

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GUSTAVO HENRIQUE VERONESE VIEIRA

**AVALIAÇÃO DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO UTILIZANDO O SOLO DE PATO
BRANCO CORRIGIDO COM AREIA NATURAL OU AREIA DE BRITAGEM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

GUSTAVO HENRIQUE VERONESE VIEIRA

**AVALIAÇÃO DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO UTILIZANDO O SOLO DE PATO
BRANCO CORRIGIDO COM AREIA NATURAL OU AREIA DE BRITAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalita.

PATO BRANCO

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

AValiação DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO UTILIZANDO O SOLO DE PATO BRANCO CORRIGIDO COM AREIA NATURAL OU DE BRITAGEM

GUSTAVO HENRIQUE VERONESE VIEIRA

No dia 22 de junho de 2017, às 14h50min, na SALA O 201 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº20-TCC/2017.

Orientador: Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA (DACOC/UTFPR-PB)

Co-orientador: Prof^a. Dr^a. HELOIZA PIASSA BENETTI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Esp. DIOGO ROSSETTO (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof^a. Dr^a. CAROLINE ANGULSKI DA LUZ (DACOC/UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por todas as oportunidades que me deu.

À minha família, que não poupou esforços para me incentivar no decorrer destes anos. Sem este apoio nada seria possível.

A todos os amigos e colegas que estiveram presentes e compartilharam esta jornada.

Ao tio Ovalmir, grande entusiasta deste trabalho, que infelizmente não pôde vê-lo concluído.

Agradeço também a todos os professores do curso de Engenharia Civil da UTFPR *Campus* Pato Branco que compartilharam seus conhecimentos.

Em especial ao Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa pela orientação e conselhos.

Finalmente, agradeço à banca avaliadora, Prof^a. Dr^a. Caroline Angulski da Luz e Prof. Esp. Diogo Rossetto, que se disponibilizaram a avaliar e contribuir com este trabalho.

RESUMO

VIEIRA, G. H. V. Avaliação de blocos de solo-cimento utilizando o solo de Pato Branco corrigido com areia natural ou areia de britagem. 80p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

O ramo da construção civil é, nos dias de hoje, um dos maiores consumidores de matéria-prima vinda da natureza e um dos principais geradores de resíduos sólidos, assim, torna-se importante o estudo de novos materiais de construção que sejam menos agressivos ao meio ambiente. Blocos de solo-cimento são um exemplo deste tipo de material, porém, sua qualidade depende das características dos insumos utilizados na sua fabricação. Tendo em vista a utilização do solo do Município de Pato Branco – PR foi necessário fazer sua caracterização através da sua faixa granulométrica, limite de liquidez e índice de plasticidade, entretanto, observou-se que este era inadequado para a fabricação de blocos de solo-cimento. A solução adotada foi a correção deste solo com areia natural e a correção com areia de britagem para sua posterior comparação. Após escolhido um traço para a mistura de solo com as areias foi possível averiguar o enquadramento dos solos corrigidos nas exigências da ABNT e do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), estes puderam ser acrescidos de cimento e moldados em prensa manual para a confecção dos blocos. Ao fim do estudo dois materiais foram obtidos, os blocos de solo-cimento com solo corrigido com areia natural e os blocos de solo-cimento com solo corrigido com areia de britagem, onde estes puderam ser avaliados quanto a sua resistência à compressão e a absorção de água.

Palavras-chave: solos corrigidos, areia natural, areia de britagem, solo-cimento.

ABSTRACT

VIEIRA, G. H. V. Evaluation of soil-cement blocks using the Pato Branco soil corrected with natural sand or crushing sand. 80p. Conclusion of course work (Graduation) - Bachelor in Civil Engineering. Federal Technological University of Paraná, Pato Branco, 2017.

Currently, the construction industry is one of the largest consumers of raw materials coming from nature and one of the main generators of solid waste, so it is important to study new building materials that are less aggressive to the environment. Soil-cement blocks are an example of this type of material, however, their quality depends on the characteristics of the inputs used in their manufacture. Considering the use of the soil of the City of Pato Branco - PR it was necessary to make its characterization through its granulometric range, liquidity limit and plasticity index, however it was observed that this was unsuitable for the manufacture of soil- cement blocks. The solution adopted was the correction of this soil with natural sand and the correction with crushing sand for its later comparison. After selecting a trait for the soil mixture with the sands, it was possible to ascertain the soil classification corrected in the requirements of ABNT and the Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), these could be added with cement and molded in a manual press for the construction of the blocks. At the end of the study, two materials were obtained: the soil-cement blocks with soil corrected with natural sand and the soil-cement blocks with soil corrected with crushing sand, where these could be evaluated for their resistance to compression and water absorption.

Keywords: corrected soils, natural sand, crushing sand, soil-cement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formação dos solos	17
Figura 2: Limites de umidade do solo.....	18
Figura 3: Mineração Orlando Pianaro – Campo Largo (PR)	21
Figura 4: Britador em São Sebastião (SP)	24
Figura 5: Utilizações do solo-cimento – base para pavimentos (a esquerda), blocos para alvenaria (a direita)	29
Figura 6: Ilustração da prensa CINVA-RAM.....	30
Figura 7: Construção utilizando solo na cidade de Paraty (RJ).....	31
Figura 8: Prensa que molda três blocos ao mesmo tempo.	32
Figura 9: Estocagem de blocos cerâmicos da Tijotec	34
Figura 10: Localização de Pato Branco no Estado do Paraná	36
Figura 11: Aparelho de Casagrande	39
Figura 12: Base e molde cilíndrico para execução do ensaio	44
Figura 13: Soquete de massa padonizada	45
Figura 14: Prensa manual PTE-6000	47
Figura 15: Coleta do solo	49
Figura 16: Aparelho de Casagrande e cinzel	50
Figura 17: Gráfico do LL do solo	51
Figura 18: Ensaio do LP	52
Figura 19: Curva granulométrica da areia natural	54
Figura 20: Curva granulométrica da areia de britagem	56
Figura 21: Processo de mistura do solo e areia	57
Figura 22: LL e LP do solo corrigido com areia natural	59
Figura 23: Gráfico do LL do solo corrigido com areia de britagem.....	61
Figura 24: Preparação da mistura de solo corrigido e cimento	62
Figura 25: Mistura de solo-cimento	62
Figura 26: Solo-cimento sendo compactados	63
Figura 27: Cilindro de solo-cimento compactado	63
Figura 28: Curva de compactação do solo-cimento com areia natural.....	65
Figura 29: Curva de compactação do solo-cimento com areia de britagem.....	66
Figura 30: Moldagem de um bloco de solo-cimento corrigido com areia natural.	68
Figura 31: Cobrimento dos blocos corrigidos com areia de britagem para sua cura.	69

Figura 32: Bloco de solo-cimento corrigido com areia natural após a curado	69
Figura 33: Capeamento da primeira face dos blocos	71
Figura 34: Capeamento da segunda face dos blocos	71
Figura 35: Ensaio de resistência à compressão.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diâmetros dos grãos do solo.....	18
Tabela 2: Classificação do solo segundo o seu índice de plasticidade	19
Tabela 3: Classificação do solo segundo seu índice de consistência	19
Tabela 4: Classificação da areia segundo sua granulometria	21
Tabela 5: Tamanho da amostra de solo para análise	41
Tabela 6: Tamanho da amostra de areia para análise	42
Tabela 7: Critérios para a escolha do solo	43
Tabela 8: Energia de compactação	45
Tabela 9: Limite de liquidez do solo	50
Tabela 10: Limite de plasticidade do solo	52
Tabela 11: Análise granulométrica do solo	53
Tabela 12: Granulometria da areia natural.....	54
Tabela 13: Granulometria da areia de britagem.....	55
Tabela 14: Percentual dos tamanhos dos grãos da areia natural	57
Tabela 15: Percentual dos tamanhos dos grãos da areia de britagem	59
Tabela 16: Limite de liquidez do solo corrigido com areia de britagem.....	60
Tabela 17: Limite de plasticidade do solo corrigido com areia de britagem	61
Tabela 18: Compactação solo-cimento com areia natural	64
Tabela 19: Compactação solo-cimento com areia de britagem.....	65
Tabela 20: Valores de resistência à compressão e absorção de água	70
Tabela 21: Resistência à compressão dos blocos com areia natural.....	72
Tabela 22: Resistência à compressão dos blocos com areia de britagem.....	73
Tabela 23: Absorção de água dos blocos com areia natural.....	74
Tabela 24: Absorção de água dos blocos com areia de britagem.....	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.2	JUSTIFICATIVA	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	SOLO	16
2.1.1	Argila	19
2.1.2	Areia.....	21
2.2	AREIA DE BRITAGEM.....	23
2.3	ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS.....	25
2.4	CIMENTO.....	25
2.5	SOLO-CIMENTO.....	28
2.5.1	Histórico	29
2.5.2	Traço solo-cimento.....	32
2.5.3	Classificação	33
2.6	TIJOLOS CERÂMICOS.....	34
2.7	LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	MÉTODO DE TRABALHO	37
3.2	COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO	37
3.3	ENSAIOS LABORATORIAIS DOS MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS ...	38
3.3.1	Caracterização do solo.....	38
3.3.1.1	Preparação da amostra de solo	38
3.3.1.2	Limite de liquidez	39
3.3.1.3	Limite de plasticidade e Índice de plasticidade	40
3.3.1.4	Análise granulométrica.....	41
3.3.2	Caracterização da areia natural e de britagem	42
3.4	CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DO SOLO	43
3.4.1	Correção granulométrica do solo	43
3.5	UMIDADE ÓTIMA DE COMPACTAÇÃO	43
3.6	FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE SOLO-CIMENTO.....	46

3.7	ENSAIOS LABORATORIAIS DOS BLOCOS DE SOLO-CIMENTO	47
3.7.1	Resistência à compressão	48
3.7.2	Absorção de água	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1	COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO.....	49
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	49
4.2.1	Caracterização do solo.....	49
4.2.1.1	Limite de liquidez	50
4.2.1.2	Limite de plasticidade e índice de plasticidade	52
4.2.1.3	Análise granulométrica.....	53
4.2.2	Caracterização da areia natural	53
4.2.3	Caracterização da areia de britagem	55
4.3	CORREÇÃO DO SOLO	56
4.3.1	Caracterização do solo corrigido com areia natural	57
4.3.1.1	Limite de liquidez e plasticidade e índice de plasticidade	58
4.3.2	Caracterização do solo corrigido com areia de britagem	59
4.3.2.1	Limite de liquidez	60
4.3.2.2	Limite de plasticidade e índice de plasticidade	61
4.4	TRAÇO DO SOLO-CIMENTO.....	61
4.5	TEOR DE UMIDADE ÓTIMA	62
4.5.1	Solo-cimento com areia natural.....	63
4.5.2	Solo-cimento com areia de britagem.....	65
4.6	CONFECÇÃO DOS BLOCOS.....	66
4.6.1	Cura	68
4.7	ENSAIOS DOS BLOCOS.....	69
4.7.1	Resistência à compressão	70
4.7.2	Absorção de água	73
5	CONCLUSÃO	75

1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre a sustentabilidade no cenário atual avança em vários ramos do mercado, inclusive na construção civil, onde muito se debate sobre a utilização indiscriminada de matérias-primas para obtenção de materiais de construção.

Desde a década de 1960 até os dias atuais muitos Relatórios, Declarações, Comissões e Conferências vem elaborando planos e orientações acerca do desenvolvimento sustentável e preservação do meio ambiente, como por exemplo, o Relatório do Clube de Roma: Limites do Crescimento (1968), a Declaração de Estocolmo (1972), Declaração do Rio (1992), a Agenda 21 (1992). Porém, o Relatório de Brundtland: Nosso Futuro Comum (1987) foi o primeiro a conceituar o desenvolvimento sustentável no que diz respeito aos sistemas que envolvem a construção civil (CORRÊA, pg.16, 2009). Ao final dos debates de Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, um relatório foi gerado definindo o desenvolvimento sustentável como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”.

O Relatório Brundtland traz diversas medidas que podem e devem ser tomadas para promover o desenvolvimento sustentável, como a diminuição do consumo de energia e a utilização de novos materiais na construção. Neste quesito, um material de construção que se mostra interessante são os blocos ou tijolos de solo-cimento para o levantamento de alvenarias e utilização em pavimentação.

A utilização do solo em construções data de muito tempo na história da humanidade, como por exemplo, no Egito antigo que usavam solo arenoso e blocos de rochas nas suas pirâmides, templos e esfinges, e também nas cidades históricas do Brasil Colônia, como Salvador, Olinda e Ouro Preto, onde eram utilizados barro, madeira e palha na fabricação do adobe (CENTRO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO RIO DE JANEIRO, 2001).

O uso de blocos cerâmicos nos processos construtivos no Brasil é cultural, sendo muito comum a execução de paredes de alvenaria com este tipo de bloco. Para a fabricação deste produto é necessária a queima em fornos, podendo um

único bloco ficar entre um dia e meio a cinco dias sob aquecimento constante (MINEROPAR, 2000).

Entretanto, para a obtenção dos blocos de solo-cimento, é necessária a mistura homogênea de solo, cimento e água em proporções previamente definidas e em seguida a conformação do bloco por prensa manual ou mecânica. Posteriormente, é preciso um tempo de cura para o bloco em decorrência da utilização do cimento. Assim, percebe-se a diferença no que diz respeito ao impacto ambiental comparando estes dois tipos de tijolos, onde um destaca-se pela queima de combustíveis gerando gases poluentes, e outro utilizando formas como molde.

Para Fiquerola (2004) o uso de solo-cimento em blocos, apesar de ter um custo mais elevado, minimiza danos ambientais, uma vez que, dependendo do equipamento utilizado, os blocos já são moldados prevendo a passagem de tubulações, como eletrodutos e encanamentos hidráulicos, evitando o corte da parede que é muito comum quando se é utilizado o tijolo cerâmico convencional, gerando muito entulho e desperdiçando material. Além disso, o solo-cimento é uma solução simples pelo fato de se conseguir a sua matéria-prima facilmente.

Kolling, Trogello e Modolo (2010) citam como principal desvantagem do solo-cimento a grande variedade de composições dos solos, o que pode modificar características físicas e mecânicas dos blocos. Solos que contenham areia em percentual entre 50% e 90% produzem solo-cimento de maior durabilidade, enquanto que solos argilosos consomem maiores quantidades de cimento (ABCP, 1985).

Trazendo esse tema para o âmbito regional, este trabalho objetiva a análise das características do solo do Município de Pato Branco, sudoeste do Paraná, uma vez que o solo é um importante material na composição dos blocos de solo-cimento, e assim sendo, podendo ou não ser acrescido de diferentes materiais para se obter um produto final adequado.

Estudos realizados com o solo da região citada indicam que se trata de um solo argiloso (SILVA et al., 2010), partindo-se deste ponto, será identificado o melhor material para sua correção, areia natural ou areia de britagem, definindo o traço mais adequado de solo mais areia para fabricação de blocos de solo-cimento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a adequabilidade da areia natural e areia de britagem na correção de solo argiloso para a fabricação de blocos de solo-cimento tendo em vista as características do solo do Município de Pato Branco, Paraná.

1.1.2 Objetivos específicos

- Levantar dados acerca da fabricação de blocos de solo-cimento levando em conta as normas técnicas brasileiras;
- Caracterizar e classificar amostra de solo retirada do Município de Pato Branco;
- Verificar a necessidade de se utilizar outros materiais para a correção do solo;
- Moldar e avaliar por meio de ensaios laboratoriais os blocos de solo-cimento produzidos com materiais de Pato Branco.

1.2 JUSTIFICATIVA

A construção civil é um dos setores de mercado que mais gera resíduos sólidos, tanto de novas construções como reformas e para a fabricação de materiais. A preocupação com questões ambientais estão sendo levadas mais a sério nos últimos anos, e uma das propostas de uma obra sustentável é a caracterização de técnicas que permitam a elaboração de projetos e execução de obras com um conceito ecologicamente correto (CORRÊA, 2009).

A utilização de produtos que não necessitem de muita energia e que gerem menores quantidades de rejeitos no seu processo de fabricação é importante para a sustentabilidade de uma construção. Para Barbosa, Mattone e Mesbah (2002) os blocos feitos com solo e cimento mostram um grande potencial nesta questão, o que justifica a importância do seu estudo.

Outro fator importante a ser destacado é utilização de matéria-prima local para a fabricação dos blocos de solo-cimento, que se torna relevante uma vez que o possível transporte destes produtos trazidos de outras regiões também gera grande gasto energético e poluição ambiental.

A partir de estudos de granulometria pode-se classificar o solo quanto a sua constituição, assim, a proposta deste trabalho é analisar o solo do Município de Pato

Branco no sudoeste do Paraná para a fabricação de blocos de solo-cimento. Entretanto, existem poucas pesquisas de traços mais adequados para o feitiço dos blocos utilizando materiais desta região, então, propõe-se também o estudo da possível modificação e estabilização deste solo, conferindo assim a originalidade a este estudo.

Para a caracterização dos solos faz-se necessária a utilização de equipamentos laboratoriais, assim este trabalho será viável, pois, tem-se a disponibilidade de fôrmas e prensa para a confecção dos blocos, bem como aparelhos para ensaios de materiais nos Laboratório de Mecânica dos Solos e Laboratório de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR *Campus Pato Branco*.

Os blocos de solo-cimento representam uma alternativa sustentável para a construção civil (BARBOSA; MATTONE; MESBAH, 2002) e a sua utilização é justificável sempre que se deseje alcançar baixo impacto ambiental levando em conta a especificação dos materiais utilizados em uma edificação.

Após todas as análises necessárias para a obtenção de dados, este trabalho servirá de base para a fabricação em escala de blocos mais saudáveis ao meio ambiente, podendo agregar um novo produto ao mercado da região de Pato Branco e servindo como auxílio para novos estudos de composições com diferentes materiais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SOLO

A superfície terrestre é composta por rochas que são agregados naturais de um ou mais tipos de minerais. Por estarem com uma grande área exposta à atmosfera, elas estão sujeitas a ação de intemperismos climáticos e biológicos que as deterioram e as fragmentam, formando, assim, os solos.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA define o solo como um conjunto de corpos naturais contendo partes sólidas, líquidas e gasosas formados por materiais minerais e orgânicos de diversos tamanhos e que possui natureza dinâmica, tanto devido a fatores climáticos, como devido à influência humana (EMBRAPA, 2006).

Na Agronomia, o solo é uma camada superficial que possui vida microbiana servindo para o desenvolvimento da agricultura, porém, para Bueno e Vilar (1980), o solo para a Engenharia é uma mistura natural de minerais que podem ser separados por agitação em água e por manuseio, como por exemplo, o uso de uma pá, sem se ter a necessidade de técnicas especiais, como a utilização de explosivos.

Os processos de intemperismo que as rochas podem sofrer são físicos e químicos, sendo que um desintegra e o outro decompõe a rocha, respectivamente. Na desintegração ocorre o fendilhamento e posterior ruptura sem haver mudanças de composição. Os principais agentes da desintegração são a água, vento, pressão e temperatura, assim, formam-se pedregulhos e areias, ou seja, solos de granulometria mais grossa. Já na decomposição o principal agente intempérico é a água e ocorre a mudança mineralógica da rocha através da carbonatação, hidratação e oxidação. Os intemperismos físicos e químicos ocorrem simultaneamente e podem ser exemplificados pela Figura 1 (BUENO; VILAR, 1980).



Figura 1: Formação dos solos
Fonte: Ferreira (2016).

Bueno e Vilar (1980) ainda classificam os solos de acordo com a sua origem, podendo ser solos residuais, solos transportados ou solos orgânicos. Os residuais são comuns no Brasil, como a terra roxa decorrente da decomposição do basalto, e são chamados de residuais pelo fato de não se ter uma separação visível entre solo e rocha que lhe deu origem. Os transportados são assim chamados, pois algum agente o removeu de cima da sua rocha matriz, este agente podem ser a água, vento, geleiras ou até mesmo a ação da gravidade. Os mecanismos de transporte podem alterar os tamanhos das partículas, portanto este tipo de solo geralmente apresenta maior homogeneidade em relação às dimensões das partículas, o que não ocorre nos solos residuais. Já o solo orgânico se caracteriza pela existência de resíduos de organismos vegetais e animais.

Os solos podem ser classificados tanto por aspectos físicos, como por índices de consistência. Uma forma de caracterizar o solo fisicamente é através da sua granulometria, que é a distribuição percentual dos diversos diâmetros dos grãos. A análise granulométrica consiste em duas fases distintas, o peneiramento e a sedimentação. No peneiramento é necessário que todo o material analisado atravessasse uma série de peneiras dispostas em ordem decrescente de abertura de malha, já a sedimentação serve para determinar a porcentagem de material mais fino que as peneiras não retêm, analisando a velocidade de quedas dos grãos em suspensão num fluido (BUENO; VILAR, 1980). Na Tabela 1 pode-se observar os diâmetros dos grãos menores de solo segundo a ABNT NBR 6502 (1995).

Tabela 1: Diâmetros dos grãos do solo

Nomenclatura	Pedregulho fino	Areia			Silte	Argila
		Areia grossa	Areia média	Areia fina		
ϕ_{superior} (mm)	6,0	2,0	0,6	0,2	0,06	0,002
ϕ_{inferior} (mm)	2,0	0,6	0,2	0,06	0,002	-

Fonte: Adaptado de ABNT (1995).

Os índices de consistência servem para a análise do comportamento dos solos quando apresentam certo grau de umidade, por exemplo, um solo muito úmido pode apresentar características fluidas e quando seca endurece, podendo até ser moldado. O pesquisador sueco Albert Atterberg estabeleceu limites de umidade onde os solos se comportam de maneiras distintas e nomeou estas umidades de LL, ou limite de liquidez, LP, ou limite de plasticidade, e LC, ou limite de contração, que estão apresentados na Figura 2 (BUENO; VILAR, 1980).

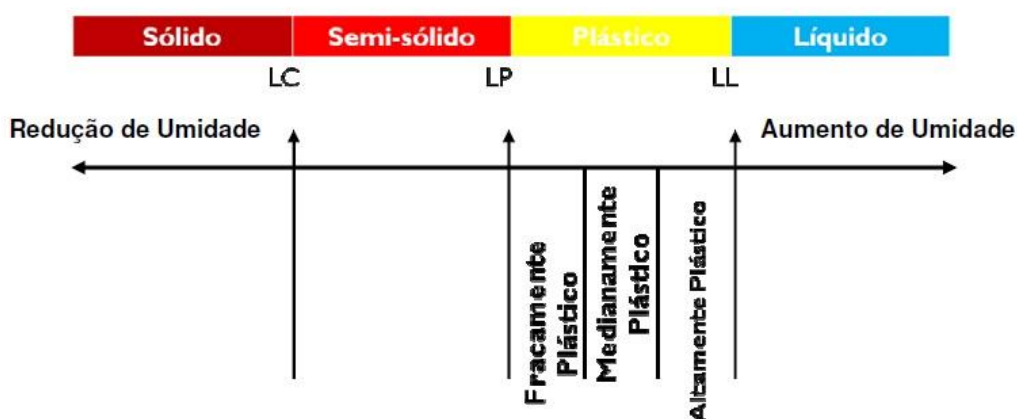


Figura 2: Limites de umidade do solo
Fonte: Bueno & Vilar (1980).

No estado sólido, mesmo com a secagem, não há variação de volume do solo, já no estado semi-sólido, pode-se observar a variação volumétrica com a secagem. No estado plástico o solo é facilmente moldável, e no estado líquido o solo se comporta como fluido denso (BUENO; VILAR, 1980).

O limite de liquidez é obtido através do ensaio com o Aparelho de Casagrande, o limite de plasticidade através da fissuração de um cilindro de solo e o limite de contração pelo método do deslocamento de mercúrio. Com os valores de LL, LP e LC pode-se obter o Índice de Plasticidade (IP) e o Índice de Consistência (IC) que ajudam a classificar os diferentes tipos de solo. A Apostila de Mecânica dos Solos da USP (1980) traz as classificações conforme a Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2: Classificação do solo segundo o seu índice de plasticidade

Classificação	Índice de Plasticidade
Solos fracamente plásticos	$1 < IP < 7$
Solos mediamente plásticos	$7 < IP < 15$
Solos altamente plásticos	$IP > 15$

Fonte: Adaptado de Bueno e Vilar (1980).

Tabela 3: Classificação do solo segundo seu índice de consistência

Classificação	Índice de Consistência
Solos muito moles	$IC < 0$
Solos Moles	$0 < IC \leq 0,50$
Solos médios	$0,5 < IC \leq 0,75$
Solos rijos	$0,75 < IC \leq 1,00$
Solos duros	$IC > 1,00$

Fonte: Adaptado de Bueno e Vilar (1980).

A formação do solo é um ciclo evolutivo, e seu produto final depende dos processos pelos quais ele passa, assim, o solo resulta da união entre agentes intempéricos e detritos orgânicos (BUENO; VILAR, 1980).

O solo desempenha um papel importante na engenharia, tanto para absorver cargas a ele aplicadas e agir mutuamente com obras nele implantadas, quanto na sua utilização como material na construção civil, por isso, o engenheiro civil tem a necessidade de conhecer suas propriedades e seus diversos usos (BUENO; VILAR, 1980).

2.1.1 Argila

Dos elementos que caracterizam a estrutura do solo, destacam-se: a mineralogia, a química e a força entre as partículas das três fases constituintes do solo e o seu tamanho e arranjo físico.

Em relação às dimensões das partículas, a argila se mostra um material muito fino e coeso, e que quando úmido apresenta plasticidade. É um material facilmente moldável e, quando seco se torna resistente. Sua classificação granulométrica pode variar de acordo com a escala ou norma técnica utilizada, sendo que a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT considera como argila materiais menores de 0,002mm (LIMA, 2006).

Para Bueno e Vilar (1980) as argilas constituem a fração mais ativa do solo por serem muito plásticas quando úmidas e muito resistentes quando secas, este fato pode ser observado através do tato e observação, pois, uma vez secas as argilas se apresentam como se fossem uma farinha e quando úmidas são lisas.

Devido ao seu pequeno tamanho, as partículas de argila apresentam uma grande superfície específica. Meira (2001) define superfície específica como fator que exprime o teor relativo de finos da argila bem como o seu grau de dispersão ou agregação, e ressalta que argilas com superfícies específicas iguais ou semelhantes podem apresentar comportamentos diferentes em face as suas propriedades.

Quimicamente, a argila é composta por argilominerais, que são minerais secundários, formados na sua maioria por silicatos de alumínio, mas podem apresentar também os elementos ferro, magnésio, potássio e sódio.

Se tratando de viscosidade, que é a resistência à fluência, em presença de água a argila vai se tornando mais viscosa com o passar do tempo ou se agitada. Este aumento de viscosidade se deve à desagregação progressiva das partículas de argila e à clivagem dos cristais de minerais pela ação da água, aumentando o contato entre partículas (MEIRA, 2001).

As argilas são difíceis de classificar devido a sua grande variabilidade e quantidade de minerais argilosos e não argilosos, bem como a sua inconstância de dimensões das partículas e suas texturas. Meira (2001) as classifica de acordo com seus processos de formação e seu modo de ocorrência em: caulino, argilas refratárias, bentonite, argilas em bola, argilas fibrosas, terra fuller e argila comum.

O caulino é uma argila composta por caulinite e é resultado de alterações de rochas ricas em mica e feldspato, assim como a argila refratária que também é constituída por caulinite associada a outros minerais. Já a bentonite é originária de cinzas vulcânicas com granulometria muito fina. As argilas em bolas também são muito finas e apresentam grande capacidade ligante. Minerais argilosos fibrosos formam as argilas fibrosas, que se caracterizam pela alta viscosidade em meio aquoso devido às partículas alongadas. A terra fuller tem a peculiaridade de ser altamente absorvente, não só com água, mas também com óleos. Já a argila comum é a mais abundante na natureza e é composta por feldspatos, micas, óxidos e hidróxidos de ferro, quartzo e carbonatos.

Por apresentarem diversas características como, granulometria muito fina, variada superfície específica, variedade química e estrutural, fácil dispersão em solventes, entre outras, as argilas são importantes para os seus diversos usos e aplicações.

2.1.2 Areia

Produto da deterioração e desintegração mecânica de rochas por agentes de intemperismo, a areia é formada principalmente por quartzo, entretanto, sua composição depende da rocha que ela foi originada, podendo conter também minerais como feldspato, mica, zircão, magnetita, ilmenita, cassiterita entre outros (GONÇALVES, 2016).

Normalmente são extraídas de depósitos em canais e terraços fluviais, que em geral são de idade pleistocênica. Inclusive no Brasil, como afirma Gonçalves (2016), que tem grande parte de sua areia como material de construção civil retiradas de sedimentos fluviais e terraços de rios, como mostra a Figura 3.



Figura 3: Mineração Orlando Pianaro – Campo Largo (PR)
Fonte: Ferreira e Daitx (2003).

Geralmente utilizada como material de enchimento, a areia é considerada um material inerte, ou seja, não reage quimicamente com outros materiais e exerce grande importância na construção civil (GUACELLI, 2010). Definida como agregado miúdo pela ABNT – NBR 9935 (2011), não possui forma ou volume definido e tem seus grãos com diâmetro entre 4,75mm e 0,15mm, podendo ainda se subdividir em areia fina, média ou grossa conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Classificação da areia segundo sua granulometria

Classificação	Limite Inferior (mm)	Limite Superior (mm)
Areia Fina	0,15	0,6
Areia Média	0,6	2,4
Areia Grossa	2,4	4,75

Fonte: Adaptado de ABNT (2011).

Gonçalves (2016) também classifica as areias de acordo com sua composição química devido aos diversos tipos de minerais predominantes, minerais que inclusive podem resultar em colorações diferentes. Por exemplo, a areia monazítica que é rica em monazita, minério constituído por fosfatos de cério e tório, que apresentam cores amareladas, marrons e avermelhadas. Outro exemplo é a areia ilmenítica, rica em cristais de ilmenita, compostos por minerais de rutilo e zircão.

Ainda quanto sua composição química, a areia é classificada como silicato já que são compostas de quartzo, feldspato e mica. O quartzo é constituído basicamente de dióxido de sílica e tem alta estabilidade química. O feldspato é um silicato duplo de alumínio, e as micas são ortossilicatos de alumínio, magnésio, potássio, sódio ou lítio, podendo ser chamadas de mica branca (muscovita), ou mica preta (biotita) (GONÇALVES, 2016).

Pela sua estrutura a areia pode ser classificada como tendo geralmente estrutura granular simples, onde as partículas se apoiam umas nas outras devido à ação da gravidade.

A areia pode apresentar ascensão capilar ou higroscopia devido aos espaços entre os seus grãos. De acordo com Gonçalves (2016) quanto mais fina for a areia, maior será esta ascensão capilar, que deve ser levado em conta dependendo da destinação final deste material. A higroscopia é uma propriedade que explica o motivo de a areia dificilmente perder toda a água em seu interior sem o auxílio de aquecimento artificial.

A coesão aparente, que é a tensão superficial da água nas partículas da areia, envolve em seu cálculo o ângulo de atrito interno das areias e um fator de coesão "c", que tem seus valores variando de zero quando a areia está completamente seca, podendo chegar de 0,5% a 1% em areias úmidas, e decrescendo novamente até zero caso esteja saturada (GONÇALVES, 2016).

Outra propriedade das areias ressaltada por Gonçalves (2016) é o ângulo de atrito interno das partículas, que pode depender da compacidade, do grau de finura e do formato dos grãos. Também existe o ângulo de repouso que é definido como sendo o maior ângulo que uma fração de areia pode formar com o plano horizontal, sendo que em areias secas, o ângulo de repouso é igual ao de atrito.

Se os grãos de areia se fragmentam com facilidade, podem ser chamados de grãos friáveis. A quantia destas partículas pode ser quantificada colocando-se uma amostra de areia em um recipiente e exercendo uma pressão em um intervalo de tempo normatizado. Faz-se a medição do módulo de finura antes e depois deste processo, calculando sua redução percentual em comparação a areia original.

Gonçalves (2016) classifica as impurezas contidas nas areias em coloidais e não coloidais, sendo as não coloidais impurezas micrométricas que podem ser eliminadas por lavagem, já as impurezas coloidais não podem ser retiradas. As impurezas não coloidais mais comuns são argilas em torrões, materiais pulverulentos, materiais friáveis, materiais carbonosos e materiais orgânicos.

Outra propriedade das areias é o inchamento, que é o aumento de seu volume devido à absorção de água. A areia seca absorve água, que passa a formar uma película em torno dos seus grãos, fazendo com que eles se afastem gerando um maior volume aparente.

2.2 AREIA DE BRITAGEM

As rochas de granito, basalto, calcário, entre outras, ao serem reduzidas a partículas (cominuídas) nas pedreiras visando a obtenção de agregados para a construção civil, resultam em cinco produtos: brita 3 com diâmetro nominal entre 70 a 50 mm, brita 2 com diâmetro de 50 a 25mm, brita 1 com diâmetro entre 25 a 12,5mm, brita 0 de diâmetros entre 12,5 a 4,8mm e o pó de pedra com diâmetro nominal inferior a 4,8mm. A Figura 4 mostra um britador e a areia obtida. (ALMEIDA; SAMPAIO, 2002).



Figura 4: Britador em São Sebastião (SP)

Fonte: Massaguaçu (2014).

Estes resíduos de britagem não recebem destinações de grande importância, sendo que os finos têm sido apenas armazenados nas pedreiras causando alteração da paisagem, obstrução de canais de drenagem e geração de poeiras nas operações de britagem (MENDES, 1999 apud ALMEIDA; SAMPAIO, 2002).

Em países mais desenvolvidos, os agregados miúdos obtidos como matéria secundária à britagem de rochas já são amplamente utilizados há mais de 30 anos conforme afirma Guacelli (2010), sendo uma alternativa promissora na substituição de areias retiradas dos rios.

Guacelli (2010) diz ainda, que a produção e utilização de areias de britagem em larga escala é uma forte tendência, e destaca, conforme Almeida e Sampaio (2002) as vantagens da substituição da areia natural:

- Redução do impacto ambiental decorrente da extração da areia do leito dos rios;
- As jazidas de origem basálticas são fartas em várias regiões do Sul do Brasil, ao contrário da areia de extração, que é um recurso natural que está se tornando cada dia mais escasso;
- Maior proximidade entre produção e utilização final dos agregados miúdos;
- Redução dos custos da construção civil;
- Obtenção de areia com características constantes;
- Baixo teor de umidade.

Uma das diferenças importantes das características deste tipo de agregado em comparação com a areia natural é a elevada quantidade de partículas menores que 0,075mm. Enquanto a ABNT NBR 7211 (2005) impõe um limite de no máximo 5% dessa finura em uma amostra, as areias de britagem apresentam em torno de 10 a 25% (ALMEIDA; SAMPAIO 2002).

2.3 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

A utilização de solos como material de construção requer cuidados, pois alguns problemas podem ocorrer devido às suas propriedades complexas e heterogêneas, aponta Grande (2003).

A estabilização dos solos para a engenharia procura estabelecer melhorias em relação a estabilidade dimensional, aumento da resistência mecânica conforme sua utilização, diminuição da permeabilidade, controle de fissuras, resistência à abrasão, entre outros, e com isso aumentar a durabilidade do produto final (INGLES e METCALF, 1972 apud GRANDE, 2003).

Grande (2003) ainda mostra alguns aspectos que podem ser melhorados no solo com a sua estabilização, como por exemplo, a diminuição da porosidade e permeabilidade relacionada ao volume de vazios, e a maior densidade devido a melhoria na aderência entre grãos, resultando em aumentos de resistência mecânica.

Grande (2003) também mostra que são três os principais tipos de estabilização, a mecânica, a física e a química. A estabilização mecânica consiste em compactar o solo afetando sua densidade, porosidade e resistência. A estabilização física influencia a textura do solo, ou seja, na sua granulometria, podendo-se adicionar diferentes faixas granulométricas para um melhor empacotamento dos grãos. A estabilização química ocorre quando materiais como, cimento, cal, betume, entre outros, são colocados no solo para que modifiquem suas propriedades através de reações químicas.

2.4 CIMENTO

Aditivos minerais já eram conhecidos há muito tempo, desde as civilizações antigas, como os Gregos, Romanos e os Etruscos que construíram muitas obras, algumas das quais existem até os dias de hoje.

A palavra cimento tem sua origem no latim *Caementum*, que pode significar um material ligante se misturado com água, ou seja, com propriedades hidráulicas, e segundo Varela e Vieira (2005) foram os Romanos os precursores na utilização de cal, areia e pedra partida para a construção de edifícios e pavimentos.

Conforme a civilização Romana ia experimentando novos materiais para a construção de seus monumentos, descobriram que certas rochas de origem vulcânica, adicionadas à cal, ofereciam maior resistência a ação da água doce ou salgada. Destes materiais, destacou-se um de coloração escura que existia abundantemente nos arredores de Pozzuoli, Nápoles, que ficou conhecido como pozolana (VARELA; VIEIRA, 2005).

Ainda segundo os mesmos autores, na Idade Média a qualidade das construções foi bastante inferior se comparada à dos Romanos, uma vez que nesta época quase não houve desenvolvimento técnico e científico devido a restrições impostas pela Igreja.

Foi em 1817 que Louis Vicat elaborou a teoria que tratava das propriedades hidráulicas da mistura dos materiais que os Romanos haviam usado séculos atrás. Vicat mostrou de forma detalhada as quantidades de calcário e sílica que eram necessárias para a mistura, que depois de expostas a certa temperatura e triturada, se tornava um aglutinante hidráulico, começando, assim, a indústria de cimento.

Já em 1824, Joseph Aspdin criou um método diferente do de Vicat, utilizando calcário e argila e fazendo sua calcinação a temperaturas mais elevadas, podendo chegar a 1500 graus, permitindo obter resistências mecânicas mais elevadas. O resultado da calcinação e moagem desta mistura tinha características similares às pedras encontradas na ilha de Portland, dando origem ao nome Cimento Portland (VARELA; VIEIRA, 2005).

Alguns anos depois surgiu a primeira fábrica de cimento, em 1846 na cidade francesa de Bolonha-Sobre-o-Mar, que só teve seu desenvolvimento possível devido à criação de novos equipamentos para a produção em grande escala de cimento. Com o constante aperfeiçoamento de técnicas de fabricação, hoje em dia, segundo Varela e Vieira (2005), uma tonelada de clínquer (que constitui a base do cimento) é feita a cada 3 minutos.

Por tempos existia somente um tipo de cimento Portland, porém, com a evolução do conhecimento tecnológico foram sendo fabricados novos tipos, sendo que cada tipo apresenta certas características e propriedades que os tornam mais adequados para determinados usos. Para se conhecer melhor cada uma destas diferentes características, deve-se estudar sua composição.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (pg. 6, 2002), “o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais”. O seu principal componente é o clínquer, estando presente em todos os tipos de cimento Portland. Também estão presentes em sua composição as adições, que podem variar de um tipo de cimento para outro, dando-os propriedades distintas.

O clínquer tem como matérias-primas o calcário e a argila, onde, após a rocha calcária ter sido britada e moída, é misturada com a argila em proporções adequadas. Esta mistura passa por um forno giratório que pode alcançar 1450°C, fazendo com que um novo produto seja formado, denominado clínquer, que se apresenta em forma de torrões. Posteriormente é moído finamente, transformando-se em pó (ABCP, 2002).

O clínquer em pó é um ligante hidráulico que desenvolve uma reação química em presença de água, tornando-se primeiramente pastoso, e em seguida endurecendo, adquirindo grande resistência e durabilidade, sendo esta a sua propriedade mais importante.

As chamadas adições que são colocadas junto ao clínquer podem ser o gesso, as escórias alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos. São adicionadas na etapa de moagem do clínquer, e assim, pode-se obter diversos tipos de cimento Portland (ABCP, 2002).

A ABCP (2002) comenta os efeitos que cada aditivo proporciona ao cimento, sendo o gesso responsável pelo controle do tempo de pega, ou seja, do início do endurecimento do clínquer misturado em água. Caso não houvesse a presença do gesso na mistura, o clínquer iria endurecer quase que instantaneamente, inviabilizando o seu uso, portanto, o gesso é uma adição presente em todos os tipos de cimento Portland em proporções de 3% de gesso para 97% de clínquer em massa.

As escórias de alto-forno são rejeitos obtidos a partir da produção do ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas que antigamente não se tinha muita utilidade, entretanto, foi descoberto que elas também tinham propriedades de ligante hidráulico muito parecido com a do clínquer. A partir desta descoberta foi possível adicionar a escória de alto-forno à moagem do clínquer com gesso, obtendo-se um cimento que atendia plenamente aos usos mais comuns, e ainda apresentava maiores resistências depois de hidratado.

Rochas vulcânicas, materiais orgânicos fossilizados, argilas queimadas e derivados da queima de carvão mineral são chamados de materiais pozolânicos. Após serem feitas pesquisas, atestou-se que estes materiais quando moídos finamente e em presença do clínquer também passam a apresentar propriedades de ligante hidráulico, porém, diferentemente da escória de alto-forno, os materiais pozolânicos não reagem quimicamente com a água se estiverem sozinhos, sendo necessária a presença do clínquer para que as reações ocorram. Uma vantagem da adição de materiais pozolânicos é a impermeabilidade que eles geram depois de hidratados.

Os materiais carbonáticos, também chamados de fíler calcário, são rochas moídas que apresentam carbonato de cálcio em sua constituição. Os grãos destes materiais têm dimensões adequadas para se alojar entre as partículas dos demais componentes do cimento, funcionando como lubrificante e conferindo maior trabalhabilidade em concretos e argamassas.

A ABCP (2002) chega à conclusão que dentre todas as adições explanadas, o gesso é de fundamental importância em qualquer tipo de cimento. Além disso, as demais matérias-primas citadas são totalmente compatíveis com o principal componente do cimento Portland, o clínquer, conferindo ao cimento pelo menos uma qualidade extra.

2.5 SOLO-CIMENTO

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP (1996), o solo-cimento é um material obtido pela mistura homogênea de solo, cimento Portland e água que resulta num produto com durabilidade e resistência definidas de acordo com as quantidades dos materiais da mistura, sua compactação e cura.

Após misturados o solo, o cimento e a água, o material resultante se assemelha a uma farofa que depois de compactado e curado fica rígido e menos permeável, sendo que sua massa específica é maior do que a massa específica se fosse utilizado apenas o solo, dando-lhe maior resistência e impermeabilidade (SENÇO, 2001 apud LIMA, 2006).

Esta combinação de materiais trata-se de um processo físico-químico de estabilização onde as partículas sólidas de solo se reorientam com a deposição de substâncias cimentantes, enrijecendo toda a matéria (MERCADO, 1990 apud GRANDE, 2003).

Muitas são as utilizações do solo-cimento, já que podem apresentar características técnicas adequadas para os seus devidos fins, como por exemplo, proteção de taludes em barragens de terra, base para pavimentos rodoviários e fabricação de tijolos para alvenarias, como mostra a Figura 5 (SEGANTINI, 2000). Entretanto, muitos fatores podem influenciar suas características, como o tipo de solo, o teor de umidade na compactação e a dosagem do cimento.



Figura 5: Utilizações do solo-cimento – base para pavimentos (a esquerda), blocos para alvenaria (a direita)
Fonte: Hamai (2013).

2.5.1 Histórico

Desde os períodos mais primitivos da história do homem o solo já era utilizado de maneira a criar abrigos eficientes contra a hostilidade do meio em que viviam, servindo como alternativa as construções de pedras e madeira (CYTRYN, 1957 apud GRANDE, 2003).

O solo pode ser considerado um material não convencional para a construção civil uma vez que, diferentemente de diversos outros materiais, ele não é poluente,

apresenta características térmicas excelentes, além de ser amplamente disponível e gerar um baixo consumo energético quando utilizado para a obtenção de novos materiais de construção.

Barbosa (2003) considera que a fabricação de blocos prensados de terra crua é uma forma moderna de utilização do solo como material de construção. Também afirma que, apesar do uso milenar do solo, somente na década de 1950 o pesquisador colombiano G. Ramires criou uma prensa manual para a fabricação de tijolos, que ficou conhecida como prensa CINVA-RAM, como mostra a Figura 6.

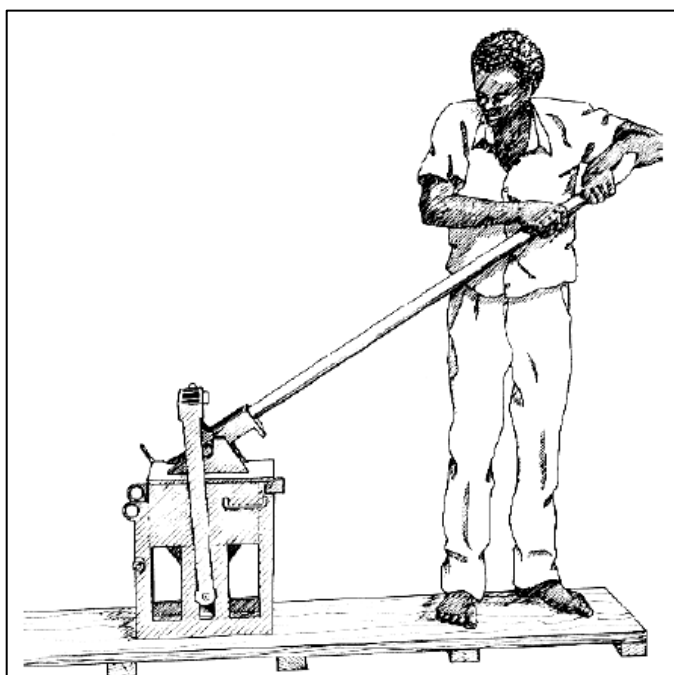


Figura 6: Ilustração da prensa CINVA-RAM
Fonte: Barbosa (2003).

No Brasil a aplicação do solo em construções ainda é popular, como por exemplo, as cidades de Paraty, Ouro Preto e Diamantina que utilizam intensivamente a taipa-de-pilão, o adobe e o pau-a-pique a mais de 400 anos, como mostra a Figura 7 (LIMA, 2010).



Figura 7: Construção utilizando solo na cidade de Paraty (RJ)
Fonte: Libório (2017).

Se tratando da mistura do solo com cimento, Grande (2003) afirma que sua primeira utilização foi nos Estados Unidos em 1915 por um engenheiro. Na ocasião ele utilizou uma mistura de conchas marinhas, areia da praia e cimento Portland para pavimentar uma rua. Entretanto, apenas vinte anos mais tarde a Associação de Cimento Portland (PCA) começou a estudar esta nova tecnologia.

Já no Brasil, pesquisadores da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) com apoio do Banco Nacional de Habitação (BNH) desenvolveram diversos trabalhos com o material solo-cimento, inclusive, a criação de um novo tipo de prensa capaz de moldar três blocos ao mesmo tempo, como mostra a Figura 8. Este novo tipo de prensa tinha um inconveniente de não gerar pressão suficiente ao solo, assim, surgiram mais estudos que envolviam diferentes tipos de solo com adição de porcentagens variadas de cimento (BARBOSA, 2003).

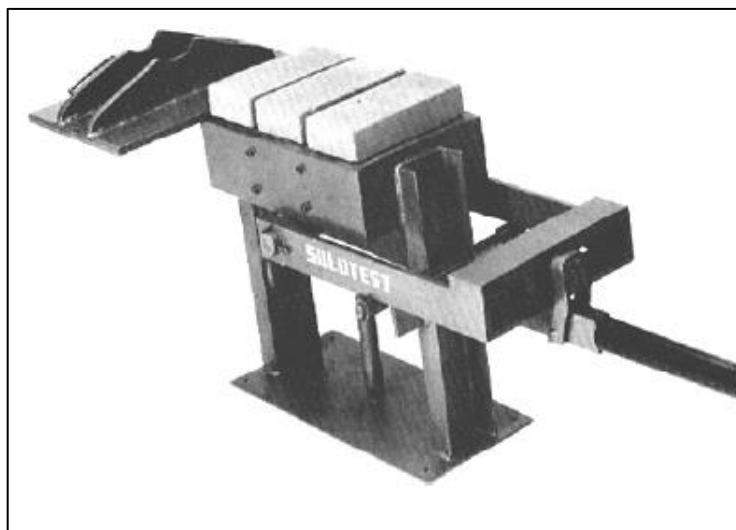


Figura 8: Prensa que molda três blocos ao mesmo tempo
Fonte: Barbosa (2003).

Na década de 1940 a ABCP já tinha experiência no uso de paredes monolíticas de solo-cimento, assim, em 1949 o Hospital Adriano Jorge em Manaus foi construído utilizando exclusivamente esta técnica, sendo que após muito tempo de sua execução ainda apresentava um bom desempenho frente ao clima da região (GRANDE, 2003).

Com a observação das qualidades do produto solo-cimento, alguns programas governamentais com o apoio de órgãos de pesquisa começaram a inserir este material em habitações populares, entretanto, esta técnica de construção era fortemente associada à pobreza justamente por se tratarem de obras de programas sociais, fazendo com que ela deixasse de ser tão utilizada e dando espaço a materiais industrializados (GRANDE, 2003).

2.5.2 Traço solo-cimento

Se tratando de blocos de solo-cimento, muitos autores indicam diferentes faixas de granulometria para o solo a ser utilizado, porém, é consenso destes autores que os solos arenosos resultam em um produto final de melhor qualidade e com menores custos.

Segantini (2000) mostra algumas limitações nos critérios de escolha do solo relacionadas à trabalhabilidade e ao consumo de cimento. A trabalhabilidade pode ser analisada pelos limites de consistência, tanto limite de liquidez quanto de plasticidade, onde, para o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Bahia CEPED

(1984) o solo deve ter LL de 45% a 50%, já para a ABNT NBR 10833 (2013) o solo deve apresentar LL menor ou igual a 45%.

Os solos arenosos são considerados melhores, pois a areia grossa e os pedregulhos funcionam apenas como material de enchimento, deixando maiores quantidades de cimento para aglomerar os grãos menores de silte e argila. Entretanto, os solos devem apresentar teores de finos, uma vez que são os grãos de diâmetro menor que dão a resistência inicial do solo-cimento compactado devido a sua alta coesão (SEGANTINI, 2000).

Para a dosagem do cimento na mistura, a Associação Brasileira de Cimento Portland ABCP (1986) recomenda o ensaio em laboratório do solo-cimento observando se seus resultados se enquadram em critérios pré-estabelecidos, sendo que o resultado final deve fixar a quantidade de cimento, quantidade de água e a massa específica aparente seca. Já a ABNT NBR 10833 (2013) que trata especificamente da fabricação de blocos de solo-cimento, recomenda que sejam feitos três traços diferentes e após sua cura, os blocos devem ser ensaiados. Os resultados obtidos são comparados a critérios pré-estabelecidos e com isso o traço que apresentar menor custo e melhor desempenho é escolhido.

Diversos autores concordam que o aumento das quantidades de cimento em qualquer tipo de solo resulta no aumento da resistência a compressão e durabilidade, entretanto, deve-se tomar cuidado com os teores de cimento adotados, uma vez que se forem muito elevados e as condições de cura forem inadequadas, pode ocorrer fissuração devido a retração na secagem (GRANDE, 2003).

A quantidade de água a ser adicionada na mistura também é fator fundamental. Sabendo o valor da umidade ótima de compactação do solo-cimento, pode-se garantir uma compactação adequada, atingindo uma determinada massa específica que lhe dá a resistência mecânica apropriada para seu fim, afirma Grande (2003). A umidade do solo-cimento na sua moldagem é importante, pois uma redução de apenas 5% na sua massa específica seca ocasiona um decréscimo de 15% na sua resistência para o mesmo teor de cimento (SILVEIRA, 1966 apud GRANDE, 2003).

2.5.3 Classificação

Segantini (2000) classifica o solo-cimento em dois tipos de acordo com a maneira que ele será utilizado. O primeiro é o SCC, ou solo-cimento compactado,

onde a água é adicionada em quantidade suficiente para garantir a máxima compactação e hidratação completa do cimento. A segunda é o SCP, ou solo-cimento plástico, onde a água é adicionada até que o material atinja uma consistência plástica, parecida com argamassa de emboço, não sendo necessária sua conformação.

2.6 TIJOLOS CERÂMICOS

A indústria de tijolos cerâmicos busca produzir com certas características demandadas pelo mercado, objetivando o máximo de qualidade em grandes quantidades, sem a ocorrência de muitas perdas (IKEDA, 1980 apud GRIGOLETTI, 2001). Entretanto, o processo de fabricação ainda é artesanal, onde as únicas automações da técnica estão nos equipamentos para diminuir custos de mão-de-obra (MINEROPAR, 1997 apud GRIGOLETTI, 2001). A Figura 9 mostra a estocagem de tijolos cerâmicos em uma fábrica.



Figura 9: Estocagem de blocos cerâmicos da Tijotec
Fonte: Tijotec (2015).

Os produtos feitos a partir de matérias-primas argilosas que após a queima adquirem coloração avermelhada são chamados de cerâmicas vermelhas, e Mineropar (2000) as subclassifica em cerâmica vermelha de massa porosa, onde estão os tijolos e telhas, e a cerâmica vermelha de massa semi vitrificada, onde se enquadram as lajotas e ladrilhos de pisos.

A cerâmica é feita com argila, pois possui grande plasticidade quando umedecida, podendo ser facilmente moldada. Esta plasticidade vai se perdendo conforme o material vai secando e quando queimado adquire resistência mecânica (MINEROPAR, 2000).

A queima é o processo que dá aos tijolos cerâmicos as propriedades adequadas ao seu uso, como dureza, resistência à água e a agentes químicos. Grigoletti (2001) dividiu a operação da queima em: aquecimento, queima e resfriamento. O aquecimento é um processo lento, pois se a água contida no material for evaporada muito rapidamente o produto final apresentará defeitos. Na queima as temperaturas são elevadas fazendo com que todas as matérias combustíveis, como o carvão e o enxofre, sejam consumidos (PETRUCCI, 1982 apud GRIGOLETTI, 2001). Já o resfriamento é controlado, uma vez que se a temperatura abaixar depressa o produto final sofrerá deformações.

Todo este processo gera grande gasto de combustíveis e muitas vezes esta energia produzida é desperdiçada por não haver uma fabricação contínua de tijolos, ou seja, os fornos serão aquecidos no início do processo e sua energia se dissipará para o ambiente.

2.7 LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO

O Município de Pato Branco situa-se no sudoeste do Estado do Paraná, próximo à divisa com Santa Catarina e à fronteira da Argentina. Sua população é de 79.869 habitantes e possui uma área de 539,087 km², totalizando uma densidade demográfica de 148,156 habitantes por km² (IBGE, 2016). A Figura 10 mostra a localização do Município no Estado do Paraná.



Figura 10: Localização de Pato Branco no Estado do Paraná
Fonte: Skyscrapercity (2010).

No que diz respeito ao relevo, sua altitude varia de 480 a 914m, sendo a faixa de altitude predominante a de 700 a 800m, já sua declividade está na faixa dos 10 a 15%. Se tratando do uso do solo, a maior parte é de pastagens com 52,3% da sua área em 2009. Os principais tipos de solo encontrados no município são nitossolo vermelho distrófico e o cambissolo distrófico (BALENA; BORTOLINI; TOMAZONI, 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MÉTODO DE TRABALHO

Este trabalho objetiva o estudo do solo do Município de Pato Branco – PR no que diz respeito à fabricação de blocos de solo-cimento, onde serão analisados por meio de ensaios laboratoriais os fatores físicos e químicos dos solos. Além disso, dois tipos de areias serão avaliadas para que possam corrigir o solo conforme recomendam as Normas Brasileiras.

Para delinear uma pesquisa, Gerhardt e Silveira (2009) sugerem que seja identificado o tipo da pesquisa quanto a sua abordagem, podendo ela ser qualitativa ou quantitativa. Ainda segundo as mesmas autoras, as pesquisas que utilizam métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, mas sem quantificar valores e nem submeter a provas de fatos. Já nas pesquisas que utilizam métodos quantitativos, os resultados podem ser quantificados fazendo que uma amostra analisada possa representar toda uma população alvo da pesquisa. Portanto, este trabalho caracteriza-se como sendo quantitativo pelo fato de apresentar levantamento de dados laboratoriais de materiais de construção.

De acordo com Gil (2002) uma pesquisa pode ser classificada com base em seus objetivos em: exploratórias, descritivas e explicativas. Este trabalho pode ser classificado como explicativo, uma vez que pretende mostrar fatores determinantes no traço do bloco de solo-cimento para que ele apresente as qualidades requeridas pelas Normas Brasileiras. O presente trabalho foi assim classificado, pois uma pesquisa explicativa busca identificar possíveis causas que contribuem para a ocorrência de um fenômeno através de resultados obtidos (GIL, 2002).

3.2 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

Dentre os materiais necessários à confecção dos blocos de solo-cimento, o solo requer uma análise mais detalhada do que o cimento, a água ou de possíveis aditivos, uma vez que é um material natural, heterogêneo e sua composição difere dependendo de sua localização geográfica e da sua origem.

Um método de coleta de solo é prescrito pela ABNT NBR 9604 (1986) que trata sobre a abertura de poços e trincheiras de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Para os ensaios de classificação e para a identificação visual do solo, pode-se extrair amostra deformada excluindo matérias orgânicas contidas na superfície, obtendo-se uma porção de solo desagregado.

A amostra deve ser coletada a cada metro escavado para materiais homogêneos, caso o material mude com a profundidade devem ser coletadas quantas amostras forem necessárias de acordo com os diferentes tipos de solo. O tamanho da amostra depende do fim que ela se destina e deve ser armazenada em sacos plásticos ou lonas bem identificadas.

As amostras devem ser coletadas a medida que o solo for sendo escavado, ou seja, a cada metro de profundidade ou cada vez que o solo apresente características diferentes de sua camada superior, deve-se extrair uma amostra. O que a Norma não recomenda é a abertura total de trincheira ou poço para a posterior coleta por raspagem.

3.3 ENSAIOS LABORATORIAIS DOS MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS

3.3.1 Caracterização do solo

O solo a ser utilizado nos blocos deve atender alguns requisitos recomendados pela ABNT NBR 10833 (2013), que trata da fabricação de tijolos de solo-cimento, são eles:

- 100% do material passante na peneira com malha de 4,75 mm;
- 10% a 50% do material passante na peneira com malha de 75 µm;
- Limite de liquidez menor ou igual a 45 %;
- Índice de plasticidade menor ou igual a 18 %.

Para que estes itens sejam verificados utilizam-se outras Normas Técnicas, garantindo, assim, um bom desempenho dos materiais utilizados.

3.3.1.1 Preparação da amostra de solo

As seguintes etapas dizem respeito à preparação de amostra de solo para a sua caracterização normatizada pela ABNT NBR 6457 (2016). Para esta preparação, pode ser utilizado o método com secagem prévia e sem secagem prévia

do solo. Neste trabalho optou-se pelo método com secagem prévia, uma vez que o ensaio de análise granulométrica do solo exige que o material não esteja úmido.

- Secar a amostra ao ar até próximo da umidade higroscópica;
- Desmanchar torrões sem quebra-los e homogeneizar a amostra;
- Com o repartidor de amostra reduzir o material até obter uma quantidade suficiente para o ensaio.

3.3.1.2 Limite de liquidez

Para a realização deste ensaio é necessário tomar 200 gramas do material passante na peneira com malha de 0,42 mm (ABNT NBR 6457, 2016).

O limite de liquidez (LL) é a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico, ou seja, é a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo e seu valor é obtido através de ensaio prescrito pela ABNT NBR 6459 (1984).

Inicialmente é necessário colocar 100 gramas do material em uma cápsula de porcelana e aos poucos ir acrescentando água destilada e homogeneizando com o auxílio de uma espátula por até 30 minutos. Esta mistura que se formará deve ter consistência tal que sejam necessários aproximadamente 35 golpes no aparelho de Casagrande para fechar a ranhura. A figura 11 mostra a vista frontal do aparelho de Casagrande.

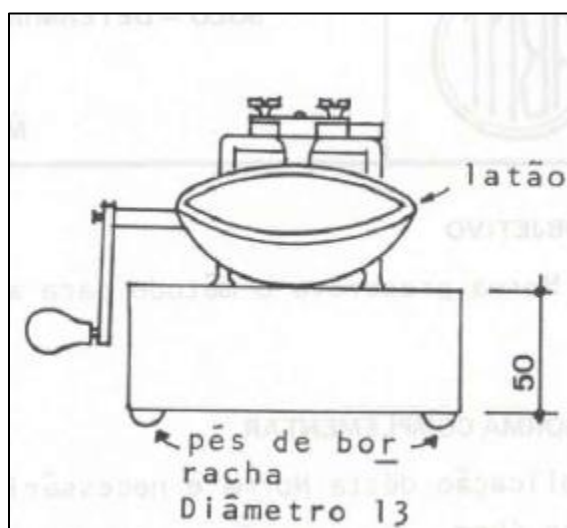


Figura 11: Aparelho de Casagrande
Fonte: ABNT (1984).

Posteriormente, parte desta pasta deve ser transferida para a concha do aparelho de Casagrande moldando-a de forma que em seu centro se verifique uma

espessura de 10 mm. Com o cinzel deve-se dividir a amostra em duas partes, abrindo uma ranhura no centro.

Manivelando o aparelho de Casagrande numa frequência de duas voltas por segundo pode-se observar o fechamento da ranhura devido à queda livre que a concha sofre. Quando as bordas inferiores das duas partes se unem ao longo de 13 mm o ensaio deve parar e deve-se anotar o número de golpes que foram necessários. Além disso, deve-se averiguar a umidade que a pasta utilizada no ensaio apresenta.

O material que sobra na concha deve retornar para a cápsula de porcelana para que possa ser misturado com mais água durante 3 minutos. O procedimento é repetido de forma que ao final se obtenham no mínimo 5 pontos de ensaio, cobrindo um intervalo de 35 a 15 golpes.

Com os resultados obtidos pode-se construir um gráfico onde as ordenadas são o número de golpes e as abcissas os teores de umidade. Com os pontos plotados, traçar uma reta ajustada aos pontos. Nesta reta, a umidade em 25 golpes representa o limite de liquidez do solo. Caso o ensaio não possa ser realizado devido as características do solo, ele pode ser classificado como não tendo limite de liquidez.

3.3.1.3 Limite de plasticidade e Índice de plasticidade

Para a realização deste ensaio é necessário tomar 200 gramas do material passante na peneira com malha de 0,42 mm (ABNT NBR 6457, 2016).

O limite de plasticidade (LP) é a umidade abaixo da qual o solo se torna sólido, ou seja, é a umidade de transição entre os estados sólido e plástico do solo e seu valor é obtido através de ensaio prescrito pela ABNT NBR 7180 (1984).

Inicialmente é necessário colocar 100 gramas do material em uma cápsula de porcelana e aos poucos ir acrescentando água destilada e homogeneizando com o auxílio de uma espátula por até 30 minutos. Esta mistura que se formará deve ter consistência plástica.

Posteriormente, cerca de 10 gramas da amostra deve ser moldada em forma de bola e rolada sobre uma placa de vidro esmerilhada até que se forme um cilindro. Caso esta amostra se fragmente antes do cilindro atingir 10 centímetros de comprimento e 3 milímetros de espessura, deve-se retorná-la à cápsula cerâmica e acrescentar água. Se o cilindro atingir estas características dimensionais, deve-se

averiguar sua umidade e realizar o ensaio mais duas vezes. O limite de plasticidade é considerado a média das três umidades obtidas. Caso o ensaio não possa ser realizado devido as características do solo, ele pode ser classificado como não tendo limite de plasticidade.

Com os limites de liquidez e plasticidade é possível obter o Índice de Plasticidade (IP) por:

$$IP = LL - LP$$

3.3.1.4 Análise granulométrica

A análise granulométrica do solo pode ser feita por peneiramento e por sedimentação, prescritas pela NBR 7181 de 1984.

Para a realização desse ensaio utiliza-se uma amostra determinada pela NBR 6457 (2016), sendo que sua massa depende da análise visual dos tamanhos dos grãos do solo, mostrada na Tabela 5.

Tabela 5: Tamanho da amostra de solo para análise

Dimensão dos grãos maiores, determinadas por observação visual	Quantidade mínima a tomar
<5 mm	1 kg
5 a 25 mm	4 kg
>25 mm	8 kg

Fonte: ABNT (2016).

Após a sua preparação, a amostra deve ser passada na peneira com abertura de malha de 2 mm e todo o material retido é lavado para que as partículas finas não fiquem aderidas às maiores. Depois de lavado, o material é seco em estufa até constância de massa, e assim é possível realizar o peneiramento grosso. O material que passa pela peneira é utilizado para a análise de sedimentação.

O peneiramento grosso objetiva a determinação dos diâmetros maiores dos grãos de solo, e para isso, o material que ficou retido na peneira de 2 mm e foi lavado e secado, é passado num conjunto de peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5 e 4,8 mm em ordem decrescente.

A sedimentação objetiva a determinação dos diâmetros menores dos grãos do solo, e para isso, uma amostra do solo passante na peneira de 2 mm é colocada em uma solução de hexametáfosfato de sódio durante 12 horas e posteriormente submetida à ação do aparelho dispersor durante 15 minutos. Esta dispersão é

colocada em uma proveta e com o auxílio de um densímetro são realizadas diversas leituras do material.

Após a realização deste ensaio é possível identificar a porcentagem retida em cada peneira no peneiramento grosso e a porcentagem dos diferentes diâmetros do material em suspensão, obtendo-se, finalmente, a faixa granulométrica do solo estudado.

3.3.2 Caracterização da areia natural e de britagem

A caracterização da areia natural e da areia de britagem pode ser feita através da determinação da sua composição granulométrica, prescrita pela ABNT NBR NM 248 de 2001.

Para a realização do ensaio é necessária a preparação de duas amostras do agregado, sendo que as massas destas amostras dependem da sua dimensão máxima nominal, mostradas na Tabela 6.

Tabela 6: Tamanho da amostra de areia para análise

Dimensão máxima nominal do agregado	Massa mínima da amostra de ensaio
< 4,75 mm	0,3 kg
9,5 mm	1 kg
12,5 mm	2 kg
19,0 mm	5 kg
25,0 mm	10 kg
37,5 mm	15 kg
50 mm	20 kg
63 mm	35 kg
75 mm	60 kg
90 mm	100 kg
100 mm	150 kg
125 mm	300 kg

Fonte: ABNT (2001).

Como o material a ser caracterizado é um agregado miúdo, ou seja, tem sua dimensão máxima característica menor que 4,75 mm, as amostras para o ensaio devem ter 300 gramas e devem ser secas em estufa até constância de massa, para que toda a umidade seja retirada.

O ensaio consiste em separar os grãos de acordo com seus respectivos diâmetros. Para isso, utiliza-se um conjunto de peneiras normatizadas pela ABNT, onde as peneiras são encaixadas com abertura de malha em ordem decrescente do topo para a base. A amostra do agregado é colocada na peneira superior do conjunto e posteriormente é feita a agitação mecânica para que os grãos passem

pelas peneiras que tem abertura de malha maior que seu diâmetro ou fiquem retidos nas peneiras com abertura de malha menores que seu diâmetro.

Todo o material retido em cada peneira é pesado, assim, pode-se obter a porcentagem de grãos de mesmo diâmetro e determinar o módulo de finura e a dimensão máxima característica da amostra. Para um maior controle, o ensaio é repetido para a segunda amostra, sendo que seus valores não podem diferir muito da primeira.

3.4 CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DO SOLO

A escolha do solo é de extrema importância uma vez que este é o principal componente dos blocos de solo-cimento. Para este trabalho adotaram-se alguns dos critérios estabelecidos pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Bahia, o CEPED em 1984, mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Critérios para a escolha do solo

Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Silte + Argila (%)	LL (%)
45 - 90	-	<20	10 - 55	45 - 50

Fonte: Adaptado de Segantini (2000).

A Norma que rege a fabricação de blocos de solo-cimento diverge com as orientações do CEPED em relação ao limite de liquidez, onde estabelece um limite máximo de 45%. Assim, neste requisito optou-se por seguir o que diz a NBR 10833 (2013).

3.4.1 Correção granulométrica do solo

Para que o solo utilizado se enquadre nos critérios propostos, optou-se pela sua correção granulométrica. Como já citado, o solo da região analisada foi classificado como argiloso (SILVA et al., 2010), entretanto muitos autores sugerem o uso de solos arenosos para a fabricação de blocos de qualidade e que demandem menos cimento, inclusive o CEPED, portanto, dois materiais foram utilizados para fazer esta correção: a areia natural e a areia de britagem.

3.5 UMIDADE ÓTIMA DE COMPACTAÇÃO

A umidade ótima de compactação é a umidade em que o solo-cimento atinge a maior massa específica aparente seca, ou seja, é a umidade em que o material atinge seu grau de compactação máximo. Esta umidade pode ser obtida através do ensaio de compactação do solo-cimento, prescrito pela ABNT NBR 12023 de 1992, descrito a seguir.

Tendo como objetivo relacionar o teor de umidade e a massa específica aparente seca do solo quando compactado, a referida Norma Técnica faz uso de um soquete de massa padronizada que compacta o solo dentro de um cilindro de dimensões conhecidas. Tendo a massa e a altura de lançamento do soquete é possível achar sua energia gravitacional, assim, a Norma estabelece parâmetros para a execução do ensaio que dependem desta energia, também chamada de energia de compactação.

O ensaio consiste em fixar um molde metálico de formato cilíndrico a uma base juntamente com um colarinho, mostrado na Figura 12, colocando sobre ele uma folha de papel filtro para evitar que o solo-cimento fique aderido. A compactação deve ser realizada com um soquete padronizado de massa igual a 2500g, mostrado na Figura 13.

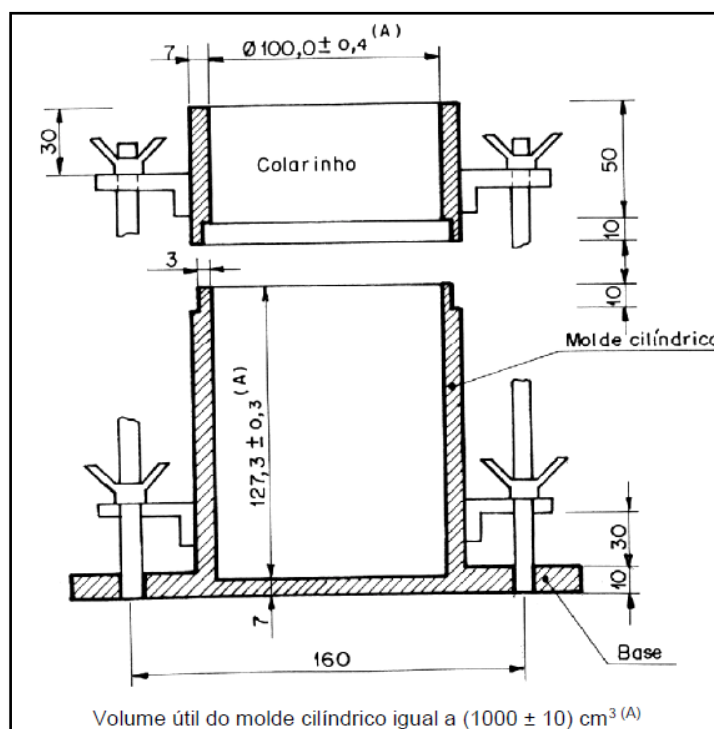


Figura 12: Base e molde cilíndrico para execução do ensaio
Fonte: ABNT (1992).

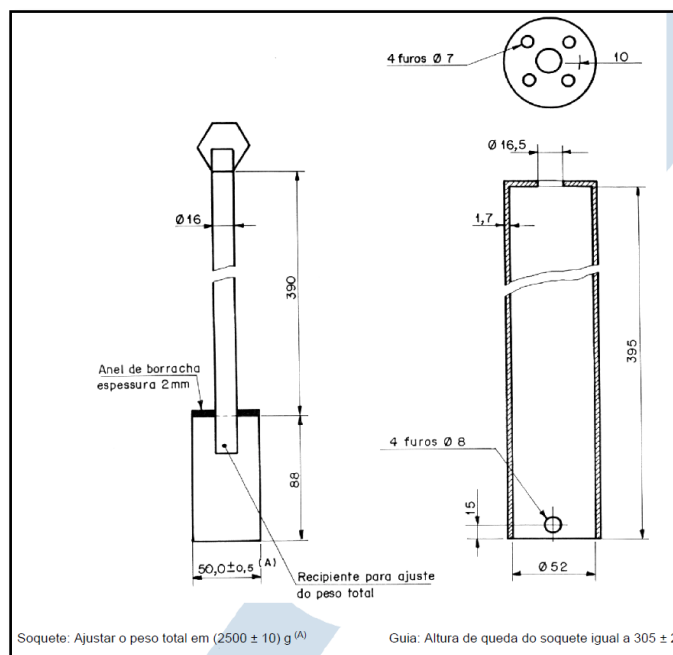


Figura 13: Soquete de massa padonizada
Fonte: ABNT (1992).

A quantidade de solo a ser ensaiado, já preparado de acordo com ABNT NBR 6457, deve ser superior a 2500g já seco. Posteriormente, o cimento deve ser acrescentado nas quantidades especificadas e misturado até que se obtenha uma coloração uniforme de solo-cimento. Imediatamente após a homogeneização da mistura, adiciona-se a água até que a umidade fique em torno de 5% abaixo da umidade prevista.

Para proceder à compactação, observa-se a Tabela 8, atentando para o fato de que os golpes do soquete devem estar perpendiculares à superfície e distribuídos uniformemente.

Tabela 8: Energia de compactação

Cilindro	Características inerentes à energia de compactação	Energia normal
	Soquete	Pequeno
Pequeno	Número de camadas	3
	Número de golpes por camada	26

Fonte: ABNT (1992).

Após a compactação das camadas, deve ser retirado o colarinho do molde cilíndrico e a superfície do solo rasada para que seu volume possa ser aferido com precisão. Com este procedimento é possível obter a massa do cilindro de solo úmido compactado subtraindo-se a massa do conjunto da massa do molde metálico. A umidade do solo é verificada de uma amostra do meio do cilindro.

O procedimento é repetido mais algumas vezes, sendo que a cada repetição é acrescentado mais água para que se possam obter mais pontos da relação entre massa específica aparente seca e teores de umidade. Com estes dados é possível construir um gráfico da curva de compactação colocando os valores de umidade nas abscissas e massas específicas nas ordenadas. O gráfico esperado é uma parábola, sendo que o ponto máximo corresponde a maior massa específica aparente seca e ao valor de umidade ótima de compactação.

3.6 FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

Com os dados de granulometria do solo e das areias, estes dois materiais foram misturados em proporções que facilitassem a execução, ou seja, adotou-se um traço simples, mas que atendesse aos critérios já estabelecidos, sendo este traço igual para os dois tipos de areia utilizadas.

No que se refere a dosagem de cimento a ABNT NBR 10833 (2013) preconiza que devem ser preparados três traços com diferentes teores de cimento, e que estas dosagens diferentes devem ser comparadas. Porém, o objetivo deste trabalho é a comparação dos resultados de blocos corrigidos com areia natural ou com areia de britagem, assim, um único traço foi adotado.

Com as quantidades de solo, areia para a correção granulométrica e cimento, foi possível realizar o ensaio de compactação para a obtenção do valor de umidade ótima, e assim, definir a quantia de água a ser empregada na mistura. Para que todo o material seco fosse envolvido pela água, utilizou-se um borrifador, garantindo que não ocorressem grumos de cimento não hidratados.

Os teores de água foram conferidos pelo método empírico, onde aperta-se uma pequena quantidade do solo-cimento e observa-se se a marca dos dedos ficam nítidas no bolo, se isso acontece, conclui-se que o material não está muito seco. Além disso, este bolo é deixado cair de uma altura de aproximadamente um metro, caso o bolo se desmanche ele não está com excesso de água (ABCP, 1996).

Para a conformação dos blocos foi utilizada uma prensa manual PTE-6000, mostrada na Figura 14. A prensa é da marca MIX máquinas e produz tijolos de dimensões 25 x 12,5 x 6,26 cm. O fabricante da prensa diz que o equipamento gera pressões de até 6 toneladas e é capaz de produzir até 600 tijolos por dia com um único operador.



Figura 14: Prensa manual PTE-6000
Fonte: MIX máquinas (2012).

3.7 ENSAIOS LABORATORIAIS DOS BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

Para que os blocos de solo-cimento apresentem uma qualidade mínima, dois parâmetros podem ser observados: sua resistência à compressão e sua absorção de água. Assim, algumas Normas Técnicas podem ser consultadas, como, ABNT NBR 10833 (2013), ABNT NBR 10834 (1994) e ABNT NBR 10836 (1994).

No que diz respeito ao número de blocos a serem ensaiados, as Normas prescrevem um mínimo de 10 amostras, sendo que metade se destina ao ensaio de compressão e metade ao ensaio de absorção de água. Caso seja possível ensaiar um número maior de blocos e o número de amostras seja ímpar, a amostra extra se destina ao ensaio de resistência à compressão.

3.7.1 Resistência à compressão

Na verificação da resistência dos blocos, utiliza-se uma prensa que distribua uniformemente os esforços sobre o corpo de prova e que permita uma leitura com tolerância de medição de 2% para mais ou para menos da carga estimada para o ensaio. Para a aferição das dimensões do bloco, a Norma sugere que se meça cada face em três posições diferentes e se faça a média destas medidas.

Tendo em vista a melhor distribuição dos esforços gerados pela prensa, uma vez que os blocos apresentam furos com encaixes macho e fêmea, um capeamento das faces dos blocos deve ser feito com pasta de cimento Portland. Após a secagem do material do capeamento os blocos devem ser imersos em água por 24 horas antes da execução do ensaio.

Com relação à posição em que os blocos devem ser ensaiados, a ABNT NBR 10836 (1994) indica que os eixos dos furos fiquem paralelos à aplicação da carga pela prensa.

A ABNT NBR 10834 (1994) traz os valores mínimos de resistência à compressão que os blocos devem apresentar, sendo que a média de todas as amostras ensaiadas deve apresentar valor maior ou igual a 2MPa e os valores individuais de cada amostra iguais ou maiores que 1,7MPa aos 28 dias.

3.7.2 Absorção de água

Na verificação do índice de absorção de água dos blocos são necessárias uma balança com sensibilidade de 0,4% da massa do bloco a ser ensaiado, uma estufa elétrica e um tanque de água.

Os blocos a serem ensaiados devem ser mantidos em estufa com temperatura controlada até sua constância de massa, assim, anotam-se as massas como M_1 . Em seguida os blocos são imersos em um tanque de água por 24 horas e pesados como M_2 . O índice que expressa a porcentagem da absorção (A%) é dado por:

$$A\% = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

A ABNT NBR 10834 (1994) traz os valores máximos de absorção de água, sendo que a média de todas as amostras ensaiadas deve apresentar valor menor ou igual a 20% e valores individuais menores ou iguais a 22%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

O solo utilizado tanto para as análises de caracterização quanto para a fabricação dos blocos de solo-cimento foi coletado nas proximidades da UTFPR *Campus Pato Branco*.

Para que o solo não apresente muitas matérias orgânicas é necessário que ele seja coletado de uma certa profundidade, assim, optou-se pela retirada do solo de um talude, como mostra a Figura 15. Esta decisão foi tomada pois, uma escavação profunda causaria mudanças no terreno em questão.



Figura 15: Coleta do solo
Fonte: do Autor (2017).

Tendo em vista que uma camada superficial do talude de aproximadamente 30cm foi retirada, também para a remoção de matérias orgânicas, foi possível a obtenção de um solo com um metro de profundidade a partir do terreno natural.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.2.1 Caracterização do solo

4.2.1.1 Limite de liquidez

O ensaio para a obtenção do Limite de liquidez foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR *Campus* Pato Branco, sendo o material preparado com secagem prévia. Como já mencionado por outros autores, o solo da região é argiloso, assim, o tempo de amassamento do solo com a água foi de aproximadamente 30 minutos. A Figura 16 mostra alguns dos equipamentos utilizados no ensaio.



Figura 16: Aparelho de Casagrande e cinzel
Fonte: do Autor (2017).

Um total de 5 ensaios foram feitos sempre adicionando água à mistura, de forma a modificar seu teor de umidade a cada ponto. Após a abertura da ranhura dentro da concha, o aparelho de Casagrande é manivelado para que as duas partes do solo se unam. O ensaio cessa quando a ranhura se fecha em 13mm, porém, este valor é subjetivo, uma vez que ele é verificado visualmente pelo operador. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9: Limite de liquidez do solo

Ponto	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M ₃ (g)	W(%)	nº de golpes
1	24,675	23,655	22,073	64,475	31
2	25,738	24,951	23,771	66,695	28
3	25,203	24,184	22,675	67,528	25
4	25,344	24,580	23,505	71,070	21
5	25,414	24,267	22,763	76,263	18

Fonte: do Autor (2017).

Onde:

M_1 é a massa do solo úmido mais a massa do recipiente em que foi pesado;

M_2 é a massa do solo seco mais a massa do recipiente em que foi pesado;

M_3 é a massa do recipiente;

W é o teor de umidade observado.

O teor de umidade é obtido através da seguinte fórmula:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100$$

Com estes dados é possível gerar o gráfico onde nas ordenadas estão o número de golpes e nas abcissas os teores de umidade, como mostra a Figura 17. O LL do solo é o valor da umidade em que a ranhura da concha se fecha com 25 golpes.

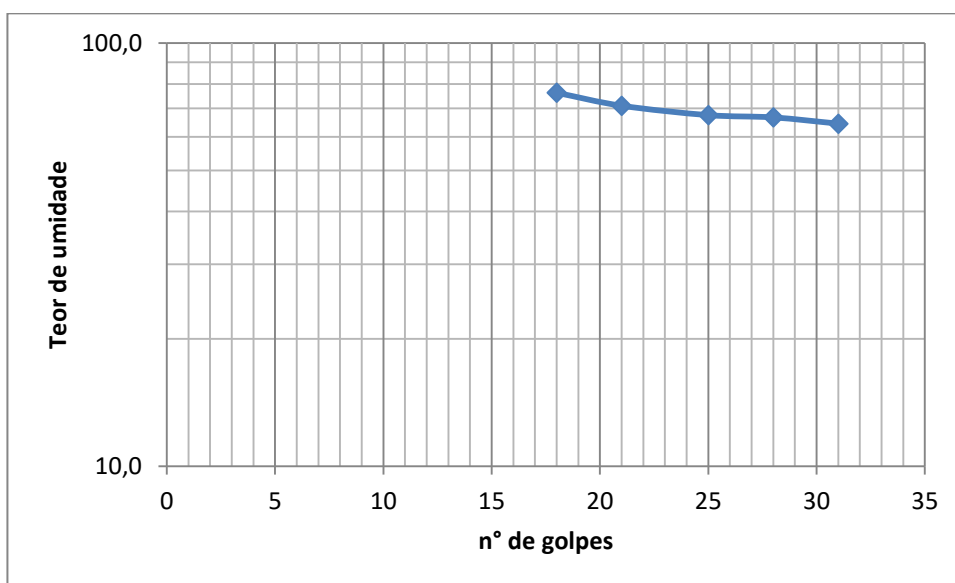


Figura 17: Gráfico do LL do solo
Fonte: do Autor (2017).

Portanto, o LL do solo analisado é de 67%, sendo que a NBR em que este trabalho se baseia diz que o ideal seria um solo com LL menor ou igual a 45%. Assim, a utilização do solo do município de Pato Branco não é recomendável para a fabricação de blocos de solo-cimento e deve ser corrigido.

4.2.1.2 Limite de plasticidade e índice de plasticidade

Este ensaio também foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR *Campus* Pato Branco, utilizando uma amostra seca previamente. A Figura 18 mostra uma das etapas do ensaio.



Figura 18: Ensaio do LP
Fonte: do Autor (2017).

Um total de 3 pontos foram ensaiados acrescentando-se água na amostra. O LP é a média das umidades verificadas em cada ponto, que estão mostradas na Tabela 10.

Tabela 10: Limite de plasticidade do solo

Ponto	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M ₃ (g)	W(%)
1	23,661	23,489	23,170	53,918
2	23,431	23,220	22,845	56,267
3	24,653	24,416	24,006	57,805

Fonte: do Autor (2017).

Onde:

M₁ é a massa do solo úmido mais a massa do recipiente em que foi pesado;

M₂ é a massa do solo seco mais a massa do recipiente em que foi pesado;

M₃ é a massa do recipiente;

W é o teor de umidade observado.

O teor de umidade é obtido através da seguinte fórmula:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100$$

Fazendo o cálculo da média dos teores de umidade verifica-se um LP de 56%. Com isso pôde-se calcular o Índice de Plasticidade diminuindo-se o LL do LP, que resultou em um IP de 13%. A NBR 10833 (2013) pede que o solo apresente um IP menor ou igual a 18%, assim, neste critério, o solo de Pato Branco seria adequado.

4.2.1.3 Análise granulométrica

Diferentemente dos ensaios de LL e LP, a análise granulométrica não pôde ser feita no Laboratório de Mecânica dos Solos por este não disponibilizar os recursos necessários, assim, a análise de granulometria foi feita pelo Laboratório de Física dos Solos do Departamento de Agronomia da UTFPR *Campus* Pato Branco, que forneceu os seguintes dados, mostrados na Tabela 11:

Tabela 11: Análise granulométrica do solo

Diâmetro dos grãos	Nomenclatura	Percentual
< 0,002 mm	Argila	80%
0,002 a 0,06 mm	Silte	17,8%
0,06 a 2,0 mm	Areia	2,2%

Fonte: do Autor (2017).

Como já mencionado, outro critério adotado para a verificação da qualidade do solo a ser utilizado foram os limites definidos pelo CEPED (1984), onde o somatório dos percentuais de argila mais silte devem estar entre 10% a 55%, e o percentual de areia entre 45% a 90%. Para o solo analisado estes parâmetros não são averiguados.

Tendo em vista que os critérios estabelecidos neste trabalho para a escolha do solo a ser utilizado na fabricação de blocos de solo-cimento não são atendidos em alguns aspectos, optou-se por fazer a correção granulométrica do mesmo com areia natural e com areia de britagem, separadamente.

4.2.2 Caracterização da areia natural

A caracterização da areia natural foi feita através do ensaio de peneiramento, também realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos, sendo este ensaio feito para duas amostras secas e de massas aproximadamente iguais. A NBR NM 248 diz que os resultados das duas amostras podem ser representados pela sua média, que é mostrado na Tabela 12.

Tabela 12: Granulometria da areia natural

Abertura da peneira (mm)	Percentual retido	Percentual retido acumulado	Percentual passante
4,8	0,598	0,756	99,244
2,4	3,104	3,859	96,141
1,2	7,707	11,566	88,434
0,6	15,065	26,631	73,369
0,3	35,568	62,200	37,800
0,15	29,438	91,638	8,362
0,075	6,804	98,442	1,558
Fundo	1,558	100,000	0,000
Total	99,842	-	-

Fonte: do Autor (2017).

Com estes dados pode-se definir algumas características do agregado, como a dimensão máxima característica (DMC), o módulo de finura (MF) e a curva granulométrica.

A ABNT NBR 9935 (2011) define o DMC como o valor, dado em milímetros, da abertura nominal da malha da peneira na qual o agregado apresenta uma percentagem retida acumulada imediatamente inferior a 5%, assim, a areia analisada apresenta um DMC igual a 2,4mm.

ABNT NBR 9935 (2011) também define o MF como a soma dos percentuais retidos acumulados nas peneiras dividido por 100, resultando, assim, num MF de 3,938. A norma ainda classifica as areias de acordo com o seu módulo de finura em areia fina quando MF for menor que 2,4, areia média quando MF for maior que 2,4 e menor que 3,9; e areia grossa quando MF for maior que 3,9. Portanto, esta areia é classificada como areia grossa.

A curva de distribuição granulométrica é apresentada na Figura 19.

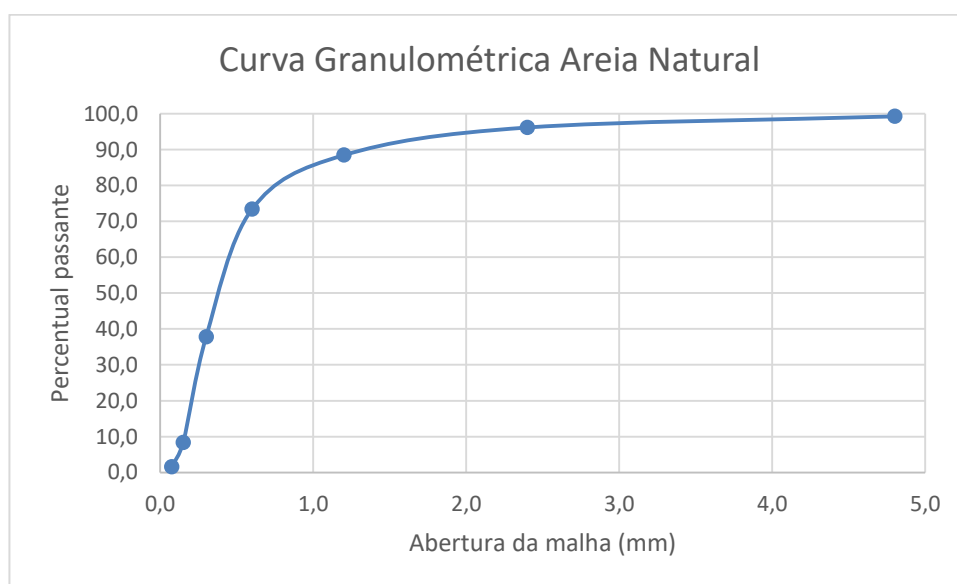


Figura 19: Curva granulométrica da areia natural
Fonte: do Autor (2017).

Neste gráfico é possível notar uma curvatura acentuada. Esta curvatura brusca que ocorre entre os diâmetros de 0,300mm, 0,600mm e 1,2mm pode representar uma descontinuidade na faixa granulométrica, ou seja, esta areia pode ser caracterizada como não sendo bem graduada. Este fato seria diferente caso a areia possuísse mais grãos de diâmetros maiores, como 1,2mm e 2,4mm, fazendo com que a curva fosse suavizada. Esta descontinuidade pode ocasionar vazios no material, uma vez que não existem grãos de todos os tamanhos que preenchem todos os espaços.

Além disso, percebe-se que o início da curva tem uma inclinação elevada, denotando uma grande presença de grãos com diâmetros inferiores a 1,0mm. Esta inclinação pode indicar que os grãos têm diâmetros muito uniformes, o que também pode gerar vazios no material.

4.2.3 Caracterização da areia de britagem

A caracterização da areia de britagem foi feita através do ensaio de peneiramento, também realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos, sendo este ensaio feito para duas amostras secas e de massas aproximadamente iguais. Os resultados apresentados na Tabela 13 dizem respeito à média entre as duas amostras.

Tabela 13: Granulometria da areia de britagem

Abertura da peneira (mm)	Percentual retido	Percentual retido acumulado	Percentual passante
4,8	0,380	0,529	99,471
2,4	35,546	36,075	63,925
1,2	30,267	66,342	33,658
0,6	18,336	84,678	15,322
0,3	7,114	91,792	8,208
0,15	3,890	95,682	4,318
0,075	2,220	97,902	2,098
Fundo	2,098	100,000	0,000
Total	99,852	-	-

Fonte: do Autor (2017).

Com estes dados pode-se verificar que o DMC da areia de britagem é de 4,8mm e o MF é igual a 5,718, caracterizando uma areia grossa. Sua curva granulométrica é mostrada na Figura 20, a seguir.

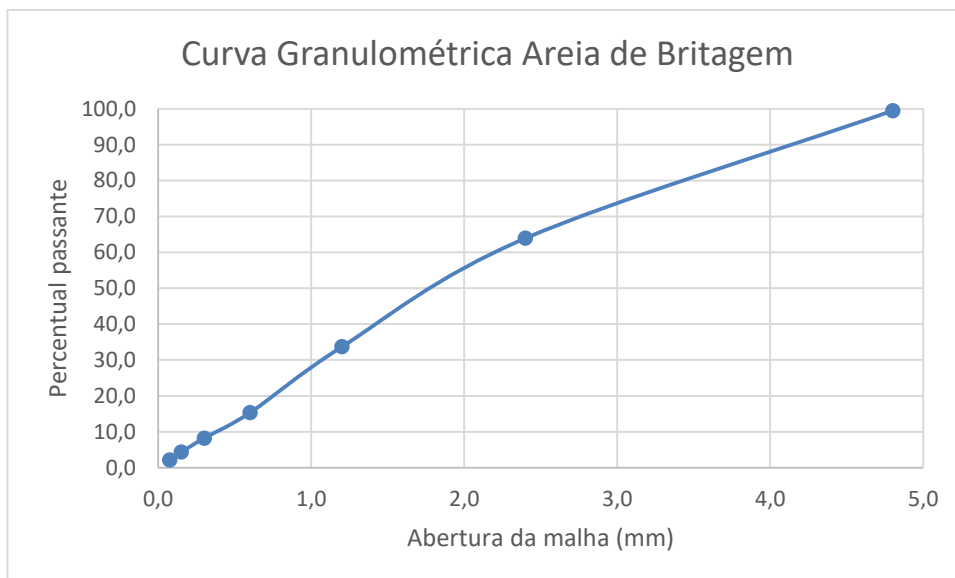


Figura 20: Curva granulométrica da areia de britagem
Fonte: do Autor (2017).

Neste gráfico é possível notar uma curva quase retilínea, o que pode caracterizar um material bem graduado, ou seja, existem grãos de diferentes diâmetros em proporções semelhantes formando uma faixa granulométrica contínua. Este fato pode conduzir a um bom preenchimento de todos os espaços presentes no material.

4.3 CORREÇÃO DO SOLO

Como foi visto, o solo analisado não cumpre alguns requisitos estabelecidos tanto pela NBR 10833 (2010) quanto os do CEPED (1984), assim, visando a melhoria deste material para que se enquadrasse nestes critérios, foi necessário fazer a sua correção granulométrica.

O solo apresenta uma quantidade significativa de partículas de pequena dimensão, o silte e a argila, o que o torna inadequado para a utilização em blocos de solo-cimento. Para que ele apresente uma faixa de grãos maiores, dois materiais foram utilizados na sua correção e posteriormente comparados: a areia natural e a areia de britagem.

O método adotado para se definir as quantidades de solo e areia a serem misturados foi pensado para facilitar a execução em larga escala, assim, o traço definido foi 1:2 (uma parte de solo para duas de areia) em massa. A Figura 21 exemplifica o processo de mistura dos dois materiais. Após a mistura, os dois tipos

de solo corrigido foram ensaiados para que fossem verificadas suas novas propriedades físicas e posterior averiguação de qualidade para a moldagem dos blocos.



Figura 21: Processo de mistura do solo e areia
Fonte: do Autor (2017).

4.3.1 Caracterização do solo corrigido com areia natural

Um dos critérios de granulometria estabelecido pelo CEPED é a soma de silte mais argila que devem estar em valores entre 10% e 55% do total. Para o solo, as percentagens de silte e areia encontradas no ensaio foram apenas somadas, já nas areias natural e de britagem o silte mais argila foi considerado o percentual passante na peneira de 0,075mm, ou seja, o material retido no fundo. Esta consideração foi feita levando em conta que o diâmetro máximo do silte é de 0,06mm, e para que as partículas finas das areias não fossem desconsideradas dos cálculos. A Tabela 14 apresenta as quantidades de grãos maiores que 0,075mm (areia) e de grãos menores que 0,075mm (silte + argila) do solo e da areia natural.

Tabela 14: Percentual dos tamanhos dos grãos da areia natural

	Percentual de areia (grãos maiores)	Percentual de silte + argila (grãos menores)
Solo	2,200	97,800
Areia natural	98,442	1,558

Fonte: do Autor (2017).

Tendo em vista o traço definido de 1:2 (solo : areia natural), o método utilizado para se obterem as quantidades de areia (a) e silte + argila (s+a) da mistura foi a multiplicação dos seus percentuais pelo material individual e posterior soma dos

mesmos, caracterizando sua mistura. Para facilitar o método, um total de 1000 gramas de solo e 2000 gramas de areia natural foram misturados. O processo é mostrado a seguir:

$$1000 \text{ g (solo)} = 1000 \text{ g} \times 97,800 \% \text{ (s+a)} + 1000 \text{ g} \times 2,200 \% \text{ (a)}$$

$$2000 \text{ g (areia natural)} = 2000 \text{ g} \times 1,558 \% \text{ (s+a)} + 2000 \text{ g} \times 98,442 \% \text{ (a)}$$

Fazendo-se a soma das duas equações, representando a mistura dos materiais, obtém-se:

$$3000 \text{ g (solo + areia natural)} = 1009,160 \text{ g (s+a)} + 1990,840 \text{ g (a)}$$

Com uma simples regra de três é possível determinar o percentual de areia e o percentual de silte + argila da mistura de solo mais areia natural, e assim, consegue-se fazer a verificação imposta pelo CEPED.

$$\begin{array}{ll} 3000 \text{ g (solo + areia natural)} - 100 \% & 3000 \text{ g (solo + areia natural)} - 100 \% \\ 1009,160 \text{ g (s+a)} - X \% & 1990,840 \text{ g (a)} - Y \% \end{array}$$

Portanto, a mistura apresenta 33,639% de silte + argila, e 66,361% de areia em sua composição, averiguando que os critérios do CEPED são atendidos.

4.3.1.1 Limite de liquidez e plasticidade e índice de plasticidade

Os ensaios de LL e LP do solo mais areia natural foram feitos da mesma maneira já mencionada para o solo sem correções, entretanto, foi observado que quando umedecido este material não apresentava nenhuma coesão. Este fato pode ser explicado devido a conhecida falta de plasticidade das areias puras, além de que a areia utilizada apresentava uma descontinuidade em sua faixa granulométrica, o que pode facilitar a circulação da água, tornando o material mais permeável.

Contudo os ensaios de LL e LP deste material não puderam ser concluídos devido as características do solo corrigido, assim, segundo a NBR 6459 (1984) e a NBR 7180 (1984), este solo não possui limite de liquidez, tão pouco limite de

plasticidade e conseqüentemente seu índice de plasticidade não existe. Portanto, para este solo corrigido, alguns dos critérios para a escolha do solo a ser utilizado em blocos de solo-cimento não foram verificados. A Figura 22 mostra o ensaio que teve que ser interrompido.



Figura 22: LL e LP do solo corrigido com areia natural
Fonte: do Autor (2017).

4.3.2 Caracterização do solo corrigido com areia de britagem

Do mesmo modo feito para a mistura com areia natural, para a areia de britagem também foram considerados silte + argila todo o material retido no fundo da peneira. Seus percentuais estão mostrados da Tabela 15.

Tabela 15: Percentual dos tamanhos dos grãos da areia de britagem

	Percentual de areia (grãos maiores)	Percentual de silte + argila (grãos menores)
Solo	2,200	97,800
Areia de britagem	97,902	2,098

Fonte: do Autor (2017).

O mesmo método da mistura do solo com a areia natural foi utilizado para a mistura com areia de britagem, tendo o mesmo traço de 1:2. Para facilitar o método, um total de 1000 gramas de solo e 2000 gramas de areia de britagem foram misturados. O processo é mostrado a seguir:

$$1000 \text{ g (solo)} = 1000 \text{ g} \times 97,800 \% \text{ (s+a)} + 1000 \text{ g} \times 2,200 \% \text{ (a)}$$

$$2000 \text{ g (areia de britagem)} = 2000 \text{ g} \times 2,098 \% \text{ (s+a)} + 2000 \text{ g} \times 97,902 \% \text{ (a)}$$

Fazendo-se a soma das duas equações, representando a mistura dos dois materiais, obtém-se:

$$3000 \text{ g (solo + areia de britagem)} = 1019,960 \text{ g (s+a)} + 1980,040 \text{ g (a)}$$

Com uma simples regra de três é possível determinar o percentual de areia e o percentual de silte + argila da mistura de solo mais areia de britagem, e assim, consegue-se fazer a verificação imposta pelo CEPED.

$$\begin{array}{l} 3000 \text{ g (solo + areia de britagem)} - 100 \% \\ 1019,960 \text{ g (s+a)} - X \% \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 3000 \text{ g (solo + areia de britagem)} - 100 \% \\ 1980,040 \text{ g (a)} - Y \% \end{array}$$

Portanto, a mistura apresenta 33,999% de silte + argila, e 66,001% de areia em sua composição, averiguando que os critérios do CEPED são atendidos.

4.3.2.1 Limite de liquidez

Com a mistura de solo mais areia de britagem preparada e seca, pôde-se realizar o ensaio do LL, onde os dados obtidos estão na Tabela 16, calculados da mesma forma já mostrada e o resultado é mostrado da Figura 23.

Tabela 16: Limite de liquidez do solo corrigido com areia de britagem

Ponto	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M ₃ (g)	W(%)	nº de golpes
1	28,973	27,296	22,830	37,550	30
2	27,416	25,924	22,040	38,414	29
3	28,386	26,800	22,687	38,561	28
4	27,488	25,918	22,122	41,359	21
5	28,984	27,514	24,094	42,982	17

Fonte: do Autor (2017).

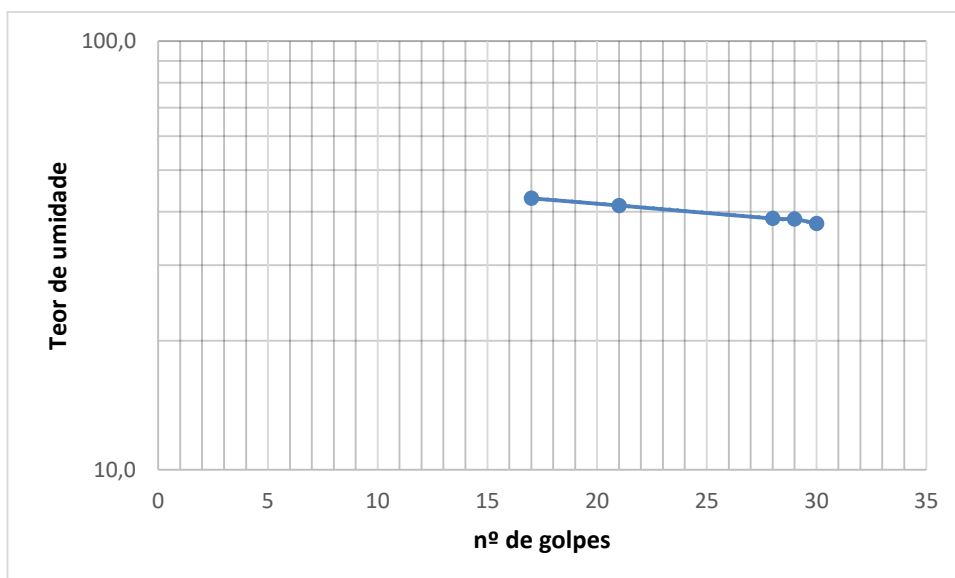


Figura 23: Gráfico do LL do solo corrigido com areia de britagem
Fonte: do Autor (2017).

O limite de liquidez determinado pelo valor de 25 golpes na curva é igual a 40%, ou seja, menor que 45%. Portanto, este solo corrigido atende a um dos critérios estabelecidos pela NBR 10833.

4.3.2.2 Limite de plasticidade e índice de plasticidade

O limite de plasticidade foi feito da mesma maneira já mencionada para o solo sem correção e seus dados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Limite de plasticidade do solo corrigido com areia de britagem

Ponto	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M ₃ (g)	W(%)
1	24,895	24,537	23,483	33,966
2	24,344	24,094	23,385	35,261
3	23,802	23,326	22,010	36,170

Fonte: do Autor (2017).

A média dos teores de umidade é igual a 35,132, portanto, o LP do solo corrigido é de 35% e o IP de 5%, que está abaixo de 18%, atendendo a mais uma exigência da NBR 10833.

4.4 TRAÇO DO SOLO-CIMENTO

Como já mencionado, para a dosagem do cimento um único traço foi adotado levando em consideração o que alguns autores utilizam. O traço escolhido foi o de 1:10 (cimento : solo corrigido) em massa. A mesma dosagem de cimento foi utilizada

para os dois tipos de solo corrigido para a sua posterior comparação. As Figuras 24 e 25 mostram o procedimento da mistura do solo corrigido com o cimento.

O cimento utilizado foi o CP-II-F-32 por ser amplamente empregado em diversos tipos de obras e por ser economicamente viável para este estudo.



Figura 24: Preparação da mistura de solo corrigido e cimento
Fonte: do Autor (2017).



Figura 25: Mistura de solo-cimento
Fonte: do Autor (2017).

4.5 TEOR DE UMIDADE ÓTIMA

Os ensaios para a obtenção dos teores de umidade ótima dos solos corrigidos, acrescidos de cimento, foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR *Campus* Pato Branco.

O ensaio consiste na colocação de água, em pequenos incrementos, na mistura de solo-cimento, fazer sua compactação dentro de um molde cilíndrico e posterior averiguação da umidade para diversas amostras. A Figura 26 mostra a compactação da primeira camada de uma das misturas de solo-cimento e a Figura 27 apresenta o cilindro de solo-cimento compactado.



Figura 26: Solo-cimento sendo compactados
Fonte: do Autor (2017).



Figura 27: Cilindro de solo-cimento compactado
Fonte: do Autor (2017).

4.5.1 Solo-cimento com areia natural

Para a determinação da umidade ótima de compactação do solo-cimento com solo corrigido com areia natural, foram realizados 4 pontos de coleta de dados para a determinação da curva de compactação, mostrados na Tabela 18.

Tabela 18: Compactação solo-cimento com areia natural

Ponto	M _c (g)	M ₁ (g)	M ₂ (g)	M ₃ (g)	W(%)	γ(g/cm ³)	γ _s (g/cm ³)
1	2081,9	46,806	43,738	22,693	14,578	2,082	1,817
2	2131,8	46,817	43,393	22,043	16,037	2,132	1,837
3	2117,5	43,638	40,625	23,060	17,153	2,118	1,807
4	2105,0	51,411	47,000	22,129	17,916	2,105	1,785

Fonte: do Autor (2017).

Onde:

M_c é a massa do cilindro compactado;

M₁ é a massa do solo úmido mais o recipiente em que foi pesado;

M₂ é a massa do solo seco mais o recipiente em que foi pesado;

M₃ é a massa do recipiente;

W é o teor de umidade observado;

γ é a massa específica aparente da amostra compactada;

γ_s é a massa específica aparente seca da amostra compactada.

O teor de umidade é obtido através da seguinte fórmula:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100$$

A massa específica aparente (γ) é obtida pela divisão da massa do cilindro compactado pelo seu volume, que para todos os pontos é de 1000cm³. Já a massa específica aparente seca é conseguida através da seguinte equação:

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{W + 100} \times 100$$

Com estes dados foi possível gerar o gráfico da curva de compactação, mostrado na Figura 28. O teor de umidade ótima é observado na curva de compactação onde a massa específica aparente seca é máxima, ou seja, aproximadamente 16%.

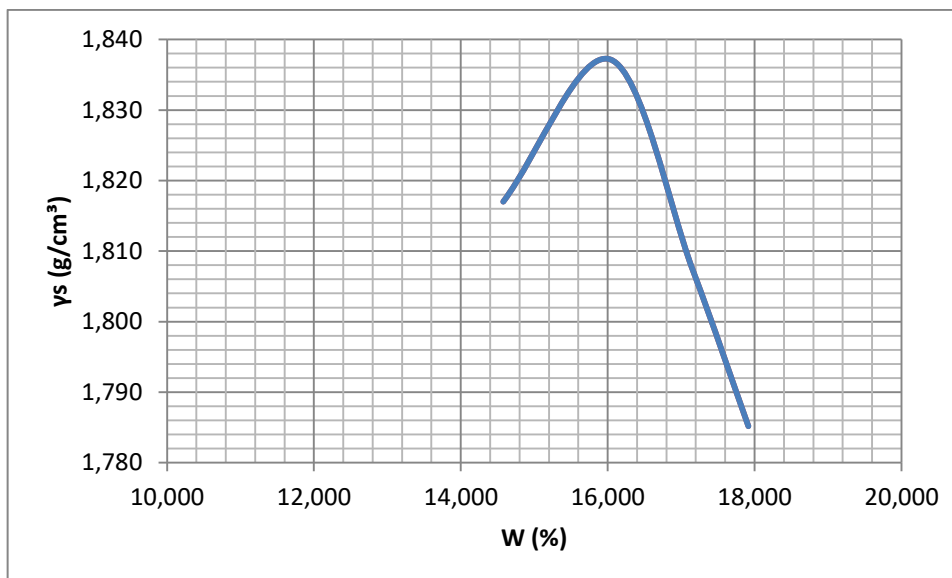


Figura 28: Curva de compactação do solo-cimento com areia natural
Fonte: do Autor (2017).

4.5.2 Solo-cimento com areia de britagem

Para a determinação da umidade ótima de compactação do solo-cimento com solo corrigido com areia de britagem, foram realizados 5 pontos de coleta de dados para a determinação da curva de compactação, mostrados na Tabela 19.

Tabela 19: Compactação solo-cimento com areia de britagem

Ponto	M_c (g)	M_1 (g)	M_2 (g)	M_3 (g)	W(%)	γ (g/cm ³)	γ_s (g/cm ³)
1	2056,3	41,422	39,283	22,979	13,119	2,056	1,818
2	2123,8	64,684	59,353	22,688	14,540	2,124	1,854
3	2157,7	66,583	60,382	22,122	16,208	2,158	1,857
4	2178,1	45,284	41,700	22,041	17,991	2,178	1,846
5	2160,4	54,098	48,900	23,054	20,144	2,160	1,798

Fonte: do Autor (2017).

Os termos apresentados e seus cálculos são iguais aos do item 4.5.1 deste trabalho, e geram a curva de compactação apresentada na Figura 29. A umidade ótima de compactação observada é de aproximadamente 15%.

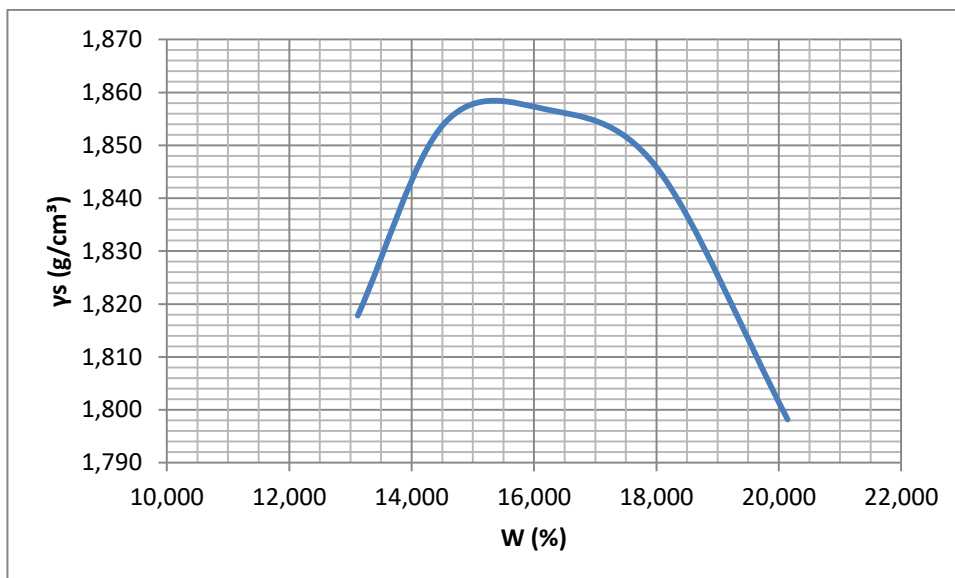


Figura 29: Curva de compactação do solo-cimento com areia de britagem
Fonte: do Autor (2017).

4.6 CONFECÇÃO DOS BLOCOS

Para a fabricação dos blocos, todos os materiais secos foram misturados nas proporções anteriormente definidas, então a água foi aspergida com um borrifador com o objetivo de que todos os materiais fossem umedecidos, evitando grumos de cimento não hidratado. A mistura de solo-cimento foi então colocada na prensa manual do canteiro de obras da UTFPR *Campus* Pato Branco e os blocos puderam ser conformados.

A primeira observação que foi feita é em relação a quantidade de água utilizada na mistura. Para os dois tipos de solo foram adicionadas as quantidades de água para que atingissem sua umidade ótima de compactação, entretanto observou-se através do método empírico que esta quantidade de água era exagerada, uma vez que quando o bolo de solo-cimento formado com uma mão era deixado cair de aproximadamente 1 metro de altura, ele não se desfazia. Além disso, não era possível fazer a retirada deste bloco com excesso de umidade de dentro da prensa, pois ele se desmanchava.

Este excesso de água foi causado pelo ensaio de compactação do solo-cimento. Analisando o método do ensaio, percebe-se que o mesmo gera uma energia de compactação muito elevada, tendo em vista que é utilizado um soquete pesado para compactar várias camadas de solo-cimento. Esta energia de

compactação não é observada na prensa de blocos de solo-cimento, uma vez que esta energia está associada à força aplicada pelo operador e à limitação de sua alavanca. Portanto, a umidade encontrada pelo ensaio de compactação pode ser aplicada em locais onde o solo-cimento poderá ser bem compactado, como em bases de pavimentos de estradas, mas não para a fabricação de blocos.

A segunda observação a ser feita é em relação à qualidade da areia natural utilizada para a correção do solo. Depois de ter sido corrigido o teor de umidade, o autor ainda encontrou dificuldades para a moldagem dos blocos de solo-cimento de solo corrigido com areia natural, onde os mesmos se desmanchavam com muita facilidade. Este fato pode ter ocorrido pela descontinuidade granulométrica da areia utilizada, uma vez que, se não existem grãos de todos os tamanhos a ocorrência de vazios no material é esperada, mesmo após a sua compactação.

Mesmo com este obstáculo, 11 blocos de solo-cimento com solo corrigido com areia natural foram feitos, onde um deles é mostrado na Figura 30. Também foram confeccionados 10 blocos de solo-cimento com solo corrigido com areia de britagem, sendo que estes não apresentaram maiores dificuldades na sua fabricação.



Figura 30: Moldagem de um bloco de solo-cimento corrigido com areia natural
Fonte: do Autor (2017).

4.6.1 Cura

Como a NBR 10833 de 2013 prescreve, os blocos devem ser mantidos úmidos por 7 dias. O sistema de cura adotado foi o armazenamento dos blocos em local que não permitisse o contato dos mesmos com o ambiente externo, no caso, lonas foram utilizadas para cobrir os blocos evitando a evaporação excessiva da água. Além disso, os blocos foram irrigados com água todos os dias durante uma semana. A Figura 31 mostra o sistema de cura utilizado e a Figura 32 como ficou um dos blocos após sua cura.



Figura 31: Cobrimento dos blocos corrigidos com areia de britagem para sua cura
Fonte: do Autor (2017).



Figura 32: Bloco de solo-cimento corrigido com areia natural após a curado
Fonte: do Autor (2017).

4.7 ENSAIOS DOS BLOCOS

Os blocos de solo-cimento devem atender os requisitos de resistência à compressão e à absorção de água exigidos pela NBR 10834 (1994), mostrados na Tabela 20, sendo que estes critérios levam em conta que o bloco esteja com idade de 28 dias após sua moldagem. Entretanto, a NBR 10833 (2013) diz que os blocos podem ser utilizados aos 14 dias após a sua conformação. Tendo em vista esta divergência, os blocos foram ensaiados com 14 dias, pois, em teoria, o cimento presente na mistura não estaria totalmente hidratado.

Tabela 20: Valores de resistência à compressão e absorção de água

Valores limite	Média	Individual
Resistência à compressão (MPa)	$\geq 2,0$	$\geq 1,7$
Absorção de água (%)	≤ 20	≤ 22

Fonte: adaptado de ABNT (1994).

A realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água foram realizados no Laboratório de Materiais de UTFPR *Campus* Pato Branco. Primeiramente metade das amostras foram destinadas aleatoriamente a cada um dos ensaios, ou seja, 5 blocos corrigidos com areia natural para cada ensaio e 5 blocos corrigidos com areia de britagem para cada ensaio. Como foram feitos 11 blocos com areia natural, o ensaio de resistência à compressão teve uma amostra a mais.

Posteriormente cada bloco foi identificado, os corrigidos com areia natural foram nomeados de “Bn” e receberam numerações de 1 a 11, e os blocos corrigidos com areia de britagem foram nomeados de “Bb” e receberam numerações de 1 a 10.

4.7.1 Resistência à compressão

Antes da realização do ensaio, os blocos tiveram de ser capeados para que sua superfície ficasse plana, cobrindo suas reentrâncias e para anular a influência das áreas dos dois buracos presentes nos blocos.

O capeamento foi feito com uma pasta de cimento com espessura suficiente para cobrir os encaixes dos blocos. A Figura 33 mostra a etapa do capeamento de uma das faces, que teve um tempo de secagem de um dia, já a Figura 34 mostra o capeamento da segunda face que teve um período de secagem de 3 dias.



Figura 33: Capeamento da primeira face dos blocos
Fonte: do Autor (2017).



Figura 34: Capeamento da segunda face dos blocos
Fonte: do Autor (2017).

As dimensões dos blocos são de 25cm x 12,5cm por 6,25cm de altura, assim a área de influência da aplicação da carga é de 312,5cm² ou 31250mm². O equipamento utilizado no ensaio foi a EMIC DL 3000, mostrado na Figura 35, que aplica uma carga sobre a superfície do bloco até que ele rompa, assim é possível calcular sua resistência à compressão máxima resistida fazendo a divisão da carga máxima aplicada pela sua área.



Figura 35: Ensaio de resistência à compressão
Fonte: do Autor (2017).

A Tabela 21 mostra os resultados do ensaio dos blocos de solo-cimento com o solo corrigido com areia natural e a Tabela 22 traz os resultados do ensaio dos blocos com solo corrigido com areia de britagem.

Tabela 21: Resistência à compressão dos blocos com areia natural

Bloco	Força resistida (N)	Tensão (MPa)
Bn1	144900	4,67
Bn2	94600	3,03
Bn3	99400	3,18
Bn4	139700	4,47
Bn5	109400	3,50
Bn6	98600	3,16

Fonte: do Autor (2017).

Apesar dos blocos de solo-cimento com solo corrigido com areia natural terem sido ensaiados na metade do tempo previsto pela norma, eles ainda apresentaram um desempenho acima do esperado, uma vez que todas as amostras apresentaram valores individuais de resistência acima de 1,7MPa. A média das resistências é de 3,67MPa, também superando o valor mínimo de 2,0MPa imposto pela NBR

Observa-se também que as tensões suportadas pelos blocos variam de 3MPa até quase 5MPa. Este fato não era esperado já que os blocos foram feitos todos

com os mesmos materiais e mesmas proporções, porém, pode ser explicado pelas diferentes energias de compactação que cada bloco era submetido durante sua prensagem.

Tabela 22: Resistência à compressão dos blocos com areia de britagem

Bloco	Força resistida (N)	Tensão (MPa)
Bb1	126000	4,03
Bb2	65000	2,08
Bb3	102700	3,29
Bb4	140300	4,49
Bb5	118600	3,79

Fonte: do Autor (2017).

Da mesma forma que os blocos com areia natural, os blocos feitos com solo corrigido com areia de britagem também apresentam valores de resistência individuais acima do exigido por norma, bem como sua média, que é de 3,54MPa, sendo que foram ensaiados antes do tempo.

Com exceção da amostra Bb2, as tensões obtidas tiveram uma variação menor comparadas às tensões dos blocos com areia natural, mas mesmo assim existentes. Tendo em vista que a produção dos blocos foi toda manual, sem nenhum processo industrializado, era previsto que algumas amostras não apresentassem a qualidade esperada, este fato pode ser observado na amostra Bb2 que teve um valor de resistência muito abaixo das demais amostras, porém, ainda dentro dos limites impostos por norma.

4.7.2 Absorção de água

No ensaio de absorção os blocos foram deixados secar até sua constância de massa em uma estufa. Com sua massa seca anotada, os blocos foram deixados imersos em um tanque de água por 24 horas e pesados novamente. A absorção de água de cada bloco é calculada por:

$$A\% = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

Onde:

A% é o percentual de absorção;

M₁ é a massa do bloco seco;

M₂ é a massa do bloco úmido.

A Tabela 23 apresenta os dados e resultados para os blocos de solo-cimento com o solo corrigido com areia natural, já a Tabela 24 mostra os dados e resultados dos blocos com areia de britagem.

Tabela 23: Absorção de água dos blocos com areia natural

Bloco	M ₁ (g)	M ₂ (g)	A%
Bn7	2680	3140	17,16
Bn8	2640	3080	16,67
Bn9	2350	2840	20,85
Bn10	2560	3000	17,19
Bn11	2460	2880	17,07

Fonte: do Autor (2017).

Todos os blocos ensaiados atenderam à norma que exige que seus valores individuais estejam abaixo de 22%, além disso, a média dos valores é de 17,79%, também abaixo do máximo permitido de 20%. A amostra Bn9 foi a que apresentou um valor mais elevado comparado às demais, que também pode ter ocorrido por deficiência na energia de compactação.

Tabela 24: Absorção de água dos blocos com areia de britagem

Bloco	M ₁ (g)	M ₂ (g)	A%
Bb6	2970	3420	15,15
Bb7	2910	3380	16,15
Bb8	2830	3210	13,43
Bb9	2760	3170	14,85
Bb10	2640	3060	15,91

Fonte: do Autor (2017).

No caso dos blocos com solo corrigido com areia de britagem, todas as amostras atenderam as exigências da norma, tanto para os seus valores individuais quanto para a sua média de 15,10%.

5 CONCLUSÃO

A conscientização e a busca por soluções que reduzam os impactos ao meio ambiente são necessários para a sua preservação, principalmente no setor da construção civil. Este ramo do mercado é um dos maiores extratores de matéria prima do meio ambiente e principal gerador de resíduos.

Tendo em vista a utilização de materiais não tão agressivos ambientalmente, propôs-se com este trabalho a utilização de blocos de solo-cimento utilizando o solo da região em estudo. Esta escolha foi tomada pelo fato dos blocos de solo-cimento não precisarem passar por grandes períodos de queima, como acontece com os convencionais blocos cerâmicos. Além disso, a proposta de utilização de materiais regionais foi feita para se evitar que os mesmos fossem transportados, sendo que este transporte também gera um gasto energético e poluição ambiental.

Contudo, o solo do Município de Pato Branco - Paraná não atendeu aos requisitos pré-determinados pela ABNT e por alguns autores, sendo assim, para que o mesmo fosse utilizado teve que passar por correções em sua granulometria. Esta correção foi feita com dois materiais, a areia natural e a areia de britagem, e posteriormente alguns aspectos foram comparados.

A areia natural utilizada apresentava uma descontinuidade em sua faixa granulométrica, o que gerou a impossibilidade da averiguação dos limites de liquidez e índice de plasticidade do solo corrigido com este material. O mesmo não ocorreu com a areia de britagem, que apresentou uma faixa granulométrica bem graduada.

No que diz respeito à fabricação dos blocos de solo-cimento utilizando os solos corrigidos, observou-se que o melhor método para a determinação da quantidade de água a ser colocada na mistura é o método empírico, uma vez que a umidade ótima obtida pelo ensaio de compactação é muito elevada, fazendo com que a conformação dos blocos se torne muito trabalhosa.

Comparando as resistências dos dois tipos de blocos de solo-cimento produzidos, ambas atenderam as exigências da NBR 10833 de 2013 e nos dois casos foram observados valores diferentes entre as amostras do mesmo material, tendo variações pequenas entre si. As exigências quanto à resistência dos blocos foram atendidas além das expectativas, mesmo eles tendo sido ensaiados antes do tempo convencional, este fato indica que a dosagem de cimento na mistura poderia

ser diminuída. Esta diminuição geraria blocos menos resistentes, porém, mais econômicos e que ainda se enquadrariam nas exigências da norma.

As diferenças de resistências à compressão das amostras de mesmo material podem ser explicadas, a princípio, pelos ensaios terem sido realizados antes do tempo convencional de hidratação total do cimento, ou seja, nem todo o material estava completamente endurecido. Outro motivo que leva à estas diferenças é o processo de conformação dos blocos que depende da energia de compactação aplicada pelo operador. Esta energia também depende da quantidade de material que foi colocado dentro da prensa, por exemplo, se pouco solo-cimento for colocado no equipamento o mesmo não o compactará com eficiência.

Buscando sempre os melhores desempenhos de resistência, os blocos de solo-cimento utilizando solo corrigido com areia natural apresentaram valores mais significativos comparados aos blocos com solo corrigido com areia de britagem.

Já no quesito absorção de água, os dois tipos de blocos cumpriram os requisitos impostos pela NBR 10833 (2013), sendo que os blocos com solo corrigido com areia de britagem mostraram valores menores que os de areia natural. Isso indica que os blocos com areia de britagem são menos permeáveis, fato que pode ser explicado pela grande presença de materiais finos na composição desta areia. Entretanto, nada pode-se afirmar quanto à porosidade dos blocos com areia natural, uma vez que a areia utilizada apresentava uma descontinuidade na sua faixa granulométrica.

A fabricação de blocos de solo-cimento no Município de Pato Branco é viável, contudo, o solo deve ter sua faixa granulométrica corrigida visando o menor consumo de cimento e maior qualidade do produto final. A correção pode ser feita tanto por areia natural quanto por areia de britagem, porém, as características do solo corrigido sempre devem ser estudadas e enquadradas em parâmetros técnicos.

6 REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Boletim técnico – o solo-cimento e suas aplicações rurais**. São Paulo, 1996.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia de construções rurais à base de cimento**. São Paulo, 1986.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457: Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459: Solo – determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6502: Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180: Solo – determinação de limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181: Solo – análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211: Agregados para concreto – especificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras de solo deformadas e indeformadas – procedimento**. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9935: Agregados – terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – procedimento**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10834: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural**. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10836: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – determinação da resistência à compressão e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 1994.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12023: Solo-cimento – ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 1992.

ALMEIDA, S. L. M.; SAMPAIO, J. A. obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras. **Revista Areia & Brita**, 2002.

BALENA, R.; BORTOLINI, E.; TOMAZONI, J. C. **Caracterização dos tipos de solo do município de Pato Branco através técnicas de geoprocessamento.** Synergismus scyentifica, UTFPR, Pato Branco, 2009.

BARBOSA, N. P. Utilização de resíduos na construção habitacional. **Coletânea Habitare.** Porto Alegre, v. 4, 2003.

BARBOSA, N. P.; MATTONE, R.; MESBAH, A. Blocos de Concreto de Terra: uma opção interessante para a sustentabilidade da construção. Em: **44º Congresso Brasileiro de Concreto**, Belo Horizonte, Brasil, 2002.

BUENO, B. S.; VILAR, O. M.; **Mecânica dos solos.** v. 1. USP. São Carlos, Viçosa, 1979.

CENTRO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO RIO DE JANEIRO. **Guia da arquitetura colonial, neoclássica e romântica no Rio de Janeiro.** Casa da Palavra, 2001.

CEPED. **Manual de construção com solo-cimento.** Convênio CEPED/BNH/ABCP. Camaçari, BA, 1984.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil.** Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Brasília, DF, 2006.

FERREIRA, G. C.; DAITX, E. C. A Mineração de areia industrial na região sul do Brasil. **Revista Escola de Minas.** Ouro Preto, v. 56, n. 1, jan. 2003.

FERREIRA, W. J. **Formação dos solos – erosão e intemperismos.** Disponível em: <<http://profvladimir.blogspot.com.br/2016/05/formacao-dos-solos-erosao-e.html>> Acesso em: 08 de abril de 2017.

FIQUEROLA, V. Alvenaria de solo-cimento. **Téchne.** São Paulo, n. 85, abr. 2004.

GERHARDT, T. E. (Org.); SILVEIRA, D. T. (Org.) **Métodos de pesquisa.** Editora da UFRGS. ed. 1. Porto Alegre, RS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, S. P. **Gênese e formação da areia**. Disponível em: <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/areia.html>> Acesso em: 13 de novembro de 2016.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Dissertação (Escola de Engenharia de São Carlos USP), São Carlos, 2003.

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelho do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil UFRGS) Porto Alegre, 2001.

GUACELLI, P. A. G. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento**. Dissertação (Engenharia de Edificações e Saneamento UEL), Londrina, 2010.

HAMAI, D. **Tijolo de solo-cimento**. Disponível em: <<https://ecodomusbrasil.wordpress.com/about/>> Acesso em: 08 de abril de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Paraná – Pato Branco**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=411850>> Acesso em: 08 de abril de 2017.

KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; MODOLO, A. J. Avaliação da resistência mecânica de diferentes traços de solo-cimento estabilizados com areia. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7, n. 3, 2012.

LIBÓRIO, M.; SILVEIRA, P. **Paraty – Encantos coloniais**. Disponível em: <<https://www.westwing.com.br/magazin/lifestyle/paraty-arquitetura-colonial/>> Acesso em: 08 de abril de 2017.

LIMA, R. C. O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporado com resíduos de granito**. Dissertação (Engenharia Civil e Ambiental UFCG) Campina Grande, 2010.

LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas do núcleo urbano da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ**. Dissertação (Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro). Campos dos Goytacazes, RJ, 2006.

MIXMÁQUINAS. **Prensa para tijolo ecológico**. Disponível em: <http://www.mixmaquinas.com.br/tijolo_ecologico.html> Acesso em: 12 de maio de 2017.

MASSAGUAÇU S/A. **Agregados graúdos – brita**. Disponível em: <<http://www.massaguacu.com.br/pedras>> Acesso em: 08 de abril de 2017.

MEIRA, J. M. L. **Argilas: o que são, suas propriedades e classificações.** Comunicações Técnicas, 2001.

MINEROPAR. **Perfil da indústria de cerâmica do Estado do Paraná.** Curitiba, 2000.

SEGANTINI, A. A. S. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira - SP.** Tese (Engenharia Agrícola UNICAMP), Campinas, 2000.

SILVA, C. Z.; KOLLING, E. M.; SHIMOSAKA, T. J.; TABALIPA, N. L.; LUZ, C. A. Umidade ótima de compactação de solo-cimento para diferentes traços. Em: **13º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Canela, RS, out. 2010.

SKYSCRAPERCITY. Pato Branco/PR – Sudoeste do Paraná. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1942123>> Acesso em: 08 de abril de 2017.

TIJOTEC, Ltda. **Galeria.** Disponível em: <<http://www.ceramicatijotec.com.br/galeria.html>> Acesso em: 08 de abril de 2017.

VARELA, N.; VIEIRA, F. S. Cimento: Uma matéria-prima essencial no fabrico de argamassas. Em: **1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFAC**, Lisboa, 2005.