

Estudo da Mistura Solo – Cimento – Fibra de Cana-de-açúcar

João Guilherme dos Santos Gouvêa

Graduanda Engenharia Civil, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, jguilherme@unifei.edu.br

Valquíria Claret dos Santos

Professora do Magistério Superior, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, valquiria@unifei.edu.br

Adinele Gomes Guimarães

Professora do Magistério Superior, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, adinele@unifei.edu.br

RESUMO: Além da investigação por diferentes formas de melhoramento do solo, nota-se a procura cada vez maior pelo reaproveitamento de materiais que seriam descartados. Neste contexto, este trabalho analisa o comportamento de misturas de solo, cimento e fibra de cana-de-açúcar em relação à resistência à compressão para variados teores de cada componente. Inicialmente foi analisada a resistência do solo puro como parâmetro inicial para em seguida avaliar as resistências ao se acrescentar diferentes teores de fibras menores que 425 μm (1%, 2%, 3%), de cimento (5%, 7,5%, 10%) e da mistura cimento-fibra (9/1%, 8/2%, 7/3%). O estudo foi realizado com base nas normas regidas pela ABNT e pelo ensaio de compressão não confinada. Observou-se um ganho de resistência para o solo quando acrescido de cimento e para o solo acrescido de fibras e cimento. Os resultados também indicaram uma redução da massa específica para o solo-cimento-fibra. Em uma larga escala pode significar redução da carga de material a ser transportado e, conseqüentemente, uma diminuição de custos. Apesar da diferença evidente nas resistências entre o solo-cimento e o solo-cimento-fibra, a utilização da fibra também se torna vantajosa uma vez que ela pode contribuir para a substituição do cimento mantendo uma resistência satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: solos modificados, fibras naturais, resistência à compressão, solo com fibras.

ABSTRACT: In addition to the search for different forms of soil improvement, there is an increasing demand for the reuse of materials that would otherwise be discarded. In this context, this work analyzes the behavior of mixtures of soil, cement and sugarcane fiber in relation to compressive strength for varying levels of each component. Initially, the resistance of the pure soil was analyzed as an initial parameter and then evaluated the resistance when adding different fiber contents smaller than 425 μm (1%, 2%, 3%), cement (5%, 7.5%, 10%) and the cement-fiber mixture (9/1%, 8/2%, 7/3%). The study was carried out based on the standards governed by ABNT and the unconfined compression test. A gain in resistance was observed for the soil when cement was added and for the soil when fibers and cement were added. The results also indicated a reduction in the specific mass for the soil-cement-fiber. On a large scale, it can mean a reduction in the load of material to be transported and, consequently, a reduction in costs. Despite the obvious difference in resistance between soil-cement and soil-cement-fiber, the use of fiber also becomes advantageous since it can contribute to replacing cement while maintaining satisfactory resistance.

KEYWORDS: modified soils, natural fibers, compressive strength, soil with fibers.

1 INTRODUÇÃO

O solo é originado a partir da desagregação das rochas presentes na crosta terrestre, por ação do intemperismo, ou por ação de animais e vegetais ou até mesmo pela ação do ser humano. Ele é composto por uma mistura de inúmeros minerais podendo conter, inclusive, matéria orgânica. Na engenharia, o solo pode ser estudado como camada de suporte para transferências de cargas ou mesmo como material de construção da obra (BUENO e VILAR, 1980).

Décadas de crescimento desenfreado das cidades com leis inexistentes ou pouco efetivas, praticamente impõem que cada vez mais sejam utilizadas áreas com solos com características geotécnicas desfavoráveis.

Essas situações podem tornar obras inviáveis por critérios econômicos ou técnicos quando se opta pela utilização de soluções tradicionais de engenharia.

A partir do problema exposto surgem novas técnicas para melhoramento desses solos desfavoráveis, como a adição de cimento, mistura com solos mais resistentes, aplicação de aditivos químicos e também a adição de fibras naturais ou sintéticas. Abre-se, portanto, um vasto leque de possibilidades para o desenvolvimento de novas tecnologias para melhoramento de solos, necessitando, portanto, de inúmeras pesquisas para se avaliar cada tipo de material e sua correlação à cada diferente tipo de solo que pode vir a ser encontrado.

Segundo Specht (2000), entende-se por melhoria ou reforço dos solos a utilização de processos físicos e/ou químicos, visando a melhora das propriedades mecânicas dos solos. Há na literatura muitos autores, como, por exemplo, Núñez (1991) apud Vendruscolo (2003), que distinguem os termos estabilização de solos e melhoramento de solos com base em critérios como, por exemplo, a finalidade a que se destinará o solo ou com relação ao material adicionado ao solo e a quantidade utilizada. No entanto, nesse trabalho não se fará tal distinção e se usarão os termos solos melhorados ou solos modificados quando se fizer necessário.

O cimento é um dos aditivos mais populares e utilizados na fortificação de solos, principalmente em solos pouco plásticos. Segundo Vendruscolo (2003), qualquer solo pode ser estabilizado com cimento a fim de melhorar suas propriedades, exceção sendo feita à solos altamente orgânicos, uma vez que a matéria orgânica pode retardar ou impedir a hidratação do cimento. Outros fatores como a presença de sais, principalmente sulfatos ou um pH ácido também podem inibir o desenvolvimento de resistência de um solo tratado com cimento.

Há uma extensa gama de materiais, principalmente fibras, que podem ser utilizados para a melhoria de solos, todavia, ainda existe a necessidade de muita experimentação devido ao grande número de possibilidades existentes e conforme Souza (2018) enuncia, não existe um comportamento padrão para a mistura desse material ao solo, uma vez que os resultados variam de acordo com a interação entre o solo e o material, dependendo das características de ambos.

Atualmente, além da procura por diferentes formas de melhorar as características de um solo, nota-se a procura cada vez maior pelo reaproveitamento de certos tipos de materiais que seriam descartados e se tornariam inertes. Há, portanto, uma tendência na utilização de fibras para a melhoria e estabilização de solos. Segundo Silva (2007) as fibras podem ser classificadas entre orgânicas e inorgânicas, sendo ambas subdivididas entre naturais e artificiais.

Este trabalho busca avaliar algumas das possibilidades de melhoria, adicionado cimento e fibras naturais a um solo vermelho argiloso do estado de Minas Gerais. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo (EMBRAPA, 2023) e o bagaço da cana é o maior resíduo da agroindústria brasileira (FAPESP, 1998), portanto, foram utilizadas fibras de cana-de-açúcar obtidas a partir de seu bagaço. A escolha desse material se deve à grande quantidade de resíduos que é gerada no Brasil, ao baixo valor desse insumo e por se tratar de uma fibra natural, buscando avaliar uma alternativa ecológica viável.

2 METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho foi estudar a mistura solo-cimento-fibra comparando-a com o solo puro, solo-fibra e solo-cimento, avaliando principalmente sua resistência à compressão. Buscou-se também avaliar os impactos positivos e negativos que a adição da fibra da cana-de-açúcar possa causar aos parâmetros do solo e do solo-cimento.

Além dos corpos de prova de solo sem adições (solo puro), para os ensaios realizados foram adotados três diferentes teores de microfibras misturadas ao solo (1%, 2% e 3%), tais valores foram escolhidos com base na literatura estudada e devido à baixa massa específica das fibras que acabam ocupando um alto volume mesmo com uma baixa proporção em relação à massa de solo.

Foram também adotados três diferentes teores de cimento misturados ao solo (5%, 7,5% e 10%). O valor mínimo foi escolhido com base na literatura estudada e com base na norma ABNT NBR 12253 (ABNT, 2012d), que recomenda que o teor mínimo de cimento em massa seja de 5%.

Por fim, foram tomados três diferentes teores da relação cimento-fibra, no entanto, para essa situação foi adotado o melhor resultado nos testes com o solo-cimento como parâmetro base e substituiu-se

gradativamente o cimento pelas microfibras, a fim de avaliar se as microfibras atuariam como um substituto eficiente.

Para este estudo foi utilizado um material coletado no município de Delfim Moreira – MG. A coleta foi realizada em julho, fora do período chuvoso e o ponto de coleta foi registrado em coordenadas UTM através de GPS Garmin Vista HCx, em datum SAD 69, sendo obtidas as coordenadas 23K 04684475m S e 7511706m E (Figura 1). Após a coleta, a amostra deformada foi acondicionada em sacos plásticos e transportada até o laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Itajubá, onde foi homogeneizado e armazenado. O solo vermelho utilizado corresponde à profundidade de 90 a 180 cm. O material coletado trata-se de um solo coesivo e segundo Souza (2018), que estudou este mesmo solo em seu trabalho, ele é classificado como uma argila arenosa .

A matéria prima utilizada para a produção das fibras foi obtida a partir do bagaço da cana-de-açúcar que seria descartado após sua prensagem em moedor comercial. Em seguida a matéria prima foi transportada para o laboratório, lavada em água corrente para higienização, e secas em estufa de secagem e esterilização (SOLAB, modelo SL100) à temperatura de 75°C por cinco dias. Por fim removeu-se as cascas e o restante foi passado por um moinho de facas (LOGEN Scientific, modelo LSW 5000), procedimento realizado por Rangel (2018). Foram obtidas fibras de diversos tamanhos, dessa forma, com o objetivo de padronizá-las, essas foram passadas pelo processo de peneiramento. As fibras utilizadas nesse estudo foram obtidas utilizando-se o agitador de peneiras, sendo o resultado do material passante na peneira de 425 µm, assemelhando-se a um pó fino, denominado adiante neste artigo como microfibras (Figura 2).

De acordo com Rangel (2018), as fibras de cana-de-açúcar são compostas principalmente por celulose, hemicelulose e lignina, ou seja, cadeias de carbono orgânico com uma alta relação de C:N (carbono:nitrogênio), que tornam a decomposição do material mais lenta. É justamente no aspecto da durabilidade que as fibras sintéticas se destacam, proporcionando uma vida útil mais prolongada e gerando certo receio na utilização de fibras naturais. Entretanto, em seu estudo, Rangel (2018) constatou um aumento significativo de resistência à compressão não confinada das amostras estudadas durante os seis meses em que foram observadas, mostrando a eficiência e relevância desse material.



Figura 1. Local de coleta do material
Fonte: RANGEL, 2018. p.28.



Figura 2. Amostra da fibra utilizada (microfibras)
Fonte: SOUZA, 2018. p.4.

O cimento utilizado nos experimentos foi o CSN CP II-E-32 trata-se de um cimento composto produzido seguindo a norma NBR 16697 - Cimento Portland - Requisitos (ABNT, 2018) . Segundo ABCP (2016) , o CP II é um dos principais tipos oferecidos no mercado e conseqüentemente um dos mais empregados nas diversas obras de construção civil. O material foi devidamente estocado em ambiente fechado e livre de umidade.

Os ensaios do solo puro e do solo com adição das microfibras foram realizados conforme as normas ABNT NBR 6457 (ABNT, 2024) e a ABNT NBR 7182 (ABNT, 2016). Sendo estes ensaios realizados sem reaproveitamento de material, na energia de Proctor normal em molde cilíndrico de 1000 cm³, com 3 camadas.

Os dados dos ensaios para o solo puro foram retirados do estudo de Rangel (2018) que já o havia feito para o mesmo material utilizado e no mesmo laboratório dos demais ensaios realizados nesse estudo. E para a determinação da umidade ótima para o solo-fibra foi utilizado o estudo de Souza (2018) que o realizou para o mesmo solo e fibras aqui utilizados.

Já os ensaios com solo-cimento foram realizados conforme a norma ABNT NBR 12023 (ABNT, 2012a). Sendo este último realizado com reaproveitamento de material, na energia de compactação Proctor normal em

molde cilíndrico de 1000 cm³, com 3 camadas. O reaproveitamento de material se fez necessário, nesse último caso, para não haver a necessidade de coleta de novas amostras de solo no local de coleta e consequente criação de possíveis novas variáveis indesejáveis ao estudo.

A moldagem dos corpos de prova dos solos modificados para os ensaios de compressão simples iniciou colocando-se seus respectivos aditivos (cimento e/ou fibras), seguida da homogeneização e posterior hidratação até a umidade ótima de compactação. Os corpos de prova foram compactados em molde cilíndrico de aço com dimensões de 100 mm de altura e 50 mm de diâmetro, apar a energia de compactação Proctor normal de 5,9 kg.cm/cm³ (Das, 2007).

A moldagem dos corpos de prova de solo-cimento e solo-cimento-fibra foram realizadas conforme a norma ABNT NBR 12024 (ABNT, 2012b) e no mesmo molde cilíndrico supracitado. No entanto, a norma determina que os corpos de prova permaneçam por um período de cura de, obrigatoriamente, sete dias dentro de uma câmara úmida, à temperatura de (23 ± 2)°C e umidade relativa do ar não inferior a 95%. Por indisponibilidade de tal equipamento, os corpos de prova foram acondicionados em sacos plásticos individuais bem vedados para manutenção da umidade, e protegidos da luz solar e em ambiente no qual a temperatura manteve-se entre 21 e 27°C; respeitando-se o tempo de cura de sete dias.

Para cada uma das categorias adotadas neste estudo foram moldados três corpos de prova, ou seja, os ensaios foram realizados com três repetições.

Os ensaios para os corpos de prova de solo sem adições e solo-fibra foram realizados conforme a norma ABNT NBR 12770 (ABNT, 2022). A velocidade da deformação foi fixada em 1% da altura da amostra por minuto, ou seja, 1 mm/min. Todos os ensaios de compressão foram realizados numa prensa da marca Contenco, modelo I-1006-FA conectada a um computador que coletou os dados dos ensaios realizados.

Para os ensaios dos corpos de prova de solo-cimento e solo-cimento-fibra, passados os sete dias de cura, os mesmos foram retirados dos sacos plásticos e tiveram suas massas e dimensões aferidas com a finalidade de analisar se ocorreu perda de umidade. Posteriormente para o ensaio de compressão foi adotada a norma MB-3361/90 (Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos), utilizando-se a mesma velocidade de 1 mm/min.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de melhorar a visualização de alguns gráficos e tabelas e também do próprio texto, os termos relacionados ao tipo de material do corpo de prova serão abreviados nessa seção. Corpos de prova de solo puro serão representados por SP; os de solo-fibra por SF seguida pelo valor percentual de microfibras presente; os de solo-cimento serão representados por SC seguidos pelo respectivo valor percentual de cimento presente e por fim, os de solo-cimento-fibra serão representados SCF seguidos do valor percentual de cimento e do valor percentual de fibra, respectivamente.

3.1 Ensaios de Compactação

O solo vermelho aqui empregado apresenta uma curva com comportamento próximo de uma parábola, com densidade seca máxima próxima a 1,45 g/cm³ e a umidade ótima de 27% (Rangel, 2018).

Com relação à amostra de solo-fibra, segundo Souza (2018), a adição de fibras menores que 425 µm gera um decaimento da densidade seca máxima quando comparado à uma amostra de solo puro, no entanto, a umidade ótima se mantém muito próxima à do solo original, portanto, nesse trabalho considerou-se que a umidade ótima para o solo-fibra seja também de 27%.

Para os três teores de cimento utilizados nesse estudo (5%; 7,5% e 10%) não se observou diferença significativa entre as curvas de compactação, adotando-se portanto, como padrão o valor de 26,5% de umidade ótima para os ensaios de solo-cimento e solo-cimento-fibra.

3.2 Ensaios de Compressão Não Confinada

Os corpos de prova de solo-cimento e solo-cimento-fibra tiveram suas massas e dimensões aferidas duas vezes, uma logo após sua moldagem e a outra passados os sete dias de cura. Isso foi feito com o intuito de determinar se houve alguma perda de umidade ou deformação no período. Passado o tempo de cura verificou-se que as dimensões permaneciam exatamente as mesmas e que a massa dos corpos de prova correspondia a 99,8% da massa original uma vez que parte da umidade se prendeu às paredes do saco plástico, entretanto essa diferença mostrou não relevante e foi dado prosseguimento aos ensaios de compressão normalmente.

Foram realizados três ensaios para cada tipo de mistura. Os dados foram gerados pela prensa e coletados pelo software Pavitest ISC 2.C1-0. Além da massa aferida previamente à ruptura, obteve-se também os valores da carga axial aplicada e, conseqüentemente da pressão resistente à compressão de cada amostra, e também se obteve as deformações a que foram submetidas.

Nas Figuras 3, 4 e 5 são expostos os gráficos comparativos entre a curva média de solo puro e as curvas médias de solo-fibra, solo-cimento e solo-cimento-fibra para cada um dos teores empregados no experimento.

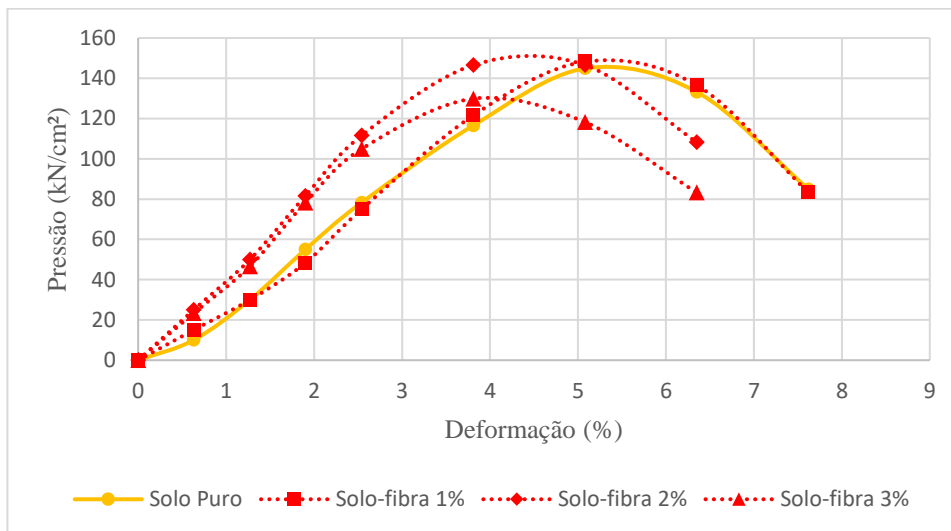


Figura 3. Comparativo Solo Puro x Solo-fibra

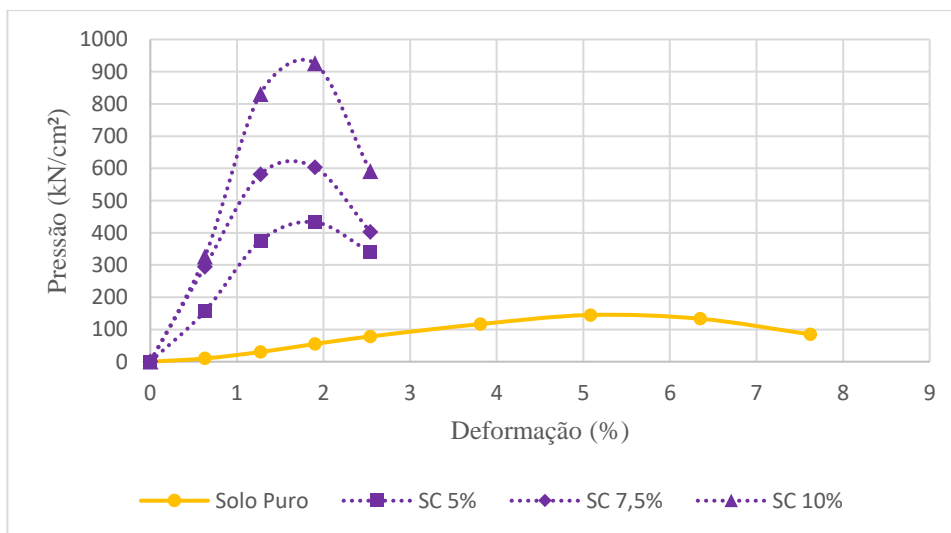


Figura 4. Comparativo Solo Puro x Solo-cimento

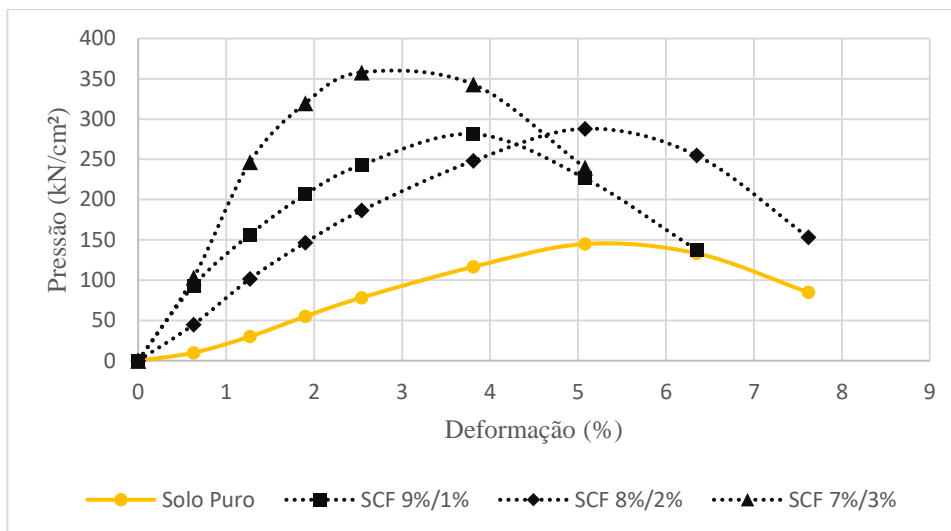


Figura 5. Comparativo Solo Puro x Solo-cimento-fibra

Pode-se verificar pela Figura 6 que a adição de fibra ao solo não gerou impacto significativo no valor da máxima resistência à compressão não-confinada quando comparado ao solo puro, visto que os valores dos picos das curvas são semelhantes (com inclusão de 1% de fibra a resistência foi apenas 2,3% maior do que do solo puro e com 2% de fibra teve-se um aumento de 1,1%).

Rangel (2018) determinou em seu trabalho que a inclusão de fibras de cana-de-açúcar gerou um aumento expressivo na resistência à compressão, no entanto, nesse trabalho utilizaram-se fibras passantes na peneira de 425 μm , com características semelhantes a um pó fino ao invés de fibras de maior comprimento que são geralmente utilizadas, fato que justifica o baixíssimo incremento de resistência com a adição da microfibras.

Ainda com relação ao solo-fibra constata-se que a partir do teor de 3% na mistura há uma perda de resistência (10,3% menor que a resistência do solo puro). Dessa forma, apesar da pequena evolução apresentada pela adição das microfibras, pode-se declarar que um teor ótimo dessas fibras na mistura solo-fibra seria na faixa entre 1 e 2%, valor semelhante ao obtido por Rangel (2018).

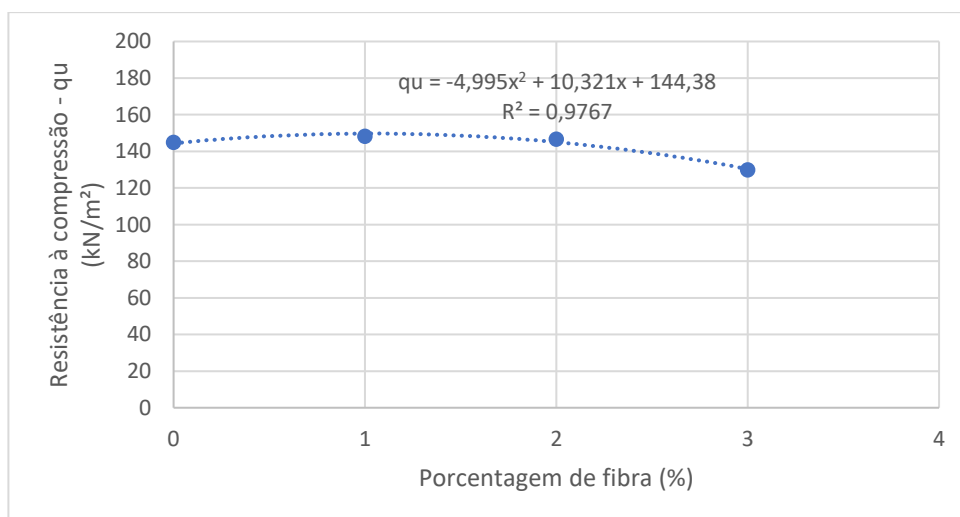


Figura 6. Variação da resistência à compressão em função da porcentagem de fibra

Já na Figura 7 fica evidente o impacto que a adição de cimento gera à resistência do solo estudado, havendo grande aumento de sua resistência. A adição de cimento, segundo Lima et al. (1993), produz efeitos de duas formas distintas, conforme se refira a solos granulares ou a solos coesivos. No primeiro caso, o aditivo destina-se, principalmente, a criar ligações nos contatos intergranulares, de modo a garantir resistência mais efetiva do material às solicitações externas por aumento da parcela resistente relativa à coesão. Já para os solos finos ou coesivos, os grãos de cimento comportam-se como núcleos, aos quais se aderem as partículas que os

rodeiam, formando regiões de material floculado que apresentam ligações oriundas dos fenômenos de cimentação.

Nota-se ainda que o valor da resistência à compressão não-confinada escala de maneira linear à porcentagem de cimento aplicada na mistura, como apresentado na Figura 7, corroborando resultados de outros autores, como Prietto (1996), Specht (2000) e Oliveira (2015). Dessa forma, dos três teores analisados, o de 10% de cimento mostrou-se o melhor e, portanto, foi utilizado como parâmetro base para o experimento subsequente.

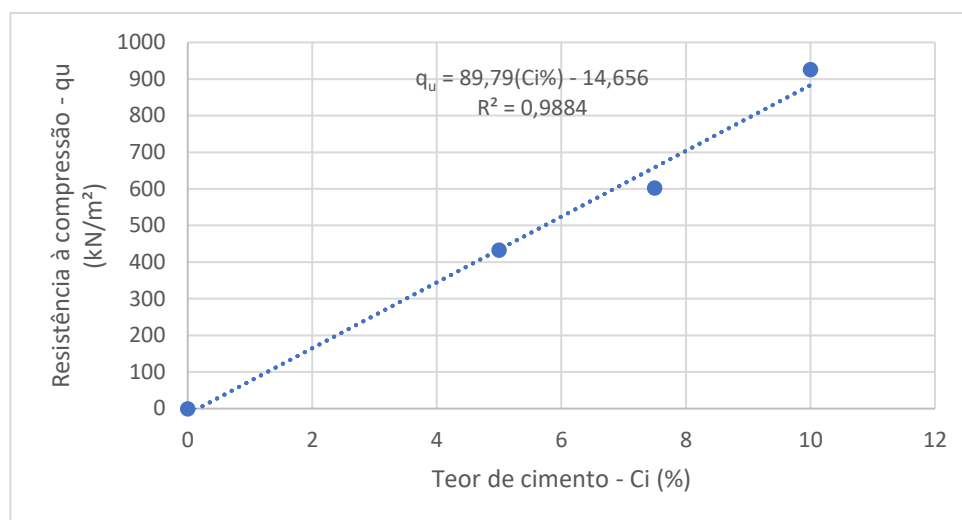


Figura 7. Variação da resistência à compressão em função do teor de cimento

Para os ensaios com os corpos de prova de solo-cimento-fibra, substituiu-se o cimento por fibra, portanto, foram definidas três misturas: 9% de cimento e 1% de fibra, 8% de cimento e 2% de fibra e 7% de cimento e 3% de fibra. Na Figura 5 vê-se que para as três misturas de solo-cimento-fibra houve um grande aumento na resistência à compressão quando comparadas ao solo puro.

Pelas Figuras 4 e 5 constata-se que o solo-cimento 10% e o solo-cimento-fibra 7%/3% atingiram, respectivamente, as maiores resistências máximas dentro de suas respectivas classes. Comparando os valores somente destes dois casos, percebe-se que o solo-cimento ainda foi consideravelmente mais resistente que o solo-cimento-fibra, atingindo uma tensão de ruptura cerca de 2,5 vezes maior.

Na Tabela 1 são mostrados os valores da resistência máxima à compressão (q_u) e sua deformação (ϵ) no momento da ruptura dos corpos de prova, como também as massas específicas médias calculadas (ρ) para cada caso.

Tabela 1: Valores médios da massa específica, tensão de ruptura e deformação para cada mistura testada

| Código | Descrição | ρ (g/cm ³) | q_u (kN/m ²) | ϵ (%) |
|---------|--|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| SP | Solo puro, sem adições | 1,8851 | 144,88 | 5,08 |
| SF1 | Solo com adição de 1% de fibra | 1,8839 | 148,21 | 5,08 |
| SF2 | Solo com adição de 2% de fibra | 1,8454 | 146,54 | 5,08 |
| SF3 | Solo com adição de 3% de fibra | 1,7750 | 129,89 | 3,81 |
| SC5 | Solo com adição de 5% de cimento | 1,8788 | 432,96 | 1,90 |
| SC7 | Solo com adição de 7,5% de cimento | 1,8884 | 602,82 | 1,90 |
| SC10 | Solo com adição de 10% de cimento | 1,8907 | 925,88 | 1,90 |
| SCF 9/1 | Solo com adição de 9% de cimento e 1% de fibra | 1,8112 | 281,43 | 3,81 |
| SCF 8/2 | Solo com adição de 8% de cimento e 2% de fibra | 1,7955 | 288,09 | 5,08 |
| SCF 7/3 | Solo com adição de 7% de cimento e 3% de fibra | 1,7756 | 358,03 | 2,54 |

Analisando-se a Tabela 1, percebe-se que a adição de microfibras resulta num decréscimo da massa específica dos corpos de prova. Dessa forma, voltando para a análise entre o solo-cimento e o solo-cimento-fibra pode-se afirmar que apesar de haver uma queda na resistência há uma evidente diminuição da massa específica no segundo caso, esse fato se deve exclusivamente à baixa massa específica das fibras utilizadas, cerca de 1,06 g/cm³, segundo o estudo de Souza (2018). Portanto, considerando SC10 e SCF 7/3, os testes com melhores resultados da sua categoria, constata-se uma diferença de cerca de 6,5% na massa específica.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados expostos, conclui-se inicialmente que, como esperado ao se analisar outros estudos, a adição de cimento ao solo apresenta uma larga melhoria em sua resistência à compressão e torna o solo menos suscetível a deformações.

Já com relação à adição das microfibras de cana de açúcar nota-se que há uma baixa influência dela na resistência do solo quando utilizada isoladamente. Contudo, cabe lembrar que aqui foi utilizado uma fibra bastante fina e que estudos com comprimentos maiores das fibras de cana de açúcar mostrou haver um ganho na resistência na ordem 130%, conforme Rangel (2018).

Com relação às fibras utilizadas em conjunto com o cimento a primeira constatação feita é a de que as microfibras não conseguem atuar como um substituto ao cimento, havendo uma grande perda de resistência ao se comparar com os ensaios realizados com o solo-cimento.

Ainda em relação ao solo-cimento-fibra constata-se que sua utilização apresenta uma significativa melhora na resistência do solo-base, como também houve uma diminuição em sua massa específica, o que em uma larga escala (comum para obras de terra) pode significar uma expressiva redução da carga de material a ser transportado e conseqüentemente uma diminuição de custos. Apesar da diferença evidente nas resistências entre o solo-cimento e o solo-cimento-fibra, a utilização da fibra também se torna vantajosa uma vez que ela pode contribuir para a substituição do cimento e mesmo assim ainda se obter um resultado satisfatório na resistência.

Outro fator positivo é mais uma vez a redução de custos, uma vez que as fibras podem ser obtidas a partir de materiais que não teriam mais propósito, como o bagaço da cana de açúcar aqui utilizado, além claro do fator sustentável e ecológico da utilização de fibras naturais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Recursos Naturais (IRN) e a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Cimento Portland (2002). Guia básico de utilização do cimento Portland. 7. ed. São Paulo, 2002.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2024). NBR 6457 – Solos – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 12770 – Solo – Determinação da resistência à compressão não confinada de solo coesivo. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 16697 – Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7182 – Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012a). NBR 12023 – Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012b). NBR 12024 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Procedimento. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012c). NBR 12025 – Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012d). NBR 12253 – Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento. Rio de Janeiro.
- Bueno, B.S. ; Vilar, O.M. (1980) Mecânica dos Solos. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- Embrapa. (2023) Cana. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana>. Acesso em junho de 2024.
- FAPESP (1998). Propriedades do bagaço da cana-de-açúcar. Notícias FAPESP. Edição 30 – abril 1998. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/propriedades-do-bagaco-da-cana-de-acucar/> Acesso em junho de 2024.
- Lima, D. C.; Bueno, B. S.; Silva, C. H. C. (1993) Estabilização de solos II – Técnicas e aplicações a solos da microrregião de Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- Oliveira, A.D. (2015) Comportamento mecânico de solos artificialmente cimentados: ensaios, modelagem e aplicação. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Prietto, P.D.M. (1996) Estudo do comportamento mecânico de um solo artificialmente cimentado. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Rangel, A. C. M. (2018) Avaliação pedológica e geotécnica de solos modificados com fibra de cana de açúcar. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- Silva, C. C. (2007) Comportamento de solos siltosos quando reforçados com fibras e melhorados com aditivos químicos e orgânicos. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Souza, T.M. (2018) Análise da Influência do Tamanho das Fibras de Cana-De-Açúcar na Curva de Compactação de Solos Argilosos Modificados com Fibras. Artigo (Graduação em engenharia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- Specht, L.P. (2000) Comportamento de misturas solo-cimento-fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos visando a pavimentação. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Vendruscolo, M. A. (2003) Estudo do comportamento de materiais compósitos fibrosos para a aplicação como reforço de base de fundações superficiais. Tese (Doutorado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.