

II-267 - USO DA VINHAÇA NA MITIGAÇÃO DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E CONTROLE DE PROCESSOS EROSIVOS

Ataliba Cordeiro Ávila Júnior⁽¹⁾

Bacharelado em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Goiás.

Átala Rebeca Da Silva Ávila⁽²⁾

Bacharelado em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Goiás.

Thayna Pontes Barreto⁽³⁾

Bacharelado em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Goiás.

Fernanda Posch Rios⁽⁴⁾

Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-Goiás). Mestre em Engenharia do Meio Ambiente e Doutora em Ciências do Ambiente pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG).

Giovane Batalione⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Goiás (UEG) Mestre em Geotecnia pela Universidade de Brasília). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG)

Endereço⁽¹⁾: Rua 03, Quadra 7A, Lote 02 - Vila Lucy - Goiânia - Goiás - CEP: 74320270 - Brasil - Tel: (62) 3925-1972 / (62) 98225-8084 - e-mail: ataliba.jr@hotmail.com

RESUMO

Durante o processo de produção do etanol e do açúcar são gerados volumes consideráveis de resíduos sólidos e líquidos, em destaque o bagaço (fonte de energia na combustão) e a vinhaça (fonte de nutrientes e fertilização de lavouras). Um dos problemas enfrentados pelas usinas sucroalcooleiras tem sido o volume excedente de vinhaça, que pode ficar sem destinação adequada e em armazenamento, tornando-se um risco constante de contaminação ambiental. Ela apresenta elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e tem sido assunto de inúmeros trabalhos científicos, principalmente na área das ciências agrônômicas, com foco na avaliação de seu potencial na fertilização do solo, de suas contribuições com a matriz energética, por meio da geração de biogás, e dos impactos ambientais advindos de seu lançamento direto em mananciais. No presente estudo procurou-se investigar uma forma alternativa de utilização deste subproduto ao verificar o quanto a adição de vinhaça ao solo, realizada de forma controlada, poderia promover melhorias no seu desempenho quanto ao aumento de sua resistência físico-mecânica, mitigando a separação de partículas advinda do escoamento superficial de águas pluviais. Foi utilizado um aparelho similar ao desenvolvido por Inderbitzen (1961), os conceitos de erodibilidade e por meio de ensaios de laboratório foi efetuada a comparação da produção de sedimentos de solos que receberam aspersão de vinhaça e outros que tiveram apenas contato com água, conseguindo-se a comprovação da eficácia da vinhaça na suavização do progresso de erosão instaurado em solos do Estado de Goiás. O referido aparelho permite a simulação em laboratório da condição natural dos solos, possibilitando o acompanhamento do desenvolvimento da erosão laminar, muito comum em regiões planas, como estradas. Constitui uma das ferramentas laboratoriais para identificar o comportamento dos materiais terrosos mediante à condição potencial de formação e desenvolvimento dos processos erosivos. Ao final do estudo pode-se constatar que a vinhaça aplicada no solo alterou de maneira positiva as suas propriedades no quesito: disponibilidade de nutrientes, principalmente de potássio (K), aumentou o teor de matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica (CTC) e atividade microbiológica, formou uma película protetora na superfície do solo e diminuiu drasticamente a perda de sedimentos causados pelo escoamento superficial.

PALAVRAS-CHAVE: Inderbitzen, Processo erosivo, Taxa de erodibilidade, Vinhaça.

INTRODUÇÃO

Peculiaridade inerente ao ser humano apoderar-se à terra e se concentrar no espaço, produzindo grandes alterações que imiscuíssem no ciclo hidrológico e causam consequências significativas. A compreensão do apoderamento desordenado do meio urbano como uma ação desencadeadora de impactos ambientais relaciona a água aos principais desgastes. Portanto, a ocupação urbana indevida e descuidada contribuirá com situações

que alteram diretamente a qualidade de vida da população como inundações, processos erosivos e assoreamentos com geração de áreas degradadas. Neste estudo buscou-se testar o uso de um material alternativo para a redução da produção de sedimentos de modo a propor um meio de se mitigar processos erosivos urbanos.

Ao levar em conta a formação de um solo sabe-se que se trata de processo muito demorado, no qual estão envolvidas diversas razões decisivas nos quesitos de quantidade e qualidade do solo formado, entre os fatores considerados tem-se o clima, a natureza da rocha mãe, a topografia, a atividade biológica e, naturalmente, a ação do homem.

Pela própria natureza das condições responsáveis pela sua formação, o solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente. Este fato ocorre porque o próprio material de origem não é uniforme em toda a sua extensão, ou seja, o processo de intemperização não ocorre de forma homogênea e contínua. Diversos estudos comprovam que, a variabilidade do solo ocorre de forma aleatória. No entanto, várias pesquisas mostram que a oscilação dos atributos químicos do solo apresenta correlação ou dependência espacial (TRANGMAR et al., 1985; SOUZA et al., 1997; OLIVEIRA et al., 1999; CARVALHO et al., 2002).

O tipo de vegetação é um dos fatores considerados importantes na formação dos componentes do solo, como os agregados que correspondem a união de partículas primárias do solo que se associam por meio da atuação de micro-organismos presentes neste, formando pequenas estruturas responsáveis pela proteção do carbono do solo e manutenção de uma estrutura ideal para o desenvolvimento das plantas, principalmente pela ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante e, indiretamente, fornecendo nutrientes à fauna do solo (BRONICK; LAL, 2005). A vegetação também interfere na estruturação dos solos: as gramíneas, por apresentarem sistema radicular fasciculado, são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados que as espécies vegetais com sistema radicular pivotante, mesmo em sistemas de cultivos anuais com revolvimento do solo, onde o sistema radicular é renovado constantemente (SALTON et al., 2008).

Goiás abriga em suas terras um mosaico de formações rochosas distintas quanto à idade e à composição. Resultado de um processo de milhões de anos da evolução de seus substratos, o solo goiano foi favorecido com a distribuição de regiões plana. O processo de formação do relevo e de decomposição de rochas explica a formação de solos de fertilidade natural baixa e média (latossolos) predominantes na maior parte do Estado, e de solos podzólicos vermelho-amarelo, terra roxa estruturada, brunizém avermelhado e latossolo roxo. A vegetação rala do cerrado contribui para o processo de erosão e da formação de grutas, cavernas e cachoeiras. (GOVERNO DE GOIÁS, 2016).

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro e ocupa aproximadamente 25 % do território nacional, sendo superado em área apenas pela Floresta Amazônica. Atualmente, mais da metade dos dois milhões de km² originais do Cerrado já foi convertida em outros usos da terra, dos quais as pastagens plantadas, compostas basicamente por espécies gramíneas de origem africana, ocupam aproximadamente 500.000 km² (KLINK; MACHADO, 2005).

Atualmente, cerca de 80 milhões de hectares do bioma Cerrado vêm sendo cultivados com diferentes usos da terra, o que corresponde a 39,5 % da área total do bioma. As duas classes mais representativas de uso da terra são as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, que ocupam 26,5 e 10,5 % do Cerrado, respectivamente. Cerca de 61 % da área do bioma encontra-se preservada, incluindo áreas com vegetação em regeneração e pastagens nativas (SANO et al., 2008).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia, Tailândia e Austrália. Em média, nas últimas safras brasileiras, 52% da manufatura nacional destinaram-se a produção de etanol (anidro e hidratado) e 48% a de açúcar. A cultura espalha-se pelo Centro-Sul e pelo Norte-Nordeste, ocupando cerca de 7 milhões de hectares ou aproximadamente 2% de toda a terra arável do país. Os estados mais representativos das regiões brasileiras são: Paraná, na região Sul; São Paulo, na região Sudeste, Alagoas, no Nordeste. Goiás destaca-se na região Centro-Oeste ocupando a quarta posição no país, após São Paulo, Paraná e Minas Gerais (UNICA, 2010).

Dispondo de um programa consolidado que incentiva o uso de veículos com motores que utilizam o álcool, como combustível, em forma direta (álcool hidratado), ou adicionada à gasolina (álcool anidro), no Brasil constitui-se, portanto, uma alternativa sustentavelmente reconhecida em relação aos combustíveis derivados de petróleo. Durante o processo de produção do etanol e do açúcar são gerados volumes consideráveis de resíduos sólidos e líquidos, em destaque o bagaço (fonte de energia na combustão) e a vinhaça (fonte de nutrientes e fertilização de lavouras). Dados da Associação Brasileira de Produtos Derivados da Cana de Açúcar revelaram que em 2011 foram produzidos aproximadamente 320 milhões de m³ de vinhaça em todas as usinas sucroalcooleiras do país. Estima-se que durante a produção de 1 L de etanol são gerados entre 10 a 18 L de vinhaça, constituindo-se um quantitativo bastante expressivo. Configura um resíduo mau cheiroso da destilação fracionada do caldo de cana-de-açúcar (garapa) fermentado, para a obtenção do etanol (álcool etílico). Uma característica da vinhaça, que limita o seu aproveitamento, é a sua elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), variando entre 20.000 e 35.000 mg.L⁻¹.

A vinhaça tem sido assunto de inúmeros trabalhos científicos, principalmente na área das ciências agrônomicas, com foco destinado à avaliação do potencial deste subproduto na fertilização do solo, além de se estudar os impactos ambientais advindos de seu lançamento direto em mananciais e suas contribuições com a matriz energética, por meio da geração de biogás. Devido ao grande volume gerado deste subproduto e de seu excedente, algumas usinas sucroalcooleiras tem a prática de armazenar a vinhaça dentro de lagoas de estabilização, reservando este volume para futuras aplicações e evitando o seu lançamento em cursos d'água. No entanto, a aplicação da vinhaça como fertilizante tem recebido restrições de legislações ambientais, quanto ao quantitativo a ser lançado em áreas de deposição e plantio.

Nas literaturas consultadas é possível identificar estudos que comprovam que a adição de vinhaça ao solo, em quantidades permitidas pela legislação, promove melhorias na estrutura das camadas de solo bem como no seu potencial produtivo. Uma prática já constatada sobre a utilização da vinhaça é a sua aspersão em áreas de estradas vicinais, localizadas dentro das próprias usinas sucroalcooleiras. A prática de aspersão tem sido comprovada empiricamente pela melhora do desempenho em relação às condições de tráfego, inclusive com eliminação e contenção de processos erosivos e já foi acompanhada por pesquisas de campo e de laboratório, demonstrando aumento significativo no valor do Índice Suporte Califórnia em solos com presença de teores de argila e silte, quando recebiam adição de vinhaça em substituição parcial da água de compactação; e apresentando melhoria na taxa de erodibilidade, após a submissão à saturação intensiva (BATISTA; SANTOS; SILVA, 2015).

Um dos problemas enfrentados pelas usinas sucroalcooleiras em relação a este subproduto é o seu volume excedente, que em muitas ocasiões permanece armazenado, sem destinação final adequada. A produção de etanol é expressiva o que confirma a importância de se desenvolver pesquisas para a avaliação do potencial de aplicabilidade de seu rejeito líquido, além de estabelecer parâmetros para a identificação da dosagem ótima a ser adicionada ao solo de modo a promover a melhoria da sua qualidade estrutural, contribuindo com a mitigação de processos erosivos e proporcionando a utilização sustentável deste subproduto.

OBJETIVOS

O objetivo do estudo foi mensurar a melhoria estrutural que o uso da vinhaça proporciona em solos advindos de áreas com processos erosivos instaurados. Para verificar a redução da taxa de produção de sedimentos nestes solos e a conseqüente erodibilidade foi feito um estudo comparativo entre amostras de solos testemunhas (que não receberam adição de vinhaça) e outras amostras que receberam dosagens diferenciadas de vinhaça. Foi utilizado o Aparelho de Inderbitzen, cujo ensaio realizado em laboratório consiste em simular um escoamento superficial sobre um corpo de prova, coletado de maneira a manter total semelhança às suas condições naturais, a uma dada vazão e inclinação, possibilitando a quantificação da taxa de perda de solo em intervalos de tempos pré-determinados, sob condições distintas de tensão cisalhante. Preconizado por Inderbitzen em 1961, o Aparelho permite medir a taxa de erodibilidade de uma amostra, seja esta compactada ou indeformada, sob diversas condições de declividade, vazão, tempo e umidade.

METODOLOGIA UTILIZADA

PRIMEIRA ETAPA: ESCOLHAS DAS ÁREAS DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICO DO SOLO

Para a aplicação da tecnologia proposta foi selecionado uma área no Estado de Goiás- Brasil, mostrada na Figura1. A área apresenta processos erosivos avançados no município de Goiânia. Na escolha do local de análise atentou-se ao fato de se garantir a distância segura de cursos d'água, de modo a atender a legislação ambiental vigente, pois se tem a pretensão de sugerir a aplicação de vinhaça em campo, a partir dos resultados positivos obtidos nesta pesquisa realizada em laboratório.

A área de estudo está situada próxima do Cemitério Parque Memorial da Paz, localizado na GO-020, Km 08, com coordenadas 16°44'12.3"S 49°09'42.9"W, a degradação advém do excesso de escoamento superficial de águas pluviais, provocada pela ineficácia do sistema de drenagem urbana da rodovia.



Figura 1: Erosão próxima a GO-020.

As amostras deformadas, que são destituídas da sua estrutura de origem, foram coletadas com o objetivo de caracterizar geotecnicamente os materiais estudados, foram efetuados diversos ensaios base como: análise granulométrica e de determinação de índices físicos, tais como: teor de umidade natural (ω), grau de saturação (S), porosidade (η), índice de vazios (e); massa específica aparente natural (γ), massa específica real dos grãos (γ_s), massa específica aparente seca (γ_d); e os limites de Atterberg: limite de liquidez (wl), limite de plasticidade (wp) e índice de plasticidade (I.P.).

A análise granulométrica por peneiramento e sedimentação foi realizada com base na norma ABNT NBR 7181/84 (Solo – Análise granulométrica), sendo classificada através da escala ABNT NBR 6502/95 (Rochas e Solos).

Já os ensaios de limites de Atterberg: limite de liquidez e limite de plasticidade foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 6459/84 (Solo – Determinação do limite de liquidez) e a norma NBR 7180/84 (Solo – Determinação do limite de plasticidade), respectivamente.

O peso específico real dos grãos, foi determinado com base na norma ABNT NBR6508/84 (Grãos de solo que passam pela peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica) através do método do picnômetro.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

A Tabela 1 apresenta os resultados referentes à análise granulométrica das camadas de solo estudadas e suas classificações geotécnicas.

Tabela 1: Resultado da análise granulométrica e classificação geotécnica.

Frações Granulométricas (%)					Classificação. Geotécnica		
A. Grossa	A. Média	A. Fina	Silte	Argila	H.R.B.	S.U.C.S.	FERET
1,01	10,11	44,01	25,24	19,64	A6	CL	Areia Siltosa

Os resultados apresentados revelam que o solo é predominantemente arenoso em sua granulometria, se enquadra no grupo dos solos finos, como argila siltosa (CL), segundo a classificação do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), derivado da classificação de Casagrande (1948), alicerçado nos resultados provenientes dos ensaios de granulometria, sedimentação e nos Limites de Atterberg (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade). Esta característica é advinda da natureza da rocha sedimentar matriz. A quantidade de finos do solo (silte + argila) é um pouco elevada devido à localização do horizonte escolhido para a retirada das amostras (horizonte B e B/C), isto decorre dos processos de pedogênese e intemperismo.

Na Tabela 2 podem ser comparados os resultados referentes aos índices físicos do solo estudado. É possível verificar que, quanto aos limites de consistência, o solo apresentou valor de plasticidade baixo, confirmando a sua composição granulometria mais arenosa e, portanto, com menor característica plástica.

Tabela 2: Resultado dos ensaios para determinação dos índices físicos e limites de consistência.

Índices físicos							Limites de Consistência		
ω (%)	γ (KN/m ³)	γ_s (KN/m ³)	γ_d (KN/m ³)	e	η (%)	S (%)	Wl (%)	Wp (%)	I.P. (%)
17,02	1,543	2,587	1,319	1,20	54,58	48,13	34,42	23,01	11,41

Obs.: ω - teor de umidade natural, γ - massa específica aparente natural, γ_s - massa específica real dos grãos, γ_d - massa específica aparente seca, e - índice de vazios, η - porosidade, S - grau de saturação, wl - limite de liquidez, wp - limite de plasticidade e I.P. - índice de plasticidade.

Com relação ao valor referente ao índice de vazios (e), próximo a 1, é característico de solos residuais tropicais, especialmente os arenosos.

Já em relação ao grau de saturação (S), constata-se o caráter não saturado dos solos estudados, com os valores situando-se abaixo de 100. Mais especificamente, de acordo com o IAEG (1979), solos classificados como naturalmente secos apresentam grau de saturação (S) de 0% a 25%. Solos denominados úmidos apresentam faixa classificatória de 25% a 50%. Já, os solos muito úmidos apresentam grau de saturação na faixa de 50% a 80%. Diante da escala apresentada, o solo estudado é classificado como úmido.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados provenientes da análise química do solo, que comprova que a vinhaça alterou de maneira positiva as propriedades do solo no quesito: disponibilidade de nutrientes, principalmente de potássio (K), aumentou o teor de matéria orgânica, CTC e atividade microbiológica.

A CTC representa a capacidade de liberação de vários nutrientes e sua ampliação favorece a manutenção da fertilidade do solo em virtude de se disponibilizar maior quantidade de cátions retidos na superfície das partículas do solo em condições permutáveis sendo benéfica para a detenção de mais nutrientes.

O tratamento do solo com vinhaça amplia o provimento de matéria orgânica rica em carbono e favorece o aumento da atividade microbiana, decorrendo no crescimento da massa microbiana, responsável pela redução do carbono orgânico da vinhaça, o que indica que não se deve esperar efeitos persistentes da matéria orgânica adicionada ao solo pela vinhaça.

Foi realizado o ensaio de pH da vinhaça, cujo valor resultante foi de 5,2, comprovando sua classificação como material ácido. O que vem a corroborar com os vastos estudos realizados. Já o pH do solo natural teve montante de 5,8. Os corpos de prova que tiveram aplicação de 100ml de vinhaça, 200ml de vinhaça e 300ml de vinhaça tiveram valores de pH que variam entre 5,6 a 5,9. (pH realizado em solução de CaCl₂). (MELISSA, 2007).

Tabela 3: Resultados da caracterização química do solo estudado na forma natural e tratado com vinhaça em dosagens distintas

cmolc/dm ³ (mE/100 mL)		Amostra de solo			
		Natural	Dose de 1mL.cm ⁻²	Dose de 2mL.cm ⁻²	Dose de 3mL.cm ⁻²
Ca		0,2	0,2	0,6	1,2
Mg		0,1	0,1	0,5	0,9
Al		0,0	0,0	0,0	0,0
H+Al		1,6	1,5	1,6	1,9
K		0,01	0,54	0,66	0,85
Micronu- trientes mg/dm ³ (ppm)	Zn	0,4	1,1	2,1	1,4
C.T.C.		1,91	2,34	3,36	4,85
Elemento/CTC	Ca	10,47%	8,55	17,86	24,74
	Mg	5,24	4,27	14,88	18,56
	K	0,52	23,08	19,64	17,53
	H+Al	83,77	64,10	47,62	39,18
Matéria orgânica g/dm ³		8,0	8,0	9,0	12,0
Carbono g/dm ³		4,64	4,64	5,22	6,96
pH		5,8	5,9	5,6	5,8

SEGUNDA ETAPA: APLICAÇÃO DA VINHAÇA E ENSAIO DO INDERBITZEN

No presente estudo também foram utilizadas amostras indeformadas - que conservam as condições de campo quanto à estrutura trata-se de uma parte do solo que se corta, retira-se e acondiciona-se com as menores alterações possíveis cobrindo-o para evitar perdas de umidade e rupturas. Foram retirados um total de 40 corpos de prova (CP) da primeira área de estudo para a realização dos ensaios de avaliação do teor de erodibilidade e da quantificação da taxa de produção de sedimentos desses solos.

Estes CPs que serão utilizados no ensaio do aparelho de Inderbitzen foram retirados ao se cravar um molde de chapa metálica, com 1,8 mm de espessura e dimensão de 10 x 10cm e altura de 5cm, acoplado a um extensor de mesma proporção para preservar a integridade da amostra e a rugosidade de sua parte superior. Na Figura 2 está ilustrada a cravação do molde para extração das amostras indeformadas. Para preservação das condições naturais de umidade e a proteção mecânica, os CPs foram envolvidos em filme plástico durante o transporte para o laboratório.



Fonte: Rios, 2015

Figura 2: Trabalho de campo -retirada de amostras indeformadas para ensaio de Inderbitzen.

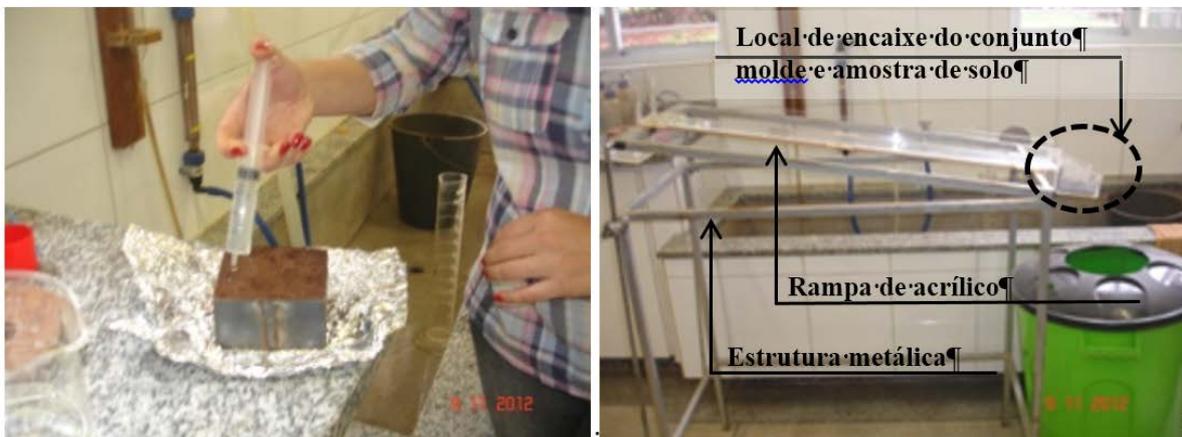
Como tratamento, em laboratório, foi efetuada aplicação de vinhaça em dosagens distintas em 20 CPs mostrados na Figura 3. Optou-se por aplicar $50 \text{ mL.semana}^{-1}$ de vinhaça sobre a superfície de cada uma das amostras, de modo a formar grupos com taxas de aplicação distintas de 1,0; 2,0 e $3,0 \text{ mL.cm}^{-2}$, tendo em vista que os CPs possuem uma área de 100 cm^2 conclui-se que a quantidade de líquido aspergido por corpo de prova é de 100 mL, 200mL e 300mL. Um outro grupo de 20 CPs recebeu como tratamento uma quantidade idêntica de água, com o intuito de possibilitar um estudo comparativo dos resultados obtidos, constituindo, portanto, as amostras testemunhas. A definição das dosagens de vinhaça foi amparada na norma da CETESB P4.231, que estabelece critérios e procedimentos para aplicação de vinhaça em solo agrícola (CETESB, 2014).



Figura 3: Corpos de prova (CP) de amostras indeformadas de solo com e sem aplicação de vinhaça.

Para a realização dos testes no Aparelho de Inderbitzen, foi aguardado um período de 21 dias após ter se atingido cada taxa estabelecida em mL.cm^{-2} de modo a se proporcionar um tempo de cura para melhorar as condições de agregação, ou seja, um período no qual a vinhaça penetra e reage quimicamente com o solo, melhorando as propriedades micro estruturais dos conjuntos distintos de CP, além de ocorrer a oxidação completa da matéria orgânica. (SABESP, 1997)

Para o uso do Aparelho de Inderbitzen, mostrado na Figura 4, foi estabelecida uma vazão constante de 150 mL.s^{-1} (Q), lida e mantida através do uso de rotâmetro modelo TRP 330-7-H-7 com escala de leitura estabelecida entre 30 e 300 mL.s^{-1} e um ângulo de inclinação da rampa de 10° (α), o que proporcionou uma altura de lâmina (h) de água de 4mm atuando constantemente sobre a amostra durante todo o ensaio. Cada CP foi ensaiado durante 20 minutos (T), sob vazão e inclinação constante e os sedimentos arrastados pelo escoamento superficial foram coletados por meio de peneira de malha 325. Os sedimentos recolhidos, em cada intervalo de 5 minutos, foram levados à estufa sob temperatura de 110°C , onde permaneceram por 24h e, em seguida, pesados em balança de precisão de 0,01g.



Fonte: Rios, 2015

Figura 4: Tratamento do CP e Aparelho de Inderbitzen

A identificação da tensão hidráulica cisalhante aplicada nos CPs durante o ensaio de Inderbitzen foi calculada de acordo com a Equação 1 e fator de erodibilidade conforme a Equação 2, apresentadas a seguir.

$$S = \gamma_w h \cos \alpha \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: S = tensão hidráulica cisalhante atuando na amostra (Pa)
 γ_w = peso específico da água
 α = ângulo de inclinação da calha (em relação à horizontal)
 h = altura da lâmina d'água atuando sobre a amostra

$$K = M_s / (A t S) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: K = fator de erodibilidade (10^{-2} g/cm²/min)
 M_s = massa de solo seco perdida no ensaio (g)
 T = tempo de ensaio (minutos)
 A = área da amostra (cm²)
 S = tensão hidráulica cisalhante atuando na amostra (Pa)

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

A vinhaça possui elementos fertilizantes e agregadores do solo, além de apresentar custo baixo de utilização, em uma possível aplicação futura, agindo na contenção e recuperação de área degradada por erosão. A mesma apresenta matéria orgânica, que é elemento necessário aos solos, para a fixação e desenvolvimento de vegetação, que se constitui como um fator relevante na retenção e proteção da camada superficial do solo contra a ação de intempéries e a ação devastadora do escoamento superficial. Perante os ensaios comprovou-se que a perda de sedimentos do solo que teve aplicação de vinhaça diminui substancialmente quando comparado com o solo natural.

O Aparelho de Inderbitzen constitui uma boa ferramenta laboratorial para identificar o comportamento dos materiais terrosos mediante à condição potencial de formação e desenvolvimento dos processos erosivos. O equipamento e a metodologia de ensaio permitem avaliar o comportamento superficial de solos submetidos à um fluxo de água, de modo a verificar a influência de fatores como a densidade do solo, sua umidade, a declividade do terreno, a vazão e a duração do fluxo, na grandeza de perda de material por processos erosivos. Como pode ser visto na literatura técnica, diversos pesquisadores (REGO, 1978; FÁCIO, 1991; SANTOS, 1997; BASTOS, MILITITSKY e GEHLING, 2000; FRAGASSI; MARQUES, 2001; SANTOS; SOBREIRA e COELHO NETO, 2002, SCAPIN.; PAIVA e. BELING PAIVA, 2006; CHUQUIPIONDO, 2007 e FERNANDES, 2011 e RIOS, 2015) têm utilizado o aparelho de Inderbitzen, para estudar a desagregação de partículas do solo, quando submetidas a escoamentos superficiais. O ensaio atualmente é muito utilizado nas áreas de estudo de ciências da terra e ambientais e ainda não possui normatização técnica perante a Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A Figura 5 representam a perda de solo seco acumulado do material erodido por unidade de área da amostra (g.cm²) e o tempo total de ensaio (minutos) no Inderbitzen. Pode ser observado, que a maior perda de solo ocorre nos primeiros 5 minutos de ensaio e após esse período mantém-se praticamente constante até o seu encerramento, aos 20 minutos. Ressalta-se que foi utilizado o termo acumulado, pois ocorreu, durante o tempo explicitado a soma dos pesos em gramas do solo erodido. A curva referente ao solo que recebeu a taxa de 1mL.cm⁻² de vinhaça está imediatamente abaixo da curva alusiva ao solo aspergido com 2mL.cm⁻² de vinhaça, indicando a paridade da perda de solo acumulado destas duas taxas de aplicações.

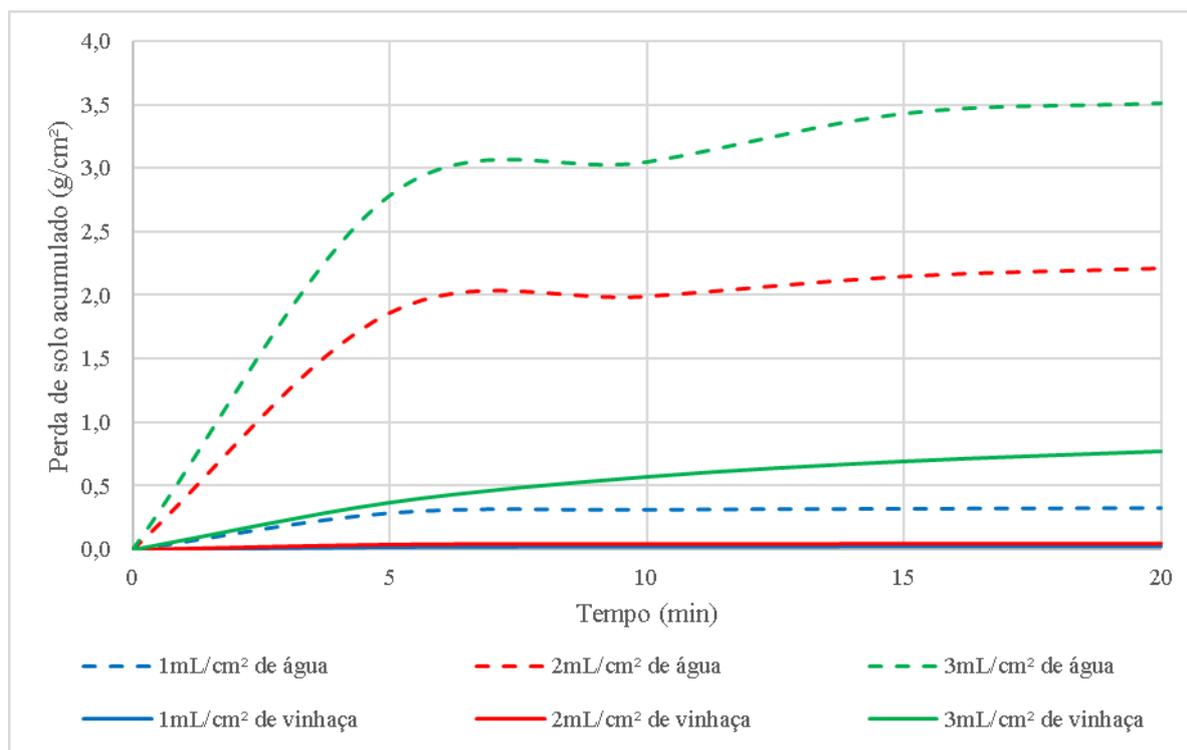


Figura 5: Curva típica da perda acumulada de solo por área de amostra versus tempo para o ensaio Inderbitzen.

Os ensaios de Inderbitzen foram realizados visando à quantificação da erodibilidade do solo e, também, a avaliação do efeito da vinhaça nas amostras sobre a susceptibilidade à erosão hídrica.

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes aos ensaios de Inderbitzen. É importante enfatizar os valores alusivos à perda de solo, pois a diferença observada entre as amostras tratadas com aplicações de água e com vinhaça são evidentes. Em decorrência dos efeitos obtidos pela aplicação da vinhaça é possível afirmar que a melhor taxa de aplicação foi 2,0ml.cm⁻², pois o fator de erodibilidade (K) que recebeu água é 56 vezes maior que o C.P com aspersão de vinhaça.

Tabela 4: Resultados dos ensaios de Interbitzen – Perda de solo (g.cm⁻³.min⁻¹) e Fator de erodibilidade (10⁻² g.cm⁻².min⁻¹) referentes a cada dosagem.

Volume de material no C.P.	Perda de solo (g.cm ⁻² .min ⁻¹)	K (10 ⁻² g/cm ² /min)
100 mL de água	16,08	0,041
100 mL de vinhaça	1,38	0,003
200 mL de água	110,39	0,280
200 mL de vinhaça	2,085	0,005
300 mL de água	175,63	0,446
300 mL de vinhaça	38,39	0,097

Analisando a Figura 6, é possível constatar que a vinhaça aplicada no solo diminuiu drasticamente a perda de sedimentos causados pelo escoamento superficial, o gráfico demonstra o percentual de massa em gramas erodido em relação a massa total inicial do corpo de prova. Vale ressaltar que a vinhaça formou uma película protetora superficial no solo.

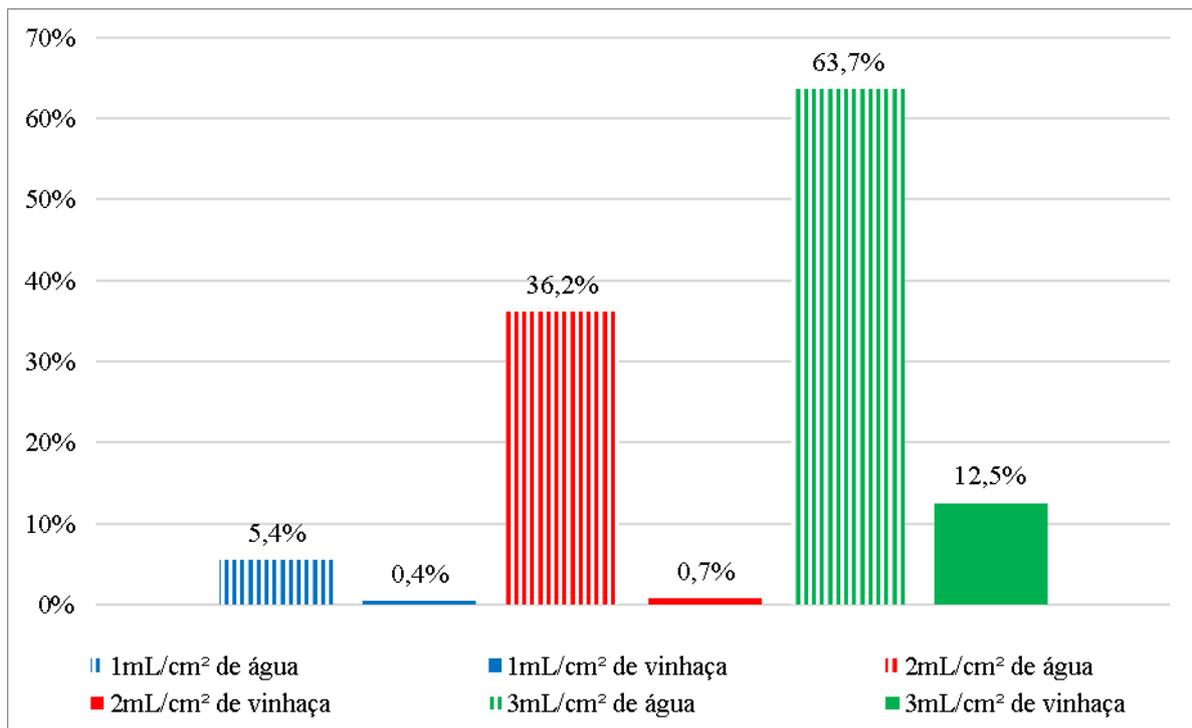


Figura 6: Gráfico comparativo da perda percentual média em massa seca do material erodido.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A vinhaça, apesar das restrições de aplicação segundo a legislação ambiental, é um material viável e alternativo para a mitigação de processos erosivos instaurados em áreas as quais é permitida a sua aplicação;

A dosagem mais apropriada de aplicação da vinhaça no solo é de 2,0 ml/cm², já que esta apresenta uma maior eficiência sendo o fator de erodibilidade reduzido 56 vezes em relação ao solo apenas umidificado com água;

É possível reduzir a taxa de erodibilidade do solo ao se aplicar qualquer uma das concentrações de vinhaça escolhidas para estudo. Pode-se comprovar a redução do desgaste superficial dos solos, advinda da aplicação da vinhaça, assim como a aspersão deste líquido em estradas vicinais, também já havia demonstrado de maneira empírica as vantagens para a melhoria na conservação destas vias e redução de processos erosivos;

Em relação à contaminação do solo pela vinhaça, já que segundo a literatura, sabe-se que esta possui uma DBO elevada, um pH baixo, riqueza em matéria orgânica, e potássio, constatou-se que a parte inferior dos corpos de provas tiveram pouquíssimas alterações em suas características químicas.

Os custos de uma possível aplicação em terreno natural são baixíssimos, já que a vinhaça é um rejeito, pode ser adquirida a cotações reduzidas, precisando se considerar apenas os valores para o seu transporte e lançamento.

A pesquisa pretendia confirmar a melhoria da qualidade do solo, em termos de coeficiente de erodibilidade, e, conforme os ensaios e estudos executados, atingiu-se o perfeito objetivo. A aplicação da vinhaça em solos com processos erosivos instaurados é, portanto, uma forma factível de se amainar a degradação superficial do solo. Assim, em virtude dos bons resultados aqui obtidos o estudo terá continuidade. Assim será escolhida uma outra área de investigação que apresente solo com características físicas distintas ao solo aqui analisado de modo a possibilitar a confirmação dos resultados benéficos de aplicação de vinhaça em solos com características variadas.

AGRADECIMENTOS

O grupo de pesquisadores agradece ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás pelo apoio financeiro através do Programa de Bolsas de Inovação Tecnológica (PIBIT) e ao Núcleo de Estudos e Pesquisas em Engenharia Civil e Meio Ambiente – ENCIMA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1968. 6p.
2. _____. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995. 18p.
3. _____. NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4.8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 8p.
4. _____. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984. 3p.
5. _____. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984. 13p.
6. BASTOS, C.A.B. MILITITSKY, J. GEHLING W. A avaliação da erodibilidade dos solos sob o enfoque geotécnico – pesquisas e tendências. Teoria e Prática na Engenharia Civil. No. 1, p.17-25, Nov., 2000
7. BATISTA, C.S.; SANTOS, K.T.; SILVA, S.G. Estudo sobre a influência da adição de vinhaça no comportamento do mini CBR de solos finos da região de Goiânia. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso Superior de Tecnologia em Construção de Vias Terrestres. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia. 2015.
8. BRONICK, C.J. E LAL, R. Soil structure and management: A review. Geoderma, 124:3-22, 2005.
9. CARVALHO, José Ruy Porto de; SILVEIRA, Pedro Marques da E VIEIRA, Sidney Rosa. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
10. CASAGRANDE, A. Classification and Identification of Soils. Transactions American Society of Civil Engineers, Vol. 113, p. 901-991, 1948.
11. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola: P4.231. São Paulo, 2015.
12. CHUQUIPIONDO, I.G.V. Avaliação da estimativa do potencial de erodibilidade de solos nas margens de cursos de água: estudo de caso trecho de vazão reduzida Capim Branco I Araguari Minas Gerais. Dissertação de mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
13. FÁCIO, J. A. Proposição de uma Metodologia de Estudo da Erodibilidade dos Solos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília, DF, 120p. 1991.
14. FERNANDES, J.A. Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentim, RS. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
15. FRAGASSI, P.F.M; MARQUES, E.A.G. Desenvolvimento de uma nova versão do aparelho Inderbitzen. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia. 2001.
16. GOVERNO DE GOIÁS. Relevo. Disponível em: < <http://www.goias.gov.br/paginas/conheca-goias/aspectos-fisicos/relevo>>. Acesso em: 01 de dez. 2016.
17. IAEG COMMISSION “ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING” *Classification of rocks and soils for engineering geology mapping. Part 1: rock and soil materials. Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, Krefeld, v.19, p. 364-371, 1979.
18. INDERBITZEN A.L. An erosion test for soils. Mater Research Stander 1(7):553–554. 1961.
19. KLINK, C. A.; MACHADO, R.B. A conservação do Cerrado brasileiro. Megadiversidade, v. 1, n. 1, jul. 2005.
20. OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E. e LUNA, J. G. de.. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, n.4, p.783-789, 1999.
21. REGO, J.J.V. Erosão superficial em taludes de corte em solo residual de gnaiss. Dissertação de mestrado em ciências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1978.
22. RIOS, F. P. Capacidade de suporte de cursos d’água urbanos sob a perspectiva técnica e epistemológica da Engenharia. Tese de Doutorado, Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. 108p
23. SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio: NTS 003. São Paulo, 1997.

24. SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M. & BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 32:11-21, 2008.
25. SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento sem detalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.
26. SILVIA C.; Rigon J. P. G.; Napoleão E. de M. B; BRITO F. J. N. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, P. v.16, n.12, p.1269–1274, 2012.
27. SILVA, Mellissa A. S. da; GRIEBELER, Nori P. E BORGES, Lino C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.11, n.1, p.108–114, 2007.
28. SOUZA, L. da S.; COGO, N.P. E VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.21, n.3, p.367-372, 1997.
29. TRANGMAR, B.B. *Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy*, San Diego, v.38, n.1, p.45-94, 1985.