

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE SOLO MELHORADO COM RESÍDUO DE VIDRO MOÍDO

Sedisnei Zanatta

Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade Meridional - IMED

sedisnei@hotmail.com

Jéssica Flesch Novaes

Professora Mestre em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

jessica.novaes@imed.edu.br

Carina Rosa

Acadêmica de Engenharia Civil da Faculdade Meridional - IMED

1109724@imed.edu.br

Djalmo Dutra dos Santos Neto

Acadêmico de Engenharia Civil e Bolsista do PITI da Faculdade Meridional - IMED

1112250@imed.edu.br

Eduardo Langone Antunes

Acadêmico de Engenharia Civil da Faculdade Meridional - IMED

1111536@imed.edu.br

Leonel Nadal de Oliveira

Mestrando em Engenharia Civil da Faculdade Meridional - IMED

1110715@imed.edu.br

Rogério Ferreira Júnior

Acadêmico de Engenharia Civil e Bolsista do PITI da Faculdade Meridional - IMED

1116701@imed.edu.br

Resumo. *O solo é um recurso comum na pavimentação, pelo custo baixo e abundância, entretanto nem sempre os solos locais atendem às exigências solicitadas pelos requisitos de tráfego e ambientais, acarretando na substituição ou melhoramento do material. Este trabalho apresenta a utilização de vidro moído para melhoramento de solos. Foram realizados ensaios de resistência à compressão para avaliar a possibilidade de utilização. Os teores de vidro foram de 3, 5 e 7%. O solo foi coletado em Passo Fundo/RS e o vidro moído em Sapucaia do Sul/RS. As avaliações foram feitas após 7 dias de cura, além das amostras sem adição de vidro. Observou-se um aumento na resistência à compressão simples de 97% para as adições de 3 e 5% e uma estabilização no valor da resistência para valores de 7%. Incrementos a partir de 3% no teor de vidro não corresponderam a significativos aumentos de resistência.*

Palavras-chave: *Resistência à compressão do solo. Resíduo de vidro moído. Pavimentação.*

1. INTRODUÇÃO

Um segmento da engenharia civil que está a desenvolver novos materiais é o de infraestrutura nas obras viárias. A qual busca a utilização de novos materiais aliados à sustentabilidade, através do reuso de materiais que seriam descartados, mas que são aproveitados para a técnica de melhoramento de solos.

Sabe-se que em pavimentação, existe a preferência na utilização de solo natural, pois este geralmente se encontra em abundância próximo ao local das obras, reduzindo custos com transportes. Todavia, nem sempre o material atende às exigências geradas pelas cargas de tráfego e os requisitos ambientais para seu aproveitamento. Quando isso ocorre, opta-se por outras soluções, sendo elas: o

dimensionamento dos pavimentos levando em consideração os limites do solo, a troca de material local por outro de qualidade superior, ou até mesmo modificar as propriedades do mesmo, resultando em um material novo que cumpra com as obrigações do projeto. Esta última alternativa apresentada é denominada melhoria de solos (NÚÑEZ, 1991).

Uma das técnicas de melhoria de solo é a adição de vidro moído. Fávero (2009) comenta que o vidro é um material oriundo da mistura de matéria primas naturais, e, por ser constituído de 72% de sílica amorfa, é elencado como um material para ser utilizado na composição solo ocasionando seu melhoramento atendendo requisitos de sustentabilidade. Cabe destacar que o vidro é um material 100% reciclável. Todos os materiais vítreos podem ser transformados em novos produtos.

Segundo CEMPRE (2007) 46% do vidro produzido no Brasil, retorna as usinas de reciclagem para a produção de novas vidrarias. O percentual de reciclagem de vidro poderia ser maior e com isso a engenharia civil teria uma parte desta fatia para incrementar resistências em solos, utilizando como agregado para reforço de subleitos de pavimentos rodoviários.

Diante destas informações, este trabalho apresentará a avaliação das resistências à compressão simples de misturas de solo da cidade de Passo Fundo/RS com resíduos de vidro moído. Foram realizadas análises dos parâmetros do solo para avaliação. Além disso, ocorreu a avaliação da influência da adição de vidro moído como agente pozolânico na resistência à compressão conforme a NBR 12025:2012 - Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos de prova. Por fim, a amostragem de valores de referência de compressão do solo natural, foi utilizada para realizar comparativo de resistência mecânica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Solo

O solo foi coletado em um talude na rua João Malez, próximo à rodovia ERS 324 - perimetral sul da cidade de Passo Fundo/RS (Figura 1). Após coletar o material disponível, próximo à via, com profundidade rasa do talude, este foi transportado, posteriormente destorroado e posto em secagem a sombra, como descrito na norma NBR 6457/1986: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Após disso foram realizados os ensaios de caracterização do solo de acordo com as normas apresentadas na Tabela 1.

Figura 1: Localização da jazida no município de Passo Fundo/RS



Fonte: Google Earth, 2019.

Tabela 1: Ensaios de caracterização do solo

Ensaio	Norma
Análise granulométrica	ABNT NBR 7181
Limite de liquidez	ABNT NBR 6459
Limite de plasticidade	ABNT NBR 7180
Massa específica dos sólidos	ABNT NBR 6508
Compactação Proctor	ABNT NBR 7182

2.1.1 Análise granulométrica

O solo foi submetido ao ensaio de granulometria para identificar a sua distribuição. Este ensaio possibilitou a determinação da curva de distribuição granulométrica, a qual foca em auxiliar nas classificações do solo. O Ensaio seguiu as prescrições da NBR 7181/1984: Solo - Análise granulométrica. A amostra foi posta para secar ao ar livre. Na sequência com a ajuda de um almofariz o solo foi destorroado e deste coletou-se 1 kg para realizar o ensaio. Tomou-se três amostras do mesmo para determinar a umidade higroscópica para ser utilizada nos ensaios seguintes de caracterização.

Para obtenção das porcentagens dos diâmetros das partículas utilizou-se peneiras de tamanhos variados, baseando-se na NBR 5734/1989: Peneiras para ensaio - Especificação, atualmente substituída pela NBR NM ISO 3310-2:2010.

2.1.2 Limites de Atterberg

O ensaio de limite de Liquidez foi realizado seguindo a NBR 6459/1984: Determinação do Limite de Liquidez. Para isso foi utilizado o Aparelho de Casagrande.

Tomou-se uma amostra de 200g do solo de acordo com a NBR 6457/1986: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 100g foram utilizadas para definição do limite de liquidez e o restante ao limite de plasticidade.

As amostras foram homogeneizadas com pequenas quantidades de água destilada e auxílio de uma espátula para que a massa atingisse uma consistência que sejam precisos

35 golpes para fechar a fenda feita na massa do solo com auxílio do cinzel para solos argilosos.

Na sequência foram efetuados golpes regulares no aparelho de Casagrande, contra a base até a fenda fechar-se. Anotou-se o número de golpes aplicados e retirou-se uma parte de solo que estava na concha, para determinar o teor de umidade, o que restou foi adicionado a amostra inicial e adicionada água para determinar o próximo ponto. Pela normatização foi repetida para mais quatro pontos no intervalo de 15 a 35 golpes.

Após a homogeneização, retirou-se uma parte de 10g do solo para preparação do cilindro que deve fragmentar-se quando atingiu aproximadamente de 3 mm de diâmetro, no caso de não ter ocorrido fragmentação devolve-se a porção à amostra inicial, corrigindo a umidade e homogeneizando o mesmo para refazer o cilindro.

O ensaio de limite de plasticidade foi repetido no total de cinco vezes até a fragmentação do cilindro de 3 mm de diâmetro, sempre coletando fragmentos dos cilindros, obtendo-se cinco teores de umidade, os quais, com a média aritmética, definiram o limite de plasticidade.

2.1.3 Massa Específica Real dos Grãos

Para a determinação da massa específica dos grãos, foi retirada uma amostra de 50g de solo passante na peneira 2,00 mm conforme a NBR 6508/1984: Determinação da Massa Específica. A amostra foi colocada em imersão em água destilada e em repouso por no mínimo 12 horas.

Posteriormente a essas 12 horas, a amostra foi transferida ao corpo de dispersão, deslocando com água destilada todo material da cápsula. A boca do copo foi tampada e colocou-se a amostra em dispersão no aparelho dispersor por 15 minutos.

Na sequência colocou-se o picnômetro na bomba de vácuo para ser retirado todo ar contido na amostra, por um tempo de 15 minutos.

Ao final desses 15 minutos foi retirado o picnômetro do vacuômetro e retornou ao banho-maria por mais 15 minutos, que foi completado com água destilada 1 cm abaixo do menisco do picnômetro, posteriormente este processo retirou-se o mesmo banho e deixou-o fora para chegar à temperatura ambiente.

Pesou-se o conjunto do picnômetro + água + solo e assim como foi medido a temperatura do mesmo. Com a ajuda da tabela de calibração e dos valores de temperatura dispostos pela norma, calculou-se a massa do conjunto (picnômetro + água). Após este processo obteve-se a massa específica real dos grãos.

2.1.4 Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação foi baseado na norma NBR 7182/1986 - Ensaio de Compactação, que determina a ligação da umidade (w%) com o peso específico seco dos solos (γ_d).

Tomou-se nota das medidas e massas dos cilindros para posteriormente verificar a norma, a qual determina a quantidade de solo utilizada na compactação, no caso do experimento a massa de solo recomendada foi de 4,5 kg. Baseado na umidade natural do solo acrescentou-se água destilada em pequenas porções para atingir pontos próximos à umidade ótima.

Após homogeneizada a amostra e retirado uma parte de solo, realizou-se o ensaio de compactação, com uma energia de compactação normal recomendada ao ensaio, com 26 golpes em três camadas. Posteriormente a compactação de camada realizou-se a escarificação da camada anterior para melhor aderência entre elas.

Depois de compactar a última camada, foi removido o prolongador para garantir que a massa de solo fosse atendida de acordo com a NBR 7182/1986, e regularizou-se o molde com uma régua biselada. Após mediu-se a massa do conjunto cilíndrico + solo e em sequência, a extração do molde com o auxílio do extrator

pesou-se novamente e foram anotados os valores, ao final quebrou-se o molde e retirou-se 3 amostras de solo para encontrar o teor de umidade do molde. Este processo foi realizado mais cinco vezes para obter vários pontos para a curva de compactação.

2.1.5 Ensaio de Compressão Simples

Para a realização deste ensaio foi utilizado a norma NBR 12025/2012: Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos de prova.

Após a cura dos corpos de prova na câmara úmida, secou-os e colocados na prensa um por vez para medir sua resistência.

Após o rompimento do corpo de prova, quando não possui acréscimo de resistência, retirou-se o molde da prensa hidráulica para fazer o próximo rompimento de molde. Foram rompidos moldes com teores de 3%, 5% e 7% de vidro moído e também moldes de solo natural, onde as compactações ocorreram 3% acima da umidade ótima.

2.2 Vidro

Foi coletado o vidro na empresa Recividro de Sapucaia do Sul/RS, que seguiu os parâmetros, sendo vidro incolor, onde não houve preocupação com a utilização anterior do material. Obteve-se 5 kg deste material, o qual encontrava-se disponível em granulometria grossa, demandando de moagem para obter granulação mais fina.

A moagem do material ocorreu na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no laboratório da Faculdade de Engenharia de Minas, que disponibilizou o moinho de bolas cerâmicas.

Inicialmente as bolas foram colocadas no interior do jarro, que atingiu aproximadamente 33% do volume total do mesmo, em seguida adicionou-se mais 33% do vidro grosso, tampado e vedado. Posteriormente colocou-se moinho para girar, com velocidade constante.

Após a moagem retirou-se o material, o vidro moído foi separado das bolas cerâmicas e foi peneirado em peneira #200. O material passante foi armazenado e o retido retornou ao moinho para ser novamente moído.

2.3 Corpos de Prova

Foram utilizados cilindros de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro. Os moldes de corpo de prova tiveram 3 diferentes porcentagens de vidro em relação ao peso seco: 3%, 5%, 7% e solo natural. Foi misturado cada teor de vidro com sua quantidade de solo e sua quantidade de água. Com o objetivo de diminuir a dispersão características dos ensaios de compressão simples e, dessa forma, aumentar a confiabilidade dos resultados, nove corpos de prova foram moldados para cada ponto de moldagem.

Os corpos-de-prova assim obtidos foram então, armazenados e curados por um período de sete dias à temperatura ambiente média de 23°C em cura úmida, e após os sete dias de cura foram acondicionados em imersão por 24 horas para minimizar os efeitos de sucção. Este processo foi repetido nove vezes para cada teor de vidro adicionado ao solo, sendo utilizado teores de três, cinco e sete por cento de vidro moído, e também realizado moldes somente com solo natural para obter parâmetros comparativos, no total foi realizado trinta e seis corpos de prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do solo de Passo Fundo pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

De forma geológica, a região de Passo Fundo está localizada na Província do Paraná, no grupo São Bento classificado na Formação Serra Geral (WILDENR W. et al, 2006).

De acordo com a classificação de solo SIBCS (2013), o solo passofundense é do tipo Latossolo Vermelho Distrófico Húmico, sendo

solos profundos (cotas abaixo de 250 cm), bem drenados, porosos e de coloração avermelhada e muito friável. Frequentemente desenvolve-se um horizonte B latossólico, podendo haver a ocorrência de uma ligeira podronização, que é um processo que acontece a translocação dos materiais do horizonte A, os quais se acumulam no horizonte. Com textura argilosa (acima de 40 em todo o perfil), contudo a fração de areia é superior que 30% do horizonte superficial. São horizontes poucos diferenciados em suas camadas A, B e C. Nesse solo a textura do horizonte A pode variar, porém não é mais leve que a argila arenosa ou franco arenosa (UFMS, 2017).

3.2 Classificação do solo segundo Highway Research Board

Segundo a classificação rodoviária Highway Research Board - HRB o solo foi classificado como A-2-4 (0) (Areia Siltosa ou Areia Argilosa). O índice de grupo foi calculado com as seguintes premissas: Passante na peneira #200 menor que 35% e 15% e Índice de Plasticidade menor que 10%, o que anula a equação que determina este índice). Segundo os cálculos o resultado foi de um excelente material para reforço de subleitos de obras rodoviárias.

Pela análise tátil visual, o solo se caracterizou como mais arenoso do que argiloso em suas frações granulométricas. Visualmente foi muito semelhante a argila, mais comum em Passo Fundo No entanto, pela classificação HRB ainda ficaria em desacordo pois para as caracterizações foram utilizadas os Limites de Atterberg, utilizado para solos argilosos.

3.3 Resistência do solo

A característica dos solos em conservar e suportar sua estabilidade por sua vez pode depender da resistência ao cisalhamento do solo, a maior parte da massa de solo se rompe após sua resistência excedida (CAPUTO,

2000). Coesão e atrito são dois fatores que estão ligados diretamente à ação integrada ao cisalhamento (CORTELETI, 2013).

Logo, quando se há a pretensão de aumentar a resistência do solo, faz-se uma modificação da coesão ou do ângulo de atrito, ou de ambos. Os resultados desses parâmetros fundam-se especialmente em três fatores: umidade, granulometria e compactidade (SOUZA PINTO, 2006). O autor ainda considera que a parte de areia e pedregulho contribuem com o atrito interno, já a parte fina influi na coesão, devido ser aglutinante.

Machado (1997) comenta que as propriedades esperadas, conseguem ser obtidas por compactação, não somente pela resistência, mas também pela compressibilidade e permeabilidade, e a alteração da umidade tem grande influência na coesão dos solos, mostrando o quanto é importante a parcela fina em relação ao seu comportamento.

3.4 Por que estabilizar o solo?

A prática de melhoramento de solo está se tornando cada vez mais atrativa, proporcionando a chance de utilizar o solo que existe no local, evitando problemas ambientais.

Dalla Rosa (2009, p 23-25) cita que, “é comum em alguns casos na Engenharia, se deparar com situações onde que o solo do local onde será realizada a obra não é o mais apropriado”. Muitas vezes quando há presença de solos argilosos moles ou muito orgânicos as possíveis soluções adotadas são muito caras fazendo que a obra se torne inviável naquele local. Um grande desafio dos engenheiros geotécnicos é resolver tais problemas de estabilização dos solos com eficiência e que sejam economicamente viáveis (PAULA, 2013).

Havendo a necessidade de melhorar o solo, a adição de aglutinantes pode ser realizada para que ocorra a estabilização. Por esse processo, o solo deve ser unido por substâncias que elevem sua coesão ou que faça o efeito de impermeabilização impedindo a retração da

resistência pelo efeito da água, como exemplo a cal ou o cimento (CAPUTO, 2000).

3.5 Estabilização de solo com vidro

Define-se o vidro como uma substância inorgânica, amorfa e homogênea, que se obtém pelo processo de resfriamento de uma massa baseada em sílica (SiO_2), ou óxido de silício (SiO) em fusão o qual o aumento contínuo da viscosidade vai endurecendo até sua condição rígida, porém sem acontecer a cristalização (SANTOS, 1998). Como resíduo é classificado como inerte de Classe II B, pois não apresenta propriedades agressivas como inflamabilidade, reatividade, patogenicidade, corrosividade ou toxicidade (PINTO et al., 2008, p. 3-4).

Para o uso do vidro no concreto KLOSS (2019) afirma que o uso se justifica devido uma série de benefícios. Cita-se a elevada dureza superficial; Possuir grande massa específica, ficando entre 2.460 a 3.300 kg/m^3 ; Ter grande resistência mecânica; Possuir resistência de 500 MPa, chegando até 12.500 MPa em vidros temperados; Quanto à tração, podem ter até 2.000 MPa de resistência. No entanto, deve-se avaliar o índice de atividade pozolânica (IAP) de acordo com a NBR 5751/2014 - Materiais pozolânicos- Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. O vidro moído mostra-se com boa atividade pozolânica e boa reatividade, seja com o cimento ou com cal, constituindo-se um material alternativo ao concreto (PINTO et al., 2008 p. 8-9).

Além disso o vidro triturado é aplicado em alguns casos para ganho de resistência na produção de concreto e de argamassas, trazendo boa trabalhabilidade ao material e reutilizando restos de vidro (ALTAIR SANTOS, 2015).

Quando se faz a estabilização de solos com vidro, a técnica pode ser caracterizada como estabilização de classe física. Segundo a classificação de Silva (2016), é um processo de melhoria das características e das propriedades físicas do solo por intermédio de alterações da densificação do mesmo pelos esforços de

compactação ou por adequação granulométrica, misturando-se outros solos, fazendo o contato grão-grão ficar mais efetivo.

Nas pesquisas de Ahmad. et al. (2011) ao utilizar fibras de vidro reciclado (RGF), em solos da Malásia, considerados problemáticos em baixa resistência ao cisalhamento devido às precipitações de 2500 mm a 3000 mm por ano, obtiveram resultados que apontaram incremento de resistência significativo ao cisalhamento, as misturas de solo e fibra tiveram intertravamento que mobilizou na tensão de cisalhamento. Ao utilizar RGF para reforçar o solo, foi visto este como um grande potencial para atender as aplicações problemáticas.

3.5 Granulometria

Os seguintes resultados foram obtidos com a análise granulométrica, presente na Tabela 2.

Tabela 2: Peneiramento de solo

Peneira (ABNT)	Abertura (microm)	Massa peneira (g)	Massa peneira+ solo (g)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida acumulada	% passante acumulada
3/8"	9,500	498,03	498,03	0,00	0,00	0,00	100,00
1/4"	6,300	502,87	503,83	0,96	0,10	0,10	99,90
4	4,750	464,19	465,66	1,47	0,15	0,24	99,76
8	2,360	459,59	483,48	23,89	2,39	2,64	97,36
30	0,600	417,36	701,60	284,24	28,49	31,13	68,87
50	0,300	409,55	635,12	225,57	22,61	53,74	46,26
100	0,150	388,31	630,08	241,77	24,23	77,97	22,03
200	0,075	376,95	520,87	143,92	14,43	92,40	7,60
Fundo		377,87	453,69	75,82	7,60	100,00	0,00
Total				997,64	100,00	-	-

O gráfico da curva granulométrica do solo é apresentado na Figura 2 e os resultados obtidos mostrados na Tabela 3.

Figura 2: Curva de Distribuição Granulométrica

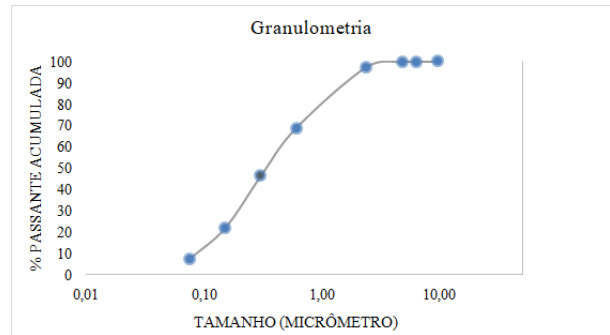


Tabela 3: Granulometria do solo de Passo Fundo/RS

Material	Diâmetro (mm)	% do material
Pedregulho grosso	20,6 a 60,0	0,00
Pedregulho médio	6,0 a 20,0	0,10
Pedregulho fino	2,0 a 6,0	2,54
Areia grossa	0,6 a 2,0	28,49
Areia média	0,2 a 0,6	22,61
Areia fina	0,06 a 0,2	24,23
Silte	0,002 a 0,06	14,43
Argila	<0,002	7,60
Total	-	100,00

Fonte: Laboratório de Geotecnia do Uniceub, 2017.

3.6 Limites de Atterberg

Os resultados de limite de liquidez estão ilustrados na Tabela 4, já os resultados do limite de plasticidade são apresentados na Tabela 5.

Tabela 4: Resultado de Limite de Liquidez

Limite de liquidez					
Cápsula N°	59	60	43	997	5
Amostra úmida + tara (g)	12,21	14,61	13,46	15,23	13,56
Amostra seca + tara (g)	10,90	12,86	11,83	12,64	11,74
Água (g)	1,31	1,76	1,63	2,59	1,82
Solo (g)	4,68	6,80	4,49	6,76	4,38
Tara (g)	6,22	6,06	7,34	5,89	7,36
Umidade %	27,95	25,87	36,39	38,30	41,48
Número golpes	35,00	33,00	24,00	21,00	18,00
			LL (%)		35,00

Figura 3: Resultados do Ensaio de Limite de Liquidez

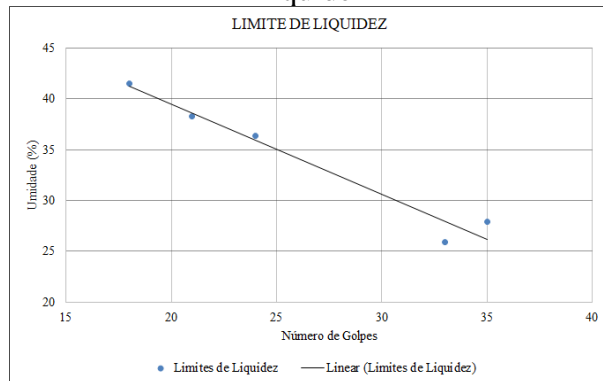


Tabela 5: Resultado de Limite de Plasticidade

Limite de plasticidade					
Cápsula N°	998	61	40	57	36
S+ A+ T (g)	6,381	6,989	7,057	6,814	7,334
S+ T (g)	6,219	6,735	6,801	6,570	7,020
Água (g)	0,162	0,254	0,256	0,244	0,314
Solo (g)	0,587	0,871	0,803	0,749	0,962
Tara (g)	5,632	5,684	5,998	5,821	6,058
Umidade %	27,59	29,16	31,88	32,57	32,64
			LP(%)		30,80

Com o resultado dos ensaios de Limites de Atterberg, conseguiu-se obter um Índice de Plasticidade - IP (%) em 4,2. Logo pela classificação de Bumister, o solo coletado se classificou como Ligeiramente Plástico (nomenclatura dedicada a amostras de solo que tiveram IP entre 1 e 5%).

3.7 Massa Específica dos Grãos

O valor encontrado pelo ensaio da massa específica dos grãos do solo é de aproximadamente 2,47 g/cm³ como mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Resultado de massa específica para o solo

Massa específica dos grãos- Solo	
Picnômetro	136,4500
Temperatura (°C)	0,9962
Pic+ água (g)	631,1500
Pic+ água+ solo (g)	661,0500
G (g/cm ³)	2,4765

Para o vidro foi realizado o ensaio de massa específica dos grãos e se obteve o valor aproximadamente de 2,39 g/cm³ como apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Resultado massa específica do vidro moído

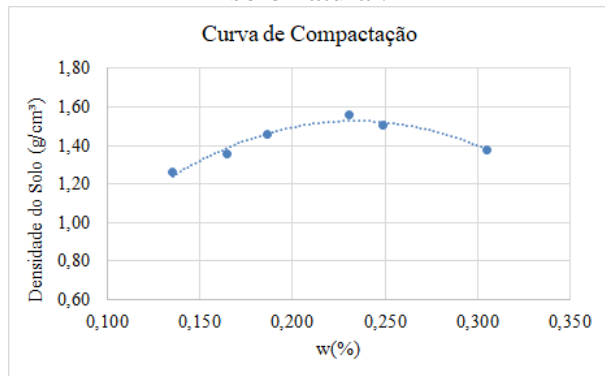
Massa específica dos grãos- Vidro	
Picnômetro	135,19
Temperatura (°C)	0,996
Pic+ água (g)	635,55
Pic+ água+ solo (g)	641,4
G (g/cm ³)	2,3894

3.8 Compactação do Solo

A curva de compactação do solo, classificado como arenoso siltoso, não adicionando vidro moído é representada na Figura 4.

Para este solo a sua umidade ótima de compactação foi constatado que é de 23,4% com densidade aparente seca de 1,526 g/cm³.

Figura 4: Resultado curva de compactação solo natural.



3.9 Compressão Simples

São apresentados os resultados de resistência obtidos no ensaio de compressão simples nas Figuras 5 e 6, e 7 de acordo com os teores de vidro adicionado e mais a resistência do solo natural.

Figura 5: Resultado corpos de prova com teor de 3% de vidro em comparação ao solo natural.

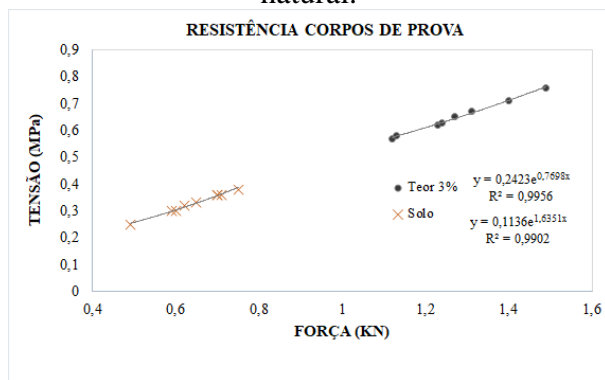


Figura 6: Resultado corpos de prova com teor de 5% de vidro em comparação ao solo natural.

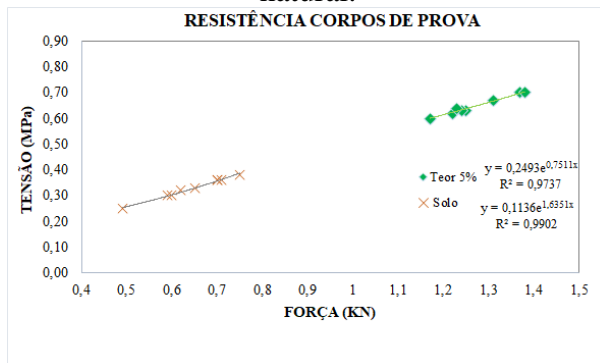
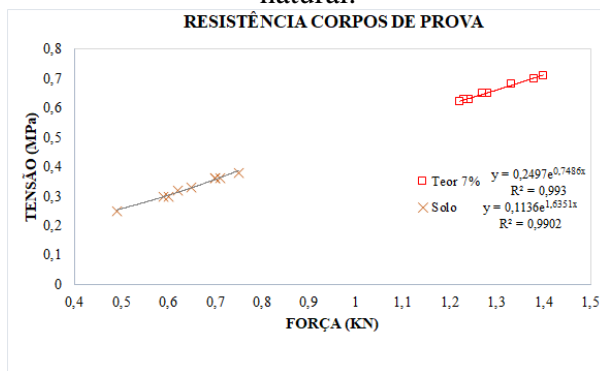
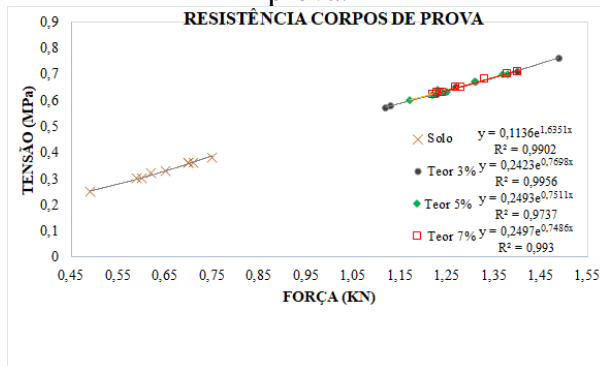


Figura 7: Resultado corpos de prova com teor de 7% de vidro em comparação ao solo natural.



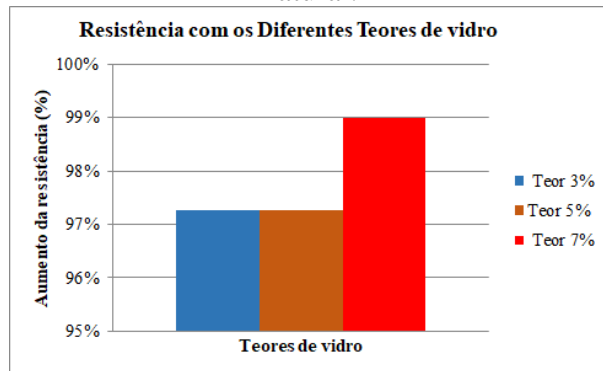
Na Figura 8 é mostrado o resumo das resistências dos teores de vidro com solo natural.

Figura 8: Resumo da resistência dos corpos de prova.



Foi realizada a comparação da resistência dos diferentes teores de vidro com o solo natural como mostra a Figura 9.

Figura 9: Comparação do aumento da resistência dos teores de vidro com solo natural.



Verificou-se que houve um aumento de resistência comparada a resistência do solo natural de 97% para o teor de 3% de incremento de vidro, 97% para o incremento de 5% e 99% para o incremento de 7% de vidro comparado ao solo natural.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar que a mistura de solo-vidro pode ser uma solução para se empregar para melhorar solos, normalmente quando o solo do local não possui os requisitos necessários de projeto para realizar uma obra geotécnica.

A adição de todos os valores de teor de vidro apresenta aumentos de resistência, o de 3% foi o que provocou maior variação comparado à observação anterior (sem vidro). Para os seguintes valores - 5% em relação a 3%, por exemplo, a variação foi bastante reduzida. A tendência demonstrada é que para valores superiores a 7% de vidro moído, em relação ao peso seco, o aumento na resistência à compressão simples tende a estabilizar, acontecendo esses aumentos de resistências pelo vidro ser constituído de sílica amorfa e agregar-se bem ao solo.

Pode ser concluído que o solo em estudo é um solo adequado para compor reforços do subleito para pavimentos rodoviários.

Para Goularte e Pedreira (2009), em comparação a uma adição de solo-cimento, pode-se verificar que para elevar-se a uma resistência à compressão simples a 100% é necessário adicionar a mistura a quantidade 10% de cimento e 15% de cal, já a mistura solo-vidro, para chegar a quase 100% de resistência necessário apenas 7% reduzindo em 3% e 8% o consumo de cimento e cal respectivamente, tornando-se a mistura mais viável.

5. REFERÊNCIAS

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações** Vol. 1. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 234 p.

CEMPRE. **Compromisso empresarial para a reciclagem**. 2007. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_vidro.php>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CORTELETI, E. J. B. **Melhoramento do Solo Residual de Lajeado com a Adição de Cal**. 2013. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2013.

DALLA ROSA, A. **Estudo dos parâmetros-chave no controle da resistência de misturas solo-cinza-cal**. 2009. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FÁVERO, B. R. **Avaliação da utilização de sucata de vidro como adição mineral frente à sílica ativa e como agregado miúdo artificial na produção de materiais à base de cimento**. 2009. 77 f. Trabalho de diplomação (Obtenção do título de Engenheiro Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

AHMAD, Fauziah et al. Assessing the potential reuse of recycled glass fibre in problematic soil applications. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 35, p.102-107, nov. 2012. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.047>.

GOOGLE. Google Earth website.
<http://earth.google.com/>, 2019.

GOULARTE, Cristina Lemos; PEDREIRA, Celso Luis da Silva. **Estabilização Química de Solo com Adição de Cimento ou Cal Como Alternativa de Pavimento**. 2009. 7 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, 2009. Disponível em: <<https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/geors2009/2009-goularte-pedreira.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2017.

KLOSS, C. L. Materiais para Construção Civil. Curitiba: CEFET-PR, 1991.
VIDRAÇARIA MINAS LTDA. **Composição do vidro**. Disponível em: <<http://www.viminas.com.br/composicaodovidro.html>>. Acesso em: 16 abr. 2017.

MACHADO, S. L. MACHADO, M. F. **Mecânica dos Solos I: conceitos básicos**. Salvador, 1997.

NÚÑEZ, W. P. **Estabilização Físico-Química de um Solo Residual de Arenito Botucatu, Visando seu Emprego na Pavimentação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – CPGEC/UFRGS, 150 p., Porto Alegre, 1991.
OLIVEIRA, R.; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporação De Agregados Finos De Vidro Em Argamassas. Teoria e Prática na Engenharia Civil**. V.2, p.25-39. 2013.

PAULA, Thaís Martins de. **Melhoramento de solos: adição de cimento, microssílica e cinza de casca de arroz em um silte**

orgânico. 2013. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

PINTO, J.L.A.; MASUERO, A. B.; KASPARYK, N. P. **Aproveitamento de resíduos de vidro em compósitos de cimento e a preservação do meio ambiente**. In: Congresso Brasileiro De Concreto, 50., 2008. Salvador. Anais... Salvador: IBRACON, 2008. 1 CD.

RIGHI, Débora et al. **Análise de Concreto Produzidos Com Vidro Moído Quando Submetidos à Elevadas Temperaturas**. In: Jornada Sul Americanas de Engenharia Estrutural, 35., 2012, Rio de Janeiro. **Artigo**. Rio de Janeiro: Asae, 2012. p. 1 - 13. Disponível em: <https://cimentoitambe.com.br/_downloads/artigo_vidro_moido.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2017.

SANTOS, A.R. **Vidro- tecnologias para reciclagem**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SILVA, Matheus Francisco da. **Estudo Da Estabilização Com Cal De Um Solo Laterítico E Um Solo Não Laterítico**. 2016. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

SOUZA PINTO, C. de. **Curso Básico De Mecânica Dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.