

# ■ AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE MISTURAS ■ SOLO – RCC PARA CAMADA DE REVESTIMENTO ■ PRIMÁRIO EM ESTRADAS RURAIS NÃO PAVIMENTADAS UTILIZANDO O EQUIPAMENTO DE INDERBITZEN MODIFICADO

*EVALUATION OF THE ERODIBILITY OF SOIL – DEMOLITION WASTE MIXTURES  
FOR PRIMARY LAYER ON UNPAVED RURAL ROADS USING MODIFIED  
INDERBITZEN EQUIPMENT*

*ANA LUIZA CAOVILO KAIBER*

*Engenheira Civil, Univ. do Est. de Mato Grosso, Sinop, analuizacaovilla@gmail.com*

*EDUARDO ROSENDO LUCENA*

*Engenheiro Civil, Univ. do Est. de Mato Grosso, Sinop, eduardo.luc@outlook.com*

*RAUL TADEU LOBATO FERREIRA*

*Professor Auxiliar II, Univ. Fed. de Mato Grosso, Barra do Garças, raullobato@ufmt.br*

*AUGUSTO ROMANINI*

*Professor, Facisas - Universidade de Cuiabá, augusto.romanini@gmail.com*

## RESUMO ABSTRACT

Este trabalho avaliou o efeito da erodibilidade de um solo da região de Sinop – MT e de sua mistura com RCC (Resíduo da Construção Civil). Três misturas foram ensaiadas, sendo elas o solo puro (M01), o solo com adição de 25% de RCC (M02) e o solo com adição de 50% de RCC (M03). As misturas foram ensaiadas em três condições: (i) sem imersão; (ii) imersão parcial e (iii) imersão total. O estudo foi realizado com amostras compactadas no teor de umidade ótimo ( $w_{ot}$ ) e na Energia Proctor Normal. Um aparelho para a execução do ensaio de Inderbitzen Modificado foi construído, utilizando materiais simples e acessíveis como tubos e peças de PVC, grelha de churrasco e chuveiro. Este aparelho, por sua vez, tem a função de avaliar em laboratório, através da perda de massa, a erosão causada pela água. Foi possível verificar que grande parte das amostras apresentam comportamento não erodível, e que a adição do resíduo acarretou no aumento

This research evaluated the effect of the erodibility of a soil of the Sinop – MT region and its mixture with CDW (Construction Demolition Waste) for application in primary covering layers of unpaved roads. Three mixtures were tested, being the soil pure (M01), soil with addition of 25% of CDW (M02) and soil with 50% addition of CDW (M03). The mixtures tested under three conditions: (i) without immersion; (ii) partial immersion and (iii) total immersion. The study was carried out with samples compacted in the optimum moisture content ( $w_{ot}$ ) and Normal Energy Proctor. An apparatus for the execution of the Modified Inderbitzen test constructed using simple and accessible materials such as pipes and PVC parts, barbecue grille and shower. This apparatus, in turn, has the function of evaluating in the laboratory, through the loss of mass, the erosion caused by water. It was possible to verify that most of the samples presented non-erodible

da erodibilidade das amostras. As amostras que foram submetidas a imersão parcial obtiveram uma melhor resposta. No entanto para esta situação a aplicação do RCC para este tipo de solo é considerada inadequada.

**Palavras-chave:** Erodibilidade, Inderbitzen Modificado, solo – RCC.

## 1 INTRODUÇÃO

O principal fator que contribui para a deterioração da qualidade das estradas não-pavimentadas é o fluxo de água, que traz consigo a erosão e perda da capacidade de suporte (formação de barro) e arrastamento de pedaços inteiros do trecho (JOHANNESSEN, 2008).

As principais alternativas para o controle da erosão são o bom planejamento geométrico da pista, com declividades suaves e desaguadouros com capacidade para escoar a água incidente e a garantia de que os solos sejam resistentes. Contudo, muitos solos, são altamente erodíveis, um fato que necessita correção. As alternativas são a retirada do material local e reposição com um material adequado ou a estabilização dos solos locais.

Estradas não-pavimentadas são entendidas como aquelas que não passaram por nenhum processo de pavimentação, ou seja, constituídas apenas por materiais granulares (solo e agregados). Sua construção se dá através da retirada da camada orgânica superior, e posterior nivelamento da camada de solo inferior. Oda (1995) afirma que o processo de construção, no geral, utiliza o solo local como seu principal constituinte, com ou sem adição de agregado granular. Nessa situação, as estradas podem ser submetidas a ações externas e internas, que podem afetar o material que compõem o revestimento realizado com materiais granulares. Situação semelhante pode ocorrer em taludes de corte e aterro, porém com maiores inclinações da superfície.

Um dos agentes que atua de diversas formas é a água. A ação da água pode atuar tanto aumentando as poropressões, com a elevação do lençol freático, quanto causando erosões na camada superficial do aterro, devido à precipitação. Da camada de revestimento primário, espera-se que ela seja resistente às solicitações que são impostas

behavior, and that the addition of the residue led to an increase in the erodibility of the samples. Samples that submitted to partial immersion obtained a better response. However, for this situation the application of CDW for this type of soil considered inadequate.

**Keywords:** Erodibility, Modified Inderbitzen, soil – CDW

pela ação da água no âmbito externo, conhecida popularmente como erosão.

O revestimento primário pode ser constituído pelo mesmo material que compõe o subleito da estrada ou ser confeccionada uma mistura granulométrica, em ambos os casos acompanhado do procedimento de compactação. Outra alternativa é a execução de mistura de solo com aditivos químicos, como cimento ou a cal para melhores condições de estabilidade e durabilidade.

A criação de mistura de solo com outros materiais tem-se apresentado interessante, pois na maioria dos casos se obtém um material com qualidades que o solo natural não tinha. Esse processo de estabilização já foi estudado com diversos aditivos em dois solos da região de Sinop – MT. Uma das misturas que se têm mostrado relevante é a mistura de Resíduos de Construção Civil (RCC) em solos visando alterar as suas características.

A mistura solo – resíduo de construção civil é interessante pois visa a reutilização de um material que ainda pode ter um valor agregado e que é gerado constantemente. Analogamente a esse processo, existe uma preocupação ambiental que se caracteriza pela grande quantidade de resíduo produzido, pela falta de um local adequado para a disposição do mesmo e pelo grande volume que é ocupado na sua disposição (DIAS,2014)

Existem diversos ensaios para se determinar a erodibilidade de um solo, porém, todos eles visam identificar características do solo e proporcionam informações para o entendimento destas características. A erodibilidade pode ser analisada em campo, como também, através de ensaios de laboratório como os ensaios de Inderbitzen e Inderbitzen Modificado, cujos resultados permitem propor soluções viáveis e de cunho sustentável para problemas que envolvem a erodibilidade do solo e os processos erosivos. O ensaio de Inderbitzen Modificado foi proposto por Freire (2001) com

o objetivo de simular o efeito das gotas de chuva chamado efeito “*splash*”.

O efeito “*splash*” ou erosão por salpicamento, é caracterizado por Guerra e Mendonça (2004) como sendo o início do processo erosivo. A desagregação ocorre pela colisão das gotas da chuva contra um solo exposto e sem vegetação. Este impacto causa uma pequena compactação das partículas do solo (selagem do solo) que dificultam a infiltração da água da chuva originando-se assim irregularidades na superfície do terreno que consequentemente, geram poças com acúmulo de água. Quando essas poças saturam, ocorre o início do processo de escoamento superficial. A erosão por salpicamento tende a ser limitada após a selagem do solo.

Dessa forma avaliou-se o potencial de erodibilidade de um solo puro e duas frações de adição de RCC em um equipamento simplificado construído utilizando materiais acessíveis. O equipamento construído para o desenvolvimento desse trabalho permite que se adotem inclinações para o escoamento superficial, que simulam a inclinação do pavimento

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação e caracterização das amostras

#### 2.1.1 Solo

O solo utilizado neste trabalho é comumente conhecido como “amarelo”, e foi coletado em um trecho de uma estrada vicinal do município de Sinop, MT, em um ponto situado a cerca de 500 metros do eixo da rodovia MT - 423, nas coordenadas geográficas 11°45'29.3"S 55°22'31.9"W. A coleta foi feita no segundo semestre do ano de 2014, a uma profundidade entre 0,60 e 1,00 m. Após a coleta, o material foi levado ao Laboratório de Engenharia Civil da UNEMAT. O solo foi seco ao ar, peneirado na peneira de 4,8 mm (n° 4) e armazenado em tambores metálicos.

#### 2.1.2 Resíduo

Os resíduos de construção civil foram coletados em obras do município de Sinop. Os resíduos forma britados de forma mecânica, utilizando um

britador disponibilizado por uma empresa local. A escolha da faixa granulométrica seguirá a utilizada por Alves e Benatti (2015), ou seja, a fração areia, o intervalo utilizado é do passante na peneira n°10 (2,00 mm) até o retido na peneira n°200 (0,076 mm) conforme a ABNT (1984c).

#### 2.1.3 Preparação das misturas

Com o solo e o RCC foram confeccionadas 3 misturas, denominadas M01, M02 E M03. A Mistura M01 é composta apenas de solo, a Mistura 02 possui 75% Solo e 25% RCC e a Mistura 03 é composta por 50% Solo e 50% RCC. Todas as adições foram feitas em função da massa seca do solo.

As amostras foram denominadas de M01, M02, M03 e o RCC, respectivamente e, posteriormente, foram caracterizadas, através dos ensaios de determinação do limite de liquidez (ABNT, 1984a), determinação do limite de plasticidade (ABNT, 1984b) e análise granulométrica (ABNT, 1984c). Os parâmetros de compactação utilizados foram obtidos por Alves e Benatti (2015) utilizando a Energia Proctor Normal.

### 2.2 Ensaio de Inderbitzen Modificado

Este ensaio se caracteriza pela simplicidade de análise dos resultados. Para realização do ensaio, foram realizadas algumas alterações no equipamento e na preparação dos corpos de prova. A ideia original de Inderbitzen (1961) consiste em o uso de um fluxo de água sobre uma rampa, o ensaio de Inderbitzen Modificado por sua vez, simula o efeito da precipitação sobre a mistura. O equipamento utilizado nos ensaios é descrito no item 2.3.

Por se tratar da primeira avaliação, optou-se por realizar o ensaio utilizando a inclinação de 20° proposta por Freire (2001) e utilizada por Grandó (2011). A inclinação da rampa pode ser ajustada diretamente no equipamento. A baixa inclinação visou atender as situações de rodovias não pavimentadas que podem ser atendidas pelo revestimento primário.

A vazão escolhida foi fixada em 50 mL/s, foi escolhida conforme proposto por Ide (2009) que corresponde a uma precipitação de 28 mm em 30

minutos no município de Bauru – SP. A escolha da mesma vazão se justifica pelo fato de diversos autores a utilizarem e ainda ser a vazão que proporciona o melhor desempenho do equipamento.

O ensaio foi baseado no proposto por Campos (2014), onde cada amostra é submetida um fluxo de água por cerca de 30 minutos e o material erodido é coletado nos intervalos decorridos de 1, 5, 10, 15 e 30 minutos. O material coletado é armazenado em recipientes limpos e secos, e então feita a separação do solo e da água em um conjunto de peneiras nº50 (0,297 mm), nº100 (0,150 mm), e nº200 (0,074 mm) e posteriormente secos em estufas e pesados.

As misturas M01, M02 E M03 foram preparadas e moldadas em corpos de prova cilíndricos, de PVC rígido, com diâmetro interno de 10 cm e altura de 5 cm. As amostras foram compactadas no teor de umidade ótimo obtido através do ensaio de compactação utilizando a Energia Proctor Normal. Devido à altura do cilindro, a compactação foi feita utilizando 2 camadas e aplicando 26 golpes em cada, utilizando o grau de compactação de no mínimo 95% como parâmetro de controle das amostras.

Foram confeccionadas 27 amostras, sendo 9 para cada mistura, que antes do procedimento no equipamento de Inderbitzen Modificado foram submetidas a um período de 48 horas de secagem ao ar. De cada conjunto, 3 amostras foram submetidas diretamente ao ensaio, denominado de Caso A). As outras 6 foram submetidas a um procedimento que visa reduzir o efeito da sucção, 3 amostras foram submetidas a uma imersão prévia de metade da altura das amostras, denominado de Caso B) e as outras 3 foram submetidas a uma imersão prévia total, denominado de Caso C). O processo de imersão terá duração de 15 minutos, conforme sugerido por Ide (2009).

Segundo Heidemann (2008), a quantificação da erodibilidade considera que um solo é tido como erodível (E) quando mais de 5% da sua massa inicial é desagregada durante o ensaio. Caso contrário o mesmo é classificado como não erodível (NE).

A erodibilidade será calculada pela Equação 1:

$$e = \frac{P_{tes}}{P_t} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

e = Erodibilidade do solo (%);

$P_{tes}$  = Peso total do solo seco perdido no ensaio (g);

$P_t$  = Peso total da amostra (g).

### 2.3 Equipamento de Inderbitzen modificado

O equipamento utilizado no ensaio de Inderbitzen Modificado, foi baseado e construído segundo a proposta de Higashi (2006), porém o aparelho foi adaptado pelos autores. A proposta inicial foi desenvolvida por Kaiber e Romanini (2017), que foi posteriormente refinada.

O equipamento (Figura 1) tem seu corpo construído utilizando tubos e conexões de PVC e a rampa de ensaio é uma grelha de aço inox, o intuito é que o equipamento possa ser desmontado e acondicionado para transporte ou armazenamento de forma prática. Optou-se por dividir a estrutura em 3 peças principais compostas de tubos e conexões de PVC e 2 conjuntos acessórios, um sendo a grelha de aço inox (grelha de churrasco) e outro o sistema de coleta do solo e remoção da água. As três peças principais denominadas de A, B e C, e os acessórios denominados peças D, que coleta a água durante o ensaio, a E que suporta a peneira, e a grelha de suporte para amostra. Foram feitos dois recortes nas tubulações, um na peça B2 para encaixe da haste rosqueada que ajusta a angulação e na peça C é feito os recortes para encaixe conforme a grelha escolhida.

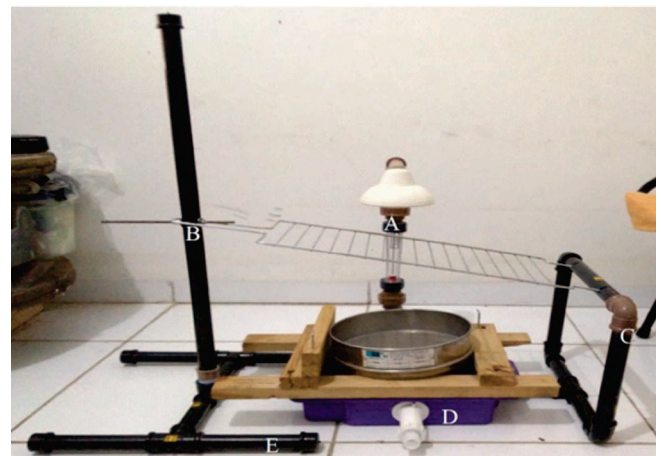
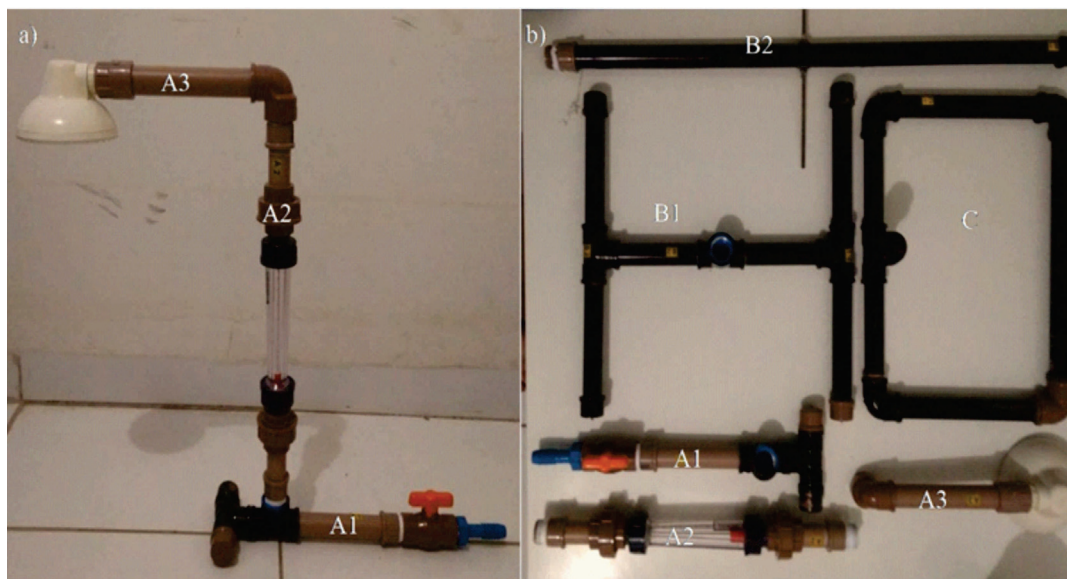


Figura 1. Equipamento montado.

A Figura 2a traz o detalhe da peça A e suas três partes, onde A1 é a base com o registro, A2 é a parte de sustentação do chuveiro e medidor de vazão e A3 é o sistema de simulação da precipitação. Na Figura 2b, pode -se observar os detalhes

da peça B, dividida em B1 E B2, a peça C e as 3 divisões da peça A.

A Tabela 1 apresenta a listagem dos itens utilizado para compor as peças A, B e C do equipamento.



**Figura 2.** a) Peças “A” do Equipamento de Inderbitzen Modificado. b) Peças “A”, “B” e “C” do equipamento de Inderbitzen Modificado desmontadas.

**Tabela 1.** Lista de elementos que compõem o equipamento.

Peça Item	A			B		C	Total
	A1	A2	A3	B1	B2	C1	
Adaptador soldável com bolsa e rosca 25 mm x 3/4” (un)	1	2	-	1	-	-	4
Cano PVC - 25 mm (m) *	0,225	0,15	0,15	0,75	0,9	0,7	2,9
Cap Soldável 25 mm (un)	2	-	-	1	4	1	8
Chuveiro Água fria (un)	-	-	1	-	-	-	1
Conexão para mangueira Redução 3/4” X 1/2” (un)	1	-	-	-	-	-	1
Joelho 90° Soldável com Bucha de Latão 25 mm x 3/4” (un)	-	-	1	-	-	-	1
Joelho de 90° Soldável 25 mm (un)	-	-	1	-	-	4	5
Luva Soldável com rosca interna 25 mm x 1/2” (un)	-	-	1	-	-	-	1
Luva União Soldável 25 mm (un)	-	2	-	-	-	-	2
Níple Rosca Branco Paralelo 1/2” (un)	-	-	1	-	-	-	1
Registro Esfera rosca externa 3/4” (un)	1	-	-	-	-	-	1
Rotâmetro - Medidor de Vazão (un)	-	1	-	-	-	-	1
Tê Soldável com Bucha de Latão na Bolsa Central 25 mm x 3/4” (un)	1	-	-	-	1	-	2
Tê Soldável Simples 25 mm (un)	1	-	-	-	2	1	4

Onde: (un) – Unidade. \*Observação sobre recortes: Peça A1 recorte 0,225 m de tubulação em 1 recorte de 0,15 m e 3 de 0,025m; Peça B2 recorte 0,60 m de tubulação em 6 recortes de 0,15 m; Peça C recorte 0,70 m de tubulação em 2 recortes de 0,15 m, 2 de 0,20 m, 1 de 0,30 m e 1 de 0,05 m

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1 Caracterizações geotécnicas das misturas

A caracterização geotécnica para as três misturas e do RCC são apresentados pela Tabela 2. A amostra M01 (solo puro) é uma argila de baixa plasticidade com presença de areia, classificada como A-6 de acordo com AASHTO-TRB, e CL, de acordo com o sistema de classificação UCS.

A adição de RCC não altera a classificação AASHTO-TRB das misturas, entretanto houve uma redução nos valores de LL, e uma pequena variação do IP. Tal fato não ocasionou alterações na classificação SUCS.

O RCC por sua vez pode ser caracterizado como uma areia com presença de argila. Cabe ressaltar que “a presença de argila” se refere às dimensões dos grãos após o processo de britagem, e não partículas de argila propriamente dita.

**Tabela 2.** Caracterização Geotécnica das misturas.

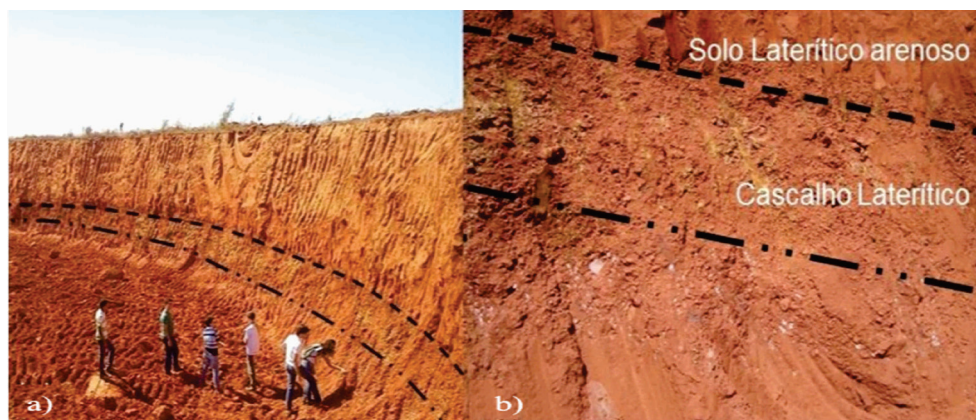
Amostra	AG(%)	AM(%)	AF(%)	S+A(%)*	LL(%)	IP(%)	SUCS	TRB	w <sub>ot</sub> **	**
M01	7	37	17	39	38	25	CL	A-6	21,1	15,70
M02	10	39	21	30	30	20	CL	A-2-6	15,3	17,65
M03	18	36	18	28	24	NP	CL	A-2-4	12,8	16,67
RCC	21	53	12	14	NL	NP	SC	A-2-4	18,2	15,69

Nota: \* Classificação segundo a ABNT (1995): Onde: AG – areia grossa ( $0,60 \leq \phi < 2,00$  mm), AM – areia média ( $0,20 \leq \phi < 0,60$  mm), AF – areia fina ( $0,06 \leq \phi < 0,20$  mm) e S+A – silte + argila ( $\phi \leq 0,074$  mm). LL – Limite de Liquidez, IP – Índice de Plasticidade. SUCS – Sistema Unificado de Classificação do Solo, TRB – Transportation Research Board, W<sub>ot</sub> – Teor de umidade ótimo, – Peso específico seco máximo. \*\* Dados obtidos por Alves e Benatti (2015)

O solo foi coletado em uma região que pertence à Bacia do Parecis uma das oito bacias sedimentares Fanerozóicas do Brasil. A Bacia é formada por uma área de 500.000 km<sup>2</sup> nos estados de Rondônia e Mato Grosso, com mais de 6.000 metros de sedimentos Paleozoicos, Mesozoicos e Cenozoicos (BAHIA, 2007).

Apesar de pertencer a Bacia do Parecis, as unidades litoestratigráficas que caracterizam o solo do município são de formação mais recente.

Um processo que ocorre na região é a formação de camadas de concreções lateríticas, formadas pelo processo de aumento e rebaixamento do lençol freático, que proporciona a criação de óxidos e consequentemente aglutinação de partículas, essa ocorrência propicia a formação de um solo de classificação como solo tropical laterítico. A Figura 3 possibilita visualizar uma camada de cascalho laterítico de ocorrência na região.



**Figura 3.** Jazida de Cascalho da Prefeitura Municipal de Sinop. (a) Demonstração do volume de solo laterítico arenoso existente (b) Disposição do cascalho na jazida.

O solo amarelo possui algumas informações geológicas que podem auxiliar em uma análise mais abrangente dos dados. A classificação foi realizada por Guimarães e Benatti (2016) utilizando ensaios de raio-X e fluorescência de raio-X. O ensaio foi conduzido com o solo da amostra M01 passante em malha nº200 (0,074 mm), em

fração total natural com preparação em pastilha plástica. As fases minerais principais identificadas na amostra são gibbsita  $[Al(OH)_3]$ , nacrita  $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$  e quartzo  $[SiO_2]$ . A Tabela 3 apresenta a análise química de elementos maiores do solo sem adição de RCC.

**Tabela 3.** Análise química de elementos maiores da amostra de solo.

Compostos Químicos			
(%)			
SiO <sub>2</sub> (óxido de silício)	26,99	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (óxido de fósforo)	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de alumínio)	42,27	K <sub>2</sub> O (óxido de potássio)	0,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de ferro)	6,06	MnO (óxido de manganês)	0,01
TiO <sub>2</sub> (óxido de titânio)	2,48	Na <sub>2</sub> O (óxido de sódio)	0,01
CaO (óxido de cálcio)	0,07	LOI ( <i>Loss on ignition</i> )	21,98
MgO (óxido de magnésio)	0,06	-	-

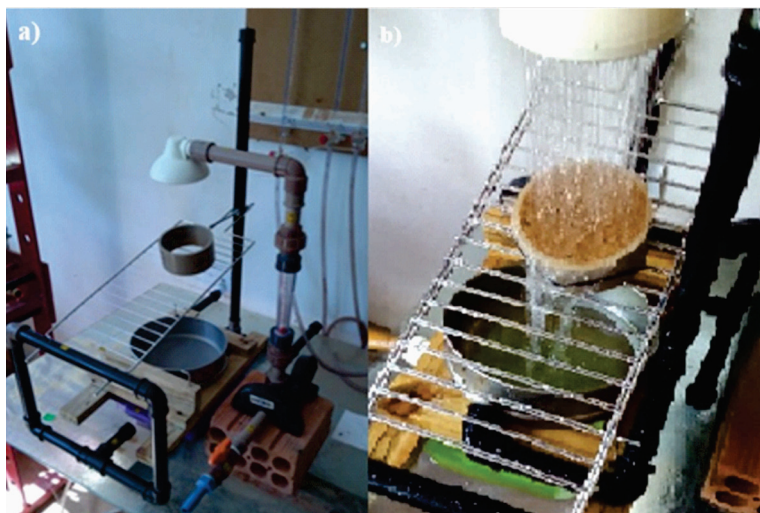
Dados adaptados de Guimarães e Benatti (2016).

Ainda que o solo seja predominante argiloso conforme a classificação unificada, a microagregação das partículas de silte e argila devido à ação da gibbsita com a contribuição da acidez do solo puro favorece a porosidade do solo, essa porosidade pode estar associada a perda de massa. A porcentagem de LOI (*Loss on ignition*) de 21,98% indica a perda de massa durante o aquecimento da amostra. Os compostos químicos obtidos na fluorescência de raio - X presentes na Tabela 3 traduz os efeitos da hidrólise, resultados da reação

química predominante em solos tropicais intensamente intemperizados.

### 3.2 Resultado do ensaio de erodibilidade

Os ensaios realizados no aparelho de Inderbitzen Modificado (Figura 4a) simulam em laboratório o efeito da água da chuva ao cair sobre o solo, denominado efeito “splash” (Figura 4b) ou erosão por salpicamento e define o início do processo erosivo.



**Figura 4.** a) Equipamento configurado para o ensaio e b) detalhe do efeito splash.

De cada conjunto ensaiado de três amostras foi calculada a média aritmética simples dos resultados. As amostras foram compactadas com grau de compactação entre 95% e 99% Optou-se por conduzir a análise utilizando os 3 casos na seguinte sequência: Caso A, sem imersão; Caso B, com imersão parcial; e Caso C, com imersão total.

A Figura 5 apresenta o Caso A e a perda de massa que ocorreu durante o ensaio. As três misturas têm comportamento similar. Nesta situação observa-se uma resposta melhor a mistura M02, porém próxima a mistura M01 até o tempo de 10 minutos de ensaio. A mistura M03 tem a perda de massa acumulada bem superior se comparada com as outras duas, sendo a sua perda de massa acumulada ao fim dos 30 minutos de ensaio aproximadamente o dobro da melhor mistura para este caso.

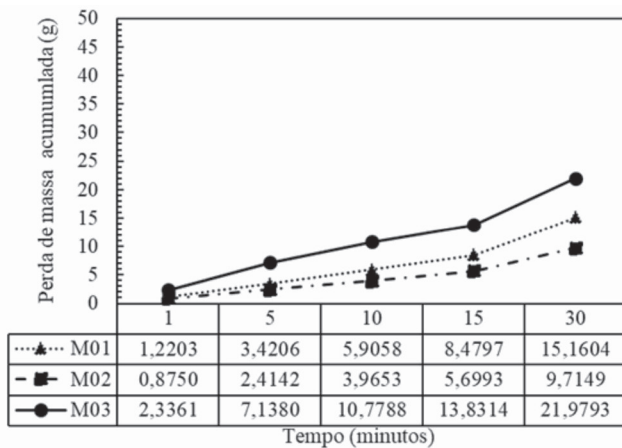


Figura 5. Caso A - Sem imersão.

Para o Caso B, ilustrado na Figura 6 pode-se observar que a imersão parcial influenciou na perda de massa durante o ensaio. Acredita-se que a melhora desse desempenho possa estar associada a sucção gerada durante o processo de imersão parcial. A mistura M01 tem o melhor desempenho para situação. A mistura M02 apresenta comportamento semelhante a M01, apresentando o dobro de perda de massa nos 5 primeiros minutos de ensaio e ao fim do ensaio a perda é cerca de 45% maior. Assim como no caso A a mistura M03 apresenta a maior perda de massa durante todo o processo de ensaio, perdendo quase três vezes mais que a melhor condição para este caso.

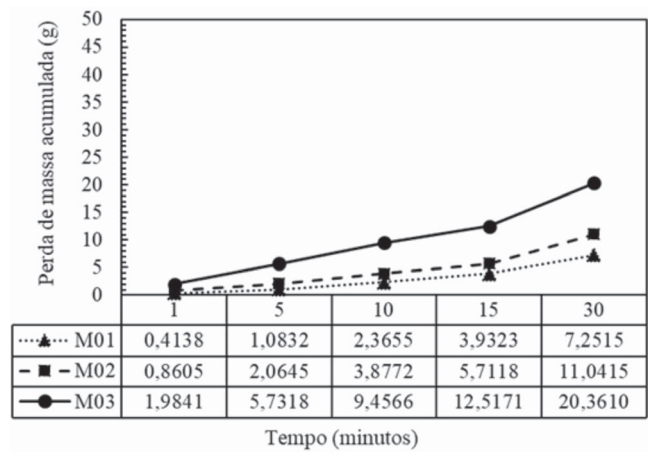


Figura 6. Caso B - Imersão Parcial.

Quando as amostras são submetidas a imersão total, Caso C (Figura 7), verifica-se que nos primeiros minutos de ensaio, a mistura M03 perde uma quantidade de massa muito maior que as demais misturas (M01 e M02). Tal comportamento pode ser justificado pelo fato do RCC adicionado possuir exclusivamente fração areia, que após o processo de imersão, devido à falta de coesão acabam se desprendendo da mistura. A mistura M02 perde cerca de 50% a mais de solo no primeiro minuto de ensaio do que a mistura M01, porém, essa perda é atenuada e acaba demonstrando o mesmo comportamento ao final do ensaio. Neste caso a M01 também apresenta um bom comportamento.

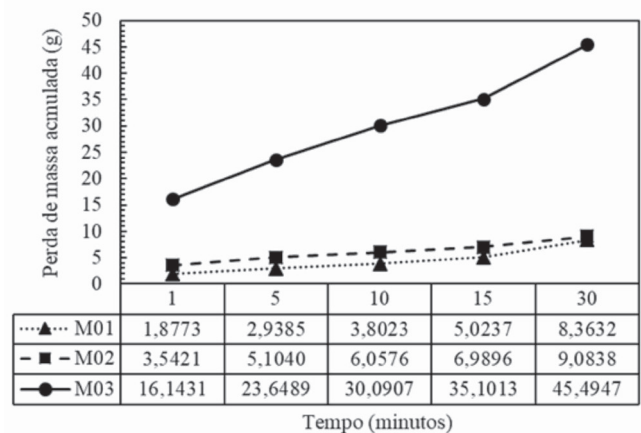


Figura 7. Caso C - Imersão total.

A Figura 8 apresenta uma análise da perda de massa acumulada para as três misturas nas três situações em que foram expostas. Ao se analisar a perda de massa acumulada, percebe-se que no caso da imersão total a adição do resíduo



acarretou em um aumento da erodibilidade do solo em 2 dos 3 casos analisados. Com a realização dos ensaios foi perceptível que a fração granulométrica do resíduo não se conecta com o solo, e por isso, acarretou na maior perda de massa acumulada.

Em uma análise das perdas de massa a adição de RCC proporciona uma melhora apenas para uma situação, no Caso A, para a mistura M02. Nos outros dois casos estudados, o solo puro (M01) apresenta-se como melhor escolha. A adição de 50% de RCC no solo (M03) não se apresentou interessante em nenhum dos casos.

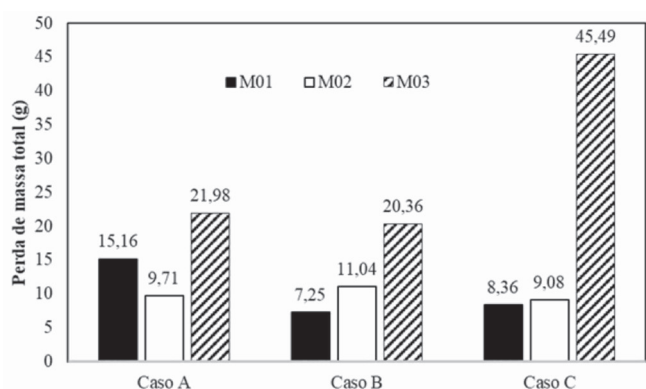


Figura 8. Perda de massa acumulada ao fim do ensaio.

A Tabela 4 apresenta os valores médios da erodibilidade das amostras ensaiadas. Para as condições de ensaio apenas as amostras da mistura M03 na situação de imersão total apresentou comportamento erodível. Em aspectos gerais, para este ensaio, a mistura M02 comporta-se como não erodível nos três casos, porém perde-se menos massa durante o ensaio do que a mistura M01 apenas na condição completamente seca, algo que pode ser difícil de controlar, mesmo com um sistema de drenagem funcionando perfeitamente. Esta situação indica que o RCC não contribui para a redução da erodibilidade.

O efeito negativo pode ser justificado analisando os dados da granulometria coletada, por exemplo, em termos médios para a mistura M03 no caso A, cerca de 90% do material fica retido na peneira n°200, na mesma situação para a mistura M01 na mesma peneira tem-se 85% de material retido. A variação de cerca de 5%, entre M01 e M03, pode estar ligada a substituição de uma parte da fração silte + argila por RCC (Tabela 2) indicando que no processo de ensaio o RCC foi erodido primeiro do que a fração silte + argila, resultando em uma maior perda de massa. Para a mistura M02 o comportamento também ocorre, onde no caso A, cerca de 87% do material fica retido na peneira de n°200.

Tabela 4. Valores médios de erodibilidade.

Mistura	Caso a	Erodibilidade	Caso b	Erodibilidade	Caso c	Erodibilidade
M01	2,45%	Não Erodível	1,34%	Não Erodível	1,34%	Não Erodível
M02	1,48%	Não Erodível	1,66%	Não Erodível	1,37%	Não Erodível
M03	3,45%	Não Erodível	2,95%	Não Erodível	6,59%	Erodível

Para o caso B, situação parecida ocorre, onde a mistura M01 tem cerca de 83% do material retido na peneira n°200, para a mistura M02 o material retido é na casa dos 88% e na M03 o material retido é 90%, indicando a mesma situação do caso a e que também se repete no caso C, justificando o aumento de perda de massa acumulada neste dois casos.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados coletados nos ensaios indicam que a adição de RCC neste tipo de solo não melhora

o comportamento do material no que se refere à perda de massa frente à ação da água. A adição de RCC com o intuito de reduzir a erodibilidade do solo também foi estudada por Dias (2014) em um solo diferente, e também não se apresentou vantajosa.

Sendo assim, a adição de RCC para reduzir a erodibilidade para camadas de revestimento primário não é viável, uma vez que mesmo que em algumas análises mostre-se que a perda de massa é reduzida e/ou estabilizada no decorrer do tempo, a perda de massa acumulada é muito maior do que sem adição, o que pode acarretar aspectos negativos as estradas (surgimento de patologias)

e também ao meio ambiente (aceleração do assoreamento de córregos).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNEMAT, a FACET – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas e o Curso de Engenharia Civil – Campus de Sinop e a FACISAS (UNIC Sinop), pelo suporte técnico oferecido.

## REFERÊNCIAS

- Alves, W. G. O. Benatti, J.C.B. 2015. Viabilidade técnica da utilização do RCC (Fração areia) como agente estabilizador para um solo de Sinop-MT. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. Sinop. 10 p
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 6459: Solo – determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, RJ, 1984a 6 p.
- \_\_\_\_\_. *NBR 7180: Solo – determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, RJ, 1984b. 3 p.
- \_\_\_\_\_. *NBR 7181: Solo – análise granulométrica*. Rio de Janeiro, RJ, 1984c. 13 p.
- \_\_\_\_\_. *NBR 7182: Solo – ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, RJ, 1986. 10 p.
- Bahia, R. B. C. Evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis – Amazônia. Ouro Preto, 2007. 149 p. Tese (Doutorado). Departamento de Geologia. Fundação Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007
- Campos, C. J. M de. 2014. Avaliação da Erodibilidade pelo método Inderbitzen em solo não saturado da região de Bauru – SP. Dissertação de mestrado (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Bauru – SP. 154 p
- Dias, M. C. C. 2014. Viabilidade do uso de solo tropical e resíduo de construção civil em sistemas de cobertura de aterro sanitário... Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 114 f
- Freire, E. P. 2001. Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. Anais, VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 8 p.
- Guerra, A. J. T.; Mendonça, J. K. S. 2004. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: Vitte, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). Reflexões sobre a geografia física do Brasil. São Paulo: Bertrand Brasil.
- Guimarães, R.M. . Benatti, J.C.B. 2016. Análise físico – químico e mineralógica de um solo de sinop – mt, puro e com adição de bentonita. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia Civil. Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT. Sinop – MT. 12p
- Grando, A. 2011.. Monitoramento e modelagem hidrossedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina.. Florianópolis, SC. 175p
- Heidemann, M. 2008.. Mapa Geotécnico de Potencial Erosivo de Uma Área de Expansão Urbana de Tubarão – SC. Universidade Federal de Santa Catarina. 9 p.
- Higashi, R.A.R. 2006. Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 486 p.
- Ide, D, M. 2009. Investigação geotécnica e estudo de um processo erosivo causado por ocupação urbana. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geotecnia). Universidade de São Paulo, São Carlos – SP. 129p
- Inderbitzen, A. P. L. 1961. An erosion test for soils. Material Research. Standards, Philadelphia. p. 553-554.

Johannessen, B (Org.). 2008. Building Rural Roads. Bangkok: Internacional Labour Organization. 466 p. Disponível em: <[http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/--asia/---ro-bangkok/documents/genericdocument/wcms\\_103551.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/--asia/---ro-bangkok/documents/genericdocument/wcms_103551.pdf)>. Acesso em: 28 maio. 2019

Kaiber, A. L. C; Romanini, A. 2017. Avaliação da erodibilidade de misturas SOLO - RCC para camada de cobertura e proteção de taludes.

Artigo de conclusão de curso (Engenharia Civil). UNEMAT - Universidade do estado de Mato Grosso. 10p. Sinop - MT.

Oda, S.. Caracterização de uma rede municipal de estradas não pavimentadas. 1995. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 186f.