

1 INTRODUÇÃO

A busca de soluções para a problemática de resíduos de mineração se tornou de extrema importância devido à grande quantidade de rejeito produzida pelas mineradoras, principalmente na extração do minério de ferro, na região de Minas Gerais. Barragens de contenção de rejeitos já se mostraram ineficientes e perigosas, principalmente com dois grandes rompimentos já ocorridos. Uma solução para a não acumulação de rejeito em barragens é o uso na construção civil, que é uma maneira mais sustentável de se utilizar esse material, além de muitas vezes tornar determinados materiais da construção civil mais econômicos.

O uso de rejeito de mineração em tijolos de solo-cimento é uma opção desse uso na construção civil. Tijolos de solo-cimento são opções mais sustentáveis que os blocos cerâmicos ou de concreto, já que podem utilizar diversos tipos de solos, inclusive solos profundos, não interferindo na agricultura, desde que as devidas correções sejam feitas nos mesmos. Além disso, em sua produção não são necessários processos de queima, já que são produzidos por meio de prensas, que formam blocos de terra comprimida.

O presente artigo, foi desenvolvido juntamente com outro projeto de pesquisa, que tem enfoque na produção de blocos de terra comprimida utilizando solo-cimento, sem adição de rejeitos, para que os pesquisadores se familiarizassem com a produção de BSC antes da adição dos rejeitos.

2 OBJETIVOS

Tendo em vista os desafios relacionados à mineração no Brasil, a pesquisa tem como objetivo adquirir os conhecimentos necessários para moldar tijolos simples de solo-cimento e analisar as características do RMF em laboratório, visando a integração e compatibilidade dos dois. Assim, busca-se fazer a caracterização do solo de diferentes localidades (ensaios de limite de liquidez, limite de plasticidade, análise granulométrica e compactação); fabricação de tijolos de solo-cimento simples em prensa hidráulica; análise química e mineralógica do rejeito de mineração; gerar maior economia e sustentabilidade a um produto que já possui essas características; encontrar uma utilidade ao RMF para que barragens de rejeitos sejam menos necessitadas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Solo-cimento

O solo-cimento é, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (1986), o produto endurecido resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água em proporções estabelecidas por meio de dosagem racional, executada de acordo com as normas aplicáveis ao solo em estudo.

O solo é um dos elementos mais importantes na construção civil seja ele em estado natural na execução de fundações. Devido a diversidade de tipos de solos encontrado, é comum encontrar esse material sem os requisitos presentes na ABNT NBR 8491 em conjunto com outras normas utilizadas para padronizar seu desempenho.

O solo cimento possui vantagens desde sua fabricação ao emprego no canteiro de obras, pois tanto equipamentos como materiais utilizados são simples e de baixo custo, sendo admissível produção no próprio canteiro com solo local, o que reduz os custos com energia, transporte, armazenamento, mão de obra, desperdícios e impostos.



Caracterização do Solo Cimento

A vasta capacidade de utilização do solo cimento, seja na produção de blocos e tijolos, como base para pavimentos asfáltico em ambientes de tráfego reduzidos de veículos ou na construção de parede monolíticas, faz desse material muito disseminado atualmente no Brasil.

Esse material possui uma certa facilidade na alteração de sua composição, assim facilitando na substituição por materiais sustentáveis e de menos danos ao meio ambiente. Assim, o solo cimento demonstra ser uma alternativa na construção civil por causa da facilidade de sua produção que se constitui basicamente de solo, cimento e água ou pela redução do impacto causado desse material ao meio ambiente por meio de destinação ou reaproveitamento de outros materiais em sua composição.

Produção do BSC

Durante a produção do bloco, deve-se o estabelecer uma proporção de água no solo entre 5% a 20%, variando de acordo com a umidade do solo verificada previamente em laboratório.

O traço de cimento utilizado no material a ser analisado foi o 1:10, sendo 1 traço de cimento para 10 traços de solo. Assim como no BTC a homogeneização do solo cimento e a sua moldagem em seguida da compactação é fundamental para o desempenho. Esses três passos sendo realizados adequadamente proporciona um material de dimensões regulares e bom desempenho mecânico.

Após a compactação do bloco de solo cimento, deve ser feito o desmolde imediato do material e a sua hidratação por imersão completa em um tanque de água a temperatura ambiente, já que após as primeiras seis horas e com o decorrer dos seus sete primeiros dias de vida, o material deve ser mantido úmido para evitar a perda de sua resistência.

Em seguida, após sua imersão, deve-se retirá-lo e armazenar o material em uma superfície plana, coberta e com sombra. E assim, realizar em laboratórios novos ensaios de resistência a compressão por meio de corpos de prova, ao qual o material deve alcançar um valor mínimo de 1,7 MPa.

3.2 Ensaios de caracterização do solo

Análise granulométrica

O solo é formado por partículas de diferentes tamanhos e formatos e a granulometria faz a análise de ocorrência dessas partículas, determinando sua curva granulométrica. Essa verificação pode ser feita por peneiramento (com o uso de peneiras normatizadas) ou sedimentação (pela lei de Stokes). O método escolhido foi o primeiro, sendo necessário preparar a amostra de acordo com a ABNT NBR 6457 e em seguida passá-la na peneira de 2mm. Para a próxima etapa utiliza-se o material passante, que será por sua vez destinado ao agitador, com peneiras de 1,5mm, 0,6mm, 0,42mm, 0,25mm, 0,15mm e 0,075mm para o chamado peneiramento fino.

Limite de liquidez

Determinação do valor de umidade que faz o solo passar do estado líquido para o estado plástico com auxílio do aparelho Casagrande. Para sua realização deve-se preparar a amostra de acordo com a ABNT NBR 6457: retirar parte aleatória do solo, que deve ser homogeneizado e passado pela peneira de 0,42mm até obter-se

aproximadamente 200g. É importante adicionar a quantidade certa de água destilada para chegar ao estado pastoso do solo, além de previamente ajustar o casagrande.

Limite de plasticidade

Refere-se ao valor de umidade em que ocorre a mudança do estado plástico para o semissólido do solo. Em outras palavras, é o menor valor de umidade no qual o solo tem comportamento plástico. Deve-se seguir a ABNT NBR 6457 para preparo da amostra, que foi seca ao ar até atingir a umidade higroscópica. O solo é destorroado, passado pela peneira com abertura de 0,42mm e levado à capsula, pronto para ser utilizado no ensaio.

Compactação do solo

Por ser um ensaio de teste, utilizou-se apenas a relação água destilada e teor de umidade encontrada na determinação do limite de plasticidade. Assim, a única revisão feita foi como esses valores se relacionam.

Compactação do solo-cimento

De acordo com a ABNT NBR 12023, há 2 métodos que podem ser utilizados na execução do ensaio, sendo o escolhido denominado pela norma "método A". Deve-se homogeneizar o solo e o cimento, adicionando água em seguida. Foi feita uma modificação na norma, já que a mistura continha areia. O interesse era determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de misturas de solo, cimento e areia, quando compactadas na energia normal. Além disso, verificar a capacidade de compactação das amostras feitas.

3.3 Uso de rejeito de mineração

O rejeito utilizado para a realização dos testes seria o rejeito de minério de ferro, já que a região de Belo Horizonte é produtora de minério de ferro, tendo assim grande oferta do material, além de viabilizar o transporte, diminuindo custos.

Para a produção de BTC's de solo-cimento, são utilizadas proporções específicas de materiais, e por isso, provavelmente, algumas correções deveriam ser feitas para o uso do material. Diversos testes em laboratório devem ser realizados para determinação das propriedades do rejeito.

Obtenção de amostras do RMF

Para que os testes sejam feitos, diversas amostras devem ser retiradas de uma ou mais barragens, para que variações possam ser verificadas, de acordo com as instruções da norma ABNT NBR 10007. As amostras obtidas em pontos estratégicos devem ser devidamente armazenadas e identificadas.

Determinação de massa específica

O primeiro teste a ser realizado é o de determinação da massa específica por meio da secagem do material em estufas. Deve-se utilizar um picnômetro limpo e seco, adicionar amostra do solo até a metade do recipiente, e completar até o topo, com água, repousar por 30 minutos e levar a estufa a 100°C até que esteja completamente seco. A massa encontrada no fim do procedimento é a massa específica do material.

Análise granulométrica

O teste de análise granulométrica é feito por meio de peneiramentos. Primeiramente, a amostra é pesada, determinando a massa utilizada no ensaio, então realiza-se o primeiro peneiramento, úmido em peneiras de 38µm com 20 cm de diâmetro por 15 minutos com vazão de água de 1L/s. A amostra resultante do primeiro

peneiramento é seca e estufa e então passa por 2 séries de peneiras, a primeira composta por peneiras de 1180, 850, 600 e 425 μ m, já a segunda, por peneiras de 300, 212, 150, 106, 75, 53, 45 e 38 μ m. Com as amostras separadas, pode-se realizar a pesagem e calcular a porcentagem de cada granulometria presente no rejeito. As amostras de granulometria menor que 38 μ m podem passar por testes de difração a laser, que são feitos em um analisador de partículas do modelo 1090.

Análise da área superficial específica

Outro ensaio feito em laboratório é o de análise de área superficial específica e porosimetria, por meio de estudo de 4 amostras, uma em natura, e as outras de 38, 10 μ m e inferior a 38 μ m deslamado. O teste é feito por meio da desgaseificação utilizando nitrogênio gasoso.

Análise da composição química e mineralógica

Testes de concentração de material metálico, ou resíduos de minério, também são realizados utilizando um separador magnético. São utilizadas 3 amostras separadas de acordo com a granulometria. Testes de análise química também devem ser realizados.

Deslamagem do material e obtenção dos concentrados de minério de ferro e argila

O rejeito, encontrado nas barragens de contenção, são em sua grande maioria bastante líquidos, de maneira que o material se compare a uma lama. Antes de qualquer procedimento feito no RMF deve-se passar pelo processo de deslamagem. Este processo é extremamente importante, já que sem ele não é possível utilizar o rejeito para a produção de blocos de terra comprimidos.

Esse processo é feito por meio do peneiramento úmido, em peneiras de 38 μ m. A amostra retida deve ir para a estufa em 100°C por 24 horas. Já o material restante tem o pH ajustado para 10,5 e é adicionado 15 litros de água para cada 1,7kg do material, que é agitado. Depois da agitação, deve-se esperar 10 minutos para que ocorra a sedimentação do material sólido, para que seja feita a sifonação com objetivo de separação do material.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada na realização do trabalho foi dividida em teoria e prática, voltadas ao estudo individual do solo-cimento e do rejeito de minério de ferro e sua integração.

4.1 Solo-cimento

Bibliografia

Assim que o tema de pesquisa foi escolhido e os projetos definidos, reuniu-se uma série de normas técnicas e arquivos de referência sobre o assunto de modo a adquirir conhecimentos prévios e organizar melhor o calendário a ser seguido. O fichamento desses textos também contribuiu para a fixação e compreensão, etapa essencial às próximas. A amostra de solo recebida veio de Curvelo (MG) em período de chuvas. Por esse motivo, se fez necessário o uso da estufa por 24hrs à temperatura de 105°C antes do processo de destorroamento, que foi simultâneo à retirada de pedras e matéria



orgânica com o auxílio de peneiras. Em seguida, foram realizados ensaios de caracterização do material.

Análise granulométrica

Tabela 1: Porcentagem de material retido em cada peneira após o ensaio de granulometria.

Material retido (%)				
Peneiras (mm)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
1,18	13,2597	13,4090	13,3241	13,3309
0,6	25,5761	26,0934	27,3979	26,3558
0,425	13,6349	13,7250	13,0762	13,4784
0,25	14,5168	14,2101	14,4688	14,3986
0,15	13,2343	13,7854	13,1789	13,3995
0,075	9,6453	9,1782	8,6200	9,1478
Material passante (%)	10,1329	9,5988	9,9341	9,8886

Fonte: tabela produzida pelos pesquisadores

Limite de liquidez

Os respectivos valores encontrados para as amostras 1, 2 e 3 foram 56.02, 56.11 e 60.77%. Logo, a média do teor de umidade é 57,64%.

Limite de plasticidade

Os teores de umidade (%) encontrados nas amostras 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 32.82, 34.22 e 35.06. Dessa forma, 34.03 é o valor médio.

Compactação

Guiado pela média encontrada do teor de umidade no ensaio de plasticidade, que corresponde a 34% de água. Apesar do valor apresentado, a mistura ficou saturada, sendo necessário corrigi-la com solo seco. Dessa forma, usou-se 170ml de água destilada para 540g de solo, ou seja, 31,48%. Os ensaios de compactação não foram conclusivos devido a não conformidade total com a norma e perda de alguns valores necessários. Esses experimentos serão realizados novamente com maior entendimento e dados.

Figura 1: Corpo de prova de solo e água destilada



Fonte: acervo dos pesquisadores

Moldagem de tijolos

Após caracterizar o solo, realizamos os cálculos necessários para determinar a quantidade necessária de cada material, visto que a amostra estava úmida e foi feita a correção com solo seco. A mistura foi feita no chão com auxílio da pá e adição progressiva do cimento e a proporção utilizada foi 4 medidas de solo úmido para 4 medidas de solo seco, 1,5 de areia e 0,8 de cimento. Para verificar se o ponto estava correto, amassou-se parte da amostra com as mãos e a marca dos dedos permaneceu nela. Em seguida deve-se soltá-la de 1 metro de altura, observando se, ao encontrar o chão, ela se desagrega e se espalha pela superfície. Levamos-na à prensa hidráulica para a execução do primeiro tijolo, que saiu inteiro, mas quebrou durante a cura.

Figura 2: Tijolo de solo-cimento antes da cura



Fonte: acervo dos pesquisadores

Ao prosseguir para o próximo bloco houve um imprevisto com o molde, que ficou preso na máquina. Assim, reaproveitamos a massa para realizar 3 corpos de prova, no mesmo processo do ensaio de compactação. A mistura de solo, areia e cimento foi compactada em molde cilíndrico com ajuda de um soquete. Os processos seguintes envolvem pesagem dos corpos de prova prosseguida de corte dos mesmos, retirando uma amostra para cálculo do teor de umidade, da massa específica aparente e massa da amostra compactada, além da massa específica aparente seca da mesma. Por último traça-se a curva de compactação.

4.2 RMF

Uso de rejeito de mineração

O rejeito de mineração foi visto apenas em sua parte teórica, a partir da leitura de artigos e estudo de suas propriedades, de modo a estipular teorias sobre sua integração ao tijolo de solo-cimento. Não foram feitos análises e testes em laboratório, pois quando a fase de estudo do rejeito foi iniciada, as aulas e o uso de laboratórios foram interrompidos devido à Pandemia de COVID-19. Existe uma possibilidade de continuação do estudo, posterior ao fim da quarentena, podendo realizar os devidos estudos e testes com o Rejeito de Mineração, para sua aplicação em blocos de terra comprimida de solo-cimento.

5 CONCLUSÃO

Durante as práticas realizadas em laboratório, foi possível concluir que, para a produção do BSC, a anterior caracterização do solo e estudo de normas foi muito viável, permitindo conhecer mais a fundo suas características e assim poupar tempo em processos seguintes. Dessa forma, infere-se que com análise individual de todos os materiais necessários a parte final será ainda mais satisfatória. Vale ressaltar que certas

propriedades do solo influenciam na quantidade de cimento que será adicionada ao bloco e, como o objetivo é a produção de um material sustentável, quanto menos cimento for utilizado, mais eficiente serão os resultados ecológicos.

Em relação ao uso de minério de ferro, testes não foram realizados, mas é possível perceber que determinadas composições químicas podem diminuir o uso de cimento na composição do bloco, visto que alguns materiais aglomerantes (calcários) do resíduo podem fazer com que o tijolo de terra comprimida adquira características de bloco de terra comprimida de solo-cimento (passar pela cura química, obter a resistência) sem o uso do insumo, ou com menor uso do mesmo.

Considera-se a importância do estudo, visando uma destinação para o rejeito de minério de ferro, tanto ambiental, quanto social e econômica. Dentro dessa perspectiva, é importante que o estudo continue, para que testes em laboratório possam mostrar se o uso do RMF é realmente eficaz na produção de blocos de terra comprimida com solo-cimento.

REFERÊNCIAS

SANTOS, Ádila Michele. **Avaliação de propriedades físico-mecânicas do composto solo-cimento com incorporação de fibra de rafia para produção de tijolos ecológicos**/ Ádila Michele Santos – Cruz das Almas, BA: 2016. Trabalho de avaliação parcial apresentado à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas.

ANDRADE, Luana Caetano Rocha de. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil**/ Luana Caetano Rocha de Andrade - Viçosa, MG: 2014. Tese apresentada à UFV, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.

CAMPANHA, Ângela. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro para uso em pavimentação**/ Ângela Campanha - Viçosa, MG, 2011. Dissertação apresentada à UFV como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.

SILVA, Ana Paula Moreira da; VIANA, João Paulo; CAVALCANTE, André Luís Brasil. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas**/ Ana Paula Moreira da Silva, João Paulo Viana e André Luís Brasil Cavalcante - Brasília, DF: 2012. Subsídio ao processo de discussão e elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, conduzido pelo Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente.

GOMES, Ana Cláudia Franca. **Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração**/ Ana Cláudia Franca Gomes – Belo Horizonte, MG: 2017. Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pósgraduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas.

PINTO, Lucas Mazzoleni. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil**/ Lucas Mazzoleni Pinto - Santa Maria, RS: 2015. Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Engenharia Civil, Área de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

FILHO, Joaquim Nery de Sant'Ana. **Estudos de reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para uso na pavimentação de rodovias e fabricação de blocos intertravados**/ Joaquim Nery de Sant'Ana Filho – Belo Horizonte, MG: 2013. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais do CEFET-MG, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Matérias.

PINTO, Eduardo da Silva. **Solo-cimento compactado: proposta de métodos de ensaio para dosagem e caracterização física e mecânica** / Eduardo da Silva Pinto – Bauru, SP: 2016. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Bauru, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

SILVA, Sandra Regina da. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**/ Sandra Regina da Silva – Belo Horizonte, MG: 2005. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Determinação do limite de liquidez do solo. Disponível em:
<https://youtu.be/jzAf5whqvl4> . Acesso em 22 de março de 2018.

Determinação do limite de plasticidade - Mecânica dos solos. Disponível em:
<https://youtu.be/lpmz0FA78DM> . Acesso em 22 de março de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181:2016 Solo - Análise granulométrica

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457:2016 Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459:2016 Solo - Determinação do limite de liquidez

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180:2016 Solo — Determinação do limite de plasticidade

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12023:2012 Solo-cimento — Ensaio de compactação

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007:2004 Amostragem de resíduos sólidos



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491:2012 Tijolo de solo-cimento — Requisitos

STUDY OF IRON MINING RESIDUES FOR USE IN SOIL CEMENT COMPRESSED BLOCKS: OBTAINING, CHARACTERIZING AND FITNESS OF THE IRON MINING RESIDUES

ABSTRACT

Brazil is a country with a large mineral reserve, but with the exploration of these reserves, major environmental problems arise. One of the main difficulties is the disposal of tailings from mining, since the storage of tailings is harmful to nature, in addition to bringing risks, with the rupture of dams, which have already occurred twice in Minas Gerais. Knowing the importance of disposing the tailings in a sustainable way, several construction materials have been incorporated into the tailings. Looking for a material to incorporate iron ore tailings, widely found in the region of Minas Gerais, the possibility of its use was found in the production of compressed earth blocks of soil-cement. The research was based, primarily on the bibliographic and laboratory study on soil-cement, performing various soil, soil-cement and compressed earth blocks compaction tests. Subsequently, the bibliographic study of iron ore tailings began, but laboratory tests were not performed, due to the Covid-19 pandemic. The results obtained so far are specific to the production of soil-cement compressed earth blocks, without insertion of iron ore tailings, but there is a possibility of further study.

Keywords: Soil-cement. Compressed soil block. Mining tailings. Sustainable construction.