REFORÇO DE SOLO UTILIZADO EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS COM RESÍDUO DA CLARIFICAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL

Weliton Eduardo Lima de Araújo¹, Rênystton de Lima Ribeiro² e Layson Barbosa Mendonça³

¹ Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Ambiental da Universidade de Rio Verde (weliton@unirv.edu.br) Rio Verde-Brasil

² Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Ambiental da Universidade de Rio Verde Rio Verde-Brasil

³ Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade de Rio Verde Rio Verde, Brasil.

Recebido em: 04/10/2019 – Aprovado em: 30/11/2019 – Publicado em: 15/12/2019
DOI: 10.18677/EnciBio_2019B48

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho da resistência mecânica da mistura de argila clarificante descartada e solo, no intuito de proporcionar uma destinação ambientalmente adequada ao resíduo por meio da sua aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis. Foram utilizadas misturas compostas por 100% solo, 100% argila clarificante descartada (ACD), 05% de ACD + 95% solo, 10% de ACD + 90% solo, 20% de ACD + 80% solo, 30% de ACD + 70% solo e 40% de ACD + 60% solo, totalizando sete unidades experimentais. Para avaliação do desempenho mecânico, foram realizados os ensaios de compactação Proctor e Índice de Suporte Califórnia (CBR), nas energias intermediária e modificada. As misturas obtiveram comportamento granulométrico similar ao solo local, observando-se uma alteração da fração fina devido o incremento do resíduo às mesmas. Os resultados de resistência mecânica indicaram um melhor desempenho das misturas com 10% de ACD + 90% solo e 20% de ACD + 80% solo, na energia modificada, sendo recomendadas como material para execução de base de pavimentos. Para as demais misturas, recomenda-se apenas o emprego na execução de sub-bases de pavimentos flexíveis.

PALAVRAS-CHAVE: pavimentos flexíveis, resíduos industriais, terras clarificantes

REINFORCEMENT OF SOIL USED IN FLEXIBLE PAVEMENTS WITH RESIDUE OF VEGETABLE OIL CLARIFICATION

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the performance of the mechanical resistance of mixtures of discarded clarifying clay and soil, in order to provide an environmentally adequate destination for the residue through its application in base layers and sub-base of flexible pavements. Composed blends were used of 100% solids, 100% discarded clarifying clay (ACD), 05% ACD + 95% solids, 10% ACD + 90% solids, 20% ACD + 80% 70% soil and 40% ACD + 60% soil, totaling seven experimental units. For the evaluation of the mechanical performance, the Proctor coupling and the California Bearing Ratio tests were performed in the intermediate and modified energies. The mixtures obtained similar granulometric behavior to the local soil, observing an alteration of the fine fraction due to the increase of the same residue. The results of mechanical resistance indicated a better performance of the mixtures with 10% of ACD + 90% soil and 20% of ACD + 80% soil, in the modified energy, being recommended as base material for execution flexible pavements. For the other mixtures, it is recommended only the use in the execution of sub-bases of flexible pavements.

KEYWORDS: flexible pavements. industrial waste. clarifiers soils

INTRODUÇÃO

O beneficiamento da soja pelas agroindústrias se dá principalmente pelo esmagamento, visando à produção de óleo vegetal e farelo. Dentre os procedimentos realizados para tal finalidade, tem-se a degomagem, neutralização, branqueamento e desodorização do óleo (SILVA et al., 2019). A clarificação ou branqueamento tendo como finalidade a diminuição da quantidade de impurezas e substâncias que conferem cor ao óleo (MARAGONI et al., 2019).

Os termos terra clarificante, terra descorante, argila clarificante ou argila adsorvente são empregados nas indústrias de degomagem de óleos para designar argilas que, no estado natural ou após ativação química ou térmica, apresentam a propriedade de adsorver as matérias corantes dissolvidas de óleos minerais, vegetais e animais (SANTOS; COELHO, 2007).

A utilização de argilas para remoção de pigmentos em óleos vegetais não é um procedimento novo. Esses materiais minerais são utilizados há muito tempo na clarificação ou descoramento de óleos vegetais e gorduras animais, dando origem ao resíduo denominado de Argila Clarificante Descartada [ACD] (PATRICIO et al., 2014).

Moretto e Fett (1998) relatam o consumo de argila clarificante em torno de 1 a 5%, em massa, do óleo que é clarificado nos tanques de aço inox, para cada repetição do processo realizado nas indústrias de esmagamento de soja. A separação da argila adicionada juntamente com as impurezas coletadas do fluido é realizada por processo de filtração (MARAGONI et al., 2019).

O resíduo gerado na filtragem, a ACD, é de difícil descarte e se disposto de forma inadequada no meio ambiente, promove grande quantidade de impactos indesejados. Um dos principais problemas do descarte desse material no meio ambiente refere-se à concentração de óleo residual existente no mesmo, variando entre

20 a 35%, o que leva a constantes princípios de incêndios onde esse material é estocado ou disposto (OLIVEIRA et al., 2016). Dessa forma, a falta de tecnologia para reaproveitamento das sobras de uma indústria faz com que o material seja encaminhado para aterros industriais, ou mesmo ter o reaproveitamento inadequado (PATRICIO et al., 2014).

Conforme determinado na Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, é prioritário a busca por mecanismos de redução na fonte geradora, seguido por mecanismos capazes de reutilizar ou reciclar os resíduos das atividades antrópicas, visando a mitigação do descarte desses materiais no meio ambiente (BRASIL, 2010).

De igual forma, Pires et al. (2016), relatam que o reaproveitamento de um resíduo e o melhor aproveitamento das matérias-primas são vistos por muitos especialistas como a única saída para a continuidade do processo tecnológico já implementado, pois atuam em perfeita sintonia com as necessidades do mundo atual.

Nesse contexto, a pavimentação de rodovias e vias urbanas, por exigir grande volume de material mineral para a composição de suas camadas constituintes, tem no meio técnico-científico destaque como possível receptora de materiais alternativos, principalmente materiais provenientes de resíduos de produtos e processos industriais (REZENDE et al., 2013).

Mediante a essa necessidade por materiais construtivos, nota-se a degradação de inúmeras áreas nativas, por meio da supressão da vegetação ali existente e desestruturação do solo, visando à extração de material granular, cascalho, para o atendimento da demanda do mesmo nas obras de pavimentação viária (LUZ et al., 2011). Essa metodologia de trabalho acaba promovendo novos problemas, pela degradação ambiental dessas áreas, que deverão ser resolvidos pelos municípios.

Além da capacidade de absorver grande volume de material, pesquisas envolvendo o emprego de materiais alternativos visando à substituição do cascalho laterítico, material tradicionalmente utilizado para tal finalidade, demonstraram melhoras nas condições de capacidade de suporte e de resistência mecânica dos solos locais, refletindo em uma durabilidade maior dos pavimentos flexíveis se comparados com aqueles que foram executados apenas com o emprego do solo local (REZENDE et al., 2013, SILVEIRA; BORGES, 2015, PIRES et al., 2016).

Mediante a geração desse resíduo sólido, ACD, bem como da dificuldade existente para a disposição final adequada dos mesmos e da demanda por materiais alternativos para composição de base e sub-base de pavimentos flexíveis, o emprego desses resíduos visando ao incremento da resistência mecânica dos pavimentos executados, apresenta-se com uma alternativa para os problemas enfrentados por esses setores atualmente.

Dessa forma, essa busca por mecanismos de destinação desses resíduos também se torna interessante para as partes envolvidas nesse processo, ou seja, governo municipal e agroindústrias de refino de óleo vegetal. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar em laboratório da viabilidade técnica do emprego do resíduo denominado ACD, dosado ao solo local, como material alternativo para construção de pavimentos flexíveis.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo utilizado no projeto de pesquisa foi coletado de uma caixa de empréstimo desse material, situado dentro do campus Fazenda Fontes do Saber, pertencente à Universidade de Rio Verde (UniRV). A argila clarificante descartada (ACD) foi obtida por meio de doação desse material feito por uma agroindústria esmagadora de soja instalada no município de Rio Verde-GO. Devido ao residual de óleo vegetal presente nesse resíduo, o mesmo não pôde ser utilizado para o experimento de forma imediata. Nesse sentido, houve a necessidade da estabilização desse material, por meio da eliminação do óleo e matéria orgânica presente na mesma.

A ACD foi estabilizada termicamente, por meio da incineração do material em uma mufla no laboratório de geotecnia ambiental das faculdades de engenharia ambiental e civil da UniRV. Optou-se pela estabilização térmica desse resíduo, devido ao custo menos oneroso, se comparado à estabilização química desse material, como demonstrado por Foletto et al. (2003).

Foram realizados ensaios laboratoriais para caracterizar os materiais e observar seus parâmetros quando compactados. Quanto ao risco de contaminação ambiental, o mesmo foi eliminado por meio da estabilização térmica prévia do material. O Quadro 1 apresenta um resumo com os ensaios que foram realizados com as sete amostras no laboratório de Mecânica dos solos da UniRV, Campus Rio Verde.

QUADRO 1 – Relação dos ensaios de laboratório e suas respectivas normas técnicas.

ENSAIO	NORMA ABNT
Granulometria	NBR 7181 (ABNT, 2017a)
Massa Específica dos Sólidos	NBR 6458 (ABNT, 2017b)
Limite de Liquidez	NBR 6459 (ABNT, 2016a)
Limite de Plasticidade	NBR 7180 (ABNT, 2016b)
Compactação	Energia Intermediária Energia Modificada NBR 7182 (ABNT, 2016)
Expansão e Índice de Suporte Califórnia	Energia Intermediária Energia Modificada NBR 9895 (ABNT, 2017)

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

Para a realização dos estudos de laboratório foram definidos 7 (sete) tratamentos (amostras), quais sejam: Tratamento T1: 100% solo; Tratamento T2: 100% argila clarificante descartada (ACD); Tratamento T3: 05% de ACD + 95% solo; Tratamento T4: 10% de ACD + 90% solo; Tratamento T5: 20% de ACD + 80% solo; Tratamento T6: 30% de ACD + 70% solo e Tratamento T7: 40% de TCD + 60% solo.

Uma vez definidas as porcentagens dos materiais em cada tratamento, foram realizadas análises de média. Sendo que, de cada unidade experimental, foi obtida uma amostra composta por três amostras simples.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos tratamentos

Avaliando as frações granulométricas dos materiais estudados, descritos na Tabela 1, é percebido que a argila clarificante descartada (T2) enquadra-se na faixa do silte, com mais de 80% das partículas retidas na peneira no. 200.

O solo local estudado (T1), apresentou 46% das suas partículas na faixa das areias, podendo ser enquadrado como uma areia argilosa, conforme demais concentrações de suas partículas ao longo da distribuição granulométrica.

TABELA 1 – Frações granulométricas dos sete tratamentos estudados.

Frações Granulométricas (%)	TRATAMENTOS						
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7
Pedregulho	0	0	0	0	0	0	0
Areia	46	6	42	40	40	44	46
Silte	24	84	34	34	36	34	36
Argila	30	10	24	26	24	22	18

* T1: 100% solo; T2: 100% ACD; T3: 05% de ACD + 95% solo; T4: 10% de ACD + 90% solo; T5: 20% de ACD + 80% solo; T6: 30% de ACD + 70% solo e T7: 40% de ACD + 60% solo. Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Os tratamentos T3, T4, T5 e T6 não apresentaram muita variação entre si em relação à porcentagem das partículas retidas em cada faixa granulométrica. Comparando as mesas com o solo avaliado (T1), é possível observar uma diminuição da porcentagem de partículas na faixa das areias e uma elevação nas frações de silte e argila. No tratamento T7, é possível observar uma diminuição da porcentagem de argila em relação ao solo puro, apresentando comportamento de areia siltosa. Na Figura 1, é demonstrado o comportamento das curvas granulométricas de todos os tratamentos avaliados.

FIGURA 1 – Curvas das distribuições granulométricas para os tratamentos avaliados.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Visualizando as curvas de distribuição granulométrica é possível identificar o comportamento similar das misturas para as faixas de pedregulho, areia e silte. Também, visualiza-se a transição da variação granulométrica das misturas avaliada, para a fração fina (silte e argila), devido o incremento da ADC em cada uma delas.

A curva granulométrica do T2 (100% ACD) demonstra que quase totalidade das partículas contidas na mesma se enquadram na faixa de silte, apresentando baixa fração de material intermediário (areias) e grosso (pedregulho). Luz et al. (2011), obtiveram comportamento semelhante na avaliação de mistura solo/filler de rocha micaxisto, aplicado a pavimento flexível em um trecho experimental.

Outro ensaio realizado para caracterização dos materiais avaliados refere-se a determinação da massa específica dos grãos. Caputo (2008) relata que o valor da massa específica dos grãos do solo está diretamente associado aos constituintes mineralógico das partículas, e que para a maioria dos solos o seu valor varia de 2,65 a 2,85, diminuindo para os solos que contém elevado teor de matéria orgânica e aumentando para solos ricos em óxido de ferro. Os valores obtidos para esse ensaio estão descritos na Tabela 2.

TABELA 2 – Resultados do ensaio de massa específica dos grãos dos tratamentos avaliados

Propriedade	TRATAMENTOS						
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7
ρ (g.cm ⁻³)	2,810	2,790	2,798	2,783	2,772	2,776	2,756

* ρ = massa específica dos grãos. Fonte: dados da pesquisa, 2018.

O Tratamento T1 (100% solo) apresentou o maior valor para este ensaio, estando dentre a variação descrita por Caputo (2008), e que essa proximidade a máxima variação típica descrita pelo autor, pode indicar a presença de óxidos de ferro no solo local, caracterizando o mesmo como laterizado.

Avaliando valores obtidos para os demais tratamentos, é possível identificar que não houve variação significativa dentre os mesmos e que todos se encontram dentro da variação descrita pelo autor supracitado. Se comparado o comportamento desses tratamentos ao de T1, é possível verificar um decréscimo nos valores da massa específica com o aumento da incorporação da ACD.

Como parte final da etapa de caracterização dos tratamentos avaliados, foram determinados os limites de consistência e de posse desses resultados e com a avaliação granulométrica dos mesmos, foi possível classifica-los conforme o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e a *Transportation Research Borad* (TRB). Os resultados dessa etapa são demonstrados na Tabela 3.

TABELA 3 – Resultados dos ensaios de limite de consistência e classificação dos tratamentos avaliados

Propriedade	TRATAMENTOS						
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7
w _L (%)	36,3	30,2	35,2	33,7	32,2	30,5	29,1
w _P (%)	26,5	24,3	25,8	22,1	21,7	21,0	20,4
IP (%)	9,8	6,2	9,4	11,6	10,5	9,5	8,7
Classificação SUCS	CL	ML-CL	CL	CL	CL	ML	ML
Classificação TRB	A-4	A-4	A-4	A-6	A-6	A-4	A-4

* w_L = Limite de liquidez, w_P = Limite de plasticidade, IP = Índice de plasticidade, NP = não plástico, SC= solo arenoso argiloso, CL= argila de baixa compressibilidade, ML = silte de baixa compressibilidade, A-6= solo argiloso, A-4 = solo siltoso. Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Comparando os valores obtidos para o solo local (T1), em relação às misturas pertinentes aos tratamentos T3, T4, T5, T6 e T7, nota-se uma diminuição nos limites de liquidez e de plasticidade. Contudo, houve variação para os valores referentes ao índice de plasticidade dessas amostras. Pitanga et al., (2016), avaliando as características físicas de misturas solo-escória de aciaria-cinza volante, também obtiveram diminuição nos limites de liquidez, mediante incremento do resíduo ao solo estudado.

Avaliando os demais tratamentos em relação a T2 (100% de ACD), também é observado o mesmo comportamento de diminuição dos valores obtidos para os limites de consistência. Diferentemente do ocorrido para o tratamento T1, foram obtidos valores de índice de plasticidade inferiores para os tratamentos T4, T5 T6 e T7 em relação a T2. Para o tratamento T3, o valor encontrado foi superior a T2, situando-se próximo ao valor obtido para T1.

Correlacionando as informações pertinentes à avaliação granulométrica e os índices de consistência de cada tratamento estudado, foi possível classificar os materiais, conforme já demonstrado na Tabela 3.

Pelo sistema de classificação SUCS, o solo local (T1) demonstrou comportamento de uma argila de baixa compressibilidade (CL) e solo siltoso (A-4), segundo a TRB. O resíduo, argila clarificante descartada (T2), foi classificada como solo siltoso argiloso de baixa compressibilidade (ML-CL) e solo siltoso (A-4).

As misturas representadas pelos tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram a mesma classificação, CL, conforme o SUCS. Em relação à classificação TRB, foram classificados como solo siltoso (A-4) e solo argiloso (A-6) respectivamente. Essa diferença entre as características granulométricas nas classificações pode ser explicada pelo critério de cada uma em relação à avaliação da concentração de finos nos tratamentos, como elemento de diferenciação dos materiais. Considerando as classificações obtidas, estima-se que camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis executadas com esses materiais apresentariam comportamento de regularidade de resistência, devido à similaridade observada (PITANGA et al., 2016).

Os tratamentos T6 e T7 obtiveram classificação de silte de baixa compressibilidade (ML) e solo siltoso (A-4), conforme metodologias citadas anteriormente, sendo um material de comportamento regular a mau como camada de pavimentos.

Ensaio de resistência mecânica

Os tratamentos foram submetidos a ensaios de compactação Proctor nas energias de compactação intermediária e modificada, definindo dessa forma o teor de umidade ótima (w_{ot}) e o peso específico aparente seco máximo (γ_{dmax}). Os valores desses parâmetros estão descritos na Tabela 4.

A umidade ótima apresentou um comportamento de redução para as misturas dos tratamentos T3, T4, T5, T6 e T7, em referência ao solo local e resíduo estudado, T1 (100% solo) e T2 (100% ACD) respectivamente. Esse comportamento se repete em ambas as energias de compactação ensaiadas, estando dessa forma, diretamente relacionada ao aumento da dosagem do resíduo estudado (ACD) ao solo local. Os resultados refletem o comportamento para solos finos, silte e argila, descrito na literatura por Pinto (2002).

TABELA 4 – Resultados encontrados no ensaio de compactação

TRATAMENTOS	E. INTERMEDIÁRIA		E. MODIFICADA	
	w_{ot} (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)	w_{ot} (%)	γ_{dmax} (kN/m ³)
T1: 100% solo	18,8	16,9	17,7	17,5
T2: 100% ACD	20,3	14,5	19,6	16,7
T3: 05% de ACD + 95% solo	18,3	17,0	17,9	18,0
T4: 10% de ACD + 90% solo	17,3	17,2	16,9	18,3
T5: 20% de ACD + 80% solo	15,0	17,8	15,4	18,8
T6: 30% de ACD + 70% solo	15,4	18,0	15,3	19,1
T7: 40% de ACD + 60% solo	14,5	18,5	13,5	19,4

*E: energia; w_{ot} = umidade ótima; γ_{dmax} = peso específico aparente seco máximo. Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Em referência aos valores obtidos para o peso específico aparente seco máximo dos materiais ensaiados, é possível observar um incremento do mesmo, para as duas energias de compactação, conforme é aumentada a dosagem de resíduo ao solo. Esse comportamento pode ser visualizado nas curvas de compactação para as energias citadas, nos gráficos das Figuras 2 e 3.

FIGURA 2 – Curvas de compactação para os tratamentos avaliados na energia intermediária. Fonte: dados da pesquisa, 2018.

FIGURA 3 – Curvas de compactação para os tratamentos avaliados na energia modificada. Fonte: dados da pesquisa, 2018.

É possível avaliar nos gráficos apresentados o desempenho do resíduo dosado ao solo local em relação à variação dos teores de umidade ($w_{ót}$), do peso específico (γ_{dmax}) aparente seco máximo e determinação da umidade ótima para cada tratamento. Nesse sentido, é observado que na medida em que se aumenta a porcentagem de ACD ao solo local e a energia de compactação, há a elevação do γ_{dmax} e diminuição da $w_{ót}$.

De posse dos valores de γ_{dmax} e $w_{ót}$, foram realizados ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR), nas duas energias já mencionadas. Os materiais também foram avaliados quanto à expansão durante o período de saturação exigido no ensaio de CBR.

A Tabela 5 e a Figura 4 mostram o desempenho dos tratamentos os ensaios descritos. Percebe-se que o material do tratamento T2 apresentou comportamento mais expansivo em ambas às energias de moldagem dos corpos de prova, se comparado aos demais tratamentos. Rezende et al. (2015) relatam que solos que apresentam variação de expansão superior a 5% tem o uso restrito na composição das camadas de pavimentos flexíveis, devido uma maior probabilidade do surgimento de deformações.

TABELA 5 – Resultados encontrados nos ensaios de expansão e CBR nas energias intermediária e modificada.

TRATAMENTOS	Energia INTERMEDIÁRIA		Energia MODIFICADA	
	Expansão (%)	CBR (%)	Expansão (%)	CBR (%)
T1: 100% solo	0,02	17,4	0,02	30,5
T2: 100% ACD	0,05	15,6	0,05	25,3
T3: 05% de ACD + 95% solo	0,02	18,5	0,02	31,2
T4: 10% de ACD + 90% solo	0,02	22,3	0,02	41,2
T5: 20% de ACD + 80% solo	0,02	32,8	0,02	44,5
T6: 30% de ACD + 70% solo	0,03	21,3	0,03	32,8
T7: 40% de ACD + 60% solo	0,03	19,8	0,03	26,4

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Dentre os tratamentos avaliados no ensaio de CBR apenas T4 e T5, na energia modificada, possui potencial técnico para o emprego em camadas de base de pavimentos flexíveis, por apresentarem valores iguais ou superiores a 40%.

FIGURA 4 – Gráfico dos valores obtidos no ensaio de CBR nas energias normal e intermediária.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Utilizando a energia intermediária, apenas T4, T5 e T6 poderiam ser recomendados para execução de sub-bases, por apresentam valores de CBR 20%. Na energia modificada, todos os tratamentos avaliados podem ser sugeridos para execução de sub-bases, pois ultrapassam o valor exigido. Contudo, devido T2 apresentar comportamento expansivo acima de 3%, é recomendado cautela ao utilizá-lo para esta finalidade.

Em tempo, nota-se ainda que no tratamento T7, 40% de ACD + 60% solo, houve uma redução dos valores em ambas as energias de compactação, se comparado aos demais tratamentos. Esse comportamento também foi obtido no trabalho desenvolvido por Luz et al. (2011), avaliando mistura solo- pó de micaxisto, indicando assim a taxa máxima de incorporação do resíduo ao solo estudado.

Nesse sentido, a incorporação do resíduo denominado argila clarificante descartada, ao solo local, torna-se uma alternativa viável tecnicamente, ou seja, o material possui a resistência mecânica satisfatória, visando obtenção de misturas capazes de reduzir o volume de material natural tradicional utilizado em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis.

Outro benefício dessa prática trata-se da obtenção de um mecanismo capaz de absorver e dar uma destinação ambientalmente adequada para esse resíduo que atualmente provoca externalidades ambientais negativas e custos para as agroindústrias que a geram (PEDROSO, 2004).

CONCLUSÕES

Durante a avaliação da análise granulométrica foi possível verificar que o resíduo em questão se tratava de material fino, tendo comportamento de silte argiloso. O solo local também não apresentou material grosseiro, se comportando como uma areia

argilosa. As misturas desses materiais, expressas pelos tratamentos T3, T4, T5, T6 e T7, mostraram comportamento granulométrico similar aos materiais origem, sendo possível visualizar a mudança de comportamento granulométrico dentre as mesmas em relação ao aumento da porcentagem de ACD nas misturas.

Em referência aos limites de consistência, foi possível identificar um comportamento da redução dos valores encontrados para os limites de liquidez e de plasticidade nos tratamentos T3, T4, T5, T6 e T7 em relação ao solo puro (T1). Contudo, esse comportamento não foi replicado para o índice de plasticidade (IP), havendo oscilação dos valores obtidos em referência ao incremento da ACD nas misturas.

No ensaio de compactação Proctor, realizado nas energias intermediária e modificada, visando à avaliação do comportamento mecânico dos materiais estudados, foi possível observar o comportamento dos tratamentos em referência a variação do teor de umidade e peso específico aparente seco máximo, havendo a diminuição desses índices na energia modificada em relação à energia normal de compactação.

Os resultados obtidos no ensaio CBR demonstraram a possibilidade da incorporação do resíduo ao solo local (em T4, T5 e T6), na energia intermediária, em sub-base de pavimentos flexíveis. Para a energia modificada, todos os tratamentos demonstraram resistência mecânica satisfatória para a mesma finalidade.

Mediante os dados e interpretações apresentadas, o presente trabalho atendeu ao objetivo proposto, sendo possível avaliar em laboratório a viabilidade técnica do emprego do resíduo denominado argila clarificante descartada (ACD), dosado ao solo local, visando obtenção de material alternativo para construção de pavimentos flexíveis.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181 de 09 de agosto de 2017. **Solo – análise granulométrica**. Rio de Janeiro. 2017.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6458 de 09 de agosto de 2017. **Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro. 2017.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 de 30 de março de 2016. **Solo – determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro. 2016

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.. NBR 6459 de 07 de abril de 2016. **Solo – determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro. 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.. NBR 7182 de 29 de setembro de 2016. **Solo – ensaio de compactação**. Rio de Janeiro. 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.. NBR 9895 de 03 de outubro de 2016. **Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro. 2016.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de

Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 28 nov. 2018.

CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações: Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 234 p.

FOLETTTO, E. L.; ALVES, C. C. A.; PORTO, L. M. Regeneração e Reutilização de uma Argila Comercial Utilizada na Clarificação de Óleo Vegetal. **Cerâmica Industrial**, n. 8 (1), p. 43-45. 2003. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657167f8c9d6e028b4686/pdf/ci-8-1-587657167f8c9d6e028b4686.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2019.

LUZ, M. P.; REZENDE, L. R. ; CASTRO, S. S. Comportamento de um trecho experimental executado com filer de pedreira. **Geotecnia** (Lisboa), v. 122, p. 69. 2011.

MARAGONI, R. F.; DUTRA, T. V.; CARDOSO, F. A. R. Analysis of factors responsible for optimizing the clarification process of soybean oil: a case study using the desirability function. **Separation science and technology**, v. 1, p. 1-9, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1609514> > Acesso em: 10 jan. 2019.

MORETTO, E., FETT, R. **Óleos e Gorduras Vegetais - Processamento e Análises**. (2a ed.). Florianópolis. Editora da UFSC. 1998.

OLIVEIRA, A. L. R., OLIVEIRA, T. T. A., OLIVEIRA, V. T. A., AMARAL, D. L. **Reaproveitamento de argilas esmectitas impregnadas com óleo vegetal na produção de blocos cerâmicos**. Congresso Brasileiro de Cerâmica, Águas de Lindóia, SP, Brasil, 60. 2016. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/60cbc/anais/PDF/03-058TT.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

PATRICIO, J. S.; HOTZA, D.; NONI JÚNIOR, A. Argilas adsorventes aplicadas à clarificação de óleos vegetais. **Cerâmica**, 60(354), 171-178. 2014. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132014000200002>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

PEDROSO, I. L. P. B. Meio ambiente, agroindústria e ocupação dos cerrados: o caso do município do Rio Verde no sudoeste de Goiás. **Revista Multidisciplinar Urutágua**, 6, 2-10, Maringá –PR, n.06. 2004. Disponível em: <<http://www.urutagua.uem.br/006/06pedroso.htm>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 2a ed. Oficina de Textos, São Paulo. 2002.

PIRES, G. M., SPECHT, L. P., PINHEIRO, R. J. B., PEREIRA, D. S., RENZ, E. M. **Comportamento mecânico de material fresado após processo de estabilização granulométrica e química por meio da incorporação de cimento e cinza de casca de arroz moída**. *Matéria* (Rio de Janeiro), 21(2), 365-384. 2016. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620160002.0035>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

PITANGA, H. N.; SILVA, T. O.; SANTOS, A. L.; SILVA, A. C. B.; LIMA, D. C. (). MCT classification for compacted mixtures of soil-steel slag-fly ash for application in forest roads. **Revista Árvore**, 40(5), 911-919. 2016. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000500015>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

REZENDE, L. R.; MARQUES, M. O.; CUNHA, N. L. The use of non-conventional materials in asphalt pavements base. **Road Materials and Pavement Design**, 16(4), p. 1-16. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2015.1055334>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

REZENDE, L. R.; SILVEIRA, L. R.; ARAÚJO, W. E. L.; LUZ, M. P. Reuse of Fine Quarry Wastes in Pavement: A Case Study in Brazil. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 122, p. 131205055109001, 2013. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0000997>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

SANTOS, P. S.; COELHO, A. C. V. Argilas especiais: o que são, características e propriedades. **Química Nova**. 30 (1), p. 146-152. 2007. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1763>. Acesso em: 20 fev. 2018.

SILVA, F. M.; PEDROZA, M. M.; OLIVEIRA, L. R. A.; COLEN, A. G.; AMARAL, P. H. B. Rotas tecnológicas empregadas no aproveitamento de resíduos da indústria da soja. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v.8, n. 1. p. 326 – 363, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/rber.v8i1.57694>>. Acesso em: 24 mar. 2019.

SILVEIRA, L. R.; BORGES, R. A. Uso de Materiais Alternativos para Melhoria de Solo na Pavimentação de Vias. **E & S – Engineering and Science**, 5(1), 73-82. 2015. Disponível em: <<http://www.periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/3418/2743>>. Acesso em 20 mar. 2018.