

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO PÓ DE VIDRO PARA EXECUÇÃO DE BASE DE PAVIMENTOS.

João Marcelo Martins Hidalgo Cerzósimo¹; Agleison Ramos Omido²

jm_hidalgo3@hotmail.com¹; agleisonomido@ufgd.edu.br²;

RESUMO – Com o aumento da população há uma busca maior por materiais e produtos visando aumentar a qualidade de vida. Também existe um aumento na produção, provocando maior geração de resíduos, que são algumas vezes descartados de maneira incorreta, prejudicando o meio ambiente. Neste trabalho estudamos a viabilidade da utilização do pó de vidro como agregado para aplicação em base de pavimentação asfáltica nas proporções de 8% e 10% de finos enquadrando nas especificações vigentes. Foram realizados ensaios característicos e de resistências, de acordo com as normas regulamentadoras. Os resultados apontam que, com adição de 10% de pó de vidro houve um acréscimo na resistência de quase 4,16 vezes quando comparados ao material sem adição do resíduo, o material não apresentou expansão e o índice de plasticidade foi reduzido em 7,33 vezes. Com os resultados obtidos, pode-se notar que a adição do pó de vidro nas proporções estudadas apresentou melhores resultados, atendendo os requisitos das normas.

Palavras-chave: Estabilização de solo. Pó de vidro. Sustentabilidade na construção civil.

ABSTRACT – The population grows and increases the search for materials and products aiming to improve the quality of life. There is also an increase in the production which causes a larger generation of residues which are, sometimes, rejected in a wrong manner, damaging the environment. In this study we consider the viability of the utilisation of the glass powder as assemblage to be employed as a base of asphalt pavement in the proportions of 8% and 10% of sand, fitting the specifications required. Studies of feature and resistance were made according to regulatory norms. Results show that, with addiction of 10% of glass powder, we get an increase in the resistance of almost 4,16 times when compared to the material without addiction of the residue; the material did not show expansion and the amount of plasticity was reduced about 7,33 times. With those results, we notice that the addiction of the glass powder in the proportions studied presented better results which is in attendance with the norm's requirements.

Keywords: Soil stabilization. Glass powder. Sustainability in construction.

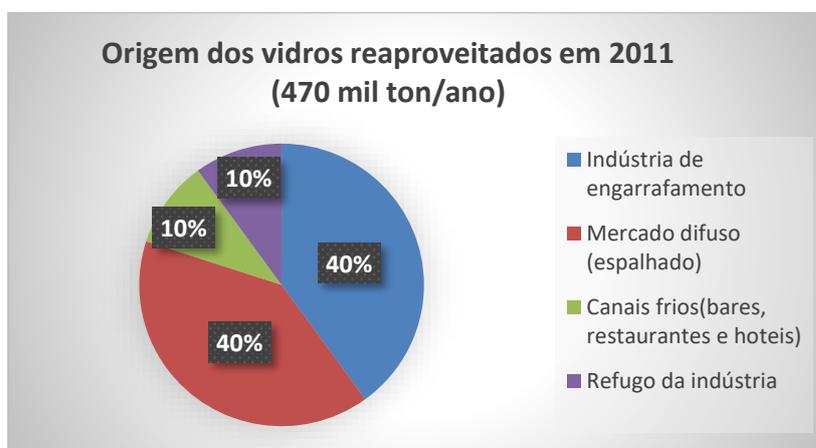
1 INTRODUÇÃO

A expansão populacional, aliada a necessidade de consumo de toda a humanidade, acarretou um processo de industrialização ao longo da história e, como consequência, ocorreram problemas globais como, por exemplo, uma grande geração de resíduos. Um dos maiores problemas com os quais estamos lidando é a destinação desses resíduos gerados pela população (CUNHA, MELCHIOR, 2010; RAMOS *et al*, 2017).

O crescimento citado, somado ao descaso por parte da população e deficiência nos setores de coleta, reciclagem e tratamento de resíduos sólidos no país, geram problemas como alagamentos, contaminação da água, ar e solo, além de propiciar a proliferação de inúmeras doenças de diferentes vetores (CUNHA, MELCHIOR, 2010; MONTEIRO *et al*, 2001).

O vidro é uma substância produzida em grande escala e que pode ser reaproveitada na construção civil. Conforme citado pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2013), a indústria vidreira brasileira produz cerca de 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano e em 2011 foram reciclados, 470 mil, provenientes de inúmeros locais conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Origem dos vidros reaproveitados gerados em 2011.



Fonte: Adaptado pelo autor (CEMPRE,2013).

O trabalho desenvolvido irá averiguar a resistência de corpos de prova moldados com um material composto por solo, brita, pedrisco e resíduo de vidro. Uma vez que o solo será substituído por pó de vidro nas proporções de 8% e 10% seguindo as recomendações de Afonso (2019).

A pesquisa visa analisar o comportamento da mistura inicialmente sem adição de pó de vidro e então analisar o comportamento com substituição de solo por pó de vidro nas porcentagens de 8% e 10%, para que o vidro como resíduo possa substituir parcialmente o solo em futuras pavimentações.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ESTABILIZAÇÃO DO SOLO

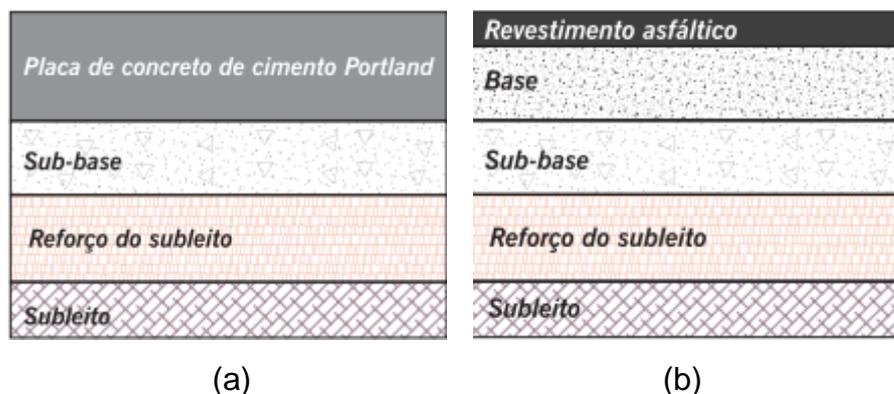
Para estabilizar um solo, métodos são aplicados buscando conferir ao solo resistência suficiente para que ele possa suportar as cargas normais de tráfego e a ações erosivas de agentes naturais como o vento, chuva e o frio. Tem por objetivo principal aumentar a vida útil de obras de engenharia, aumentando a resistência do solo. Estas estabilizações podem ocorrer de maneiras naturais ou artificiais (MARQUES,2006).

Com um bom método de estabilização é possível reduzir o tempo de execução das obras, além disso, com o aumento da resistência do material, pode-se reduzir a espessura de uma ou mais camadas que compõem uma pavimentação (MARQUES,2006).

2.2 PAVIMENTAÇÃO

É denominada pavimentação a estrutura destinada a receber cargas de tráfego, os pavimentos podem ser rígidos ou flexíveis conforme mostra a Figura 2. O conteúdo apresentado que se segue até o item 2.3, foi baseado no manual do Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT) 2006.

Figura 2- Ilustração das camadas de um pavimento (a) Rígido, (b) flexível.



Fonte: Bernucci *at al*, 2006.

Segundo o DNIT (2006) os pavimentos podem ser classificados em três categorias, conforme apresentados abaixo:

➤ Flexível: Aqueles em que todas as camadas sofrem deformações elásticas devido a incorporação de carga, portanto, a carga se distribui praticamente de forma proporcional entre toda espessura do pavimento. Podem ser vários níveis de brita graduada de diferentes granulometrias revestida por material betuminoso.

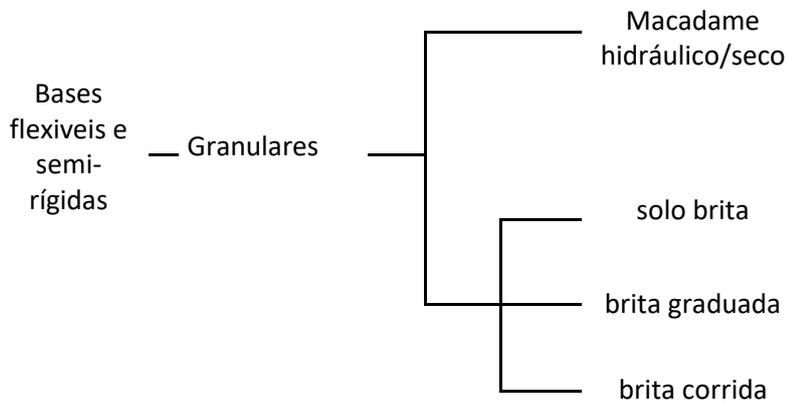
➤ **Semi-rígido:** Caracterizada como sendo uma base realizada com um aglutinante com propriedades cimentícias, podendo ser uma camada de solo-cimento revestido por uma camada asfáltica.

➤ **Rígido:** Este possui uma rigidez maior que os materiais das camadas inferiores, sendo assim recebe praticamente todas as tensões, um exemplo deste são pavimentos constituídos por concreto de cimento Portland.

2.2.1 BASE FLEXÍVEL E SEMI-RÍGIDA

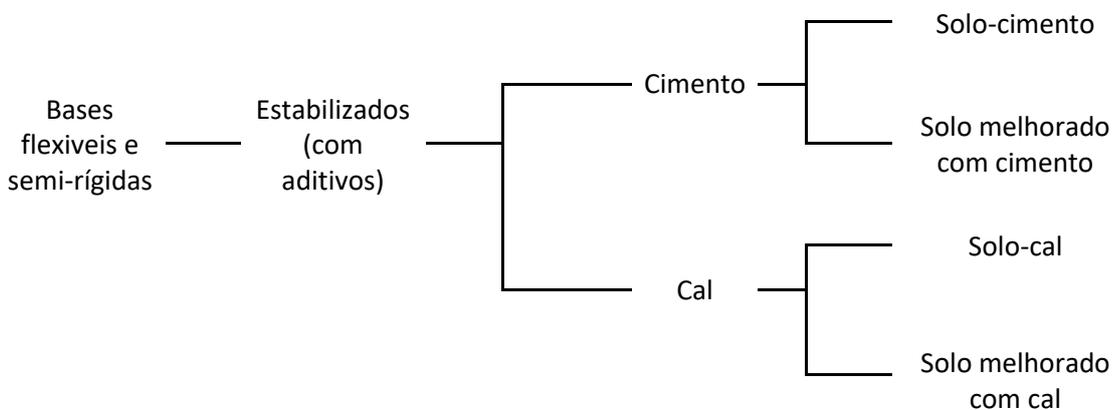
Consoante o manual do DNIT (2006), é possível executar base e sub-base flexíveis de maneira granular ou mesmo através de estabilização (com aditivos) conforme mostrado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3- Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semi-rígidas.



Fonte: Autor (2019).

Figura 4- Classificação das bases e sub-bases flexíveis e semi-rígidas



Fonte: Autor (2019).

a. BASE FLEXÍVEL E SEMI-RÍGIDA- GRANULARES

a.1 ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

São camadas puramente granulares sempre flexíveis que podem ser constituídas por solos, britas de rochas, de escória de alto forno ou pela mistura destes materiais conforme Figura 5. A granulometria apropriada deve ser realizada de acordo a índices geotécnicos peculiares, fixados em especificações.

Figura 5- Imagens de bases granulares constituídas por (a) Bica Corrida, (b) Brita Graduada.



(a)



(b)

Fonte: Bernucci *at al*, 2006.

a.2 MACADAMES HIDRÁULICO E SECO

Consiste em uma camada de brita de graduação aberta de tipo especial, que após a compressão, tem vazios que são preenchidos pelo material de enchimento, constituído por pó de brita, podem também ser solos de granulometria e plasticidade apropriada. O enchimento dos vazios pode ser realizado sem a adição de água (seco) evitando o encharcamento, sempre indesejável do subleito, mas também pode ser realizado com acréscimo de água, porém para realização de ambos os casos é necessário a distribuição do material de preenchimento dos vazios sobre a camada com uma posterior compactação com ou sem vibração.

b. BASE FLEXÍVEL E SEMI-RÍGIDA- ESTABILIZADAS (COM ADITIVOS)

Esta camada possui quase todos os processos tecnológicos e construtivos semelhantes aos granulares por estabilização granulométrica, diferindo-se em alguns detalhes.

b.1 SOLO-CIMENTO

O Solo-cimento é uma mistura devidamente compactada de solo contendo cimento Portland e água, esta mistura deve satisfazer certos requisitos de densidade, resistência e durabilidade, resultando um material duro, cimentado de acentuada rigidez a flexão. O teor cimentado usualmente é adotado na ordem de 6% a 10%.

Solo melhorado com cimento é obtido adicionando um pouco de cimento (2% a 4%), objetivando primordialmente à modificação do solo no que se refere à sua plasticidade e sensibilidade à água, sem cimentação acentuada, são considerados flexíveis.

b.2 SOLO-CAL

Pode ser definido como uma mistura de solo, cal e água, às vezes, cinza volante e/ou pozolana artificial. O teor de cal varia em torno de 5% e o processo de estabilização ocorre por:

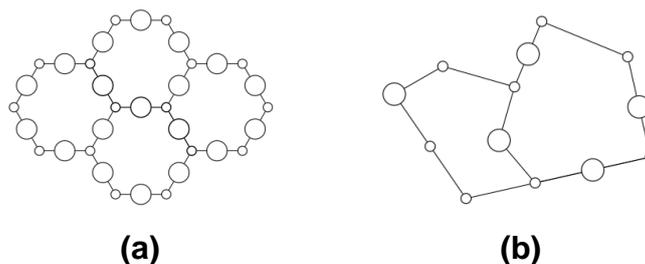
- Modificação do solo, que se refere à sua plasticidade e sensibilidade à água;
- Pozolanização, que é uma cimentação forte;
- Carbonatação, que é uma cimentação mais fraca.

O solo melhorado com cal é a mistura que se obtém quando há predominância dos fenômenos que produzem modificações no mesmo, no que se refere à sua plasticidade e sensibilidade à água, não são acrescidas resistência e durabilidade de maneira acentuada. As bases feitas desta maneira são consideradas flexíveis.

2.3 VIDRO

O vidro é o nome dado ao material obtido por meio de um resfriamento brusco de líquidos superaquecidos até seu ponto de rigidez, além disso é um material amorfo, ou seja, não possui um arranjo atômico padrão, já uma estrutura cristalina possui um padrão de configuração de seus átomos conforme a Figura 6. Suas matérias-primas mais comuns são sílica, alumina e calcário (ALENCAR; MESCOUTO; SANTOS, 2019; ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007).

Figura 6 – Imagem de estrutura (a) estrutura cristalina, (b) estrutura amorfa.



Fonte: Autor (2019).

Segundo Alencar, Mescouto e Santos (2019), os vidros podem ser classificados de três formas distintas, considerando suas particularidades, conforme descrito no Quadro 1.

Quadro 1- Classificação do vidro.

Nome	Descrição	Característica
Vidro boro-silicato	A sílica, juntamente com o elemento Boro torna o vidro termo resistência, ou seja, resistente ao fogo	Alta resistência ao fogo
vidro sódio-cálcico	Resultado da adição de sódio e cálcio à sílica	Maior resistência mecânica (usado em embalagens)
Vidro do tipo cristal	Contém de 24 a 32% de óxido de chumbo	Menor resistência mecânica (fabricação de copos)

Fonte: Adaptado pelo autor de Alencar, Mescouto e Santos (2019).

2.4 ESTUDOS COM IMPLEMENTAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO.

Os estudos desenvolvidos levam em consideração desde a viabilidade econômica até outras propriedades do solo como a resistência. A substituição parcial do aglomerante, por pó de vidro, isso pode ser realizado, pois os resíduos que possuem uma granulometria inferior a 0,075 mm possuem propriedades pozolânicas, que podem ser responsáveis por resultados positivos como redução da plasticidade, aumento na densidade específica seca ou ganho de resistência já encontrados (AFONSO,2019).

Rodier e Savastano Jr. (2018) trabalharam com a substituição parcial com cerca de 10% do peso em massa de cimento por resíduo de vidro em pó, visando a elaboração de materiais cimentícios ecoeficientes. Os resultados da pesquisa foram positivos e além de elevar a resistência da amostra ao fogo também tornou o material mais durável, bem como elevou em 11% a resistência à compressão das argamassas de controle aos 28 dias de idade.

Na pesquisa realizada por Nunes e Ferraz (2017), onde foram substituídos solo do tipo A-5 do sistema rodoviário por cacos de vidro na proporção de 10% e 20%. Os autores chegaram à conclusão de que houve um aumento na resistência do solo, porém para base de pavimentos não se fez viável nas proporções escolhidas, pois a expansão ficou entre 0,98% e 3,88% ultrapassando as especificações par uso na base do DNIT que é de 0,5%. No que diz respeito a sub-base e reforço do subleito o trabalho apresentou resultados positivos para o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Por sua vez Benny et al. (2017) constatou que valores como os de coesão, ângulo de atrito interno e densidade específica seca aumentam com a substituição de um solo argiloso por pó de vidro até um valor ótimo de 8%. No trabalho realizado po Benny et al. (2017), foram sendo substituídos pó de vidro pelo solo estudado na razão de 2% em 2% até

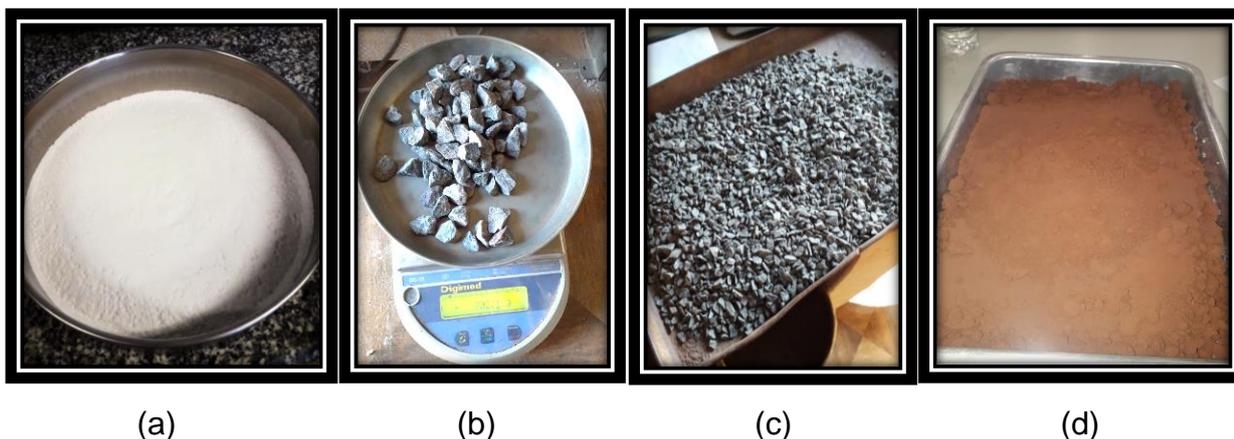
Avaliação do potencial de aplicação do pó de vidro para execução de base de pavimentos.

uma porcentagem de 10%. Ao se ultrapassar os 6% da substituição a densidade seca se reduz, juntamente com o ISC. Finaliza dizendo que, devido ao pó de vidro ser um resíduo industrial, é viável economicamente, além de ser uma boa técnica para melhoria do solo.

3. METODOLOGIA

O solo foi coletado na jazida localizada na cidade de Itaporã-MS situado na latitude 22°03'31,61"S e longitude 54°48'19,38"O, com umidade natural de 14,27%. O resíduo de vidro foi doado por uma empresa vidreira, localizada na cidade de Dourados-MS, este material seria destinado a uma empresa de aterro sanitário para seu curso final. O vidro inicialmente úmido precisou ser seco e moído. A brita e o pedrisco foram doados por uma empresa local de materiais para construção. Estes materiais podem ser vistos na Figura 7 abaixo.

Figura 7– Imagens dos materiais utilizados (a)Pó de vidro, (b)Brita, (c)Pedrisco, (d) Solo.



Fonte: (Autor, 2019).

Os estudos foram realizados em difentes traços conforme mostrado na Tabela 1, se enquadram na classe F da Tabela 29 do manual de pavimentação do DNIT 2006 de granulometria para base granular.

Tabela 1 - Proporções estudadas.

Traço	A	B	C
Brita	10%	10%	10%
Pedrisco	10%	10%	10%
Solo	80%	72%	70%
Pó de vidro	0%	8%	10%

Fonte: Autor, (2019).

3.1 ENSAIOS REALIZADOS PARA OS TRAÇOS A, B E C

- Granulometria.
- Limite de Liquidez.
- Limite de Plasticidade.
- Índice de Plasticidade.
- Teste de Proctor Intermediário.
- Índice de Suporte Califórnia (ISC).

3.1.1 GRANULOMETRIA

O ensaio foi realizado seguindo a NBR 7181 para o solo e para a mistura do traço A, após preparar o material, deve-se selecionar as peneiras que serão utilizadas e organizá-las de maneira que as peneiras de menor abertura fiquem sob as de maior abertura, o material é então colocado na peneira de maior abertura e posteriormente fixado à máquina, após o correto posicionamento e fixação das peneiras, a máquina vibratória é ligada por um período de tempo estipulado pelo laboratorista, uma vez que a norma não diz o tempo exato de vibração.

Segundo a NBR 7181 para classificar o solo fino, cerca de 120 g de material passante na peneira de malha 0,42mm foi lavada na peneira de 0,075 mm, para conhecimento da quantidade de silte, argila e pó de vidro.

3.1.2 LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)

Um solo quando possui uma umidade grande se comporta como um fluido, à medida que a água vai se evaporando existe um certo ponto em que a mistura deixa de se comportar como um fluido e passa então a se comportar como um material plástico. O ponto em que se encontra essa umidade é denominado limite de liquidez. O ensaio realizado no aparelho de Casagrande, o solo utilizado deve ser o material passante na peneira de número 40, correspondente a abertura de 0,42 mm.

A norma que regulamenta esse ensaio é a NBR 6459, se faz necessário adicionar água em 70g de material e misturar até que se obtenha uma mistura plástica, posteriormente deve-se colocar o material na concha metálica, conferir a altura na região central que deve ser de 1 cm, realizar uma ranhura no solo com o cinzel e com auxílio da manivela golpear a concha contra a base do equipamento na razão de duas voltas por segundo, de maneira que o espaço deixado pela ranhura na parte inferior se feche ao longo

de 13mm, posteriormente registrar o número de golpes e tomar uma amostra para análise de umidade no ponto onde a ranhura se fechou.

Deve-se então traçar um gráfico, com no mínimo 3 pontos que se interligam formando uma reta decrescente, onde eixo das ordenadas é a umidade e o eixo das abcissas o número de golpes em escala logarítmica, o valor para o limite de liquidez corresponde ao valor da ordenada no ponto em que o número referente a 25 golpes encontra a reta decrescente.

3.1.3 LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)

O ensaio é realizado seguindo a NBR 7180, com o solo passante na peneira de número 40 correspondente a abertura de 0,42 mm. São necessários cerca de 50 g de amostra, posteriormente é necessário adicionar água até obter uma massa plástica e homogênea. Com o solo já homogeneizado e úmido deve-se fazer uma esfera com a palma das mãos e posteriormente rolar para frente e para trás sobre uma placa de vidro esmerilhada com uma pressão que fará com que a esfera inicial se torne um cilindro com 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento.

O ensaio deve se repetir até que a amostra se fragmente aos 3mm e então uma amostra é coletada para a obtenção da quantidade de água nos vazios do solo, deve-se obter 3 valores para umidade, sendo que estes valores não se difiram da média em mais de 5%.

3.1.4 ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)

Uma vez obtidos os valores dos limites de liquidez e plasticidade do solo, com a subtração entre eles é possível encontrar o índice de plasticidade (Eq. 1) e então classificar o solo de acordo com o sistema rodoviário (Figura 8). Esta é regulamentada pela NBR 7180.

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

Figura 8 – Esquema para classificação pelo Sistema Rodoviário.

		% P #10 2,0 mm	% P #40 0,42 mm	% P #200 0,075 mm	IP
% P #200 < 35	A-1a	< 50	< 30	< 15	< 6
	A-1b		< 50	< 25	< 6
	A-3	> 50	< 10	NP	
	A-2	IP			
	A-2-4				
A-2-5					
A-2-6					
A-2-7					
% P #200 > 35	A-4	IP			
	A-5				
	A-6				
	A-7-5				
	A-7-6				
	A-7-6				

Fonte: Pinto, C.S. (2006).

3.1.5 ENSAIO DE PROCTOR COM ENERGIA INTERMEDIARIA.

O resultado deste ensaio é uma curva da densidade seca e o teor de umidade do solo. Com base em um procedimento padrão estipulado pela NBR 7182, o teste foi realizado em um corpo de prova com 152,4 mm de diâmetro e 177,8mm de altura, provido de colar de extensão destacável com 50mm de altura e destacável, placa de base perfurada de 10 mm de espessura.

O ensaio é realizado com a compactação do corpo de prova em 5 camadas de tamanhos iguais, utilizando um soquete grande com massa de 4.536 g com 26 golpes, deve-se realizar escarificações entre as camadas para melhor aderência das mesmas.

Conforme a energia é aplicada, o solo se comprime, expulsando o ar contido no interior dos vazios da amostra e como consequência sua densidade é elevada. O máximo valor da densidade seca é alcançado quando o solo é compactado, reduzindo os vazios, isso ocorre para certo teor de umidade, conhecido por umidade ótima.

Com informações do peso específico seco e a umidade, é possível marcar alguns pontos e posteriormente ligar os pontos formando uma curva parabólica com concavidade voltada para baixo, deve-se traçar a curva com a ordenada sendo a densidade seca e a abcissa sendo o teor de umidade do material.

As Equações (2) e (3) são utilizadas no experimento.

$$Umidade w\% = \frac{\text{peso da agua}}{\text{Peso do solo seco}} \quad (2)$$

$$Peso específico seco = \frac{\text{densidade umida}}{1+umidade} \quad (3)$$

3.1.6 ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (ISC)

É o nome dado ao ensaio cujo valor obtido é uma relação que leva em conta a pressão necessária para produzir uma penetração em um corpo-de-prova estudado e a pressão necessária para produzir esta penetração em uma brita tomada de padrão para este ensaio. A moldagem do corpo de prova deve ser realizada próximo umidade ótima e de acordo com a NBR 9895, para que se obtenha um maior valor do ISC. O cálculo do ISC é realizado de acordo com a Equação 4.

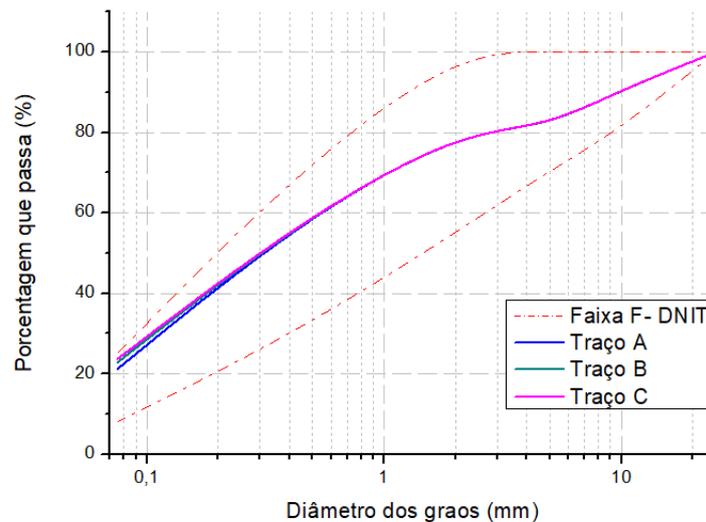
$$ISC (\%) = \frac{PRESSÃO \ LIDA \ OU \ PRESSÃO \ CORRIGIDA}{PRESSÃO \ PADRÃO} * 100 \quad (4)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O ensaio granulométrico foi realizado com o intuito de classificar e escolher os traços através do método analítico, os resultados são apresentados na Figura 9. O traço A foi escolhido por orientação do laboratorista no local em que os ensaios foram realizados.

Figura 9- Ensaio de granulometria para os traços A, B e C



Fonte: (Autor, 2019).

As curvas se enquadraram na faixa de tráfego II-F do manual do DNIT, 2006 para bases granulares, pode-se notar que a alteração com a substituição do vidro não altera a granulometria de maneira a fazer com que as curvas do traço B e C fujam da faixa em questão, entretanto a proporção de finos presentes se mostra maior.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Para classificação do solo de traço A, B e C foi necessário realizar os ensaios dos limites de liquidez e plasticidade solo. Os resultados são apresentados na Tabela 2. O sistema usado para classificação foi o rodoviário ilustrado na Figura 8.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios realizados.

TRAÇO	A	B	C
LL	30	18,8	15,5
LP	19	14,1	14,0
IP	11	4,7	1,5
% passante na #200	26,20	30,3	33,8
Classificação do solo	A-2-6	A-2-4	A-2-4

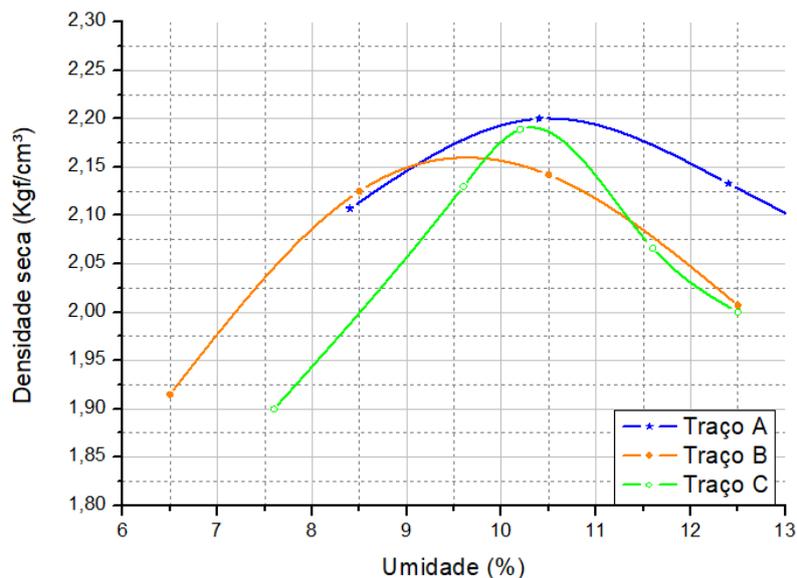
Fonte: (Autor, 2019).

É possível notar que o índice de plasticidade teve uma redução de 7,33 vezes entre o traço A e o traço C, e do traço A para o B essa redução foi de 2,34 vezes. Com as reduções citadas os traços do tipo B e C atenderam as especificações do DNIT de $IP > 6$ e $LL < 25$.

4.3 COMPACTAÇÃO E ISC PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS

Os resultados do ensaio de compactação realizados para os três traços estudados são apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Ensaio de compactação.



Fonte: (Autor, 2019).

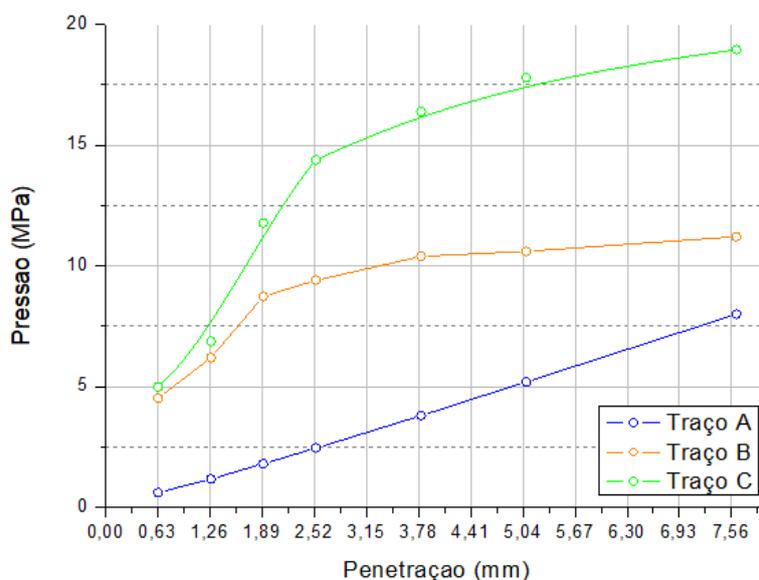
O material com substituição de vidro acima de 8% se tornou difícil de ser trabalhado, uma vez que o limite de liquidez é baixo sendo assim o material passa a se comportar como

liquido muito rapidamente e como mostra na curva do traço C, o solo tem um ganho e uma perde de densidade seca em uma curta variação na umidade.

Comparando os resultados desta pesquisa com os resultados do Benny et al. (2017) e Afonso (2019), houve uma redução da umidade ideal em todos os trabalhos, a queda da densidade seca no trabalho de Benny et al. (2017) se deu a partir de 6%.

Após a compactação, foram moldados 2 corpos de prova para os traços A, B e C a fim de realizar o ensaio de ISC, seguindo o que diz a NBR 9895. Os resultados do ensaio de ISC que serão apresentados na Figura 11, é decorrente da média dos dois corpos de prova. A Tabela 3 apresenta os valores para ISC e os resultados obtidos nas curvas do ensaio de Proctor. Os corpos de prova do traço A e C não apresentaram expansão, enquanto para o traço B foi possível notar uma pequena expansão de 0,09% ocorridos entre o primeiro e o segundo dia.

Figura 11 – Resultado do ensaio ISC para os traços A, B e C



Fonte: (Autor, 2019).

Tabela 3 - Resultados de Proctor e ISC para os traços A, B e C.

Traço	A	B	C
Massa específica seca máxima (kgf/cm³)	2.200	2.160	2.180
Umidade ideal (%)	10,5	9,5	10,4
ISC (%)	50,18	136,45	208,77
L.L.	30	18,8	15,5
I.P.	11	4,7	1,5
Expansão (%)	0	0,09	0

Fonte: (Autor, 2019).

Para que um material seja implementado a uma obra de pavimentação asfáltica, é necessário seguir alguns requisitos mínimos estipulados pelo DNIT, sendo eles: I.S.C.>80%; expansão<0,5%; L.L.<25%; I.P.<6%.

Assim como observado, o material inicialmente não possuía resistência, limite de liquidez e índice de plasticidade propostos pelo DNIT, com a adição do pó de vidro as misturas atenderam a todos os requisitos mínimos.

Neste estudo foi possível notar um aumento de 4,16 vezes na resistência quando comparado os traços A e C e de 2,72 vezes do traço A para o B.

O valor encontrado, apresenta uma taxa de crescimento de resistência equivalente à do Benny et al. (2017) que apresentou um ganho de resistência de 4,27 vezes o valor inicial, entretanto os resultados dele após adição de 8% apontou uma perda na resistência, diferindo-se deste trabalho, entretanto o material estudado possuía características muito deste solo coletado em Itaporã.

O aumento da resistência apresentado por Benny et al. (2017) com adição de 8% de vidro, teve um aumento de 4,27 vezes o valor inicial, enquanto este trabalho apresentou uma diferença máxima de 4,16 vezes do valor inicial do ISC que foi de 50,18% Tabela 3.

Apesar de ainda existirem poucos trabalhos com adição de pó de vidro em solos para pavimentação é possível apontar alguns fatores que explicariam o crescimento na resistência. O ganho na resistência pode-se estar relacionado com a afirmação de Afonso (2019), que diz que as partículas de vidro, quando passantes na peneira de malha 0,075mm possuem propriedades pozolânicas. Materiais pozolanicos, são materiais silicosos ou sílico-aluminoso que podem possuir propriedades cimentícias, estes materiais na presença de água, reagem quimicamente com hidróxido de cálcio para formar compostos com propriedades aglutinantes.

Outro fato observado foi que o resíduo de vidro corrigiu o solo natural, reduzindo a plasticidade que é um fator que também contribui para elevação do ISC, ademais é importante salientar que após a ruptura do corpo de prova, foi possível notar que as partículas de vidro pareciam ter se unido as partículas de brita e solo como mostra a Figura 12, reforçando a ideia de que ela age como material aglutinante.

Figura 12 – Imagem do corpo de prova do traço C após ser retirado do molde cilíndrico.



Fonte: (Autor, 2019).

Além destas reações vistas, como o pó de vidro é um material com granulometria inferior a 0,075 mm, sua superfície específica é elevada, mantendo um contato maior com os materiais ao seu redor, como consequência deste fato o fator de empacotamento é maior, possibilitando um preenchimento maior dos espaços deixados pela brita e pedrisco.

5 CONCLUSÃO

As características do traço A melhoraram com a adição do vidro, o índice de plasticidade foi reduzido e houve um aumento de 4,16 vezes a resistência inicial, este fato pode ser estar relacionado a propriedade pozolânica, segundo Afonso (2019), pode também estar relacionada a correção do índice de plasticidade ou pode estar relacionada ao fator de empacotamento. Os traços B e C podem ser aplicados a base, visto que ambos atenderam a todos os requisitos pelo DNIT. Por fim este artigo apresentou um bom método de estabilização de solo, entretanto carece de maiores estudos para analisar o comportamento do vidro na mistura.

6 RECOMENDAÇÕES

Com os resultados apresentados verificou-se a implementação de solo-brita-vidro é uma boa alternativa para destinar o resíduo estudado.

Para moldagem dos corpos de prova do ensaio de compactação com substituição de pó de vidro acima de 8%, recomenda-se a adição de água ocorra na proporção de 1 em 1%, pois com a adição de vidro a mistura se torna pouco plástica, assim sendo, ora está com umidade boa, ora o solo passa a se comportar como líquido de maneira repentina e se torna ruim para ser trabalhado e estudado.

6 AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que colaboraram para que o trabalho fosse realizado, em especial ao José da Silva Santana que cedeu seu laboratório, seus equipamentos, auxiliou além de compartilhar conhecimentos que foram úteis para elaboração deste trabalho.

Ao Dr. Elton Aparecido Siqueira Martins e a Dra. Elaine Reis Pinheiro Lourente que, quando consultados e se mostraram a disposição para esclarecer dúvidas.

As empresas que forneceram os materiais necessários, Douragass responsável pela doação do resíduo de vidro utilizado, Dourapark materiais para construção que forneceu a brita e o pedrisco e a Dona Izaura proprietária da área rural onde foi coletado o solo.

REFERÊNCIAS

AFONSO, A. C. **ANÁLISE DO DESEMPENHO MECÂNICO DE UMA MISTURA DE SOLO ARGILOSO E RESÍDUO DE VIDRO** / (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 9895- Solo- Índice de suporte Califórnia (ISC)- Método de ensaio**, Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6457- Solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**, Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6459- Solo- Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7180- Solo- Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181- Solo - Análise granulométrica**, Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7182- Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

ALENCAR, E. L. S.; MESCOUTO, M. M.; SANTOS, M. C. "**Vidro: Origens e Aplicações**" / (Trabalho para disciplina materiais de construção – Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia do Pará), Belém, 2019.

BENNY, J. R.; JOLLY, J.; MAREENA, S. J.; & THOMAS, M. **EFFECT OF GLASS POWDER ON ENGINEERING PROPERTIES OF CLAYEY SOIL**. International Journal of Engineering Research & Technology, v. 6, n. 5, 2017.

BERNUCCI, L., CERATTI, J., SOARES, J., & MOTTA, L. **PAVIMENTAÇÃO ASFALTICA: formação básica para engenheiros**. Cap. 7. – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. **RECICLAGEM DE VIDRO**, 2013. Associação sem fins lucrativos. Disponível em:<<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>> Acesso em: 13 março 2019, as 13h:30.

CUNHA, F. L.; MELCHIOR, L.; **COOPERATIVAS POPULARES: A (RE)QUALIFICAÇÃO DO TRABALHO DOS CATADORES DE RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS EM OURINHOS E SANTA CRUZ DO RIO PARDO – SP** / (Projeto de extensão) - *Revista Ciência em Extensão*, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 90-93, jun. 2010. ISSN 16794605.

Avaliação do potencial de aplicação do pó de vidro para execução de base de pavimentos.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. PUBLICAÇÃO IPR – 179.** Ministério dos transportes. Departamento nacional de infraestrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias, 2006.

MARQUES, G. L. O. **ESTABILIZAÇÃO DE SOLO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO /** (Notas de aula da disciplina Pavimentação), 2006.

MONTEIRO *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos /** (Governo Federal). Rio de Janeiro, 2001.

NUNES, B. S; FERRAZ, G. B. R.; **POSSÍVEL APROVEITAMENTO DE VIDRO ADICIONADO A SOLO EM OBRAS RODOVIÁRIAS.** (Artigo) - Brasília, 2017.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos, em 16 Aulas/ 3ª Edição.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

RAMOS, Naiara Francisca et al. **Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. Eng. Sanit. Ambient. /** (Artigo técnico). Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1233-1241, Dec. 2017.

RODIER, L. ; SAVASTANO J., Holmer. **Use of glass powder residue for the elaboration of eco-efficient cementitious materials /** Journal Of Cleaner Production, São Paulo, 2018.

ROSA, S. E. S.; COSENZA, J. P.; BARROSO, D. V. **CONSIDERAÇÕES SOBRE A INDÚSTRIA DO VIDRO NO BRASIL.**(Artigo) BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, p. 101-138, set. 2007.