et al. Manual de análise química do solo e controle de qualidade (Circular, 76). **Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina**, 1992, 38 p.

REICHERT J.M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. A qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7º ed. rev ed. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2015. 101p.

SERRA, E. Noroeste do Paraná: o avanço das lavouras de cana e a nova dinâmica do uso do solo nas zonas de contato arenito-basalto. **Revista Campo-Território**, v. 5, n. 9, p. 89-111, 2010.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 544- 552, 2005.

SILVA, M. S. L. et al. Origem do adensamento em solos do tabuleiro sertanejo do estado de Pernambuco: Caracterização morfológica e física. *In*: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais [...]** Brasília - DF: 1999.

SOUZA, L. G. A; MORAES, M. A. F. D. Externalidades sociais da produção de combustíveis no estado do Paraná. **Economia & Região**, v. 2, n. 2, p. 115-134, 2014.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

THOMAZ, E. L.; FIDALSKI, J. Interrill erodibility of different sandy soils increases along a catena in the Caiuá Sandstone Formation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1-13, 2020.

THOMAZ, E. L.; MARCATTO, F. S.; ANTONELI, V. Soil erosion on the Brazilian sugarcane cropping system: An overview. **Geography and Sustainability**, v. 3, n. 2, p. 129-138, 2022.