



AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DE BAMBU COMO MATERIAL DE REFORÇO DE SOLO TROPICAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.I-027>

Mayara Luana de Jesus Santos (*), Michéle Dal Toé Casagrande 2

* Universidade de Brasília, mayaraluana.ml@gmail.com

RESUMO

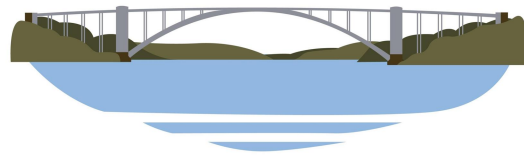
Destinar adequadamente os resíduos gerados durante processos industriais é de responsabilidade social e é uma preocupação, também, da engenharia geotécnica. Sendo assim, a linha de pesquisa e de desenvolvimento de novos materiais geotécnicos, por meio de técnicas de reforço de solos, viabiliza, além do aumento dos parâmetros mecânicos do solo estudado, dar um destino mais nobre aos resíduos de bambu produzidos durante o processo do beneficiamento do Bambu laminado colado (BLaC), com melhorias técnicas, ambientais, financeiras e sociais. No presente estudo investigou-se o comportamento físico-mecânico de um solo tropical argiloso reforçado com 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0% de serragem de bambu, distribuídas aleatoriamente e quantificadas sobre a massa seca do solo. Foram realizados ensaios de caracterização, imagem de lupa microscópica e compressão não confinada. Os resultados obtidos demonstraram que os compósitos solo-resíduo de bambu apresentaram maior resistência de pico e diminuição da queda pós-pico, quando comparado ao solo não reforçado, sendo, portanto, uma alternativa de utilização desse material em obras geotécnicas, como estabilidade de taludes, reforço de fundações rasas e aterros sobre solos moles.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de Bambu, Serragem de Bambu, Novos materiais Geotécnicos, Reforço de Solo.

ABSTRACT

Properly disposing of waste generated during industrial processes is a social responsibility and is also a concern of geotechnical engineering. Thus, the line of research and development of new geotechnical materials, through soil reinforcement techniques, makes it possible, in addition to increasing the mechanical parameters of the soil studied, to give a more noble destination to the bamboo waste produced during the processing of laminated glued Bamboo (BLaC), with technical, environmental, financial and social improvements. In the present study the physical-mechanical behavior of a tropical clay soil reinforced with 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0% of bamboo sawdust, randomly distributed and quantified on the dry mass of the soil, was investigated. Characterization, microscopic magnifying glass imaging and unconfined compression tests were performed. The results obtained showed that the soil-bamboo sawdust composites presented higher peak strength and decreased post-peak slump, when compared to unreinforced soil, being, therefore, an alternative use of this material in geotechnical works, such as slope stability, reinforcement of shallow foundations and embankments on soft soils.

KEY WORDS: Bamboo Waste, Bamboo Sawdust, New Geotechnical Materials, Soil Reinforcement.



INTRODUÇÃO

Segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010, é de responsabilidade do gerador dar destinação correta para os resíduos gerados por sua conduta, independentemente da quantidade de resíduos, caso não tenham uma destinação adequada podem gerar sérios danos ao meio ambiente. Dessa maneira, viabilizar a utilização de materiais que a princípio seriam descartados também é uma preocupação da engenharia. Em especial da engenharia geotécnica que possui uma linha de pesquisa de novos materiais geotécnicos que, em sua maioria, visam a sustentabilidade e a utilização de resíduos sólidos.

Nas mais diversas áreas de atuação da geotecnia, reforçar solos é uma técnica que faz parte das soluções de engenharia. Desde o quinto e quarto século antes de Cristo, os homens perceberam a possibilidade de melhorar as características dos solos adicionando diversos materiais (JONES, 1985). Sendo assim, com a finalidade de aperfeiçoar as características do solo, realizaram-se a adição de diferentes materiais, em sua maioria orgânicos, a fim de conseguir uma estrutura resistente e durável, ao longo do tempo (SOTOMAYOR, 2014). Por exemplo, no passado, hastes de bambu e junco eram empregadas no reforço de tijolos de barro e solos granulares para auxiliar na construção de diversas obras de terra.

Mesmo sendo uma técnica antiga, ela ainda é muito estudada e aplicada atualmente. Palácios (2012) afirma que obras executadas a partir de solos reforçados apresentam inúmeras vantagens técnicas, construtivas e econômicas, quando comparadas aos métodos tradicionais, contribuindo, desta forma, para o grande aumento de sua utilização em diversos tipos de obra como nos solos de fundações rasas, aterros sobre solos moles e taludes.

De acordo com a literatura existente na área de solos reforçados, no intuito de melhorar as propriedades de solos com baixa capacidade de suporte, tem sido aplicada a técnica de inclusão de fibras, que atuam como elementos de reforço que não impedem a formação de fissuras, mas atuam diretamente no controle da propagação destas, melhorando as propriedades mecânicas do material compósito em questão. As fibras possuem potencial de ser capaz de conferir aos solos aumento da resistência, da ductilidade e da tenacidade, e a diminuição da queda de resistência pós-pico (CASAGRANDE, 2005; SILVEIRA, 2021; SOTOMAYOR et al., 2021; SOUZA et al., 2022)

Em particular, as fibras naturais têm sido cada vez mais estudadas como material de reforço de solo, devido ao baixo custo da matéria-prima, a fácil obtenção, serem fartamente disponíveis, fáceis de manusear, terem boas propriedades mecânicas, não gerarem quantidades excessivas de resíduos, empregarem tecnologias simples e requererem menos energia no processo de produção, além de serem de fontes renováveis (DITTENBER & GANGARAO, 2012).

Durante a produção de derivados de bambu é comum usar o processo de laminação, a fim de produzir um material homogêneo e regular. Nessa técnica, um grande volume de aparas e serragem é gerado com o corte do colmo do bambu, resultando em significativa quantidade de resíduo sólido (Figura 1). O bambu laminado colado (BLaC) é usado na fabricação de vigas e treliças, e aproximadamente 40% de toda a massa vegetal da matéria-prima processada resulta em serragens e aparas.



Figura 1: Resíduo de bambu laminado descartado nas ruas.



Os resíduos, depois de gerados, necessitam de destino adequado, pois, do contrário, além de ocasionar impactos, representam perdas de matéria prima e energia, resultantes de todo o processo, exigindo, investimentos significativos no tratamento da poluição por eles gerada. O volume gerado em aparas e serragem durante o corte do colmo de bambu para a produção de ripas é bastante considerável (Tabela 1). Essa quantidade de resíduo é um dado importante a ser mitigado, a fim de tornar cada vez mais eficiente o sistema de produção de material laminado colado e gerar menor impacto ambiental.

Tabela 1: Aproveitamento do bambu (*Dendocalamus Asper*) na produção de ripas. Fonte: Santos, 2018.

Item	(cm ³)	(%)
Volume total de pelias de bambu (parede do colmo)	3,79	100
Volume de ripas produzidas	1,043	27,54
Volume gerado em aparas e serragem	2,747	72,46

De acordo com Lima Junior e Dias (2001), o bambu é um material vegetal cujas propriedades mecânicas indicam grande potencial a ser explorado pela engenharia. Nesse cenário, o presente trabalho busca minimizar o despejo inapropriado dos resíduos do processo da laminação do bambu de açaí de modo a promover sua utilização em obras da engenharia geotécnica. Sendo assim, o estudo objetiva avaliar as propriedades físico-mecânicas de um solo tropical argiloso reforçado com serragem de bambu aleatoriamente distribuídas na massa de solo em diferentes teores, podendo potencializar o uso de misturas solo-resíduo vegetal em obras de terra.

CORPO DO TEXTO

• OBJETIVO

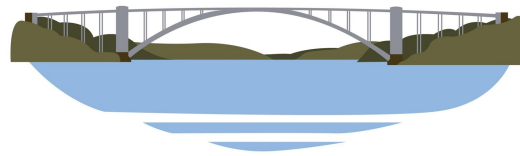
O objetivo condutor desta pesquisa é avaliar experimentalmente o desempenho físico, mecânico e ambiental de um solo tropical reforçado com o resíduo sólido de bambu produzido durante o processo de beneficiamento de Bambu laminado, destinando esse insumo adequadamente nas aplicações da engenharia geotécnica como reforço de solo de fundações, taludes e aterros.

• METODOLOGIA

Para a presente pesquisa, foram obtidos, por meio de doação do Centro de Pesquisa e Aplicação de Bambu e Fibras Naturais (CPAB) da Universidade de Brasília, resíduos provenientes do processo de laminação dos trechos de colmo do bambu da espécie *Dendrocalamus Asper*, que passado na peneira de abertura de 2,00 mm, foi denominado a esse insumo de “Serragem de Bambu” (Figura 2).



Figura 2: Resíduo de Bambu nomeado de Serragem.



Também foi elaborado um programa de ensaios como objetivo principal de investigar e identificar o efeito da adição da Serragem de Bambu nas propriedades mecânicas de um solo tropical laterítico argiloso do Distrito Federal.

Desta forma, o programa experimental se baseou em três etapas:

- (i) investigar as propriedades físicas e de caracterização do solo;
- (ii) observar as imagens em lupa microscópica, modelo SLQ-M-003, do resíduo de bambu (serragem);
- (iii) realizar o estudo do comportamento mecânico dos compósitos solo-serragem de bambu a partir de ensaios de compressão não confinada (Figura 3), com base na NBR 12770 (ABNT, 1992). Para tal, foram moldados corpos de prova (moldes cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura) com teores de 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0% de serragem, em relação ao peso do solo seco, bem como um corpo de prova sem adição do resíduo para fins comparativos. O resultado é expresso em um gráfico de Tensão versus Deformação Axial Específica e com os resultados obtidos é possível observar a influência do teor de serragem na resistência ao cisalhamento do solo.



Figura 3: Ensaio de compressão não confinada.

• RESULTADOS

Do Campo Experimental do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília foi coletado um solo argiloso laterítico. Dessa forma, foi realizado ensaio de granulometria (Figura 4), onde foi possível verificar que se tratava de um solo composto em sua maior parte por fração de argila, representando 53,3%, seguido por 36% de areia e 10,7% de silte. A massa específica real dos grãos do solo puro, obtido no pentapycnometro, foi de 2,70 g/cm³.

Quanto aos limites de consistência foi encontrado um valor de Limite de Liquidez de 42% e um valor de Limite de Plasticidade de 27%, resultando em um Índice de Plasticidade de 15%. A partir dos resultados dos ensaios de granulometria e limites de Atterberg, foi possível classificar o solo de acordo com a Classificação TRB, em um material argiloso, pertencente ao grupo A-7-6 e com Índice de grupo igual a 10. Este material é considerado de regular a mau comportamento para aplicação em pavimentos.

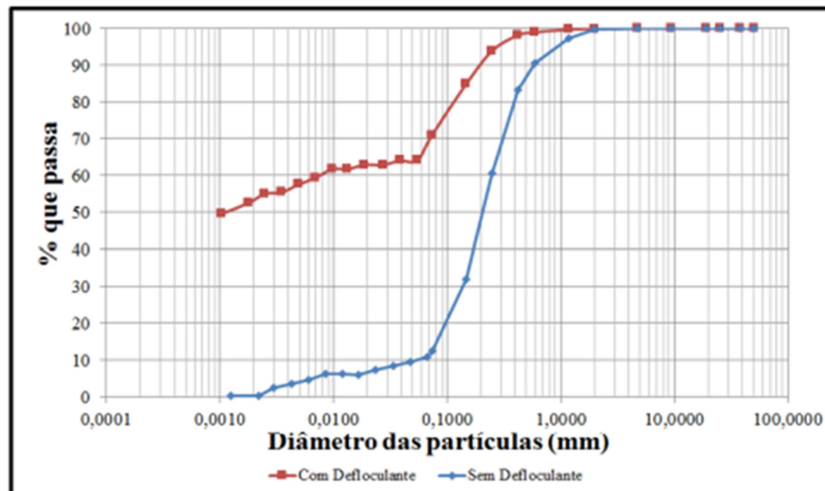
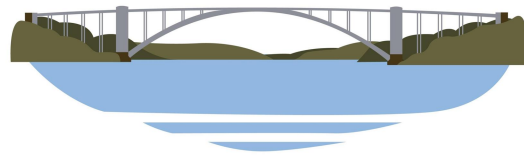


Figura 4: Curva Granulométrica do Solo Tropical Laterítico Argiloso.

Também foi realizado ensaios para obter imagem em uma Lupa Eletrônica Microscópica modelo SLQ-M-003 para visualizar a Serragem de Bambu mais de perto. De posse da imagem (Figura 5), pode-se perceber que esse material é composto um conjunto finito de fibras de Bambu, as quais conferem a resistência do material por possuírem propriedades de fibras lignocelulósicas. e permitem ao composto formado com solo maior resistência ao cisalhamento e melhor comportamento pós pico.



Figura 5: Imagem da Serragem de Bambu com zoom 4X na Lupa SLQ-M-003.

Com o ensaio de compressão simples foi possível a atuação eficiente da serragem de bambu no solo tropical em questão. A resistência de pico observada para o solo puro foi de 345 kPa, já para o solo com adição de 0,5% de bambu foi de 864 kPa, ou seja, 150,43% maior que a do solo puro; para o solo com adição de 1,0% de bambu o valor de resistência de pico foi de 952 kPa, que representa um valor 175,94% maior que o do solo; para o solo com adição de 1,5% de bambu o valor de resistência de pico foi de 962 kPa, que representa um valor 178,84% maior que o do solo; para o solo com adição de 2,0% de bambu o valor de resistência de pico foi de 1048 kPa, que representa um valor 203,77% maior que o do solo (Figura 5).

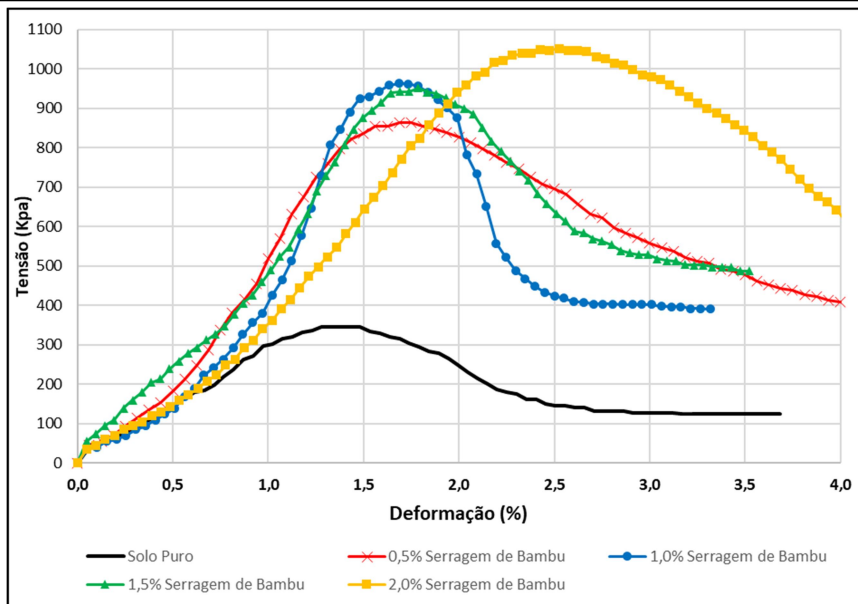


Figura 6: Curvas Tensão vs. Deformação.

Em relação ao pós-pico, o solo com adição de 0,5% de serragem de bambu conseguiu manter uma resistência de aproximadamente 3,26 vezes maior que a do solo puro, com adição de 1,0% de bambu 4 vezes maior, com adição de 1,5% de bambu, 3,9 vezes maior e com adição de 2,0% de bambu, 5,14 vezes maior.

Também foi possível perceber, analisando os corpos de prova após a ruptura, que o solo puro teve seu plano de cisalhamento aproximadamente à 45° e o corpo de prova se despedaçou mais que os com adição de resíduo de serragem de bambu. Nesses últimos não é evidente um plano de ruptura e nota-se que a serragem conteve o estilhaçamento do solo (Figura 6).

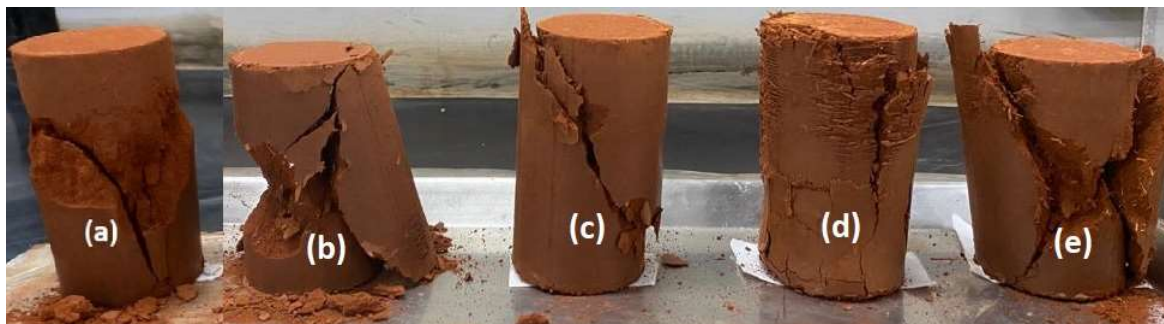
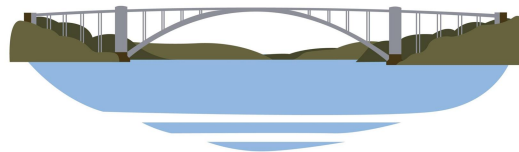


Figura 7: Corpos de prova Rompidos em compressão não confinada

• CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que o uso dos resíduos produzidos durante o processo de laminação do bambu nas porcentagens de 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0% como reforço para solos argilosos se apresentam satisfatórios do ponto de vista geotécnico, cumprindo seu papel principalmente na atuação sobre a resistência ao cisalhamento tanto de pico como pós-pico, abrindo possibilidades para o estudo de reforço de solo com materiais de resíduos no Brasil para aplicação em obras como bases de pavimento, aterro sobre solos moles e base de solo de fundações rasas.

Acredita-se que esta pesquisa seja inovadora, levando em consideração que este é um material pouco estudado para esta aplicação, o que leva a uma maior necessidade de pesquisas e aprofundamento para se obter consistência. Vale ressaltar que, apesar da pesquisa ter sido desenvolvida no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília, o que viabiliza economicamente de fato a implementação deste novo material geotécnico é sua aplicação no próprio local de geração deste resíduo e assim minimizar seu despojo inadequado.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12770: Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.
2. BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências, 2010.
3. CASAGRANDE, M.D.T. (2005). Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
4. DITTEMBER, D. B., GANGARAO, H. V. S. (2012). Critical Review of Recent Publications on Use of Natural Composites in Infrastructure. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(8), p. 1419-1429.
5. JONES, C.J.F.P. Earth reinforcement and soil structure. *Butterworths advanced series in geotechnical engineering*. 1985.
6. LIMA JÚNIOR, H. C.; DIAS, A. A. Vigas mistas de madeira de reflorestamento e bambu laminado colado: análise teórica e experimental. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 519–524, 2001.
7. PALACIOS, M. A. P. Comportamento de uma Areia Reforçada com Fibras de Polipropileno Submetida a Ensaio Triaxiais de Extensão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012
8. SOTOMAYOR, J. Avaliação do comportamento carga-recalque de uma areia reforçada com fibra de coco submetida a ensaios de placa em verdadeira grandeza. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Geotecnia) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
9. SANTOS, André Crispim dos. Estudo do comportamento higrótérmico de sistema construtivo composto de painel de aglomerado de partículas de bambu por meio do software WUFI. 2018.
10. SILVEIRA, M. V.; CASAGRANDE, M. D. T. Effects of Degradation of Vegetal Fibers on the Mechanical Behavior of Reinforced Sand. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 39, p. 3875- 3887, 2021.
11. SOTOMAYOR, JUAN MANUEL GIRAÓ; MONIQUE ALELVAN, GIOVANNA; TOÉ CASAGRANDE, MICHÉLE DAL. Influence of Polypropylene Fiber-Reinforcement on the Mechanical Behavior of Gold Ore Tailings through Direct Shear Tests. *JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING*, v. 33, p. 04021256-., 2021.
12. SOUZA, W; TOFFOLI, C. M.; MUTZENBERG, D.; CASAGRANDE, M. D. T. Variable Significance Determination Utilizing Extended CHAID Method in Fiber Improvement of Fine Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 148, p. 2022.