

Influência do Teor e do Comprimento de Fibras de Polipropileno na Resistência à Tração por Compressão Diametral de um Solo Cimento

Saul Barbosa Guedes

Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Brasil, saulbguedes@yahoo.com.br

Roberto Quental Coutinho

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, rqc@ufpe.br

António Joaquim Pereira Viana da Fonseca

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, viana@fe.up.pt

RESUMO: O presente trabalho faz parte de uma pesquisa onde foram avaliadas as misturas de solo-cimento-fibra por meio dos critérios da resistência à compressão não confinada e da resistência à tração por compressão diametral. Neste trabalho apresentamos os resultados da resistência à tração por compressão diametral obtidos quando da incorporação de fibras poliméricas, de diâmetro $18 \cdot 10^{-6}$ m, nos teores de 0,00; 0,25; 0,50 e 0,75 % e comprimentos de 6 e 24 mm, na matriz cimentícia de uma areia argilosa da Formação Geologia Barreiras com 5 % de cimento de alta resistência inicial. De maneira geral, observou-se que a inclusão das fibras na matriz de solo-cimento contribui para o aumento da resistência à tração por compressão diametral independentemente do teor utilizado. Observou-se que o aumento da resistência foi mais pronunciado quando se utilizou as fibras de comprimento maior (24 mm). Em média, a fibra menor contribui em cerca de 13 % de aumento em relação à resistência à tração do solo + cimento. A fibra de comprimento igual a 24 mm, influencia de maneira mais significativa a resistência à tração devido à melhor distribuição na matriz por apresentar uma satisfatória separação quando comparado à fibra menor e também devido ao seu tamanho que corresponde a quatro vezes o tamanho da fibra menor. Para o teor de 0,75 % a fibra maior consegue aumentar a resistência à tração em cerca de 38,1 %. Para o teor de 0,25 % ambas as fibras apresentam praticamente o mesmo valor. Por fim, decidiu-se por meio de critérios técnicos e econômicos que, a mistura areia argilosa + 5 % cimento + 0,75 % Fibra de 24 mm, foi a mistura que apresentou comportamento mecânico mais apropriado para uso como revestimento primário para as estradas de terra existente numa área de preservação ambiental pertencente ao Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcante.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras Poliméricas, Material Compósito, Resistência a Tração.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata de um estudo desenvolvido nos laboratórios de geotecnia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) envolvendo os materiais: solo, cimento e fibras poliméricas, cujo objetivo consistia em, observar o comportamento

mecânico do material compósito desenvolvido pela união conjunta desses materiais, diante do critério da resistência à tração, por meio da realização do ensaio de tração por compressão diametral, com medidores eletrônicos de grande precisão de deformação e registro de carga.

O material compósito desenvolvido era para ser utilizado como solução alternativa na construção de um revestimento primário, mais

resistente e de menor custo de construção e manutenção, para as estradas de terra existente numa área de preservação ambiental pertencente ao Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcante (PMAHC), localizado no município do Cabo de Santo Agostinho - PE distante 41 km da cidade do Recife.

As superfícies de rolamento das estradas de terra existentes no presente parque encontram-se totalmente deterioradas pelo fenômeno da erosão que atua de maneira intensa na área.

O processo de compactação juntamente com a incorporação do cimento ao solo do subleito das estradas de terra, são técnicas consideradas eficientes no aumento da resistência ao solo ao fenômeno da erosão. Entretanto, ao incorporar cimento ao solo, o mesmo adquire maior rigidez, e quando submetido à variação de temperatura e esforços de tração produzidos pelos pneus dos veículos de passeio, a mistura solo-cimento começa a desenvolver rapidamente fissuras que comprometem a estrutura do revestimento primário das estradas.

Com o objetivo de assegurar resistência e flexibilidade a mistura de solo-cimento decidiu-se, portanto, incorporar a mesma fibras poliméricas de comprimentos diferentes (6 e 24 mm) e teores distintos (0,0; 0,25; 0,50 e 0,75 %).

Os materiais compósitos formados foram submetidos a ensaios de resistência à tração por compressão diametral após um período estabelecido de cura de 21 dias. Após a realização dos ensaios, foi verificado que o aumento do teor de fibras, independentemente do comprimento da mesma, contribui para o aumento da resistência à tração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Problemas de Erosão em Estradas de Terra

De acordo com Baesso e Gonçalves (2003) as estradas rurais construídas de maneira inadequada favorecem, em períodos de chuva intensas, ao desenvolvimento de processos erosivos, os quais são extremamente prejudiciais à pista de rolamento, áreas marginais e à sua plataforma como um todo.

Ainda de acordo com os autores, a manutenção de estradas rurais construídas dessa forma é de alto custo e de difícil execução, onerando sobremaneira os agentes públicos responsáveis pela sua gestão.

A manutenção frequente e adequada é importante para reduzir os custos de reconstrução a longo-prazo, particularmente no que se refere ao revestimento primário e às estruturas de drenagem.

Assim, a manutenção periódica deve incluir, entre outros serviços, uma construção da pista de rolamento, a recomposição de pequenos segmentos onde o revestimento encontra-se deficiente, a limpeza das obras de drenagem, o reparo ou inclusão de dispositivos de proteção às saídas de drenagem e ainda a recomposição de áreas degradadas através da adoção de técnicas de proteção vegetal, entre outros pequenos serviços.

2.2 Materiais Compósitos

Atualmente um grande número de materiais tem sido desenvolvidos, geralmente baseados em materiais tradicionais, mas incorporando de alguma forma elementos de reforço.

Estes novos materiais são denominados compósitos. Um material compósito é a combinação de dois ou mais materiais que tem propriedades que os materiais componentes isoladamente não apresentam.

Sob a ótica da ciência dos materiais, os produtos baseados em cimentos Portland são considerados como materiais cerâmicos por apresentarem características típicas a este grupo de materiais, como, por exemplo, alta rigidez, fragilidade, baixa resistência à tração e tendência de fissuração por secagem, relativamente a outros compósitos.

As cerâmicas e os polímeros podem ser considerados como grupos apostos de materiais, uma vez que as primeiras são mais rígidas e frágeis e os segundos menos rígidos e dúcteis (TAYLOR, 1994).

Sendo assim, com o objetivo de desenvolver um material com comportamento mecânico que satisfaça determinadas aplicações na engenharia decidiu-se nesta pesquisa desenvolver um material compósito.

Para tanto, é necessário que se conheça as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais de constituição e como eles podem ser combinados.

2.3 Ensaio de Tração por Compressão Diametral

O ensaio de tração por compressão diametral, também chamado de ensaio de tração indireta ou ensaio brasileiro (*Brazilian Test*), foi desenvolvido de maneira independente no Brasil e no Japão em 1943. No Brasil este ensaio foi desenvolvido pelo Professor Fernando Luiz Lobo Barboza Carneiro, quando da tentativa de mover a igreja de São Pedro dos Clérigos (construída em 1732 na cidade do Rio de Janeiro) para outro lugar em cima de rolos de concreto.

O mecanismo do ensaio desenvolve-se da seguinte maneira: para um material elástico as condições imposta pela carga, além de causar a compressão, também produz uma tensão de tração praticamente uniforme ao longo de uma área significativa do plano diametral contendo a carga aplicada.

Devido ao fato da aplicação da carga de compressão ser tecnicamente mais fácil do que a aplicação da carga de tração, este ensaio foi considerado como "ensaio ideal" para a avaliação das propriedades de tração em materiais frágeis tais como; pedra e cimento Portland, concreto (Blakey e Beresford, 1955; Thaulow, 1957; Berenbaum e Brodie, 1959; Fairhurst, 1964), bem como concreto betuminoso e outros materiais (Livneh e Shklarsky, 1962). Hondros (1959) demonstrou que o ensaio também proporciona um meio simples e preciso para determinação das propriedades elásticas do concreto de cimento Portland.

Pesquisas de laboratório conduzidas por Hadley et al., (1970), e o fato de algumas camadas da estrutura do pavimento estarem sob tensões de tração/compressão, validou e promoveu a utilização deste ensaio para avaliar as propriedades elásticas do concreto betuminoso (SCHMIDT, 1972).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados na pesquisa foram:

3.1.1 - Solo

Com base na sua composição granulométrica (Tabela 1), o solo utilizado na pesquisa era composto em sua grande parte pela fração areia, 64 %, seguida da fração argila, 32 %, portanto, o solo foi classificado como sendo uma areia argilosa (SC) da Formação Geológica Barreiras.

A fração considerada fina do solo apresentou limite de liquidez (LL) igual a 30 % e limite de plasticidade (LP) de 18 %, portanto, apresentando índice de plasticidade de 12 %. Com base nos resultados dos índices de Atterberg e por meio do gráfico de plasticidade desenvolvido por Artur Casagrande, a fração fina do solo pertencia ao grupo das Argilas Inorgânicas de Baixa Plasticidade.

Com os resultados obtidos da granulometria e dos índices de Atterberg ($\phi < 0,002 \text{ mm} = 30 \%$ e $IP = 12 \%$), determinou-se o índice de atividade, $IA = 0,4$, que indica, que a argila presente no solo é considerada como inativa.

Com base nos valores dos coeficientes obtidos e por meio do ábaco de classificação MCT, o solo estudado foi caracterizado como sendo um solo de comportamento de uma areia argilosa do tipo laterítica (LAö).

A curva característica do solo é do tipo bimodal. De acordo com Miguel, Teixeira e Padilha (2006) curva característica do tipo bimodal é típica de solos nos quais a distribuição dos poros é mal graduada, ou seja, de granulação aberta, concordando dessa maneira com os resultados obtidos na análise granulométrica.

Tabela 1. Composição granulométrica do solo estudado de acordo com a ABNT.

Fração	Tamanho dos Grãos	Composição do Solo
Matacão	$25.10^{-2} \text{ m} < \phi < 1 \text{ m}$	0 %
Pedra	$7,6.10^{-2} \text{ m} < \phi < 25.10^{-2} \text{ m}$	0 %
Pedregulho	$4,8.10^{-3} \text{ m} < \phi < 7,6.10^{-2} \text{ m}$	0 %
Areia Grossa	$2.10^{-3} \text{ m} < \phi < 4,8.10^{-3} \text{ m}$	3 %
Areia Média	$42.10^{-5} \text{ m} < \phi < 2.10^{-3} \text{ m}$	21 %
Areia Fina	$5.10^{-5} \text{ m} < \phi < 42.10^{-5} \text{ m}$	40 %
Silte	$5.10^{-6} \text{ m} < \phi < 5.10^{-5} \text{ m}$	4 %
Argila	$\phi < 5.10^{-6} \text{ m}$	32 %

3.1.2 - Cimento

O cimento utilizado foi de alta resistência inicial conhecido também como cimento de cura rápida. O cimento utilizado era da marca MIZU Cimentos Especiais, da Fábrica Pacatuba ã SE. Os resultados dos ensaios químicos, físicos e mecânicos do cimento utilizado encontram-se detalhado na Tabela 2.

Tabela 2. Ensaios químicos, físico e mecânicos do lote de cimento CP V ã ARI ã RS (Fonte: SEVERO, 2011).

Ensaios Químicos			
Perda de Fogo	RS	SO ₃	CaO Livre
4,50%	0,54%	3,50%	2,15%
Ensaios Mecânico			
Resistência a Compressão Simples			
Ensaio Físico	1 Dia	3 Dias	7 Dias
Massa Específica	19,7 MPa	20,7 MPa	29,4 MPa
3,12 g/cm ³			

3.1.3 - Fibras

As fibras utilizadas na presente pesquisa foram disponibilizadas pela empresa MACCAFERRI, na forma de filamentos contínuos. O polímero sintético utilizado na fabricação das fibras foi o polipropileno (PP), desenvolvido pela polimerização do propileno, um subproduto das indústrias do petróleo.

De maneira sucinta, pode-se dizer que o processo de fabricação deste tipo de fibra consiste basicamente em fundir o polipropileno granulado e forçar sua travessia em orifícios muito pequenos (por exemplo, tipo chuveiro) que moldam os filamentos contínuos, ou seja, submeter o polipropileno granulado ao processo de extrusão. Posteriormente, estes filamentos são submetidos a vários processos de melhoramento das suas propriedades mecânicas e recortados em determinados comprimentos uniformes.

Na Tabela 3 detalham-se as propriedades físicas, mecânicas e de aplicação das fibras utilizadas na pesquisa.

Em se tratando das propriedades mecânicas, sabe-se que as mais importantes são a resistência, a deformação e a rigidez à tração, obtidas a partir dos resultados dos ensaios de tração das fibras.

O ensaio de tração consiste em prender o

corpo de prova com garras adequadas, pelas suas duas extremidades, e sujeitá-lo a um esforço de tração até o mesmo romper aplicando uma determinada velocidade de deformação.

Durante o ensaio registram-se a força de tração e o alongamento correspondente. De posse do gráfico: Força versus Deformação Linear determinam-se parâmetros, sendo os mais usuais a máxima resistência à tração conseguida, sua respectiva deformação de ruptura e o módulo de elasticidade tangente inicial que é obtido em função da relação força com a deformação.

Tabela 3. Propriedades físicas, mecânicas e de aplicação das fibras (FONTE: MACCAFERRI).

Propriedades Físicas:	Modelo da Fibra	
	6 mm	24 mm
Diâmetro - (10^{-6} m)	18	
Seção	Circular	
Comprimento - (mm)	6	24
Alongamento - (%)	80	
Matéria-prima	Polipropileno	
Peso Específico - (g/cm^3)	0,91	
Propriedades Mecânicas:		
Temperatura de Fusão - ($^{\circ}\text{C}$)	160	
Temperatura de Ignição - ($^{\circ}\text{C}$)	365	
Resistência à Tração - (MPa) - (n/mm^2)	300	
Módulo de Young - (MPa)	3000	
Aplicação:		
Campo de Aplicação Indicados	Concreto Projetado, Pré-Fabricados, Pavimentos, Pisos e Revestimentos.	
Quantidades de Fibras por kilo	720.000.000	150.000.000
Área Superficial Específica - (m^2/kg)	244	225
Dosagem (Recomendação Mínima)	600 g/m^3	
Forma de Apresentação	As Fibras Sintéticas FibroMac são Acondicionadas em sacos Hidrossolúveis de 600 g	

3.2 Métodos

3.2.1 Métodos Iniciais

O teor de cimento utilizado foi 5,0 % em

relação à massa de solo total seca, a densidade máxima seca de projeto e a umidade ótima das misturas foram de 1,98 g/cm³ e 11,0 %, respectivamente.

Esses parâmetros foram definidos, em estudos anteriores por meio de ensaios de comportamento mecânico, como sendo os teores viáveis para aplicação da mistura de solo-cimento como material contra erosão e como revestimento primário para as estradas não pavimentadas pertencentes ao PMAHC.

Após fixar os parâmetros citados, em seguida foram moldados corpos de prova de solo-cimento com fibras de 6 e 24 mm de comprimentos. Para cada comprimento utilizado, foram moldados corpos de prova com quatro diferentes teores em relação à massa de solo + cimento total seca. Os teores utilizados foram: 0,00; 0,25; 0,50 e 0,75 %.

Após preparar os materiais nas proporções calculadas, foi dado início ao processo de moldagem dos corpos de prova. Os CPs possuíam um diâmetro de 70 mm e uma altura de 140 mm. Todos os CPs foram compactados em quatro camadas e de maneira estática por meio de uma prensa automatizada.

Após finalizar o processo de compactação, os CPs eram levados para o interior de uma câmara úmida, onde permaneciam por um período de 19 dias. No vigésimo dia, os mesmos eram imersos em água potável e retirados da imersão após dois (02) dias para realização do ensaio de tração por compressão diametral.

3.2.2 - Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

Para realização do ensaio de tração por compressão diametral fez-se necessário a utilização das normas, NBR-7222/1994 e EN-13286/2003.

Os suportes de fixação dos transdutores de deslocamentos linear (Linear Displacement Transducers - LDTs) foram fixados de modo que os mesmos medissem deformações nas posições estabelecidas pela norma EN-13286-43/2003. Os LDTs que se posicionaram na horizontal registravam as deformações horizontais de tração do diâmetro, e os que se posicionavam formando um ângulo de 60°

mediam deformações do diâmetro nesta inclinação. Na Figura 1 ilustra-se em detalhes a disposição dos LDTs.

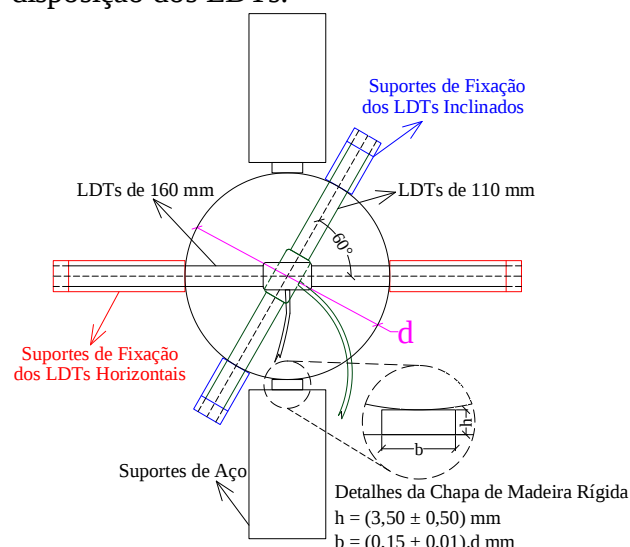


Figura 1. Detalhes da disposição dos LDTs na vista frontal

A velocidade de deformação de 0,05 mm/minuto proporcionou um acréscimo na tensão de tração a uma velocidade da ordem de 0,004087 MPa/s, portanto, inferior ao estabelecido pela NBR-7222/1994. Dessa maneira acredita-se que, para obter um incremento de tensão de tração a uma velocidade próxima da estabelecida pela norma, a velocidade de deformação deve ser superior a 1,00 mm/minuto.

Finalizados os ajustes necessários, iniciou-se o ensaio de tração por compressão diametral, onde os dados da carga aplicada com suas respectivas deformações eram obtidos a cada dois (02) segundos e armazenados numa planilha Excel por meio do programa TRIAX (Figura 2).



Figura 2. Detalhes do sistema eletrônico de aquisição dos dados

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para calcular o valor da resistência à tração por compressão diametral, fez-se necessário a utilização das normas EN 13286-43/Março de 2003 e NBR-7222/1994. A resistência à tração foi calculada de acordo com a seguinte expressão matemática:

$$R_{it} = \frac{2.F}{\pi.H.D}$$

(1)

Onde:

- R_{it} = resistência à tração por compressão diametral, expresso em kPa (10^3 Pa);
- F = força máxima de ruptura, expressa em Newtons (N);
- H = comprimento da amostra cilíndrica expressa em milímetros (mm);
- D = diâmetro da amostra cilíndrica expresso em milímetros (mm).

Para cada tipo de mistura desenvolvida, utilizou-se apenas dois corpos de prova, portanto, trabalhou-se com o mínimo de corpos de prova permitidos.

Analisando o gráfico da Figura 3 verificou-se que a incorporação das fibras na matriz de solo-cimento proporcionou um acréscimo na resistência à tração do compósito formado.

Os resultados apresentados encontram-se subtraídos da influência da tensão de sucção que estava presente nos CPs e que foram considerados de influência desprezível.

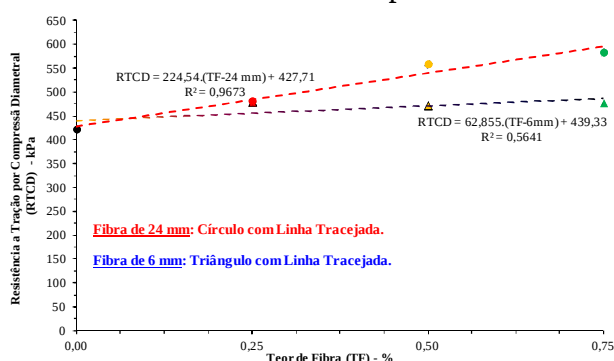


Figura 3. Resistência média à tração por compressão diametral versus teor e comprimento das fibras

Por meio do gráfico, verificou-se que o aumento da resistência foi mais pronunciado quando se utilizou a fibra de comprimento igual a 24 mm. A resistência à tração aumentou com o acréscimo da incorporação da fibra de 24 mm.

No caso da fibra de menor comprimento este aumento também foi verificado, porém, sempre em proporção inferior quando comparado à resistência fornecida pela fibra maior.

Também verificou-se por meio do gráfico que, o aumento da incorporação da fibra de maior comprimento tem bom ajuste ($R^2 = 0,9673$) em relação ao aumento da resistência à tração, em se tratando da fibra menor esta relação é bastante inferior ($R^2 = 0,5641$).

Na Tabela 4 detalham-se os valores obtidos da resistência à tração e o acréscimo das resistências obtidas por parte das fibras em relação ao solo + cimento.

Tabela 4. Valores das resistências à tração e comparação ao solo + cimento.

Solo + 5 % de Cimento - (kPa)	Teor de Fibra (%)	Resistência Média Obtida - (kPa)	Acréscimo de Resistência a Tração Diametral - (%)
Solo + 5 % de Cimento + Fibra de 6 mm			
423	0,25	479	13,2
	0,50	472	11,6
	0,75	477	12,8
	Solo + 5 % de Cimento + Fibra de 24 mm		
423	0,25	482	13,9
	0,50	559	32,2
	0,75	584	38,1

Com base nos dados verifica-se de modo geral que a fibra menor induz a uma variação significativa na resistência à tração com o aumento do teor.

Esse comportamento possivelmente seja explicado com base nos seguintes relatos; dificuldade de separação da fibra, formação de emaranhados e dificuldade de distribuição reduzindo sua função no compósito.

Em média, a fibra menor contribui em cerca de 13 % de aumento em relação à resistência a tração do solo + cimento.

A fibra de comprimento igual a 24 mm, influencia de maneira mais significativa a resistência à tração devido à melhor distribuição na matriz por apresentar uma satisfatória separação quando comparado à fibra menor e também devido ao seu tamanho que corresponde a quatro vezes o tamanho da fibra menor.

Para o teor de 0,75 % a fibra maior consegue

aumentar à resistência a tração em cerca de 38,1 %. Para o teor de 0,25 % ambas as fibras apresentam praticamente o mesmo valor.

Comparando o comportamento dos resultados de, resistência à compressão não confinada e de resistência à tração por compressão diametral, verificou-se o mesmo modelo de oscilação, ou seja, para o teor de 0,25 % ambas as fibras apresentaram resultados bastantes próximos, para o teor de 0,50 % a fibra menor reduz de valor enquanto a fibra maior continua aumentando e para o teor máximo de 0,75 % a fibra menor apresenta sempre valor superior ao obtido pelo teor de 0,50 % e inferior ao teor de 0,25 % enquanto a fibra maior ainda continua aumentando a resistência de maneira quase linear.

Sendo assim, pode-se concluir que o processo de homogeneização das fibras com o solo + cimento não influenciou no comportamento dos resultados obtidos.

Na Tabela 5, detalham-se os valores médios obtidos das resistências à compressão não confinada (ensaio desenvolvido na etapa anterior do estudo) e a resistência à tração por compressão diametral dos materiais desenvolvidos e a comparação entre respectivos resultados.

Tabela 5. Comparação entre os valores das resistências à compressão e tração.

Tipo de Fibra	Teor de Fibra (%)	Resistências Médias - (kPa)		RTCD/RCS (%)
		Compressão Simples	Tração Diametral	
-	0,00	3370	423	12,5
6 mm	0,25	3640	479	13,2
	0,50	3489	472	13,5
	0,75	3591	477	13,3
24 mm	0,25	3656	482	13,2
	0,50	3747	559	14,9
	0,75	3929	584	14,9

Analisando os resultados compreende-se que, independentemente do teor utilizado, as fibras de 6 mm contribuíram para uma resistência média à tração correspondente a 13,3 % da resistência à compressão simples, enquanto a fibra maior consegue contribuir para uma resistência a tração correspondente a 14,9 % da resistência a compressão simples para os teores

de 0,50 e 0,75 %.

As fibras de 24 mm sempre apresentam influência mais significativa com o aumento do teor incorporado devido ao seu tamanho e a sua melhor distribuição na matriz.

De modo geral, comparando os resultados do ensaio de compressão simples com os de resistência à tração, percebe-se que a presença das fibras não ultrapassa o limite máximo de 16 % da resistência compressão não confinada.

Entretanto, comparando o acréscimo de resistência fornecida pelas fibras em relação ao ensaio de compressão simples e também em relação ao ensaio de tração por compressão diametral, verifica-se que tem mais influencia na tração do que na compressão, conforme pode observado na Tabela 6.

Percebe-se na Tabela 6 que, de maneira geral, as fibras contribuem com cerca de duas vezes mais na resistência a tração do que na resistência a compressão.

Tabela 6. Comparação do acréscimo de resistência das resistências à compressão e tração.

Tipo de Fibra	Teor de Fibra (%)	Aumento de Resistência - (%)	
		Compressão Simples	Tração Diametral
-	0,00	0,0	0,0
6 mm	0,25	8,0	13,2
	0,50	3,5	11,6
	0,75	6,6	12,8
24 mm	0,25	8,5	13,9
	0,50	11,2	32,2
	0,75	16,6	38,1

Talvez esses resultados sejam justificados com base no modelo de ruptura dos corpos de prova, conforme pode ser detalhado na Figura 4.

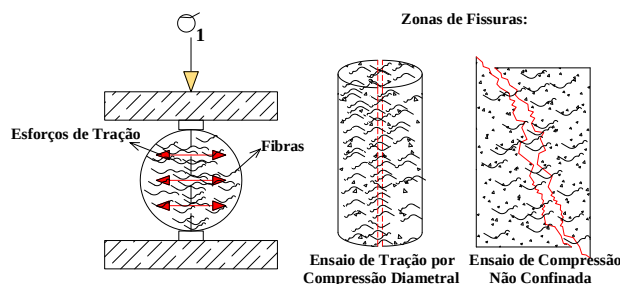


Figura 4. Disposição das fibras nas zonas de ruptura referentes aos ensaios de compressão diametral e axial

No caso do modelo de ruptura por compressão diametral, talvez o número de intercepções de fibras na zona de ruptura, que se dá precisamente no centro do corpo de prova, seja maior do que na ruptura por compressão axial.

5 CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios, obtenção e análises dos resultados obtidos, chegamos as seguintes conclusões principais:

é Com base nos resultados obtidos foi verificado que a incorporação das fibras na matriz de solo-cimento proporcionou um acréscimo na resistência à tração do compósito formado, da mesma maneira em que se observou nos resultados do ensaio de compressão não confinada.

é Com base nos resultados obtidos ficou nítido que o aumento da resistência foi mais pronunciado quando se utilizou a fibra de comprimento igual a 24 mm.

é Foi verificado também que, independentemente do teor utilizado, as fibras de 6 mm contribui para uma resistência média a tração correspondente a 13,3 % em relação a sua resistência a compressão simples, enquanto a fibra de 24 mm consegue contribuir para uma resistência a tração correspondente a 14,9 % da sua resistência a compressão simples para os teores de 0,50 e 0,75 %.

é A incorporação das fibras numa matriz, cimentada ou não, não aumenta a resistência à tração do material muito mais do que a resistência à compressão não confinada.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor manifesta o seu agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, a FACEPE, ao CNPq e aos professores orientadores do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Argamassa e Concreto: Determinação da Resistência à Tração*

- por Compressão Diametral de Corpos-de-Prova Cilíndricos*, NBR-7222/Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994. 03 p.
- Baesso, D. P. e Gonçalves, F. L. R. *Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção*. Florianópolis: DER, 2003. 236 p.
- Berenbaum, R.; Brodie, I. "Measurement of The Tensile Strength of Brittle Materials." Br.J.Appl.Phys., Vol.10, 281-286, 1959.
- Blakey, F.A.; Beresford, F.D. "Tensile Strains in Concrete" CSIRO Div.Build.Rep. No.C2, 2-2, 15-31, 1955.
- Comité Européen De Normalisation. *Unbound and Hydraulically Bound Mixtures ñ Part 7: Cyclic Load Triaxial Test for Unbound Mixtures*. CEN/EN-13286-7/EUROPEAN STANDARD. Brussels, Belgium, 2004.
- European Committee for Standardization. *Unbound and Hydraulically Bound Mixtures ñ Part 42: Test Method for the Determination on the Indirect tensile Strength of Hydraulically Bound Mistures*. EN 13286-42. 2003. 08 p
- Fairhurst, C. "On the Validity of the "Brazilian" Test for Brittle Materials." Int.J.Rock Mech.Min.Sci., Vol.1, 535-546, 1964.
- Hadley, W.O.; Hudson, W.R.; Kennedy, T.W. "A Method of Estimating Tensile Properties of Materials Tested in Indirect Tension" Research Report No.98-7, Center for Highway Research, University of Texas, 1970.
- Hondros, G. "The Evaluation of Poisson's Ratio and the Modulus of Materials of a Low Tensile Resistance by the Brazilian (Indirect Tensile) Test With Particular Reference to Concrete" AustrJ.Appl.Sci. Vol.10, 3, 243-268, 1959.
- Livneh, M.; Shklarsky, E.. "The Splitting Test for Determination of Bituminous Concrete Strength." Proc. AAPT, Vol.31, 457-476, 1962.
- Miguel, M. G.; Teixeira, R. S.; Padilha, A. C. C. *Soil-Water Characteristic Curves for the Lateritic Soil of the City of Londrina Region*. Revista de Ciência e Tecnologia, Londrina, v. 12, n. 24, p. 63-74. 2006.
- Schmidt, R.J. "A Practical Method for Measuring the Resilient Modulus of Asphalt-Treated Mixes" Highway Research Record 404, Highway Research Board, 22-32, 1972.
- Severo, R. N. F. *Caracterização Geotécnica da Falésia da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul-RN Considerando a Influência do Comportamento dos Solos nos Estados indeformado e Cimentado Artificialmente*. 2011. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) ñ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco ñ UFPE, Recife, 2011.
- Taylor, G. D. *Materials in Construction*. Longman Scientific e Technical, 2a ed. London. 1994. 284 p.
- Thaulow, S. "Tensile Splitting Test and High Strength Concrete Test Cylinders." J.Amer. Concr.Inst.Proc., Vol.28, 53, 699-707, 1957.