

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

GUSTAVO MITSUNORI HAYAKAWA

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO SOLO DISPONÍVEL NA
CIDADE DE GUARAPUAVA-PR PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE
SOLO CIMENTO DESTINADO À ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2015

GUSTAVO MITSUNORI HAYAKAWA

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO SOLO DISPONÍVEL NA
CIDADE DE GUARAPUAVA-PR PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE
SOLO CIMENTO DESTINADO À ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil/DACOC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Sergio Roberto O. Q. Braga
Co-orientadores: Marcelo Guelbert e Fábio Kruger.

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO SOLO DISPONÍVEL NA CIDADE DE
GUARAPUAVA-PR PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE SOLO CIMENTO
DESTINADA À ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

por

Gustavo Mitsunori Hayakawa

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14h 40min do dia 27 de novembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

(UTFPR)

Co-orientador

Prof. Me. Adalberto R. de Oliveira

(UTFPR)

Prof. Esp. Sergio R. Braga

(UTFPR)

Orientador

Prof. Me. Valdomiro L. Kurta

(UTFPR)

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me abençoar e me dar forças para superar os obstáculos, é alicerce que me sustenta diante das dificuldades do dia-a-dia, meu guia na hora de escolher o caminho correto e meu grande orientador nas tomadas de decisões importantes.

À minha mãe Elizabete, por ser meu maior exemplo e minha melhor amiga. Pessoa dedicada à família e exímia profissional. Agradeço pelas palavras nos momentos de fraqueza, pelo amor incondicional que sempre demonstrou, pela confiança que depositou em mim e por todos os momentos que passamos juntos e aqueles que estão por vir. E ao meu pai Oscar, por seu caráter e exemplo de pessoa. Pelo companheirismo e todo apoio necessário a minha educação como pessoa. Sempre demonstrando paciência e vontade de ensinar, demonstrando comprometimento e dedicação com seus deveres e se tornando uma referência a ser seguida, me mostrou passos que irei seguir para o resto da vida.

Ao meu irmão Guilherme que sempre foi exemplo para mim por sua perseverança e determinação e a meu irmão Gabriel, pelo amor e companheirismo. Meus grandes parceiros ao longo dos anos, que sempre se prontificaram a enfrentar as dificuldades ao meu lado e torceram pelo meu sucesso.

Aos meus amigos de república João, André e Oswaldo que além de amigos se tornaram irmãos e foram essenciais neste pequeno intervalo de tempo criando vínculos que levaremos para sempre.

Aos meus amigos do Bonde do Éderson, que levarei sempre na lembrança por todos os momentos de descontração e que também não mediram esforços para me ajudar quando foi necessário. Em especial, ao Marcel, Rodrigo, Willian, Cintia e Fabiana e Guilherme por sempre disporem de carinho e amizade nas horas que precisei.

A minha namorada Bruna, por estar ao meu lado apoiando em todas as decisões, pelo amor, pelas conversas diárias que complementam o dia-a-dia, por me ajudar a melhorar como pessoa sendo uma grande parceira e amiga principalmente.

À Universidade e seus professores, que foram importantes para formação não só como engenheiro, mas também como cidadão, ensinando os caminhos que devem ser seguidos para alcançar o sucesso tanto na profissão como na vida.

E por último, mas não menos importante, meu orientador Professor Sergio R. Braga e aos co-orientadores, Marcelo Guelbert e Fábio Kruger pela amizade, instrução, profissionalismo, ajuda e paciência necessária para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

HAYAKAWA, Gustavo. **Estudo Da Viabilidade Técnica Do Solo Disponível Na Cidade De Guarapuava-Pr Para Produção De Blocos De Solo Cimento Destinado À Alvenaria De Vedação** 2015. 62 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Este estudo teve como objetivo realizar uma análise técnica do solo disponível na região de Guarapuava – PR, para correlaciona-la à viabilidade da implantação de uma fábrica de tijolos solo cimento em Penitenciária Industrial. A estrutura do trabalho contempla a revisão da literatura que aborda os temas de classificação textural do solo, caracterização do mesmo, mistura de solo e cimento e resistência da mistura. E na caracterização do solo, verificou-se uma matéria prima não ideal para uso nesse produto. A solução possível para especificações não atendidas seria a correção desse solo com estabilizadores, no caso a areia, fazendo necessário um novo estudo para elaboração de dosagens economicamente viáveis.

Palavras-chave: Classificação textural; Solo cimento; Viabilidade de implantação; Penitenciária Industrial; Guarapuava.

ABSTRACT

HAYAKAWA, Gustavo. **The Technical Feasibility Study Soil Available in the city of Guarapuava -Pr to Produce Soil Cement Blocks to Seal Masonry** 2015. 62 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

This study aimed to make a technique analysis of available soil in Guarapuava- PR region, to correlate it with the feasibility of implementing a soil cement brick factory in Industrial Penitentiary. The structure of work contemplates the literature review that addresses the issues of textural soil classification, characterization of the same, mixture of soil and cement, and resistance of mixture. Characterization of the soil, there was a raw material not ideal for use in this product. Possible solution to unmet specifications would be the correction soil with stabilizers, and in case the sand, it is necessary a new study for the development of economically viable dosages.

Keywords: Textural classification; Soil cement; Implementation feasibility; Prison Industrial; Guarapuava

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Processo de endurecimento do cimento.....	21
FIGURA 2 - Classificação textural do USDA.....	23
FIGURA 3 - Gráfico de Plasticidade de Casagrande	29
FIGURA 4 - Tipos de blocos de cimento	34
FIGURA 5 - Prensa Semi automática MBR3.....	36
FIGURA 6 - Prensa Automática MBR4	37
FIGURA 7 - Prensa Hidro-Pneumática.....	37
FIGURA 8 - Mapa simplificado de solos do Paraná	41
FIGURA 9 - Legenda para classificação de solo do Paraná	42
FIGURA 10 – Estufa.....	44
FIGURA 11 - Aparelho de Casagrande.....	44
FIGURA 12 - Placa de vidro e gabarito.....	45
FIGURA 13 - Extrator hidráulico.....	45
FIGURA 14 - Localização de retirada “amostra 1”	47
FIGURA 15 - Localização de retirada “amostra 2”	47
FIGURA 16 - Distancia de trajeto.....	48
FIGURA 17 – Jazida amostra 1.....	49
FIGURA 18 - Penitenciária Industrial de Guarapuava (PIG)	50
FIGURA 19 - Ensaio de LL.....	52
FIGURA 20 - Dosagens de solo e cimento	54
FIGURA 21 - Soquete guiado.....	55
FIGURA 22 - Extrator de CP’s	55
FIGURA 23 - Gráfico para traçar o Limite de Liquidez.	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Limites das frações de solo pelo tamanho de grãos.....	17
TABELA 2 - Classificação de materiais de subleito de rodovias	25
TABELA 3 - Sistema unificado de classificação do solo	27
TABELA 4 - Terminologia do Sistema Unificado	28
TABELA 5 - Variação da resistência à compressão com Teor de cimento	31
TABELA 6 - Resultado do Limite de liquidez, amostra 1	57
TABELA 7 - Resultado do Limite de liquidez, amostra 2	57
TABELA 8 - Resultado do LP, amostra 1	58
TABELA 9 - Resultado do LP, amostra 2	58
TABELA 10 – Granulometria por peneiramento	58
TABELA 11 – Granulometria por peneiramento	59
TABELA 12 – Ensaio de Compressão – amostra 1.....	60
TABELA 13 – Ensaio de Compressão – amostra 2.....	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 SOLO.....	17
2.2 CIMENTO	20
2.3 CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SOLO.....	22
2.4 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM O COMPORTAMENTO DA ENGENHARIA	23
2.5 SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO <i>AASHTO</i>	24
2.6 SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (SUCS)	26
2.7 SISTEMA SOLO-ÁGUA	29
2.8 SOLO-CIMENTO	30
2.9 BLOCOS DE SOLO-CIMENTO	32
2.9.1 Vantagem do Bloco de Solo-Cimento.....	32
2.9.2 Adversidade do Bloco de Solo-Cimento	33
2.9.3 Tipos de Bloco Solo-Cimento	33
2.10 PROCESSO DE FABRICAÇÃO	34
2.10.1 Preparação do Solo.....	34
2.10.2 Dosagem e Mistura do Solo Cimento	35
2.10.3 Moldagem dos Blocos	36
2.10.4 Cura e Armazenamento	38

2.11	DEMAIS APLICAÇÕES DO SOLO-CIMENTO	39
2.11.1	Utilização do Solo-Cimento em camadas de pavimentos.....	39
2.11.2	Paredes Monolíticas	40
2.12	SOLOS PREDOMINANTES DA REGIÃO DE GUARAPUAVA- PR.....	41
3.	METODOLOGIA	43
3.1	MATERIAIS	43
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	45
3.3	MÉTODOS	45
3.3.1	Caracterização da área	46
3.3.2	Escolha do solo	46
3.3.3	Caracterização do Empreendimento	47
3.3.4	Caracterização do Solo	50
3.4	LIMITE DE CONSISTÊNCIA	51
3.4.1	Limite de Liquidez (LL)	51
3.4.2	Limite de Plasticidade.....	52
3.4.3	Índice de Plasticidade.....	52
3.4.4	Granulometria por peneiramento.....	53
3.5	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES.....	53
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	Caracterização do solo.....	56
4.1.1	Limite de Liquidez	56
4.1.2	Índice de Plasticidade.....	57
4.1.3	Granulometria por peneiramento.....	58
4.1.4	Classificação do solo.....	59
4.2	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES	60

5. CONCLUSÕES	62
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS.....	64

LISTA DE SIGLA

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DER/PR – Departamento de estrada e Rodagem do Paraná

AASHTO – Associação Americana de Rodovias Estaduais e Autoridades de Transporte

SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e transporte

CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento do Estado da Bahia

Mpa – Mega Pascal

1. INTRODUÇÃO

A área da construção civil é um grande consumidor de recursos naturais e gerador de muitos resíduos. Considerando a importância desse segmento na transformação do meio ambiente, o setor é cada vez mais objeto de preocupação. E para superar estes problemas ambientais faz-se necessário a busca de novos materiais e técnicas construtivas visando uma boa relação custo e qualidade, reduzindo os desperdícios (GARÉ, 2011).

Os blocos de solo-cimento, por exemplo, são materiais fabricados a partir da compactação da mistura do solo, matéria-prima abundante, e cimento seguido da hidratação, resultando em um material resistente, durável e de baixa agressividade ambiental que podem facilmente atender as necessidades para solucionar o problema em questão.

Estudos comprovam as vantagens da utilização deste material para a construção civil como, disponibilidade de abastecimento, funcionalidade de seus equipamentos, permitindo uma operação direta no canteiro de obras independentemente da sua localidade, facilidade no manuseio devido aos encaixes que agilizam a execução da alvenaria e economia de transporte quando produzido no próprio canteiro.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é a análise da viabilidade técnica da matéria primada produção de alvenarias em solo-cimento, visando a implantação desse método construtivo, como alternativa ao sistema construtivo convencional que utiliza blocos cerâmicos ou blocos de concreto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica da utilização do solo disponível no município de Guarapuava – Pr na produção de blocos de vedação de solo cimento.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO

Para que seja possível atingir o objetivo geral, alguns objetivos específicos devem ser alcançados, como:

- Analisar, por meio de uma estratégia metodológica experimental, os materiais a serem utilizados na confecção de produtos de solo-cimento;
- Avaliar o comportamento mecânico de misturas binárias e em corpos de prova cilíndricos;
- Estudar e caracterizar o solo disponível na fabricação dos blocos de solo cimento;
- Complementar o trabalho que analisa a viabilidade econômica e financeira da implantação de uma fábrica de solo cimento em uma penitenciária industrial, no âmbito de termo de cooperação técnica firmado entre a Universidade tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e um empreendedor local;

1.2 JUSTIFICATIVA

A produção de bloco cerâmico tem como matéria-prima a argila que pode ou não receber aditivos, e apresenta a coloração avermelhada, e no processo de fabricação ocorre a queima em elevadas temperaturas (BARBOSA, 2011). Logo é notória duas operações de perturbação ambiental, a extração da argila e a queima dos blocos cerâmicos. Nesse contexto, os blocos de solo cimento entram como alternativa para a construção civil.

A busca de inovações construtivas, a reciclagem de resíduos, o desenvolvimento sustentável e a eliminação do desperdício no canteiro e obra são fatores que justificam parte da pesquisa. Sendo assim, é de grande relevância o estudo em questão, que propõe uma tecnologia da construção com menor utilização de matérias-primas.

Atualmente, o cenário da construção civil não vem sendo lucrativo, no que diz respeito ao aumento de ganhos e expansão do mercado. Sendo assim, segundo Trigueiro (2005), as empresas precisam estar atentas às demandas da sociedade, e

a questão ambiental é uma dessas, que tem sido preocupação crescente, seja em países desenvolvidos ou não, pois a quantidade de resíduos deixados por construções tornou-se o centro das discussões da sustentabilidade.

O solo se apresenta com material de construção que pode ser oportuno, devido sua abundância, sua facilidade de obtenção, de seu baixo custo e sua relativa facilidade de aplicação, tendo que, esse é um dos mais antigos materiais de construção, que pode ser utilizado em diversos meios na habitação, além de serem queimados.

O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade técnica do solo, com o intuito, a possível instalação de uma fábrica de tijolo de solo cimento na cidade de Guarapuava – PR com toda produção, no primeiro ciclo de vida do empreendimento, voltada para construção de casas de um novo bairro da cidade. A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão, em parceria com empresários, tem como objetivo comum, promover auxílio à comunidade, pois a fábrica pretende ser instalada em uma Penitenciária industrial.

Entretanto, fez-se necessário realizar um estudo em paralelo entre, o plano de negócio para verificar a viabilidade econômica e financeira do empreendimento (viabilidade de implantação), e a viabilidade técnica do solo que será disponível para extração e produção na região.

Diante dessa proposta inicial de implantar uma fábrica de tijolos de solo cimento na Penitenciária Industrial de Guarapuava (PIG), será desenvolvido neste trabalho, um estudo sobre a classificação textural do solo e sua viabilidade de uso como base da mistura, visando à utilização deste para blocos de alvenaria. Contudo, como já dito, um projeto em paralelo a este foi elaborado na *UTFPR*, no intuito de integrar as duas pesquisas para obter-se um objetivo mútuo.

Portanto, é necessário verificar a viabilidade do empreendimento e da matéria-prima, ou seja, realizar um levantamento detalhado através de um plano de negócios e análise de qualidade do produto, como ferramentas para minimizar e reduzir riscos e incertezas neste mercado ainda novo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLO

Segundo Pinto (1997), os solos podem ser definidos como um conjunto de partículas sólidas que provêm da desagregação de rochas por ações físicas e químicas. Configura-se assim, uma estrutura porosa, onde as partículas se encontram livres para se deslocarem. O comportamento dos solos depende da movimentação entre essas partículas sólidas, pois através dessas que ocorrem as alterações de volume das suas fases constituintes (ar, água e sólidos).

O primeiro aspecto de diferenciação entre os solos é o tamanho das partículas que os compõem. Em primeiro momento, nota-se que alguns tipos de solo possuem grãos perceptíveis a olho nu, e outros tão finos que, não se pode visualizar individualmente as partículas, principalmente quando este determinado solo está molhado.

Não é fácil identificar o tamanho das partículas apenas pelo manuseio do solo, porque grãos de areia, por exemplo, podem estar circundadas por uma considerável quantidade de partículas argilosas, estas por serem muito finas, acabam com a mesma aparência de uma aglomeração formada exclusivamente por uma grande quantidade destas partículas. Quando secas, argila e areia tem porte semelhante, mas quando úmidas, a aglomeração de partículas argilosas se modifica para uma pasta fina, enquanto a partícula arenosa revestida é facilmente identificada pelo tato (PINTO, 2002).

Ainda segundo o autor, intitulações são empregadas para as diversas faixas de tamanho de grãos. A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas define os limites para a classificação dos mesmos.

Tabela 1. Limites das frações de solo pelo tamanho de grãos

Fração	Lim. Definidos pela ABNT
Matação	de 25 cm a 1m
Pedra	de 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	de 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	de 2,0 mm a 4,8 mm

Areia média	de 0,42 mm a 2,0mm
Areia fina	0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005

Fonte: PINTO, (2002)

Para a utilização do solo como material de construção é necessário cautela, pois há possibilidades de ocorrerem problemas devido à complexidade desse elemento e sua heterogeneidade. Os conceitos que controlam a estabilização do solo, por exemplo, irão levar ao produto final, melhor estabilidade dimensional, aumento de resistência mecânica, controle de fissuração por retração devido à secagem, diminuição da permeabilidade e aumento da durabilidade (MIELI, 2009). Segundo a autora, essa estabilização pode ser feita de três maneiras: estabilização mecânica, física e química. A estabilização mecânica tem como embasamento a compactação por meio da aplicação de força, e os resultados desse método afetam a densidade, a resistência mecânica, a compressibilidade, a permeabilidade e a porosidade. A estabilização física atua diretamente nas frações de grãos de diferentes granulometria, desenvolvendo uma melhor proporção entre areia, silte e argila, assim ocasionando um maior empacotamento dos grãos. E a estabilização química ocorre quando outros materiais são adicionados ao solo, modificando suas propriedades ou por reação físico-química entre grãos e o material, ou criando uma matriz que aglutina e cobre os grãos.

“Quando o agente estabilizador do solo é o cimento ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento, formando um gel que preenche partes do vazio da massa e une os grãos adjacentes do solo, conferindo a ele resistência inicial; paralelamente a esse processo, ocorrem reações iônicas que provoca a troca de cátions das estruturas argilominerais do solo com os íons de cálcio provenientes da hidratação do cimento adicionado. Devido esta troca, o solo torna-se mais granular, a adesividade é reduzida assim como a sensibilidade à variação de umidade e à variação volumétrica tornam-se menores” (MIELI, 2009).

A escolha do agente estabilizador é influenciada por alguns fatores como, viabilidade econômica, finalidade da obra, características dos materiais e as propriedades do solo que se deseja corrigir ou adequar.

Abiko (1973) explica que é aconselhado o uso de estabilizadores, que se diferem em quantidades e tipos de acordo com a região; alguns desse são:

- Areia: a areia é um estabilizador para solos argilosos, evitando variações dimensionais excessivas, porém quando usado com solos muito argilosos é difícil conseguir uma mistura homogênea;
- Argila: a argila é um estabilizador para os solos muito arenosos e seu papel é de aglomerante das partículas de maiores dimensões;
- Cimento: utilizado sobretudo para estabilizar solos arenosos; é um produto relativamente caro, porém no Brasil seu emprego é largamente difundido;
- Cal: a cal: estabiliza bem os solos argilosos, porém leva muito tempo para atingir sua resistência máxima;
- Cal e cimento: utilização conjugada dos materiais acima mencionados; normalmente é empregada em solos argilosos.

No momento de compactação do solo, o teor de umidade tem grande importância, pois promove uma lubrificação das partículas, facilitando o preenchimento de todos os vazios. Abiko (1973), ao analisar sistemas de solo-cimento para componentes de alvenaria, indicou para solos arenosos o traço de 1:10, 1:12 e 1:14 (cimento: solo seco, em volume) e, para solos argilosos, a adição de 5% a 10% (em massa) de cal.

Estudos da aplicação do solo como base e sub-base de pavimentos mostrou que o solo arenoso é o melhor para estimular essa função. Esse estudo desenvolvido por Senço (2001), diz que o mesmo deve atender as seguintes condições:

- Ter no máximo 50% de silte + argila;
- Ter menos de 20% de argila;
- Não conter porcentagens significantes de impurezas e matéria orgânica;
- Limite de liquidez menor que 40%;
- Índice de plasticidade menor que 18%;
- Índice de grupo menor ou igual a 6;
- Quanto à classificação do solo segundo HBR (*Highway Research Board*), se faz necessária análise dos índices de consistência, conforme indicado a seguir (Tabela 2.):
 - A-2-4, A-1-a, A-1-b, e A-3 (todos);
 - A-4 com p menor ou igual a 50%;

- A-2-6 com IP menor ou igual a 18%;
- A-6 com p menor ou igual a 50% e IP menor ou igual a 18%;

2.2 CIMENTO

Segundo Associação Brasileira de cimento Portland (2002), o cimento Portland 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, o cimento Portland não se decompõe mais. Esse mesmo misturado com água, areia, pedra britada, cal e outros, resultam no “simples” e conhecido concreto.

Tecnicamente, o cimento Portland pode ser apresentado como aglomerante hidráulico e este é em geral produzido pelo clínquer moído com adição de gesso e demais componentes que definem seu tipo, que pode ser CP-I, CP-II E, CP-II Z, CP-II F, CP-III, CP-IV e CP-V ARI (MIELI, 2009). Ainda segundo a autora, a compreensão dos tipos de cimento e suas propriedades tecnológicas, aliada ao entendimento das variáveis que constituem os solos, significa ampliar as possibilidades de desenvolvimento do solo-cimento, na busca de um material de grande desempenho.

O processo de endurecimento em uma pasta de cimento e água estão associadas principalmente com a hidratação dos silicatos. A forma como eles reagem difere consideravelmente porém o produto final em ambos os casos é aproximadamente o mesmo: um gel coloidal de silicatos de cálcio hidratados que possuem composição e estrutura bastante indefinida. No cimento endurecido, este gel forma o principal agente aglomerante entre os grãos do cimento que ainda não reagiram e outros produtos cristalinos de hidratação, que são, hidróxidos de cálcio, aluminatos hidratados dentre outros (ABIKO, 1973).

O autor ainda esclarece que o endurecimento dos aglomerantes hidráulicos se divide em duas fases: a pega e o endurecimento propriamente dito, sendo esta divisão não muito precisa. A pega é o início do endurecimento que corresponde à uma descontinuidade na viscosidade da pasta; é definida encerrada a pega, quando essa pasta não se deforma mais sob ação de esforços moderados. No caso do cimento Portland, existe uma formação de compostos hidratados insolúveis entre o sulfato de

cálcio e a superfície dos grãos de aluminato tri cálcico após o contato com a água. Este gel aquoso fixa em sua superfície outras moléculas de água e as forças capilares e de adsorção resultantes criam uma ligação física entre os grãos de cimentos.

É possível observar com ajuda de microscópio as reações de hidratação de um cimento. Nas duas primeiras horas os grãos cristalinos e angulares do cimento são envolvidos por uma membrana gelatinosa de material hidratado. Em seguida esses grãos entram em contato com as respectivas membranas, causando uma diminuição de plasticidade, o que representa a pega (Figura 1).

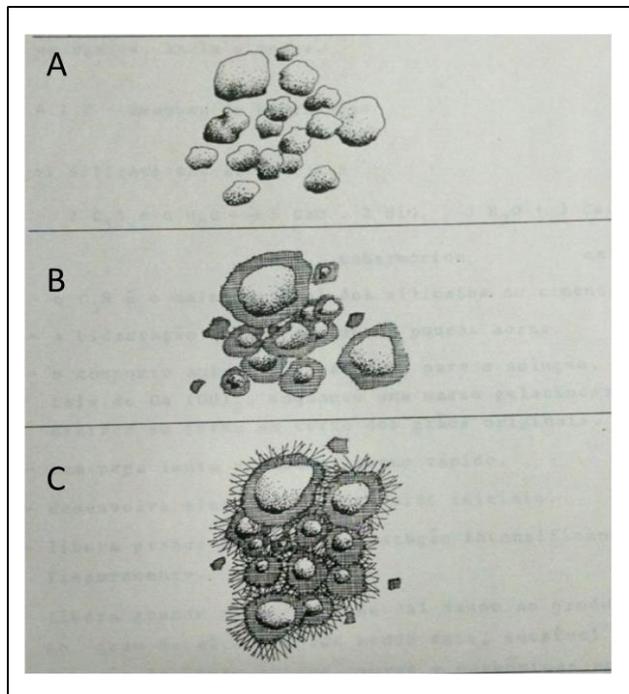


Figura 1. Processo de endurecimento do cimento. A - B: 2 primeiras horas; C: de 3 a 5 horas após a hidratação. Fonte: Abiko (1973).

Após 3 à 5 horas, se inicia um processo irreversível da resistência mecânica, onde nota-se uma mudança micro estrutural do elemento. A membrana gelatinosa que envolve os grãos de cimento desenvolve pequenas protuberância em sua superfície. Após algum tempo elas se transformam em fibrilas densamente empacotadas saindo radialmente dos grãos de cimento (ABIKO, 1973) (Figura 1).

O cimento utilizado é o cimento Portland comum CPC, sendo possível também a utilização do cimento Portland de Alto-Forno-EB-208 ou o cimento Portland Pozolânico-P-EB-758 (SENÇO, 2001).

2.3 CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SOLO

Para a classificação do solo, foram criados alguns sistemas que fornecem uma linguagem simples para expressar de forma precisa as características dos solos, que são infinitamente variadas. E dentro da área de engenharia, o sistema de classificação tem como sustentação propriedades de índices simples, tais como a distribuição granulométrica e a plasticidade. Ainda que, existam variados sistemas de classificação em uso, nenhum é totalmente definitivo para todos os elementos e para todas as aplicações possíveis (BRAJA, 2013).

De forma geral, Braja diz que a textura dos solos refere-se à aparência de sua superfície e é influenciado pelo tamanho das partículas individuais que ele contém. Na classificação textural, depende de seus componentes principais, tais como argila arenosa, argila siltosa dentre outros, para que sejam nomeados os solos.

Diversos sistemas de classificação textural foram desenvolvidos, com o intuito de atender necessidades individuais. O método desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) é baseado nos limites granulométricos, e diz que (Figura 2.):

- Tamanho da partícula de areia: 2,0 a 0,05 mm de diâmetro;
- Tamanho da partícula de silte: 0,05 a 0,002 mm de diâmetro;
- Tamanho da partícula de argila: menor que 0,002 mm de diâmetro.

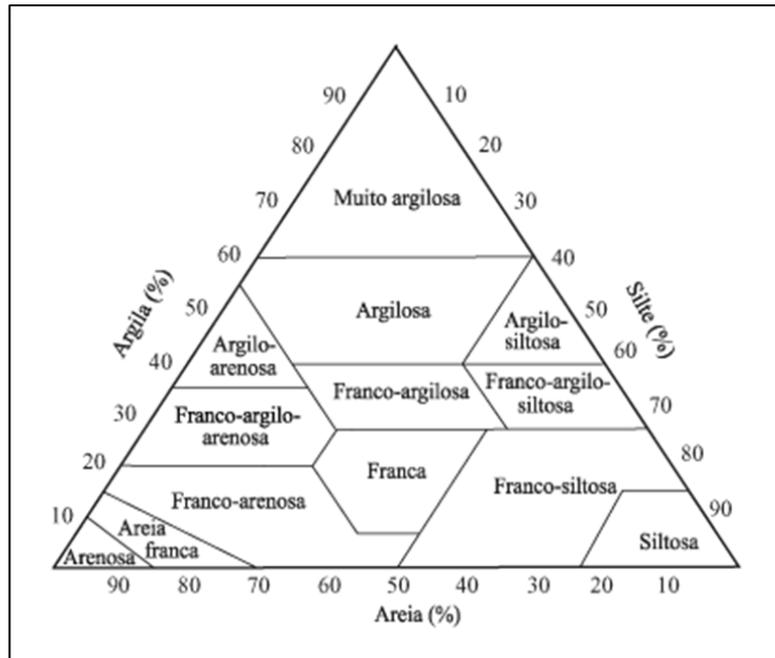


Figura 2. Classificação textural do USDA.
 Fonte: adaptado de BRAJA (2013).

2.4 CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM O COMPORTAMENTO DA ENGENHARIA

Das (2013), diz que é relativamente simples a classificação textural, no entanto é toda baseada na distribuição granulométrica. Assim sendo, os engenheiros geotécnicos devem considerar a plasticidade, que resulta da presença de argilominerais, para elucidar as propriedades do solo de forma apropriada. E tendo que, os sistemas de classificação textural não consideram a plasticidade e não indicam muitas das importantes propriedades, eles não são integralmente adequados para propósitos da engenharia.

Existem dois sistemas comumente utilizados pela engenharia, considerados mais elaborados, que são: o Sistema de Classificação da Associação Americana de Rodovias Estaduais e Autoridades de Transporte (*AASHTO*) e o Sistema Unificado de Classificação de Solos.

2.5 SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA AASHTO

O sistema de classificação de solos da AASHTO foi desenvolvido em 1929 como o sistema de classificação da administração de vias públicas. Depois de várias revisões, foi proposto pelo *Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads* da *Highway Research Board* em 1945 a presente versão.

A AASHTO categoriza o solo em sete grupos, de A-1 a A-7. Os solos que se enquadram aos grupos A-1, A-2 e A-3 são materiais granulares nos quais 35% ou menos das partículas passam pela peneira nº 200. Os solos nos quais mais de 35% das partículas passam pela peneira nº 200 pertencem aos grupos A-4, A-5, A-6 e A-7. Sendo que esses materiais contêm principalmente materiais do tipo silte e argila. Braja interpreta esse sistema do seguinte modo:

1. Tamanho dos grãos
 - a. Pedregulho: fração que passana peneira com abertura de 75 mm e fica retida na peneira padrão americano nº10 (2 mm).
 - b. Areia: fração que passa na peneira de padrão americano nº200 (0,075 mm).
 - c. Silte e argila: fração que passa na peneira de padrão americano nº200.
2. Plasticidade: o termo *siltoso* é aplicado quando as porções finas do solo apresentam índice de plasticidades de 10 ou menos. Já o termo *argiloso* é aplicado quando as porções finas apresentam índice de plasticidade de 11 ou mais.
3. Caso sejam encontradas pedras de mão e matacões (maiores que 75 mm), elas serão removidas da porção da amostra de solo que será utilizada para determinar a classificação. Mesmo assim, a percentagem desse material é registrada.

Tabela 2. Classificação de materiais de subleito de rodovias. Materiais granulares e Materiais argilosos-siltosos.

Classificação geral	Materiais granulares (35% ou menos da amostra total passam pela peneira nº200)						
	A-1		A-3	A-2			
Classif. grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análise granulométrica (% que passa)							
Nº10	Máx.50						
Nº40	Máx.30	Máx.50	Mín.51				
Nº200	Máx.15	Máx.25	Máx.10	Máx.35	Máx.35	Máx.35	Máx.35
Característica da fração na peneira Nº40							
Limite de Liquidez				Máx.40	Máx.41	Máx.40	Máx.41
Índ. de Plasticidade	Máx.6	Máx.6	NP	Máx.10	Máx.10	Máx.11	Máx.11
Tipos comuns de mat. Constituintes significativos	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia.		Areia fina	Pedregulho e areia siltosa ou argilosa			
Classificação geral do subleito	De bom a excelente						

Classificação geral	Materiais argilosos-siltosos (mais de 35% da amostra total passante na Nº200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 ^a A-7-6 ^a
Análise granulométrica (% que passa)				
Nº10				
Nº40				
Nº200	Mín.36	Mín.36	Mín.36	Mín.36
Características da fração que passa através da peneira Nº40				
Limite de Liquidez	Máx.40	Mín.41	Máx.40	Mín.41
Limite de Plasticidade	Máx.10	Máx.10	Mín.11	Mín.11
Tipos comuns de componentes signific.	Solos siltosos	Solos siltosos	Solos Argilosos	Solos Argilosos
Classificação geral	Ruim a Mediano			

Fonte: adaptado de DAS (2013)

Para a análise do solo de acordo com a tabela acima, é necessário um diagnóstico da esquerda para direita, por um método de eliminação.

O autor ainda cita, a necessidade em incorporar um número chamado *índice de grupo (IG)* com os grupos e subgrupos do solo. Esse índice é determinado pela equação:

$$IG = (F-200 - 35) * [0,2 + 0,005*(LL - 40)] + 0,01*(F-200 - 15)*(IP - 10)$$

Onde:

$F-200$ = percentagem que passa pela peneira Nº 200

LL = Limite de liquidez

IP = Índice de plasticidade

Dentro da determinação do índice de grupo, tem-se as seguintes regras:

1. Se a Eq.(5.1) resultar em um valor negativo para IG , é considerado o resultado 0.
2. O índice de grupo calculado com Eq.(5.1) é arredondado para o valor inteiro mais próximo.
3. Não existe limite superior para o índice de grupo.
4. O índice de grupo de solos pertencentes aos grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 e A-3 e sempre 0.
5. Ao calcular o índice do grupo para solos que pertencem aos grupos A-2-6 e A-2-7, use o índice do grupo parcial para IP , ou

$$IG = 0,01*(F-200 - 15)*(IP - 10)$$

2.6 SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (SUCS)

Casagrande em 1942, foi quem propôs esse sistema para ser utilizado em trabalhos de construções em campos de aviação realizado pelo corpo de Engenheiros do Exército, durante a Segunda Guerra Mundial (Tabela 3 e 4, Figura 3). De acordo com Das, 2013, esse sistema classifica os solos em duas grandes categorias:

1. Solos de granulação grossa que são naturalmente pedregulho e areia, cujo material que passa pela peneira nº 200 é menos que 50%. Os símbolos de grupo começam com um prefixo G ou S, onde G representa pedregulho ou solo pedregulhoso e S representa areia ou solo arenoso.
2. Solos de granulação fina cujo material passa 50 % ou mais pela peneira nº200. Os símbolos de grupo começam com prefixo M, que representa silte inorgânico, C para argila inorgânica ou O para siltes e argilas orgânicos. O símbolo Pt é utilizado para representar a turfa, humo e outros solos altamente orgânicos. O sistema unificado de classificação é apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Sistema unificado de classificação do solo.

Critérios para atribuir símbolos aos grupos			Símbolo de grupo		
Solos grossos Mais de 50% de material retido na peneira nº 200	Pedregulhos Mais de 50% da fração grossa retida na peneira nº4	Pedregulho puro	$Cu \geq 4$ e $1 \leq Cc \leq 3c$	GW	
		Menos de 5% de finos.	$Cu < 4$ e/ou $1 > Cc < 3c$	GP	
		Pedregulho finos.	c/ $IP < 4$	GM	
		Mais de 12% de finos.	$IP > 7$	GC	
	Areias 50% ou mais da fração grossa passa pela peneira nº 4	Areias puras.	$Cu \geq 6$ e $1 \leq Cc \leq 3c$	SW	
		Menos de 5% de finos de areia.	$Cu < 3c$ e/ou $1 > Cc > 3c$	SP	
		Areia com finos.	$IP < 4$	SM	
		Mais de 12% de finos de areia.	$IP > 7$	SC	
	Solos Finos 50% ou mais do material passa pela peneira nº200	Siltes e Argilas Limite de liquidez menor que 50	Inorgânico	$IP > 7$ $IP > 4$	CL ML
			Orgânicos	$LL - \text{seco} < 0,75$ $LL - \text{não seco} < 0,75$	OL
Siltes e argilas Limite de liquidez de 50 ou mais		Inorgânicos	IP acima da linha "A"	CH MH	

IP abaixo da linha
"A"

Orgânicos	LL- seco <0,75 LL- não seco <0,75	OH
-----------	---	----

*Solos altamente orgânicos - Matéria essencialmente orgânica, de cor escura e odor orgânico.

Fonte – Adaptado de Das (2013).

"a" Pedregulho com 5% a 12% de finos.

"b" Areias com 5% a 12% de finos.

"c" $C_u = D_{60}/D_{10}$; $C_c = (D_{30})^2/D_{60} \times D_{10}$

Resumidamente, todos os solos são identificados pelo conjunto de duas letras, como apresentado na tabela 4. As cinco letras superiores indicam o tipo principal do solo e as quatro seguintes correspondem a dados complementares.

Tabela 4. () – Terminologia do Sistema Unificado

G	Pedregulho
S	Areia
M	Silte
C	Argila
O	Solo Orgânico

W	Bem graduado
P	Mal graduado
H	Alta compressibilidade
L	Baixa compressibilidade

Pt	Turfas
----	--------

Fonte: Adaptado de PINTO (2002).

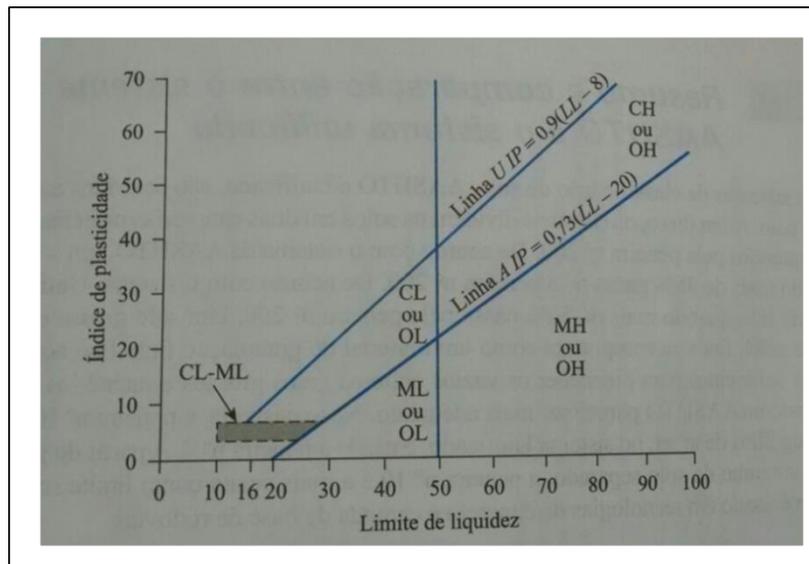


Figura 3. Gráfico de Plasticidade de Casagrande.
 Fonte: Adaptado de Das (2013).

2.7 SISTEMA SOLO-ÁGUA

Quando a água se encontra em contato com as partículas argilosas, as moléculas da água se orientam em relação às partículas do solo e seus íons. Devido às forças eletroquímicas, as primeiras camadas de moléculas de água em torno das partículas do solo ficam fortemente incorporadas. Tendo isso, a água apresenta comportamento bem distinto da água sólida (livre), pois não existe entre as moléculas a mobilidade das moléculas dos fluidos. A deformidade e resistência dos solos quando solicitados por forças externas depende do contato entre partículas desse, com moléculas de água aderidas (PINTO, 2002).

Ainda segundo o autor, quando duas partículas de argila, em contato com a água, estão muito próximas, ocorrem forças de atração e de repulsão entre elas. As forças de repulsão são em virtude das cargas líquidas negativas que elas possuem e que ocorrem desde que as camadas duplas estejam em contato. Já as forças de atração ocorrem através de ligações que atraem materiais adjacentes. E dentro dessas combinações de forças entre partículas, resulta a estrutura dos solos, que se refere à disposição das partículas na massa de solo e às forças entre elas.

2.8 SOLO-CIMENTO

O solo-cimento pode ser definido como uma mistura de solo granular, natural ou britado, com água e cimento. Tendo como fatores que influenciam o comportamento mecânico do mesmo, os materiais que o constituem e as suas propriedades, destes salienta-se o tipo de solo, características físicas e químicas, granulometria, comportamento perante a água e trabalhabilidade. Praticamente todos os tipos de solos podem ser “tratados”, através da estabilização, mas nem sempre esse método de correção é vantajoso economicamente, devido à grande quantidade de cimento necessário na mistura (MONTE, 2012).

Solos pertencentes à mesma série exigem normalmente a mesma percentagem de cimento para a estabilização bem sucedida com cimento.

O contato entre o solo, água e cimento, gera a conhecida cimentação. Quando essa mistura tem como base, um solo com grande quantidade de argila (com alta plasticidade), a necessidade de cimento aumenta. Em solos com grande percentagem de finos necessita de maior quantidade de estabilizadores, já, quando utilizado solo bem graduado, a cimentação torna-se mais efetiva (MATOS, 2006).

E Para o uso de solo-cimento é necessário que se tente melhorar o comportamento do cimento ou diminuir a quantidade desses, com recurso a aditivos. Como já dito, pode-se misturar um solo com características diferentes do existente, antes da estabilização de forma a melhorar as características finais da mistura. Para que sejam evitados os efeitos da matéria orgânica ou para facilitar a pulverização e mistura dos componentes, pode ser adicionado a cal.

Para que ocorra uma boa aceitação da mistura do solo com o cimento, é necessário o estudo sobre o teor de cimento da mistura, teor de umidade ótima antes da compactação, e o tipo de solo utilizado, sendo que esse entra em maior proporção na mistura. A dosagem de solo-cimento em geral pode ser determinada pelo Método Simplificado, recomendado para solos arenosos, esse utiliza tabelas e ábacos resultantes de experiências adquiridas com esse tipo de solo (SENÇO, 2001).

O cimento utilizado é o cimento Portland comum CPC, sendo possível também a utilização do cimento Portland de Alto-Forno-EB-208 ou o cimento Portland Pozolânico-P-EB-758. Já a água não deve conter teores nocivos de sais, ácidos, álcalis ou matéria orgânica, em termos quantitativos recomenda-se no máximo 30 g/L

de sais em solução, 5 g/L de matéria orgânica e substâncias em suspensão até 0,2%, expresso em SO₃, da soma de sulfatos existentes na água e no solo.

Tabela 5. Variação da resistência à compressão com Teor de cimento.

Solo	Teor de cimento (%)	Resistência à Comp. Aos 7 dias (Mpa)	Densidade seca (g/cm²)	Teor de água (%)
Argila Siltosa	7	2,4	1,78	16
	10	2,74	1,78	
	13	3,09	1,78	
Argila arenoso	7	1,78	1,87	14
	10	2,62	1,89	
	13	3,64	1,89	
	7	1,65	1,78	
Areia Argilosa	10	1,94	1,82	12
	13	2,69	1,84	
	7	1,44	1,78	
Areia de granulometria uniforme	7	1,44	1,78	10
	10	2,81	1,84	
	13	5,88	1,89	
Seixo mal Graduado	7	1,10	1,99	10
	10	2,47	2,01	
	13	3,84	2,04	

Fonte: Adaptado de Senço (2001).

No estudo de fissuras em paredes de solo-cimento, realizado por Nascimento *apud* Mieli (1993), foram utilizados para a produção dos painéis, blocos confeccionados com três tipos de solo, o argiloso, o arenoso e o areno-argiloso. Todos estabilizados com cimento (7% em massa). Os tijolos foram moldados através de prensa hidráulica e, durante o tempo de cura, foram devidamente zelados e mantidos úmidos durante 7 dias.

Tabela 6. Resultado de ensaios de tijolos de solo cimento

Tipos de Solo	Resistência à comp. Simples (Mpa)			Absorção de Água (%)	
	7dias	28 dias	90 dias	7 dias	28 dias
Argiloso	3,26	3,29	3,58	18,1	17,4
Areno-argiloso	2,48	3,03	3,38	12,9	12,9
Arenoso	3,82	3,9	4,55	12,9	11,9

Fonte: Nascimento *apud* MIELI (2009).

O Resultado dos testes de resistência à compressão simples e de absorção de água dos blocos ultrapassam os valores mínimos exigidos pela norma. Já com relação aos valores de absorção de água, os blocos apresentaram valores admissíveis. Dentre os três tipos de solos utilizados, o arenoso foi que apresentou melhores resultados.

2.9 BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

Entende-se como bloco solo-cimento o produto endurecido, resultado da cura de uma mistura homogênea compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagens controladas, conforme a NBR 12024 - Solo-Cimento – moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos, 1992.

Este tijolo tem características geométricas parecidas aos dos tijolos convencionais de barro cozido e assim, a construção com este elemento não se difere muito na questão funcional dos tijolos tradicionais.

2.9.1 Vantagens do Bloco de Solo-Cimento

Os blocos modulares ecológicos em estudo, segundo Taveira (1987), viabilizam uma construção limpa e com menor quantidade de resíduos e entulhos. A utilização desses, também facilita a execução da alvenaria, pois permitem a inserção das redes elétricas, hidráulicas e de comunicações entre os furos já existentes nos blocos.

Neves (1989) destaca que o bloco solo-cimento, constitui um elemento de viabilidade comprovada em diversos programas habitacionais realizados, devido à fácil assimilação dos operadores no manuseio de equipamentos e também pela mão-de-obra já familiarizados com o sistema construtivo em alvenaria. A FUNTAC (1999), também acrescenta como vantagem a possibilidade do bloco ser produzido com o próprio solo do canteiro de obras, assim reduzindo o custo de transporte.

Outra vantagem apresentada é o bom desempenho em conforto termo-

acústico, que pode ser comparado ao de alvenaria convencional (blocos cerâmicos). As construções com solo-cimento são muito confortáveis, pois a “terra crua” é má condutora de calor, podendo resistir à alta temperatura. (SILVA, 2005)

2.9.2 Adversidades do Bloco de Solo-Cimento

Casanova (1988) cita a dificuldade na obtenção de jazidas “homogêneas”, devida a alta variação na composição do solo, que podem conter substâncias deletérias ao processo de cimentação, inviabilizando a aplicação do mesmo. Também faz alerta para o fato de que, o solo estabilizado, pode apresentar patologias ao concreto quando está fora das especificações técnicas. Contudo, de acordo com Freire e Beraldo (*apud* PENTEADO, 2011, p.18).

No caso da não existência de um solo adequado próximo ao local da obra, é possível a mistura de solos. Por exemplo, caso haja um solo no local da obra ou próximo dela composto em sua maior parte por argila, é possível adicionar areia, obtendo-se assim o solo arenoso propício para a mistura.

Ainda assim, não será assegurada a viabilidade econômica da utilização e fabricação do mesmo, sendo necessário o planejamento para uma adequação viável dessa mistura.

2.9.3 Tipos de bloco de solo e cimento

Existe uma grande variedade de produtos no mercado composta por esses elementos, tais como alguns apresentados nas figuras abaixo.

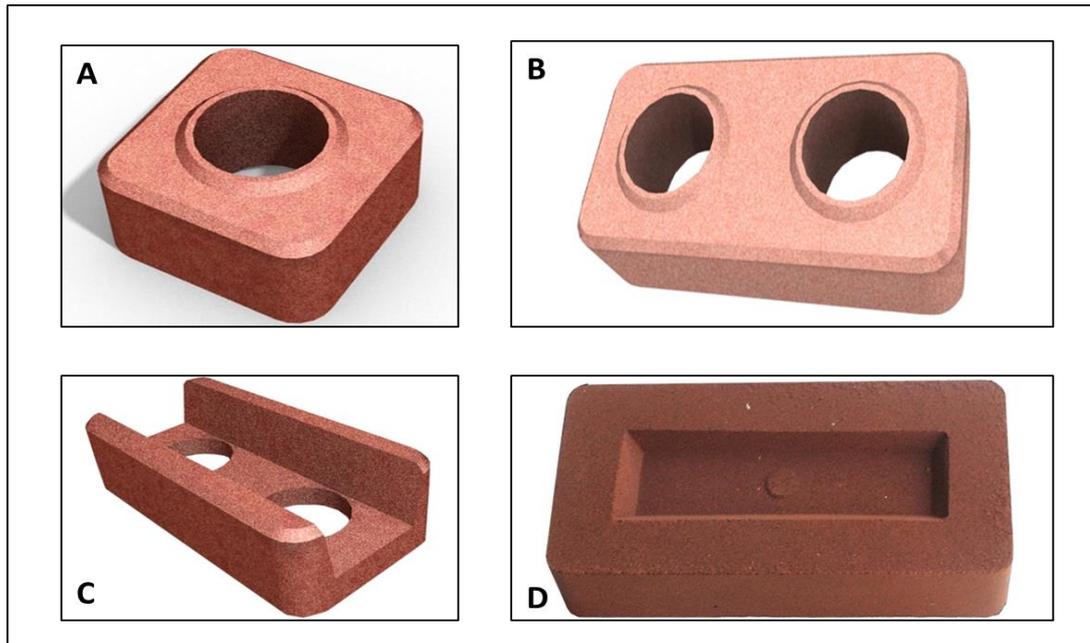


Figura 4. Tipos de blocos de cimento. **A:** Meio tijolo de solo-cimento. **B:** Tijolo Modular de solo-cimento. **C:** Tijolo Canaleta de Solo-cimento. **D:** Tijolo Maciço de solo-cimento.

Fonte: SAHARA, (2015).

A figura A mostra um modelo de tijolo ecológico de “meia vez”, produzido por máquinas hidráulicas. A figura B mostra um tijolo modular ecológico. E na figura C e D, mais dois blocos ecológicos de alvenaria, de mesma característica, mas com aplicabilidade diferente.

2.10 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O processo de fabricação dos blocos pode ser dividido em etapas, sendo essas a preparação do solo, dosagem e mistura do solo cimento, moldagem dos blocos e a cura junto ao armazenamento.

2.10.1 Preparação do Solo

Como já citado, o solo requer uma maior atenção em sua preparação. FUNTAC (1999) descreve que esse é retirado de jazidas e transportado para depósitos, onde devem ser armazenados em local de baixa umidade. Na preparação, é feita a desagregação dos torrões formados no solo, em seguida peneiramento, com remoção do material retido na peneira de abertura 4,8mm. Nessa fase de peneiração o solo deve passar em totalidade pela peneira de 4,8mm e em seguida, de 10 a 50% deste é passado pela peneira de 0,075mm.

Para que se obtenha uma melhor compactação e consistência da mistura é necessário um teor bom de umidade. Estudos realizados por Gomes Correia e Neves (1999) concluíram que uma completa hidratação do cimento é garantida com uma quantidade de cerca de 20% do peso do cimento, toda via, é preciso ter em conta a distribuição granulométrica do solo.

Mercado (1990) diz que, o solo pode determinar se a estabilização com o cimento será economicamente viável, pela análise de sua composição, e até mesmo indicar facilidades em procedimentos e no manuseio de misturas para fins de construções de alvenarias.

Blücher (*apud* GRANDE, 2003) ressalta que, o teor de matéria orgânica contida no solo pode resultar em experiências insatisfatórias, e considera um limite máximo de 2%.

2.10.2 Dosagem e Mistura do Solo Cimento

A dosagem do solo-cimento é determinada a partir de ensaios, seguida de uma interpretação por meio de critérios estabelecidos na experiência. O resultado de um estudo de dosagem, seria a estima de três itens: o teor de cimento, a umidade incorporada na mistura e a massa específica desejada. Dentre os três, a dosagem tem como maior cautela o teor de cimento, tendo em vista que a umidade e a massa específica passam a ser critérios de controle de mistura depois de fixados seus valores (ABCP, 2003).

2.10.3 Moldagem dos Blocos

Após adicionar a água e garantir que a mistura esteja em umidade ideal, a massa pronta é encaminhada do misturador até a prensa, onde o bloco é moldado. A compactação, utilizada para a moldagem, segundo Mitchell e Kati *apud* Silva (2005) é um dos métodos utilizados para melhoria dos solos.

O controle da compactação é um dos requisitos básicos para a confecção de peças utilizando a mistura solo-cimento. Esta compactação pode ser feita através de soquetes em laboratório ou prensagem do solo. Deve-se ainda tomar cuidado com os cantos dos tijolos onde a compactação pode não ser muito eficiente. (CEPED *apud* SILVA, 2005, p.18).

Podem ser encontrados no mercado diversos modelos de prensa, algumas podem ser verificadas nas figuras 5, figura 6 e figura 7.



Figura 5. Prensa Semi automática MBR3.
Fonte: RR Maquinas de Blocos, (2015)



Figura 6. Prensa Automática MBR4.
Fonte: RR Maquinas de Blocos, (2015)

As máquinas apresentadas nas figuras acima oferecem menor mão de obra para produção em relação à prensa manual. E o moderno sistema dessas prensas, permite que o sistema hidráulico permaneça em repouso, assim, diminuindo o aquecimento do óleo e de todos os seus componentes.



Figura 7. Prensa Hidro-Pneumática.
Fonte: Eco Máquinas, (2013).

2.10.4 Cura e Armazenamento

A NBR 12024 (1992) especifica que após a moldagem, os corpos-de-prova devem ser armazenados em uma câmara úmida, à umidade relativa maior ou igual a 95% e temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$. E esclarece que, para fins exclusivos de dosagem de solo cimento, o período de cura deve ser, obrigatoriamente de 7 dias. Porém, outras durações de cura podem ser consideradas para controle de obra, pesquisas, ensaios especiais e outros.

As recomendações de cura e armazenamento, de acordo com Pisani (2005), são as seguintes:

- Os elementos devem ser empilhados assim que retirados da "fôrma", para que não haja danos oriundos de grandes movimentações com o tijolo ainda úmido;
- O local de armazenamento deve ser em nível para que os elementos não sofram empenamento;
- As pilhas devem manter o número de fiadas de acordo com o peso e o formato do tijolo, para que não haja sobrecarga nas fiadas inferiores (seguir sempre recomendações dos fabricantes de equipamentos);
- Não é indicada a locomoção dos blocos nos primeiros dias de cura;
- Nos três primeiros dias de cura deve-se pulverizar água sobre os tijolos de duas a quatro vezes ao dia, dependendo da umidade relativa do ar e da temperatura, mantendo-os umedecidos;
- Não deixar os tijolos expostos diretamente ao sol;
- As pilhas podem ser cobertas com lonas plásticas ou impermeáveis durante os três primeiros dias, para minimizar a perda de água;
- Após sete dias, o material do tijolo apresenta uma resistência aproximada entre 60% e 65% da resistência de cálculo;
- Após 28 dias, a cura estará completa e o tijolo apresentará aproximadamente 95% da resistência total de cálculo. Este é o prazo ideal para transporte e utilização do tijolo.

2.11 DEMAIS APLICAÇÕES DO SOLO-CIMENTO

A utilização do solo com o cimento decorreu após estudos mais desenvolvidos na área, sobre a estabilização desses. O mesmo passou a ser usado, principalmente na pavimentação de estradas e paredes monolíticas, por exemplo. Somente ao final da década de 1940, por meio de algumas instituições, o Brasil resolveu utilizar o solo-cimento como material alternativo de construção.

2.11.1 Utilização do Solo-cimento em camadas de Pavimentos

O solo-cimento, como material de pavimentação não está ainda suficientemente estudado para uma aplicação mais generalizada. É um material que pode ser utilizado tanto em camadas do leito do pavimento como em camadas de base e sub-base. Ele consiste numa mistura com as mesmas matérias dos blocos: cimento, solo e água cujo principal objetivo é o de melhorar as características estruturais do pavimento.

Pela necessidade de estabilização a baixo custo de pavimentos, o cimento é aplicado na base da camada asfáltica, protegida por camadas de misturas betuminosas. O desenvolvimento só foi eficaz após a descoberta de determinadas propriedades fundamentais dos solos (MONTE, 2012).

De acordo com o autor, estes tipos de estruturação de pavimentos devem apresentar características que permitam satisfazer não somente requisitos de conforto ótico, acústico e de circulação, mas também evitar as reparações futuras e a necessidade de intervenções de conservação. E ainda neste contexto, um fator importante que é necessário ser lembrado, e que influencia a resposta estrutural e funcional do pavimento são as características dos materiais das camadas constituintes. .

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR) e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) dispõem normas sobre bases de solo-cimento, o DER/PR com “Pavimentação: solo-cimento e solo tratado com cimento” e o DNIT com “Pavimentos flexíveis – base de solo-cimento – especificações de serviço”.

Senço, 2001, determina que, para a mistura seja considerada solo-cimento, a proporção de cimento deve ser superior a 4% em peso, teores inferiores a esse são considerados apenas como solos corrigidos com cimento. Estes já não são destinados para uma execução que necessite de resistência e durabilidade. Existe também nesse cenário, o solo-cimento plástico, mistura de solo com cimento suficiente para sofrer o endurecimento e a água utilizada deve ser suficiente para dar à mistura uma consistência plástica parecida com a argamassa, com maior trabalhabilidade, e é utilizada para revestimento de taludes, valetas em função de canais, partes de pavimentos e também como preenchimento de vazios que ocorrem por baixo das placas de concreto dos pavimentos rígidos.

2.11.2 Paredes Monolíticas

O sistema de construção de paredes de forma monolítica foi desenvolvido pela CEPED, centro de Pesquisa e Desenvolvimento do Estado da Bahia, no âmbito do projeto THABA, tendo como premissa a utilização de materiais de fácil obtenção, adotando-se um sistema construtivo razoavelmente simples (ABIKO, 1973).

Esse método construtivo constitui-se em compactar porções de solo e cimento entre duas estacas que definem o alinhamento de uma parede e duas pranchas de madeira e elas solidarizadas.

Os autores também apresentam as etapas construtivas de uma residência em paredes monolíticas de solo-cimento, a fundação da residência em questão foi realizada em bloco ciclope devido ao tipo de solo e disponibilidade de material, após a impermeabilização já é iniciada a elevação das paredes monolíticas, sendo essas produzidas com formas de compensado naval com comprimentos variáveis e altura de 40 cm, o solo utilizado passa pelo processo de desagregação dos torrões e peneiramento para garantir uma boa compactação sendo esta, feita em camadas de 15 cm com um soquete que varia de 2,5 a 3,0 kg. As instalações elétricas e hidráulicas são dispostas em ranhuras preparadas durante a elevação das paredes, e o aspecto que toma a residência após sua conclusão se verifica (SOARES, TOMAZETTI E PINHEIRO, 2004).

2.12 SOLOS PREDOMINANTES NA REGIÃO DE GUARAPUAVA-PR

Guarapuava está localizada no centro-sul do estado do Paraná, nas margens da BR 277, principal Rodovia do Mercosul, que liga o Porto de Paranaguá ao Paraguai e à Argentina. Maak apud Ribas (2010) diz que, a região de Guarapuava estende-se entre os rios Piquiri e Iguaçu, na porção Centro-Sul do Paraná, fazendo parte do Terceiro Planalto, limitado a oeste pela calha do Rio Paraná e a leste pela Serra Geral ou Serra da Boa Esperança.

Condições climáticas de excedentes hídricos, determina uma combinação de fatores que justifica as características típicas dos solos da região. Conforme Bayer *et al.* apud Ribas (2010), devido à alta taxa de intemperismo, os solos da região de Guarapuava têm como principais minerais na fração argila a caulinita, os óxidos de ferro (goethita e hematita) e de alumínio (gibbsite). Os autores ainda afirmam que os teores desses elementos encontrados na região são bastante superiores aos normalmente verificados em outros tipos de solo formados a partir do mesmo material de origem, o que determina características químicas peculiares aos solos desta região.

Tendo outras referências para a classificação geológica da região, evidenciamos o mapa da EMBRAPA, abaixo.

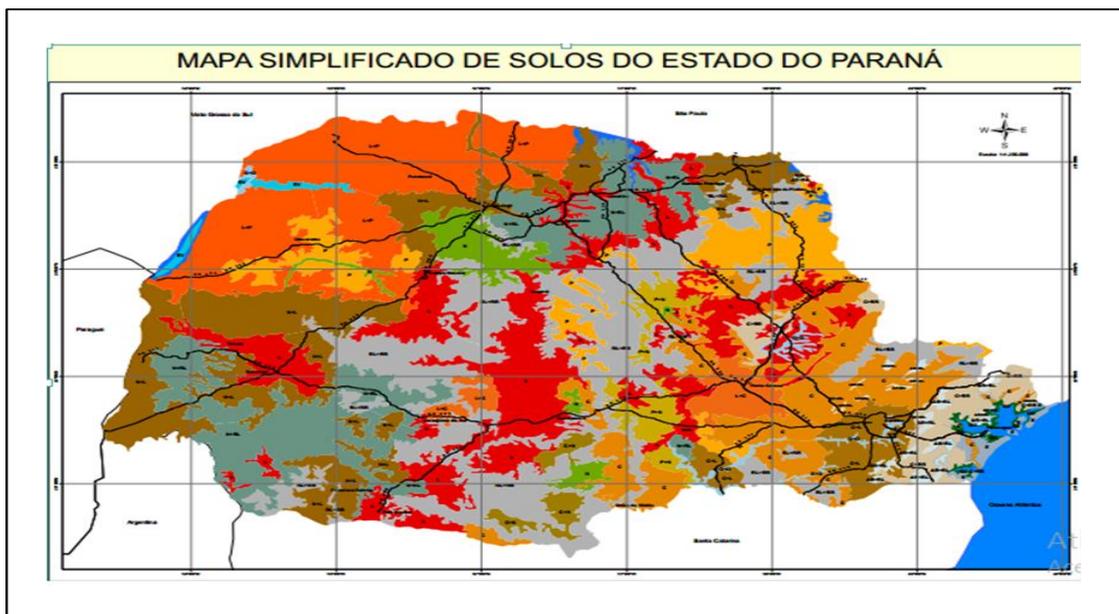


Figura 8. Mapa simplificado de solos do Paraná.
Fonte: EMBRAPA FLORESTAS

A figura acima é um mapa geológico que fornece uma representação geral de todos aqueles componentes de um ambiente geológico de significância para o planejamento do solo e para projetos, construções na aplicação em engenharia (UNESCO, 1976). Em específico, o mapa simplificado de solos do Paraná determina a geologia característica de cada localidade do estado, assim, evidenciando a região da cidade de Guarapuava e com o auxílio da legenda da figura abaixo, podemos apurar.

Legenda	
Classificação	
AR+RL - AFLORAMENTOS DE ROCHAS + NEOSSOLOS LITÓLICOS	C+L - CAMBISSOLOS + LATOSSOLOS
G+O - GLEISSOLOS + ORGANOSSOLOS	C+N - CAMBISSOLOS + NITOSSOLOS
RY - NEOSSOLOS FLÚVICOS	L - LATOSSOLOS
RL+RR - NEOSSOLOS LITÓLICOS + NEOSSOLOS REGOLÍTICOS	L+C - LATOSSOLOS + CAMBISSOLOS
E - ESPODOSSOLOS	L+P - LATOSSOLOS + ARGISSOLOS
P - ARGISSOLOS	N - NITOSSOLOS
P+N - ARGISSOLOS + NITOSSOLOS	N+RL - NITOSSOLOS + NEOSSOLOS LITÓLICOS
C - CAMBISSOLOS	N+L - NITOSSOLOS + LATOSSOLOS
C+RR - CAMBISSOLOS + NEOSSOLOS REGOLÍTICOS	GZ - GLEISSOLOS SÁLICOS
	Corpos de Água

Figura 9. Legenda para classificação de solo do Paraná.
Fonte: EMBRAPA FLORESTAS

A cidade de Guarapuava – PR, de acordo com o mapa classificatório, tem em sua área a predominância do Latossolo e uma proximidade com o Neossolo Litólico + Neossolo Regolítico. Sendo o latossolo um termo aplicado a solos de regiões tropicais e equatoriais cujas características predominantes estão associadas com baixos coeficientes sílica/sesquióxidos das frações de argila, reduzida atividade da argila, reduzido teor dos componentes solúveis, elevado grau de estabilidade dos agregados e com possível com avermelhada. E o Neossolo definido material mineral ou orgânico com menos de 40cm de espessura; rasos de relevo forte ondulado ou montanhoso e susceptível à erosão. Sendo estes bem providos de nutrientes devido à proximidade com o substrato rochoso (MACIEL FILHO, 2008).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os materiais e os procedimentos metodológicos que foram utilizados nesta pesquisa. E para o desenvolvimento da mesma, foi feito um estudo que aborda a preparação das amostras de solo e a caracterização das mesmas, versando uma busca por uma mistura ótima para uma produção adequada. Para que fosse possível esse desdobramento, foi necessária a pesquisa exploratória dos locais onde seriam retiradas as amostras de solo com a orientação do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte), indicando possíveis locais de retirada de solo, em Guarapuava – Pr. A sondagem dos locais de extração de amostra foram analisadas por dois dias, no mês de outubro de 2015, contando também com o auxílio de moradores da cidade, para localização dos pontos ideais.

3.1 MATERIAIS

Para a coleta *in situ* da amostra, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Pá;
- Sacos plásticos para amostras de até 35 kg;
- Trena;
- Veículo para transporte.

Para a caracterização das amostras de possíveis jazidas de solo, sendo que, para esta fez se necessário ensaios como, limite de liquidez, limite de plasticidade e granulometria, foi utilizado:

- Estufa com capacidade de manter temperaturas de 105 a 110°C (Figura 10);
- Cápsula de porcelana com 120 mm de diâmetro;
- Aparelho de Casa Grande e Cinzel (Figura 11);
- Balança Balmak ELP-10;

- Placa de vidro de superfície esmerilhada e gabarito de 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento (Figura 12);
- Balança de precisão;

Nos ensaios à compressão de corpos de prova cilíndricos, foram necessários os seguintes materiais:

- Extrator hidráulico e cilindro metálico pequeno (cilindro de Proctor) compreendendo o molde cilíndrico, a base e o cilindro complementar de mesmo diâmetro (colarinho) ($50 \pm 0,2$) mm e altura ($100 \pm 0,5$) mm;
- Soquete pequeno, consistindo em um soquete metálico com massa de (2500 ± 10) g e dotado de dispositivo de controle de altura de queda guiada de (305 ± 2) mm;
- Máquina de ensaio à compressão simples (Figura15);



Figura 10. Estufa



Figura 11. Aparelho de Casagrande.



Figura 12. Placa de vidro e gabarito



Figura 13. Máquina de compressão

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Dentro da proposta de explorar o perfil do solo para fabricação de compostos de solo-cimento, foi necessária elaboração de pesquisas para idealização de um projeto, com o intuito de aplica-lo também em benefício social.

Em primeiro momento, em caráter exploratório, foram feitas buscas por referências bibliográficas em bibliotecas e internet a respeito da matéria prima utilizada, dosagem, fabricação, vantagens e desvantagens, verificação da disponibilidade de solo adequado na região estudada, para que se pudesse fazer um estudo de caso, onde se permitiu obter um conhecimento mais amplo e detalhado para uma possível implantação de uma fábrica de solo-cimento.

Em sequência, o trabalho consistiu em uma série de ensaios laboratoriais, na cidade de Campo Mourão no Campus da UTFPR-CM (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) para que as amostras de solo fossem devidamente analisadas. O campus possui laboratório específico para área de Engenharia Civil, com materiais qualificados que possibilitaram o estudo dos ensaios. Serão utilizados equipamentos e aparelhagem de acordo com o descrito em normas.

3.3 MÉTODOS

3.3.1 Caracterização da Área

3.3.1.1 Escolha do solo

Uma das primeiras perguntas a se fazer é se o solo disponível perto do local da produção é adequado para a mesma. Ou se não for, qual o solo ou mistura de solos poderia ser empregado. As principais razões que limitam a utilização de solos ou mistura de solos são sua trabalhabilidade e sua resistência após a estabilização.

A trabalhabilidade do solo é inserida no contexto de indicador de maior ou menor facilidade em misturá-lo, umedecê-lo e compactá-lo. A trabalhabilidade depende dos equipamentos disponíveis e do processo construtivo adotado. Essa pode ser representada de forma genérica pelos limites liquidez e limite de plasticidade.

O processo construtivo se dificulta com a maior porcentagem de argila no solo e, sobretudo, tem-se o conhecimento de que altos teores de areia possibilitam um menor consumo de cimento.

Para estudo deste trabalho, procurou-se nas redondezas da penitenciária industrial de Guarapuava (PIG), alguma possível jazida que possibilitaria o fornecimento da matéria prima para produção do produto. Desta forma, foram coletadas duas amostras de localizações diferentes dentro da cidade, caracterizadas como “amostra 1” e “amostra 2”. Essas duas foram submetidas à análise de granulometria, Limite de Plasticidade e limite de liquidez.



Figura 14. Localização de retirada “amostra 1”.
Fonte: Google Maps.



Figura 15. Localização de retirada “amostra 2”.
Fonte: Google Maps.

Nas figuras acima, é ilustrado as localizações aproximadas dos pontos de extração da amostra 1 e 2, dentre estes, apenas o local da amostra 1 se encaixa na estimativa de volume de terra necessária para extração, ou propício para o fornecimento de matéria prima, dentro das devidas negociações. Amostra 1, localizado na Avenida 15 de novembro, no morro Alto da XV.



Figura 16. Distancia de trajeto.
Fonte: Google Maps.

A distância entre o possível ponto de extração e a PIG, tem o menor trajeto calculado em 4,4 km, com tempo estipulado no transporte, de 10 minutos em média. A figura 16 mostra o tempo estimado pelo Google Maps e a figura 17 o local de retirada da primeira amostra.



Figura 17. Jazida, amostra 1.
Fonte: Autoria Própria

3.3.2 Caracterização do empreendimento

Embora se considere que toda a região de Guarapuava seja o mercado alvo da “futura organização”, a pesquisa foi realizada somente na cidade. Delimitando mais ainda o espaço, o planejamento foi desenvolvido especificamente para ser executado em uma penitenciária industrial. Desta forma, não se aplica a outro local, pois existem fatores considerados vantajosos como, por exemplo, a ausência de aluguel, mão-de-obra relativamente barata e disposta a qualificações, entre outros que influem diretamente nos valores de fluxo de caixa. E ainda, o Plano de Negócio leva em considerações particularidades do local escolhido para a instalação da empresa, pois se deve seguir o regulamento interno da Penitenciária com relação aos seus colaboradores (KOIKE, 2015).

Para a produção dos tijolos, a proposta que Koike (2015) faz, é a instalação de uma fábrica onde serão necessários 5 funcionários trabalhando num período de 8 horas diárias para produção média de 2000 tijolos/dia.

Com a instalação da fábrica na Penitenciária a empresa contribui na parte social, pois proporciona oportunidades de inserção na sociedade para estes detentos oferecendo capacitação para o mercado de trabalho.



Figura 18. Penitenciária Industrial de Guarapuava (PIG)
Fonte: Autoria própria

3.3.3 Caracterização do solo

As caracterizações do solo foram executadas a partir de ensaios de consistências, a fim de classificá-los de acordo com suas características. Os sistemas de classificação de solo citados, AASHTO (Associação Americana de Rodovias Estaduais e Autoridades de Transporte) e Unificado, são baseados na textura e plasticidade do solo. Ambos sistemas dividem os solos em duas categorias principais, grãos grossos e finos, separados pela peneira n 200. De acordo com o sistema de AASHTO, um solo é considerado fino quando mais de 35% passa pela peneira n 200. E de acordo com o sistema Unificado, um solo é considerado fino quando mais de 50% passa pela peneira n 200. Um solo grosso que contém cerca de 35% de grãos finos se comportará como um material de granulação fina. Isso acontece porque há grãos finos suficientes para preencher os vazios entre os grãos grossos e mantê-los separados. Sendo assim, o sistema AASHTO parece ser mais adequado.

3.4 LIMITE DE CONSISTÊNCIA

Abiko (1973), simplifica o assunto da seguinte forma: O termo consistência é aplicado para descrever o estado físico do solo e está diretamente relacionado com a quantidade de água nele contido. A quantidade de água é influente para determinação da resistência e a formação do solo, contudo deve-se entender que a mesma quantidade de água pode influenciar de forma diferente em solos distintos. Quando uma argila é misturada com muita água ela se transforma em uma pasta que quase não tem coesão e se comporta como um fluido. Se a pasta formada for gradativamente sendo seca ela passa do estado plástico podendo então ser moldada. Se continuarmos a secar, começará a perder a plasticidade e sua resistência conseqüentemente aumentará até se tornar rígida. Esta transição pela qual a pasta de solo passa, não é abrupta, isto é, não são bem definidas. Os limites de consistência podem então ser definidos com critérios mais ou menos arbitrários.

3.4.1 Limite de Liquidez (LL)

Abiko (1973), simplifica o assunto da seguinte forma: se acrescentarmos água pouco a pouco a um solo coesivo, chegaremos a um ponto no qual as forças de atração das partículas cessará e a mistura irá se comportar como uma pasta fluida. O limite de liquidez (LL) é então definido como a quantidade de água necessária para levar o solo à este estado. E esta determinação (LL) é feita pelo aparelho de Casagrande, que consiste em um prato de latão em forma de concha, sobre um suporte de ebonite. Por meio de um excêntrico, imprime-se ao prato repetidamente, quedas de altura de 1 cm e intensidade constante. O teor de umidade, em termos percentuais, necessário para fechar uma distancia de 12,7 mm ao longo da base da ranhura após 25 golpes. Esse processo defini o *LL*, onde a figura 20 ilustra.

A norma brasileira, NBR 6459, dispõe sobre a determinação do limite de liquidez do solo.

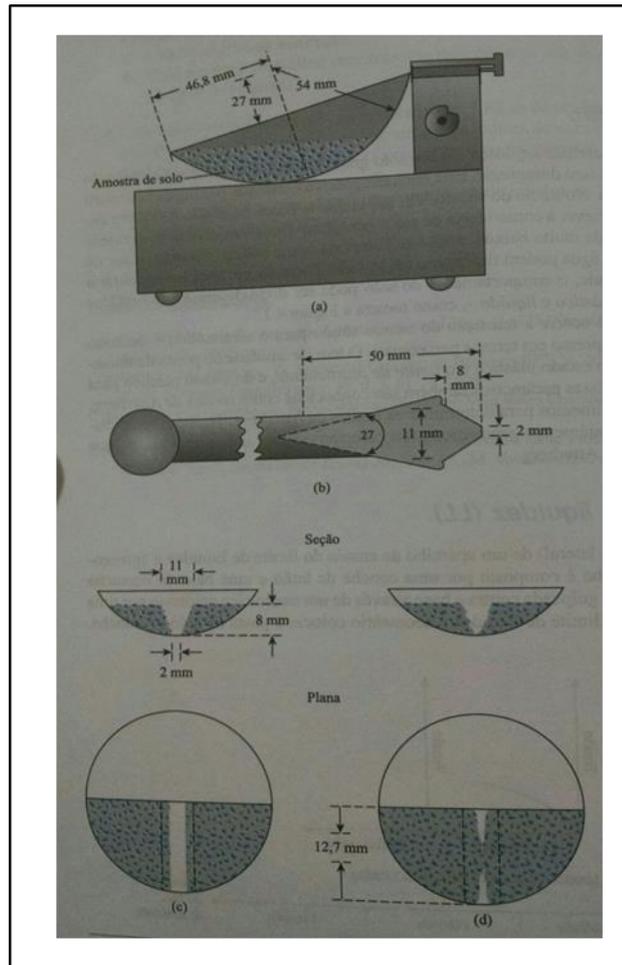


Figura 19. Ensaio de LL: (a) aparelho de teste; (b) cinzel; (c) amostra de solo antes do ensaio; (d) amostra após o ensaio.

3.4.2 Limite de Plasticidade

A umidade do solo na qual ele passa de um estado plástico para um estado semi-sólido é chamado limite de plasticidade. A *LP* é definida como a umidade que tangencia os estados plástico e semi-sólido de um solo, definida arbitrariamente como a menor umidade na qual o solo pode ser moldado na forma de cilindro de 3mm de diâmetro, sem se fragmentar.

Esse ensaio pode ser elaborado de acordo com a norma brasileira, NBR 7180.

3.4.3 Índice de Plasticidade

É o valor correspondente entre a diferença do limite de liquidez e o limite de plasticidade ($IP = LL - LP$). A zona em que o terreno se encontra no estado plástico, máximo para as argilas e nulo para areias, fornece um critério para se ajuizar do carácter argiloso de um solo. Assim quanto maior o IP, mais plástico será o solo (CAPUTO, 1983).

3.5 GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO

Para a realização deste ensaio, foram necessárias as consultas das seguintes normas técnicas:

- NBR 5734 – Peneiras para ensaio;
- NBR 6457 – Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização - Métodos de ensaio;
- NBR 7181 – Solo - Análise Granulométrica.

Iniciou-se o ensaio então passando o material na peneira nº10 (2,0mm). O material grosso retido nessa etapa foi lavado para que todas as partículas de materiais finos fosse retiradas. O processo também foi repetido utilizando a peneira nº 200 (0,075mm). As amostras então foram secas em estufa a uma temperatura de aproximadamente 105°C.

Com as amostras secas, o peneiramento teve início. Este procedimento consistiu em agitar as peneiras manualmente ou com auxílio de equipamento adequado, posteriormente verificou-se e pesou-se a quantidade de material retido em cada peneira.

3.6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

O ensaio de compactação seguiu sua respectiva norma, NBR 12023. É aplicado para solos que possuem 100% de partículas passantes na peneira 4, de

modo que os grãos sejam menores que 4,8mm. Foram realizadas 3 amostras para cada dosagem determinada, conforme determinado em norma.

As dosagens de solo e cimento foram determinadas, de acordo com a figura 20, com o auxílio de uma balança, e aplicadas no ensaio de proctor normal, onde as dosagens são compactadas em um molde de volume aproximado de 945 cm³. Estando então, o solo na umidade ótima, passou-se a misturá-lo juntamente com os aditivos até que esta mistura tornasse-se homogênea. Durante o ensaio em laboratório, o molde é fixado a uma chapa de apoio no fundo e a uma extensão no topo (colarinho).

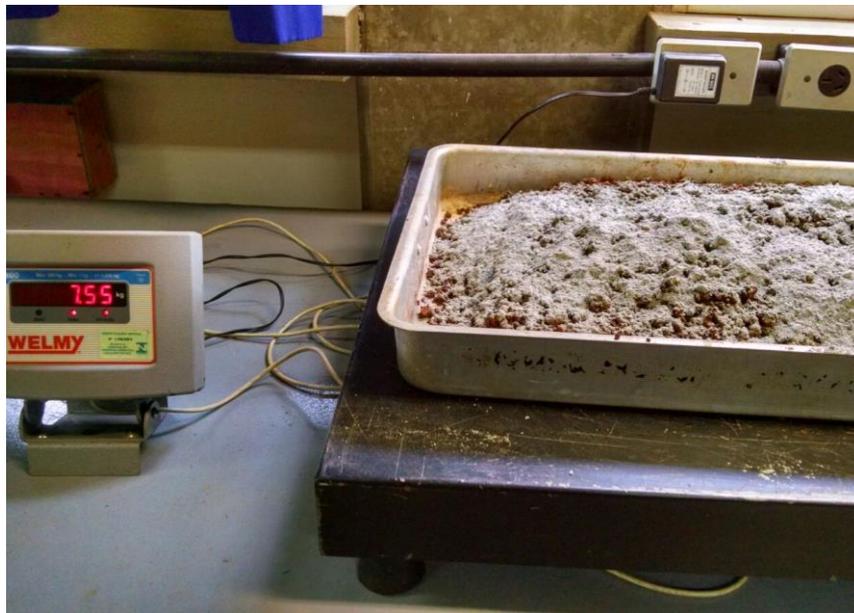


Figura 20. Dosagens de solo e cimento.



Figura 21. Soquete guiado



Figura 22. Extrator de CP's

Realizado o ensaio, foi obtido o valor da carga de ruptura e a fim de adquirir o valor de resistência do bloco este valor foi aplicado a equação.

$$f_c = \frac{F_{\text{máx}}}{A}$$

Onde:

f_c = Resistência à compressão dos blocos;

F_{max} = Carga de compressão aplicada;

A = A média das áreas superficiais das faces perpendiculares à carga.

Segundo a NBR 10834 (ABNT,1994) a média dos valores de resistência obtidos devem ser superiores a 2,0 MPa e os individuais de cada corpo de prova superiores a 1,7 Mpa, para blocos vazados.

Abiko (1973), através de resultados obtidos nos ensaios, definiu a resistência mínima para corpos de prova cilíndricos moldados em Proctor normal (figura 21 e 22 ilustram a moldagem dos corpos de prova), para análise de resistência de paredes monolíticas de solo cimento. E a resistência mínima admissível adotada foi de 0,75 Mpa para misturas empregadas em paredes que recebem telhados convencionais de telhas cerâmicas e de 0,5 Mpa para misturas empregadas em paredes que não recebem essa carga. Estes valores foram adotados supondo um coeficiente de segurança de 5.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Os ensaios de caracterização demonstra um solo de comportamento geral mediano a ruim para a produção dos blocos solo-cimento, não atendendo aos requisitos exigidos como limite de liquidez, limite de plasticidade e granulometria, os resultados serão apresentados nos tópicos a seguir.

4.1.1 Limite de liquidez

Como o solo utilizado para a fabricação dos blocos solo-cimento não possui diferenças significativas com o solo utilizado para base e sub-base de pavimentação pode-se comparar os resultados com o estudo de Senço (2001), logo analisando os mesmos pode-se afirmar que o limite de liquidez não atende a condição imposta pelo Senço de no máximo 40%.

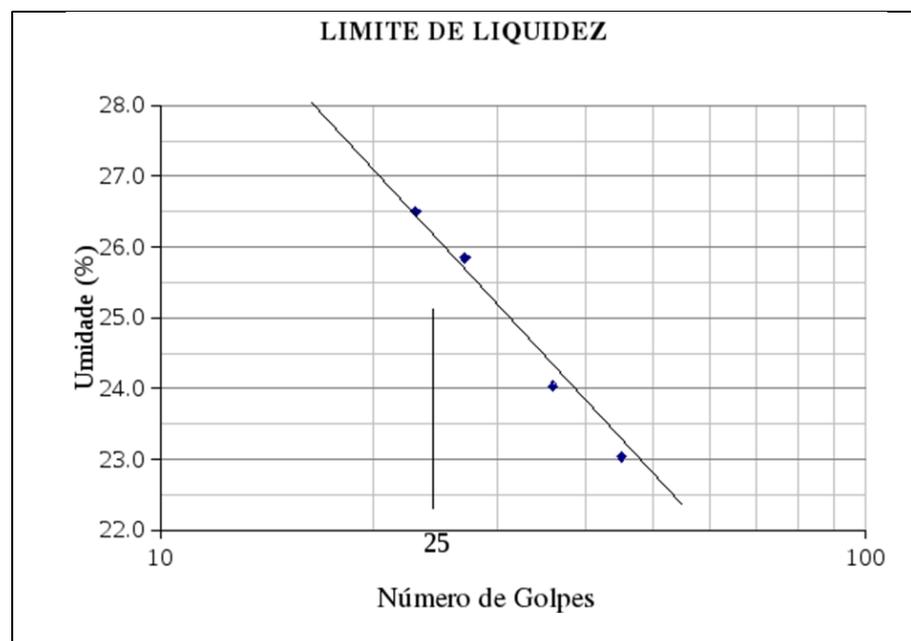


Figura 23. Gráfico para traçar o Limite de Liquidez.

Tabela 6. Resultado do Limite de Liquidez - Amostra 1.

N° capsula	Tara capsula(g)	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	umidade %	Média umidade %	N° de golpes
1	7,76	19,29	14,99	59,47	59,35	33
2	8,02	16,30	13,22	59,23		
3	7,98	18,47	14,4	64,42	64,53	28
4	8,05	14,80	12,15	64,63		
5	7,96	15,72	12,63	66,17	66,64	23
6	7,92	19,05	14,58	67,12		
7	8,20	16,79	13,25	70,10	70,33	19
8	7,96	21,52	15,91	70,57		

Traçando o gráfico chega-se no valor de 66,7 % de umidade (LL) para a amostra 1. Esse valor ultrapassa a percentagem considerada ideal para utilização na mistura de solo cimento, que é de 40%.

Tabela 7. Resultado do Limite de Liquidez – Amostra 2.

N° capsula	Tara capsula(g)	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	umidade %	Média umidade %	N° de golpes
11	8,55	16,82	13,75	59,04	59,34	30
12	5,25	11,62	9,24	59,65		
13	5,27	17,74	12,88	63,86	63,72	27
14	4,96	14,3	10,67	63,57		
15	5,98	15,68	11,61	72,29	71,99	23
16	5,01	19,62	13,52	71,68		
17	5,25	15,5	11,1	76,42	76,45	19
18	5,00	17,00	11,8	76,47		

Traçando o gráfico chega-se no valor de 69,7 % de umidade (LL) para a amostra 2. Sendo também, um valor alto para ser aplicado à mistura.

4.1.2 Limite de Plasticidade

Para o ensaio de limite de plasticidade foram realizadas duas análises para cada amostra.

Tabela 8. Resultado do LP, amostra 1.

Nº capsula	Tara capsula (g)	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	umidade e %	Média umidade %
9	8,34	10,10	9,57	43,09	44,35
10	8,27	9,93	9,41	45,61	

Tabela 9. Resultado do LP, amostra 2.

Nº capsula	Tara capsula (g)	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	Umidade e %	Média umidade %
19	5,20	7,10	6,46	50,79	50,62
20	5,24	6,91	6,35	50,45	

De acordo com Senço (2001) o índice de plasticidade (IP) deve ser menor que 18%, como o limite de liquidez foi de 66,7% e de plasticidade 44,35%, na amostra 1 aplicando-se a fórmula $IP = LL - LP$ tem se que o índice de plasticidade é igual a 22,35%, ou seja, não atendendo a condição.

E para a amostra 2, aplicando-se novamente a fórmula $IP = LL - LP$ tem se que o índice de plasticidade é igual a 19,08%, ou seja, apesar de próximo da também não atendendo a condição de Senço (2001).

4.1.3 Granulometria por peneiramento

O ensaio de granulometria surpreendeu as expectativas por mostrar-se com grande quantidade de argila na amostra 1 e 2.

Tabela 10. Granulometria por peneiramento, amostra 1.

Peneira Abertura (mm)	Peso retido (g)	% retida	% Passan-tes
1,2	0,255	9,4	
0,6	0,367	13,5	
0,42	0,293	10,8	

0,25	0,613	22,76
0,15	0,331	12,2
0,075	0,855	31,5
Total	2,714	100

O ensaio mostrou uma grande quantidade de argila com uma pequena de silte e areia.

Tabela 11. Granulometria por peneiramento, amostra 2.

Peneira Abert.(m m)	Peso retido (g)	% retida	% Passantes
1,2	0,352	13,9	
0,6	0,467	18,5	
0,42	0,392	15,5	
0,25	0,401	15,9	
0,15	0,254	10,1	
0,075	0,659	26,1	
Total	2,525	100	

Analisando a curva granulométrica pode-se afirmar que o solo é em sua maioria constituído por argila. De acordo com Senço (2001) o solo empregado para a fabricação de bloco solo-cimento poderia conter no máximo 50% de silte e argila, sendo a parte argilosa menor que 20%, tendo que nossa amostra nº 1 e amostra nº 2 apresentaram quantidade insignificativas de areia, de acordo com a classificação da tabela 1, nota-se um solo desconforme aos recomendados para a mistura.

4.1.4 Classificação do Solo

Com os resultados do limite de liquidez, limite de plasticidade e da granulometria do solo, é possível classifica-lo segundo a HRB. De acordo com a tabela 2, e segundo os dados dos ensaios realizados pode-se afirmar que o solo é classificado como ruim a mediano, dentro do grupo A-7-5, pois $IP \leq LL - 30$, sendo um material de má qualidade para os fins aplicados.

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A partir da análise da Tabela 12, permite-se dizer que os teores de cimento utilizado ao solo igual a 7%, 10% e 13%, satisfizeram a condição de resistência mínima proposta por Abiko (1973), para misturas empregadas em paredes monolíticas, alcançando uma média superior à de 0,75 MPa para a resistência à compressão simples aos 7 dias.

Tabela 12. Ensaio de Compressão – Amostra 1.

Teor de Cimento	C P	Ø CP (mm)	ÁREA CP (cm ²)	FORÇA (kN)	TENSÃO (MPa)	MÉDIA TENSÃO (MPa)	DESVIO PADRÃO
7%	1	99,7	7806,9	11,7	1,5		
7%	2	99,7	7806,9	9,1	1,16	1,4	0,192
7%	3	99,7	7806,9	12,0	1,54		
10%	1	99,7	7806,9	13,5	1,73		
10%	2	99,7	7806,9	12,8	1,64	1,77	0,154
10%	3	99,7	7806,9	15,1	1,94		
13%	1	99,7	7806,9	18,5	2,37		
13%	2	99,7	7806,9	16,9	2,16	2,16	0,205
13%	3	99,7	7806,9	15,3	1,96		

O mesmo resultado se deu para a amostra 2 (tabela 13), tendo que seus valores médios de compressão normal deram maiores do que o mínimo determinado por Abiko (1973).

Tabela 13. Ensaio de Compressão – Amostra 2.

Teor de Cimento	CP	Ø CP (mm)	ÁREA CP (cm²)	FORÇA A (kN)	TENSÃO (MPa)	MÉDIA TENSÃO (MPa)	DESVIO PADRÃO
7%	1	99,7	7806,9	12,7	1,63		
7%	2	99,7	7806,9	14,1	1,8	1,61	0,195
7%	3	99,7	7806,9	11,0	1,41		
10%	1	99,7	7806,9	18,0	2,3		
10%	2	99,7	7806,9	16,6	2,12	2,13	0,165
10%	3	99,7	7806,9	15,4	1,97		
13%	1	99,7	7806,9	19,3	2,47		
13%	2	99,7	7806,9	15,6	1,99	2,19	0,249
13%	3	99,7	7806,9	16,5	2,11		

O mesmo resultado se deu para a amostra 2, tendo que seus valores médios de compressão normal deram maiores do que o mínimo determinado por Abiko (1973).

5. CONCLUSÕES

Após os estudos e ensaios realizados pode-se afirmar que diante dos resultados apresentados, a matéria prima básica do composto de solo cimento disponível para extração e sugerida pelos empreendedores locais do município, revelou-se inadequada segundo suas características texturais, classificação segundo o sistema da *AASHTO* e por sua granulometria. Contudo, as resistências obtidas nas avaliações de resistência à compressão normal dos corpos de prova cilíndricos foram admissíveis para o emprego da mistura em paredes monolíticas.

No projeto em conjunto, que visa a viabilidade econômica do empreendimento, mostrou ser possível uma rentabilidade na instalação da fábrica de solo cimento, mas não levando em conta que a característica do solo prejudicaria a implantação, pois diferentes estabilizadores deveriam ser acrescentados à mistura para um melhor resultado final, assim, não garantindo um resultado lucrativo.

A pesquisa em estudo se torna rendoso pois a tecnologia depende do conhecimento científico e na maioria das vezes começa onde termina a atividade da ciência. Sendo isso, razão pela qual analisamos a interação solo-cimento.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A contração dos solos mesmo depois de seu emprego com estabilizadores é um fenômeno que ocorre nas construções com solo-cimento. Esta contração, mesmo que pequena, é notada até mesmo nos corpos de prova e principalmente em paredes monolíticas e blocos sendo responsável pelo aparecimento de fissuras e existem evidências de que a distribuição granulométricas e os argilos minerais presentes são algumas das variáveis que influem nisso, e seria necessário um estudo aprimorado nessa direção.

O resultado dos ensaios de compactação apresentaram valores adequados para utilização em paredes monolíticas, contudo não apresentou os requisitos mínimos para utilização da mesma para fabricação de blocos de alvenaria em solo cimento. Uma nova pesquisa pode ser feita com o auxílio de uma máquina hidráulica para certificar se resistência da mistura moldada será ou não ideal para construção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002.28.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: **Bloco Vazado de Solo-Cimento sem Função Estrutural**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457 – **Amostras de Solo** - Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. Rio de Janeiro, 1986

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12024: – **Solo Cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459 – Solo – **Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180 – Solo – **Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181 – Solo – **Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

ABIKO, A.K.**Tenologias apropriadas: Tijolos e predes monolíticas de solo cimento**. Dissertação (de mestrado). Escola politécnica de São Paulo,1980.

BARBOSA, Fernando B. et al. **Um comparativo entre os blocos cerâmicos utilizados nas edificações de caruaru: Estudos preliminares**. Semana de Ciência & Tecnologia 2. Caruaru 2011. Disponível em <http://www.cin.ufpe.br/~lsc4/snct2011/files/SNCTIFPE_0015.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2013.

CASANOVA, Francisco José. **Tijolos Solo-cimento com resíduos de construção**. Artigo. Revista Techne . 1988

CÓ, Fábio A. **A transdisciplinaridade fomentando o pensamento enxuto e sustentável na indústria da construção civil: a criação do modelo lean + green.** (CEFETES. em: <http://cettrans.com.br/artigos/Fabio_Almeida_Co_e_Jose_Rodrigues_de_Farias_Filho.pdf>

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** 2013. São Paulo: Cengage Learning.

GARÉ, J.C. **CONTRIBUIÇÕES DA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.** 2001. Dissertação – (Mestrado) Universidade Municipal de São Caetano do Sul.

GRANDE, Fernando M. **Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-Cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativada.** 2003. 165 f. Dissertação (Mestre em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em <<http://www.monteirotijolos.com/tese-solo-cimento.pdf>>.

KOIKE, O. T. **Viabilidade econômica e financeira para implantação de fábrica de tijolos solo cimento em penitenciária industrial.** 2015. 86 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

MACIEL FILHO, Carlos Leite. **Introdução a geologia de engenharia.** 2008. 3.ed. – Santa Maria: Ed. Da UFSM.

MIELI, Priscilla H. **Avaliação do Tijolo Modular de Solo-Cimento como Material na Construção Civil.** 2009. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MERCADO, M.C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes à sua produção e utilização em estudo de caso.** São Paulo. Dissertação (Mestrado) – FAU USP. 1990.

NEVES, C. M. M (1989). **Tijolos de solo-cimento.** IN: DEZ ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA HABITAÇÃO. Brasília. Anais. MINTER/PNUD. p. 141-166.

PENTEADO, Priscilla T., MARINHO, Raquele C. **Análise comparativa de custo e produtividade dos sistemas construtivos: alvenaria de solo-cimento, alvenaria de blocos cerâmicos e alvenaria estrutural com blocos de concreto na construção de uma residência popular.** 2011. 62 f. Trabalho de conclusão de curso

(Bacharel em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2011. Disponível em <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/375/1/CT_EPC_2011_2_22.PDF>

013. PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: O tijolo de solo-cimento. Sinergia**, São Paulo, v.6, n.1, p. 53-59, 2005. Disponível em <http://www.cefetsp.br/edu/prp/sinergia/complemento/sinergia_2005_n1/pdf_s/segmentos/artigo_07_v6_n1.pdf>. Acesso em: 14 out. 2013.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 Aulas**.2002. São Paulo: oficina de texto.

PINTO, C.S.(1997). **Estudo das propriedade estabilizadoras do cimento Portland e da cal hidratada**. São Paulo, IPT, pub. N. 687

RIBAS, Cilton. **CARACTERIZAÇÃO DA FERTILIDADE ATUAL DOS SOLOS DA REGIÃO DE GUARAPUAVA-PR. 2010**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadualdo Centro-Oeste,Paraná. Disponível em http://unicentroagronomia.com/destino_arquivo/1_dissert._final_cilton_ribas.pdf

SILVA, Ana P. M. **O uso de Tijolo de Solo-Cimento na Construção Civil**. 2013. 77 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SILVA, Sandra R. **TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO REFORÇADO COM SERRAGEM DE MADEIRA**. 2005. Disponível em <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8C5PAL/tijolos_de_solo_cimento_refor_ado..._sandra_regina_da_silva.pdf?sequence=1>

SOARES, José M. D.; TOMAZETTI, Rodrigo R.; PINHEIRO, Rinaldo B. **Habitação em Paredes Monolíticas de Solo-Cimento**. Teoria e Prática na Engenharia Civil. Santa Maria – RS.

TAVEIRA, Eduardo Salmar Nogueira e. **Construir, morar, habitar: o solo-cimento no campo e na cidade**. São Paulo: Ícone, 1987. 120 p.:

TRIGUEIRO, André. **Mundo sustentável: abrindo um espaço na mídia para um planeta em transformação**. São Paulo: Globo. 2005. Disponível em <<http://books.google.com.br/books?id=JGuWT7mLVgUC&printsec=frontcover&dq=Mundo+sustentavel+abrindo&hl=pt->

BR&sa=X&ei=LmsdUqLFBIKK9QSa84GIDg&redir_esc=y#v=onepage&q=Mundo%20sustentavel%20abrindo&f=false>.

UNESCO – IAEG. **Engineering geological maps. A guide to their preparation.**
Paris: The Unesco press, 1976.

