

III-382 – CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS SOLO-RESÍDUO DE COURO COM VISTAS À APLICAÇÃO EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Carol Ferreira Rezende Santos⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga⁽²⁾

Engenheira Civil pela UFV. Mestre em Engenharia Civil: Estruturas pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Engenharia Civil: Estruturas pela USP. Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

Charles Luiz da Silva⁽³⁾

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre em Materiais Cerâmicos pela UFSCar. Doutor em Materiais Cerâmicos pela UFSCar. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Produção da UFV.

Ana Augusta Passos Rezende

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Mestre em Engenharia pela Universidade de Toronto, Canadá. Doutora em Engenharia Agrícola pela UFV. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

Délio Porto Fassoni

Engenheiro Civil pela UFV. Mestre em Arquitetura pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP (EESC-USP). Professor Assistente pelo Departamento de Engenharia Civil pela UFV.

Endereço⁽¹⁾: Av PH Holfs 425 Apt.503-Centro-Minas Gerais-CEP:36570000- Brasil - Tel: (31) 9163-3418 - e-mail: carolrlieb@gmail.com / carol.santos@ufv.br

RESUMO

Com o crescente desenvolvimento da humanidade, os recursos naturais têm sido amplamente utilizados, gerando consequentemente grandes volumes de resíduos. A reutilização destes resíduos como matéria prima na composição de insumos para produção de novos materiais tem sido apresentada com uma alternativa de minimização do impacto gerado pela exploração de novas jazidas. Levando em consideração a sabedoria da população em utilizar o solo como material de construção, muitas vezes associado a fibras animais, e o conceito de aproveitamento de resíduos, este trabalho analisa a incorporação de resíduos provenientes da indústria de couro ao solo, com vistas à aplicação em tijolos de solo cimento. O resíduo em questão trata-se da serragem de couro, proveniente da etapa de acabamento, que apresenta em sua composição o elemento químico cromo que, caso passe à forma hexavalente, pode ser cancerígeno. Para que uma mistura possa ser utilizada na prensagem de tijolos de solo-cimento, esta deve obedecer aos critérios exigidos pela ABNT NBR 8491:1984. As misturas (solo:couro) estudadas, em porcentagem, foram: (0:100);(10:90);(15:85);(20:80); (30:70), para as quais foram realizados os seguintes ensaios: análise granulométrica (ABNT NBR 7181:1984), limite de liquidez (LL) (ABNT NBR 6459:1984), e limite de plasticidade (LP) (ABNT NBR 7180:1984), nas diversas proporções apresentadas. Além destes ensaios, foi realizado o ensaio de compactação (ABNT NBR 7182:1986), com o intuito de determinar a umidade ótima das diferentes misturas, e o ensaio prático da caixa. A incorporação do couro ao solo resultou em uma redução da massa específica, bem como na densidade aparente seca ótima, quando comparada ao solo puro, em função da substituição de um material mais pesado (solo), por um mais leve (couro) e com comportamento mais plástico. Os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP) também obtiveram um aumento na porcentagem de umidade, indicando assim um aumento de finos na mistura e, consequentemente, uma maior retração no ensaio da caixa. Ainda assim, neste ensaio obteve-se uma retração menor que o limite prático de 2 cm. Para os ensaios de caracterização realizados, mesmo com o aumento do teor de couro, as misturas solo-couro passaram nos critérios exigidos pela norma ABNT NBR 8491:1984, para prensagem de tijolos de solo-couro-cimento. Portanto, como forma de se dar um destino alternativo ao resíduo de couro e tendo em vista que essas misturas atenderam à ABNT NBR 8491:1984, recomenda-se a prensagem de tijolos para todas as dosagens estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Tijolos de solo cimento, resíduo de couro, reaproveitamento de resíduos na construção civil.

INTRODUÇÃO

Atualmente, assuntos como preservação ambiental, desenvolvimento sustentável e construções com menor custo têm sido foco de diversos debates. Com o crescente desenvolvimento da humanidade, os recursos naturais têm sido amplamente utilizados, gerando conseqüentemente, grandes volumes de resíduos. Por vários séculos, foi possível conviver de forma harmoniosa com os resíduos gerados, entretanto, com a crescente industrialização e posterior urbanização, chegou-se a um ponto em que estes se tornaram um grave problema urbano.

A reutilização dos resíduos provenientes dos mais diversos tipos de produção tem sido apresentada como uma maneira de minimização do impacto gerado pela exploração de novas jazidas e de ambientes naturais intocados, bem como uma diminuição do custo final dos produtos acabados.

Dentro deste contexto, pode-se citar a indústria de couro, como um setor com alto potencial poluidor pois, desde a pele esfolada até o produto acabado, ocorre a formação de resíduos perigosos (classe I), gerados principalmente durante a etapa de curtimento. É nesta etapa de beneficiamento que é largamente empregado o cromo (na forma de sulfato básico, Cr(OH)SO_4 , (forma trivalente)), sendo este, metal pesado, que caso passe à forma hexavalente, é potencialmente danoso à saúde humana.

O sulfato básico em questão confere ao couro propriedades importantes e essenciais, como maleabilidade e durabilidade, propriedades estas que muitas vezes não são alcançadas através de outros processos de curtimento disponíveis. Segundo estudos realizados, cerca de 60% do total de cromo reagem com a pele, ao passo que 40% permanecem nos resíduos sólidos e líquidos (PINTO, 2001), sendo, portanto, necessário um tratamento antes da disposição em aterros controlados.

Pesquisadores têm procurado uma forma de dar um destino adequado às sobras, criando essencialmente uma alternativa tecnológica e economicamente compatível com o volume produzido. Até então os resultados encontrados não foram bons o suficiente para serem aplicados em uma larga escala. É neste contexto que se aplica este trabalho.

Segundo pesquisas, o cimento Portland possui características vantajosas como a capacidade de redução da solubilidade de elementos orgânicos, bem como possui elevada durabilidade no ambiente natural e o principal, apresenta preço baixo. Tachard (2006) explica que é possível imobilizar o cromo usado no curtimento do couro e presente nos resíduos, utilizando uma matriz de cimento Portland.

Por outro lado, buscando-se soluções que apresentem menor custo, o teor de cimento na mistura couro-cimento deve ser a menor possível. Um dos tipos de associação tecnológica de baixo custo mais comum ao cimento, e que apresenta características como durabilidade e resistência, é a mistura solo-cimento. Este composto é obtido a partir de uma compactação do solo, a qual se acrescenta uma pequena quantidade de cimento com uma umidade denominada umidade ótima, sendo esta essencial para garantir a compactação da mistura de forma a se obter resistência máxima.

Devido ao seu baixo custo de produção e à relativa facilidade de se montar uma linha de produção sem grandes investimentos, esse composto é bastante utilizado na fabricação de blocos e tijolos prensados a frio, manualmente.

Portanto, uma solução considerada viável é aquela que associa baixo custo à qualidade, e que ainda respeite o meio ambiente. Dentro deste quadro, esse trabalho propõe investigar a possibilidade da utilização de misturas solo-couro em tijolos de solo-cimento. Para tal, foi necessário caracterizar o solo com adição de resíduos quanto à granulometria, limites de Atterberg (LL, LP, IP), massa específica e compactação.

Dentre outras motivações, tal alternativa foi sugerida visando à destinação adequada para um resíduo considerado perigoso, incorporando a um componente da construção civil, que pode ser feito manualmente, isto é sem tratamento prévio e mão-de-obra qualificada. Além disso, é uma alternativa que apresenta baixo custo de produção, sendo, portanto ideal para combater o volume de resíduos destinados aos aterros sanitários.

MATERIAIS E MÉTODOS

O solo-cimento consiste em uma mistura de terra compactada à qual se introduz uma pequena porção de cimento Portland para estabilizá-la. O efeito de cimento Portland em uma mistura de terra serve para reduzir sua contração e, ao mesmo tempo, aumentar sua resistência.

No presente trabalho, pesquisou-se a associação da terra com o resíduo de couro. Como não existem normas a respeito destas misturas, adotou-se que a mistura (solo+couro) deveria obedecer a ABNT NBR 10832: 1989, que determina critérios para escolha do solo para prensagem dos tijolos, tendo em vista ser este o objetivo final deste projeto de pesquisa. Os critérios estão indicados a seguir:

- Passante na peneira ABNT 4, 8 mm: 100%
- Passante na peneira ABNT 0, 075 mm: 10% a 50%
- Limite de liquidez: $\leq 45\%$
- Índice de plasticidade: $\leq 18\%$

Há ainda ensaios expeditos e testes qualitativos para seleção de solos que, segundo o Ceped (1984) podem ser usados em situações que não existe possibilidade de ser feita uma caracterização de solo em laboratório, sendo o mais conhecido e que foi realizado neste trabalho o Ensaio da Caixa.

Caracterização dos materiais

Nesta etapa foi realizada a caracterização física e mecânica do solo, do resíduo e das misturas solo-couro, as quais se adicionaram diferentes teores de serragem de couro provenientes da indústria de curtume.

Procedência do resíduo de couro

O resíduo de couro é proveniente da produção de equipamentos de proteção individual (EPI) tais como calçados e luvas, coletados da empresa Marluvas, situada em Dores de Campos - MG, próximo a três metrópoles: Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro.

Caracterização Física da serragem de couro

A serragem de couro utilizada neste estudo foi caracterizada quanto ao teor de umidade, análise granulométrica e densidade aproximada.

Para cálculo da densidade, foi colocado couro em 5 camadas, em um recipiente de volume conhecido, sendo que a cada camada foi aplicada uma pressão com os dedos até que o couro se compactasse, reduzindo assim a variação de volume, equação 1.

$$\text{densidade aproximada} = (\text{massa de couro}) / (\text{volume do recipiente}) \quad \text{equação (1)}$$

O teor de umidade foi obtido pesando-se cerca de 50g de couro em uma cápsula que foi tampada e pesada. Após a remoção da tampa, a cápsula foi colocada em estufa a 105°C por um período de 24 horas. O recipiente foi então retirado da estufa recolocando a tampa e, então, depois de frio, foi pesado novamente. O teor de umidade foi obtido através da equação (2), descrita a seguir:

$$h = (\text{mbu} - \text{mbs}) / (\text{mbs} - \text{m}) * 100 \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

h=teor de umidade

mbu=massa bruta úmida + recipiente (com tampa)

mbs=massa bruta seca + recipiente (com tampa)

m=massa do recipiente (com tampa)

A classificação granulométrica da serragem de couro foi obtida utilizando-se peneiras padronizadas pela ABNT. Por falta de normas de peneiramento da serragem, optou-se por seguir o mesmo procedimento utilizado para a fração fina do solo, por meio das peneiras de números: 10, 16, 30, 40, 50, 100 e 200, que correspondem respectivamente em mm a: 2,0; 1,2; 0,6; 0,42; 0,3; 0,15 e 0,074. Foram utilizados 500g de resíduos, colocados na peneira de forma que o volume não ultrapassasse 2/3 de sua altura. O sistema de peneira foi montado e agitado por 2 minutos. Após este período, pesou-se a quantidade de resíduo retida em cada peneira.

Procedência do solo

O solo utilizado na caracterização das misturas solo-couro tem como procedência o Sítio Nô da Silva, localizado em Cajuri, Minas Gerais. O solo em questão foi posto em barris vedados, a fim de se evitar mudanças bruscas da umidade natural.

Caracterização física e mecânica do solo e das misturas solo-couro

Foram estudadas várias misturas de solo-couro, a fim de se encontrar uma que permita maior porcentagem de couro e, ao mesmo tempo, atenda aos requisitos da ABNT NBR 10832: 1989 e, desta forma, permita sua utilização em tijolos de solo-couro-cimento. Para tal, partiu-se de uma proporção base de 1:10, de cimento e mistura, respectivamente. As porcentagens em volume de mistura estudadas foram:

- 0:100 (couro:solo);
- 10:90 (couro: solo);
- 15: 85 (couro: solo);
- 20:80 (couro: solo);
- 30:70 (couro: solo).

Para caracterização física e mecânica do solo e das misturas, foram feitos os seguintes ensaios: análise granulométrica conjunta, limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL), massa específica e ensaio de compactação.

Teor de umidade

O teor de umidade foi obtido pesando-se cerca de 100g da mistura em uma cápsula que foi tampada e pesada. Após a remoção da tampa, a cápsula foi colocada em estufa a 105°C por um período de 24 horas. O recipiente foi então retirado da estufa recolocado a tampa e então, depois de frio, pesado novamente. O teor de umidade é obtido através da equação 2.

Análise granulométrica conjunta

O ensaio de granulometria foi realizado segundo a ABNT NBR 7181:1984. A primeira etapa consiste no peneiramento da fração grossa, seguido do peneiramento da fração fina e, logo depois, a sedimentação, que diz respeito à porcentagem do diâmetro da fração argila e silte presentes na mistura.

Para o peneiramento da parte grossa foi usado inicialmente uma massa de 1000g que foi passada nas peneiras de malha, em mm: 50,8; 38,1; 37,5; 25; 9,5; 6,3; 4,75 e 2,0 mm. Para a determinação da fração de silte e argila foi efetuado o seguinte procedimento: o solo passante na peneira de malha de 2,0 mm foi colocado em um béquer, ao qual foi adicionado o defloculante hexametáfosfato de sódio, utilizado para desagregar as partículas finas, que foi deixado em repouso por 24 horas. Passado este período, procedeu-se à agitação mecânica padronizada.

Em seguida, essa amostra foi transferida para uma proveta de 1000 ml, procedendo-se a leituras regulares de temperatura e densidade. Quando esta última se estabilizou, a amostra foi retirada da proveta e levada à estufa por 24 horas a uma temperatura de 105°C. Em seguida, procedeu-se ao peneiramento do solo fino. Para tal, foram utilizadas as peneiras de malha, em mm: 2,0; 1,2; 0,6; 0,42; 0,3; 0,15 e 0,074.

O peneiramento da fração fina consiste em se determinar a distribuição do diâmetro equivalente do solo, dentro de uma faixa que varia de 2,0 mm a 0,075 mm, enquanto a etapa de sedimentação visa determinar a distribuição das partículas menores que 0,075 mm.

Limite de plasticidade

O limite de plasticidade corresponde ao valor de umidade em que a mistura começa a se fraturar ao se tentar moldar com ela um cilindro com dimensões pré-determinadas, e equivale ao ponto de passagem de um comportamento semi-sólido para plástico. Esse parâmetro foi obtido segundo a norma ABNT NBR 7180:1984. O ensaio consiste em moldar manualmente cilindros de mistura com auxílio de um gabarito de 3 mm de diâmetro. O limite de plasticidade é calculado pela média dos valores de umidade das amostras que estejam compreendidos numa faixa de mais ou menos 5% de desvio em relação à média.

Limite de liquidez

O limite de liquidez indica o valor de umidade para o qual a mistura passa de um comportamento plástico para líquido, devendo ser, portanto, um valor superior ao limite de plasticidade. Esse parâmetro foi obtido para a mistura partir de ensaios utilizando o aparelho Casagrande, conforme a norma ABNT NBR 6459:1984. Nesse método, o limite de liquidez é tomado como a umidade correspondente a 25 golpes, lido em um gráfico de umidade versus número de golpes necessários para fechar o sulco do aparelho em 1 cm.

Massa específica do solo

Corresponde ao valor médio da massa específica de cada tipo de grão mineral que compõe uma amostra de mistura. É também denominado de massa específica dos grãos. A sua obtenção é necessária para o cálculo da fração fina do solo (ensaio de sedimentação), presente na análise granulométrica conjunta. Esse parâmetro foi determinado através do método do picnômetro, de acordo com a ABNT NBR 6508:1984, para cinco amostras.

Ensaio de compactação

A compactação é um processo no qual se visa melhorar as propriedades da mistura através do aumento de sua densidade, mantendo certa homogeneidade e com menor índice de vazios. Isso faz com que a mistura apresente maior resistência, menor compressibilidade e permeabilidade. Neste trabalho, foi realizado o ensaio de compactação, utilizando como energia o Proctor Normal. Foram elaboradas curvas de compactação para o solo puro e para as misturas de solo-couro, para cada uma das porcentagens estudadas.

O método de compactação Proctor Normal tem como objetivo verificar a influência do teor de umidade na qualidade final de um solo compactado. O ensaio foi realizado segundo a ABNT NBR 7182:1986. Para este ensaio foi utilizado um cilindro de Proctor, que compreende o molde cilíndrico com dimensões de 100 mm de diâmetro x 127 mm de altura; o colarinho do cilindro e a base de fixação do cilindro. Além desse conjunto, utilizou-se um soquete metálico com massa de 2500g, dotado de um dispositivo de controle de queda.

O ensaio foi realizado pelo método “A” da referida norma e sem reutilização de material. Para isto, foram separados aproximadamente 24 Kg de solo. O material foi seco à sombra e posteriormente destorroado e passado na peneira de malha número 4 (4,8 mm), para determinação de seu teor de umidade (equação 2).

Inicialmente, a umidade ótima foi estimada através do ensaio expedito do “bolo de solo”, conforme descrito pelo Ceped (1985). O mesmo foi repetido acrescentando água à amostra, em diferentes percentuais, até a mistura chegar à consistência desejada. O ponto inicial da curva de compactação foi determinado por esse valor de teor de umidade ótimo estimado, reduzido de aproximadamente de 6%. Esse processo foi repetido para cada um dos pontos da curva, resultando em dois pontos de umidades inferiores, um ponto de umidade próximo ao teor de umidade ótima estimada e dois pontos de umidade superiores. Caso não seja possível encontrar os pontos dentro destes parâmetros, é necessário acrescentar um ou mais pontos, no início ou final da curva, acrescentando ou diminuindo a quantidade de água, dependendo da situação.

A relação entre a massa da mistura compactada e seu volume forneceu a massa específica úmida. Após a leitura do teor de umidade da amostra, foi determinada a umidade aparente seca. Com esses dados, foi feita a curva de compactação do solo, da qual foi extraído o teor de umidade ótimo relacionado à massa específica aparente seca máxima, que é o ponto máximo da curva.

Ensaio da caixa

Para este ensaio foi tomada uma porção de mistura destorroada, cerca de 4 kg, e foi acrescentada água até a mistura aderir a uma superfície metálica, com a colher de pedreiro. Em seguida, a mistura foi colocada em uma caixa com dimensões internas de (60 x 8,5 x 3,5) cm, previamente lubrificada com um desmoldante, no caso, o óleo diesel. Deixou-se a caixa moldada com a mistura à sombra por sete dias e, em seguida, foi medida a retração no sentido do comprimento (CEPED (1984)). A retração máxima aceita é de 2 cm.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Caracterização dos materiais

Nesta etapa são apresentados os resultados da caracterização física e mecânica do solo, do resíduo e das misturas solo-couro, as quais se adicionaram diferentes teores de serragem de couro provenientes da indústria de curtume.

Caracterização física da serragem de couro

A serragem de couro se apresenta na forma de microrretalhos, que, compactados manualmente em um recipiente de 1,88 L, apontaram uma densidade aproximada de 0,3g/cm³. Na tabela 1 são apresentados os resultados referentes aos teores de umidade obtidos para a serragem de couro. Na figura 1 apresenta-se a curva granulométrica referente à fração grossa da serragem e na figura 2 é apresentada uma fotografia da serragem de couro estudada.

A partir dos ensaios físicos iniciais, da determinação da umidade e da análise granulométrica, é possível realizar alguns comentários:

Tabela 1: Teor de umidade da serragem de couro.

Teor de Umidade				
Cápsula	g	42	F69	F87
Massa bruta úmida	g	37,11	37,88	40,19
Massa bruta seca	g	36,13	36,84	39,05
Tara da cápsula	g	27,45	27,80	29,20
Teor de umidade	%	11,29	11,50	11,57
Teor de umidade médio	%	11,46		

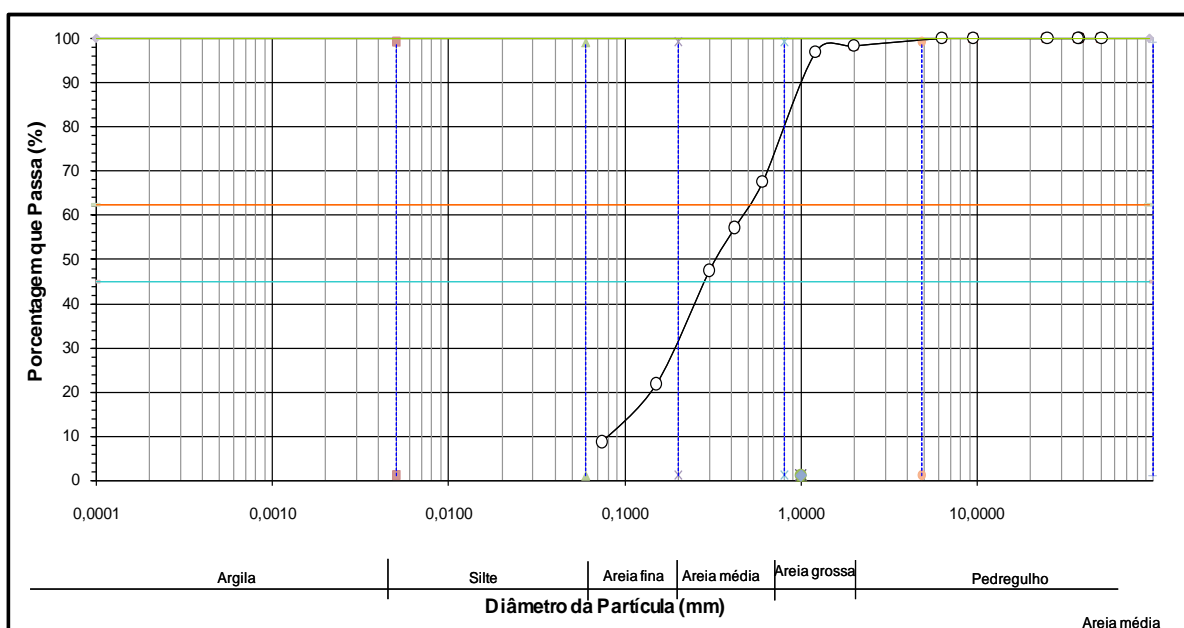


Figura 1: Determinação da granulometria da serragem de couro, para etapa relativa ao peneiramento.

Pode-se notar pela figura 1 que cerca de 60% da serragem apresenta diâmetro que varia de 0,6 mm a 0,074 mm, ou seja, apresenta dimensões próximas às da areia média à fina. A segunda maior dimensão das partículas presente na serragem de couro diz respeito à dimensão similar a dos grãos de areia grossa ($0,06 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$, ABNT NBR 7181:1984), apresentando cerca de 30%. Para a fração fina do solo, não foi possível chegar a resultados conclusivos na etapa de sedimentação (que varia de 0,074 mm a 0,002 mm) visto que o couro, por ser um material heterogêneo, apresentava a cada instante um comportamento diferente.



Figura 2: Fotografia do resíduo de couro estudado.

Caracterização física do solo e das misturas

Para se utilizar um solo na confecção de tijolos de solo-cimento, é necessário verificar se ele atende às exigências da ABNT NBR 10832:1989, apresentadas a seguir:

- Passante na peneira ABNT 4, 8 mm: 100%
- Passante na peneira ABNT 0, 075 mm: 10% a 50%
- Limite de liquidez: $\leq 45\%$
- Índice de plasticidade: $\leq 18\%$

Para tal, foram realizados ensaios de teor de umidade, análise granulométrica, LL, LP, massa específica, compactação e ensaio da caixa.

Teor de umidade

O valor do teor de umidade fornece uma idéia da quantidade de água presente na mistura. No entanto, antes da execução de cada ensaio foi obtido novamente o teor de umidade para garantir o melhor controle da umidade real da amostra. O resultado é apresentado na tabela 2.

Tabela 2: Teor de umidade das misturas solo-couro.

teor de umidade relativo as misturas solo-couro					
dosagem	0%(couro)	10%(couro)	15%(couro)	20%(couro)	30% (couro)
teor de umidade	11,73%	1,61%	2,18%	1,82%	2,42%

Análise granulométrica do solo e das misturas

Os resultados das análises granulométricas conjuntas das amostras são apresentados na figura 3. Na tabela 3, são apresentadas as percentagens das amostras em cada classe de tamanho das partículas.

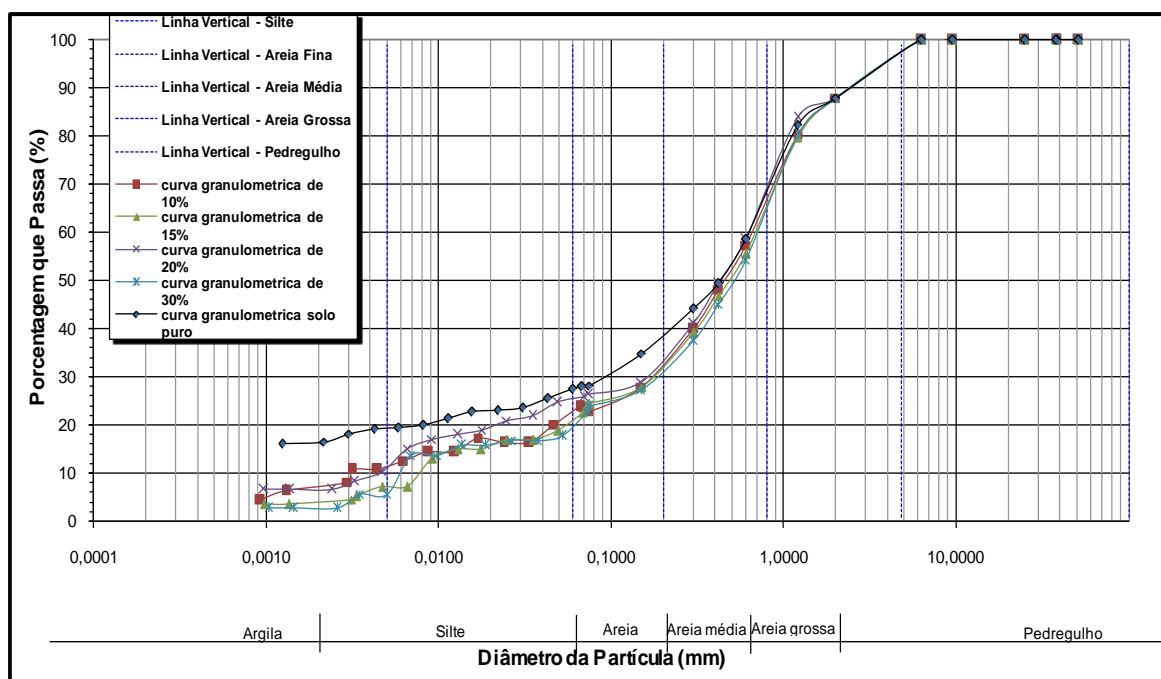


Figura 3: Análise granulométrica para todas as dosagens estudadas.

Tabela3: Classificação do solo segundo ABNT NBR 7181:1984.

Porcentagem 0% couro+ 100% solo	Argila	($d < 0,002\text{mm}$)	16	%
	Silte	($0,002 < d < 0,06\text{mm}$)	11	%
	Areia	($0,06 < d < 2,0\text{mm}$)	61	%
	Pedregulho	($d > 2,0\text{mm}$)	12	%
Porcentagem 10% couro+ 90% solo	Argila	($d < 0,002\text{mm}$)	8	%
	Silte	($0,002 < d < 0,06\text{mm}$)	15	%
	Areia	($0,06 < d < 2,0\text{mm}$)	65	%
	Pedregulho	($d > 2,0\text{mm}$)	12	%
Porcentagem 15% couro+ 85% solo	Argila	($d < 0,002\text{mm}$)	5	%
	Silte	($0,002 < d < 0,06\text{mm}$)	17	%
	Areia	($0,06 < d < 2,0\text{mm}$)	66	%
	Pedregulho	($d > 2,0\text{mm}$)	12	%
Porcentagem 20% couro+ 80% solo	Argila	($d < 0,002\text{mm}$)	6	%
	Silte	($0,002 < d < 0,06\text{mm}$)	19	%
	Areia	($0,06 < d < 2,0\text{mm}$)	63	%
	Pedregulho	($d > 2,0\text{mm}$)	12	%
Porcentagem 30% couro+ 70% solo	Argila	($d < 0,002\text{mm}$)	2	%
	Silte	($0,002 < d < 0,06\text{mm}$)	20	%
	Areia	($0,06 < d < 2,0\text{mm}$)	66	%
	Pedregulho	($d > 2,0\text{mm}$)	12	%

Através das curvas pode-se entender que o solo puro que antes apresentava ser uma areia argilosa, mudou de comportamento devido à adição de pó de couro, passando a apresentar o comportamento de uma areia siltosa.

Para a porcentagem de 10% em volume foi visto que o teor de argila diminuiu, e os teores de silte e de areia aumentaram. Isto se deve à adição da serragem de couro, visto que esta apresenta uma maior porcentagem de grãos com a mesma granulometria da fração de areia. Com relação ao teor de finos mesmo que a etapa de sedimentação do couro tenha sido inconclusiva, devido ao comportamento heterogêneo do material, ainda sim

se esperava o aumento no teor de finos, em virtude da porcentagem passante na peneira de malha 0,06 mm. Conforme o resultado obtido, é possível perceber que a porcentagem de argila diminuiu, ao passo que a de silte aumentou, o que leva a acreditar que na mistura a serragem de couro admite um comportamento silteoso. O que se percebe nas demais dosagens é que o teor de argila tende a diminuir enquanto que a fração de silte tende a aumentar. A fração mais grossa como areia grossa e pedregulho ao longo das curvas não apresentaram mudanças de porcentagens, o que é compreensível, tendo em vista que a serragem de couro é bastante fina provocando apenas mudança nas frações finas. Segundo os critérios apresentados por Ceped (1984) e de acordo com a classificação na ABNT NBR 10832:1989, com relação à granulometria, as misturas em questão são adequadas para utilização em solo-cimento.

Limite de plasticidade do solo

Os dados obtidos para determinação do limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) são apresentados na tabela 4:

Tabela 4: Resultado do LL, LP e IP.

Resumo dos ensaios Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade					
ensaios	dosagens				
	puro	10%	15%	20%	30%
limite de plasticidade	24,36%	26,4%	28,42%	32,64%	43,9%
limite de liquidez	29,6%	36,2%	36,9%	37,53%	51%
índice de plasticidade	5,24%	9,8%	8,48%	4,89%	7,1%

É possível observar que à medida que se adiciona serragem de couro, o teor de umidade dos ensaios tende a aumentar. Isto se deve ao aumento de finos na mistura. Pode-se notar que todas as misturas estão dentro dos critérios apresentados pelo Ceped (1984) e também de acordo com a classificação da ABNT NBR 10832:1989, que estabelecem um limite de liquidez igual ou inferior a 45%.

Massa específica das misturas solo couro

Os dados obtidos para o ensaio de massa específica dos sólidos estão indicados na tabela 5:

Tabela 5: Resultado obtido para o ensaio de massa específica dos sólidos.

resumo da massa específica dos sólidos					
dosagens	0%	10%	15%	20%	30%
massa específica g/cm ³	2,7	2,772	2,652	2,602	2,452

Pode-se perceber que à medida que se adiciona serragem de couro à mistura, a massa específica dos sólidos tende a diminuir em função da substituição de um material mais pesado (solo), por um mais leve (couro) e com comportamento mais plástico.

Compactação das misturas solo-couro

O ensaio de compactação pelo método Proctor Normal foi realizado para as misturas e os resultados são apresentados na Figura 4 e na tabela 6.

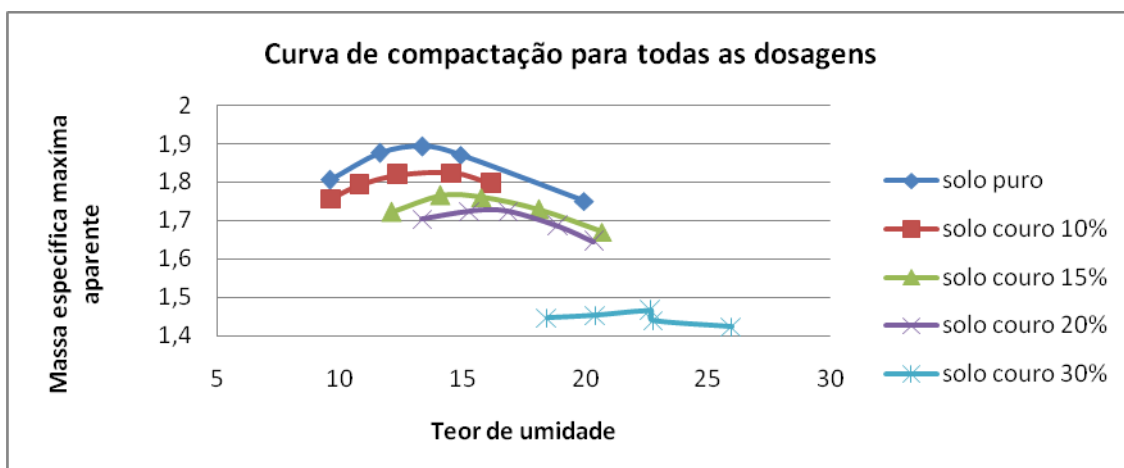


Figura 4: Curvas de compactação para todas as dosagens estudadas.

Tabela 6. Resumo dos resultados de compactação.

mistura	puro	10%	15%	20%	30%
teor de umidade ótimo (%)	13,5%	14,4%	14,6%	16,3%	22,5%
massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	1,892	1,825	1,765	1,726	1,467

Através da tabela 6 é possível perceber que à medida que se adiciona serragem de couro, a massa específica aparente seca máxima tende a diminuir. Este resultado era esperado, por se tratar de adição de um resíduo mais leve que o solo. À medida que o teor de couro aumenta o teor de umidade também aumenta. Isto se deve às maiores porcentagens de finos na mistura. Portanto, pode-se afirmar que acrescentando serragem de couro ao solo, este tende a apresentar um comportamento semelhante ao de uma areia siltosa.

As curvas das misturas com 10%, 15% e 20% de couro em relação ao volume de material inerte (solo+couro) possuem um comportamento mais achatado, o que indica a baixa sensibilidade da curva de compactação nas proximidades do ponto ótimo, com relação ao teor de umidade. O mesmo não ocorre na curva com 30%, visto que esta apresenta um formato mais pontiagudo, indicando que qualquer variação na umidade é capaz de provocar grandes mudanças no valor da massa específica aparente seca máxima. Esta mudança de tendência ocorre geralmente em solos mais arenosos. Neste caso específico, esta variabilidade pode ter ocorrido devido à presença de grande quantidade de serragem de couro, cuja maior porcentagem corresponde a partículas de diâmetro semelhante à da areia fina.

Ensaio da caixa para misturas solo-couro

Como apresentado anteriormente, este ensaio é útil na medição da retração do solo, determinando assim a possibilidade deste ser usado na fabricação de tijolos. O resultado obtido para a retração ocorrida em sete dias foi de 1,3 cm para solo puro; 1,4 cm para 10%; 1,5 cm para 15%; 1,6 cm para 20% e 1,7 cm para 30%. Na figura 5 apresenta-se a forma preparada para o ensaio da caixa.

Desta forma, pode-se concluir que as misturas estudadas podem ser usadas para fabricação de tijolos de solo cimento, visto que a retração foi menor que o limite de 2 cm.



Figura 5: Ensaio da caixa.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada a caracterização de misturas solo-couro com vistas a avaliar a possibilidade de incorporação de serragem de couro em misturas de solo-cimento. Para tal foram testados diferentes teores de couro a serem adicionados. A incorporação do couro ao solo resultou na redução da massa específica, bem como na densidade aparente seca ótima, em função da substituição de um material mais pesado (solo) por um mais leve (couro) e com comportamento mais plástico. Os limites de liquidez e plasticidade também obtiveram um aumento na porcentagem de umidade, indicando assim um aumento de finos na mistura. Para todas as dosagens estudadas, as misturas solo-couro passaram nos critérios exigidos pela norma ABNT NBR 8491:1984, para que se pudessem prensar tijolos de solo-cimento. Portanto, como forma de se dar um destino alternativo ao resíduo de couro e visto que estas misturas atenderam à ABNT NBR 8491:1984, recomenda-se a prensagem dos tijolos de solo-couro-cimento para todas as dosagens estudadas acima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS-ABETRE Disponível em: www.abetre.org.br .Seção “Sala de imprensa”.Acessado em out 2005.
2. FURTADO ,M.Destino limpo para lixo industrial.Revista Química e Derivados,Ed 387,out 2000.
3. PINTO, C.A. Estabilização por solidificação em cimento do resíduo do curtimento do couro contendo cromo.Dissertação (mestrado).Universidade de São Paulo,São Paulo (SP).2001,90p
4. CORREA,A.R. O complexo coureiro-calçadista brasileiro.BNDES Setorial 14,set 2001.Disponível em WWW.bndes.gov.br Acessado em ago 2005
5. CAMARGO, B.À Flor da pele.Repórter Brasil,jun.2005.Disponível em WWW.reporterbrasil.com.br Acessado em ago 2005.
6. FURTADO, M.R. Aterros especiais:oferta responsável não impede descarte em lixões.Revista química e derivados Ed 434,fev 2005
7. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL-FEPAM Relatório sobre a geração de resíduos sólidos industriais no estado do Rio Grande do Sul.Porto Alegre,mai 2003.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –ABNT :NBR 10004.Resíduos sólidos-Classificação 2004.71p
9. PERES, J.G.M. Viabilidade de utilização da serragem de couro para fins de obtenção de um material alternativo de construção. Dissertação (mestrado).Universidade Estadual de Campinas (SP).2004.100p
10. FUJIKAWA, E.S. Incorporação dos resíduos “serragem cromada” em materiais de construção civil. Dissertação (mestrado).Universidade estadual Paulista,Bauri (SP).2002.80p
11. BRITO, A.L.F. Codisposição de resíduos sólidos urbanos e resíduos sólidos de indústria de curtume. Dissertação (mestrado).Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba,Campina Grande (PB).1999.131p.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 6508 Solo Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 7180 Solo Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 7181 Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). NBR 8491 –Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro.
16. J NEVES, G.; PATRICIO, S.M.; FERREIRA, H.C.; SILVA, M.C. (1999). Utilização de resíduos da serragem de granitos para a confecção de tijolos cerâmicos. 43p, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA,, Florianópolis, SC.
17. TACHARD, A.L.R.S. Avaliação da Resistência Mecânica de Argamassas de Cimento Portland Contendo Serragem de Couro Tratada em Meio Ácido. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (SP). 2006.
18. SHIH, Y.Y. Estudo da influência da adição de serragem de couro tratada quimicamente nas características de argamassas de cimento Portland / Shih Yung Yuan.–SãoCarlos,UFSCar, 2009. 103p.