

CONSTRUÇÕES COM SOLO-CAL: CONSIDERAÇÕES SOBRE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA A UMA COMUNIDADE NA CIDADE DE JOÃO PESSOA

SOIL-LIME CONSTRUCTIONS: CONSIDERATIONS ABOUT TECHNOLOGY TRANSFER TO A COMMUNITY IN THE CITY OF JOÃO PESSOA

Jesus Charles do Amaral Nogueira¹

Verônica Rodrigues da Silva²

Thiago da Silva Almeida³

Alan de Oliveira Feitosa⁴

Antônio da Silva Sobrinho Júnior⁵

RESUMO

Desde os primórdios das civilizações, o homem foi levado pela necessidade de desenvolvimento de alternativas para conviver em sociedade, procura dominar o ambiente que o cerca, extraindo deste, os materiais com os quais possa construir os equipamentos necessários à urbanização dos aglomerados. Neste contexto, este trabalho volta-se para a análise da utilização da cal na construção de habitações de interesse social, principalmente como insumo para a fabricação de blocos e de paredes monolíticas. Abordar-se-ão as características dos materiais formadores de compósitos com cal, basicamente o solo com tendência argilosa, na construção de edifícios e outras obras urbanas, como forma de contribuição para a diminuição do déficit habitacional. Evidenciando as características do material solo-cal como adequado para construções de habitação de interesse social, confirmado, através dos ensaios de resistência à compressão, absorção d'água e durabilidade, bem como pela análise das condições de um protótipo após 18 anos da instalação.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais não convencionais. Solo-cal. Paredes monolíticas. Transferência de tecnologia. Avaliação pós-ocupação.

ABSTRACT

From the beginnings of civilizations man was led by the need to develop alternatives to live in society, seeks to dominate the environment that surrounds him, drawing from it the materials with which he can build the equipment necessary for the urbanization of clusters. This paper aims to present the development of a technology transfer experience on the use of soil-lime in the construction of social housing in a peripheral community in João Pessoa. It addresses the aspects of community organization and production organization related to the development of technology for the construction of a prototype of a monolithic wall. It presents soil-lime as an efficient non-conventional technology for the manufacture of pressed blocks, adobes, rammed earth and monolithic walls. It shows the characteristics of the soil-lime material as suitable for social housing constructions, confirmed by tests of resistance to compression, water absorption and durability, as well as the analysis of the conditions of a prototype after 18 years of installation.

KEYWORDS: Non-conventional materials. Soil-lime. Monolithic walls. Technology transfer. Post-occupancy evaluation.

1 - Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: jesuscharlesamaral@gmail.com

2 - Mestre em Antropologia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). E-mail: verapb45@gmail.com

3 - Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: thiago.silva@unipe.br

4 - Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: alan.oliveira@unipe.br

5 - Engenheiro civil, doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: sobrinhojr@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Desde o aparecimento das primeiras civilizações o homem, levado pela necessidade de desenvolvimento de alternativas para conviver em sociedade, procura dominar o ambiente que o cerca, extraíndo deste os materiais com os quais possa construir os equipamentos necessários à urbanização dos aglomerados.

A mudança da situação de nômade, em que prevalecia uma cultura de caçador para a situação de agricultor e produtor dos meios para sobrevivência pessoal e do grupo há aproximadamente 10000 anos, induziu a formação dos primeiros núcleos populacionais, os primeiros povoados (Barbosa,1996:2005).

Esta neolitização ocorreu em diversas partes do mundo, mas em diferentes épocas, sendo a consolidação da civilização com agrupamentos sedentários, precursores das cidades como nós as conhecemos, se iniciado pelo Oriente Médio, na faixa de 8000 a.C, enquanto que na América Central esta situação se estabeleceu por volta de 2500 a.C.

O estabelecimento da cultura sedentária só se consolidou, conforme evoluíram as técnicas agrícolas e pastoris, o que levou o homem neolítico a se agrupar como forma de adquirir maior segurança contra os bandos e clãs nômades e como estratégia de consolidação de um novo tipo de produção de subsistência.

O primeiro modelo de habitação - a vida em cavernas - paulatinamente foi substituído por outras formas de habitar na medida em que o homem passou sistematicamente a dominar o uso dos materiais e matérias primas naturais para fabricação de seus utensílios pessoais e construção de suas vivendas.

Diversos materiais foram utilizados neste processo. Primeiramente as pedras, os galhos e troncos de árvores, a palha, utilizados conforme a observação e a criatividade de cada povo.

Este artigo volta-se agora para a análise da utilização da cal na construção de habitações de interesse social, principalmente como insumo para a fabricação de blocos e de paredes monolíticas. Abordar-se-ão as características dos materiais formadores de compósitos com cal, basicamente o solo com tendência argilosa, na construção de edifícios e outras obras urbanas, como forma de contribuição para a diminuição do déficit habitacional.

Ao final, discute sobre a possibilidade de transferência de tecnologia, apresentando uma experiência de organização para a produção de componentes a base de solo-cal em uma comunidade periférica da cidade de João Pessoa, em 1995.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Analisar a possibilidade da adoção de sistemas construtivos a base de solo-cal, determinando as características dos materiais formadores e as características finais do composto, como forma de contribuir para a adoção de métodos e sistemas construtivos de baixo custo, com reduzido impacto ambiental, facilmente extensíveis à comunidade.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a composição e as propriedades físicas dos solos apropriados para estabilização com cal;
- Apresentar a composição química e as características físicas de uma cal hidráulica apropriada para utilização no sistema solo-cal;
- Apresentar os principais ensaios de caracterização do solo e da cal para produção de elementos construtivos no sistema solo-cal;
- Apresentar método de produção de blocos prensados e paredes monolíticas de solo-cal, com dimensionamento de formas e equipamentos;
- Sistematizar uma metodologia que possibilite a implantação de projetos de construção de paredes com blocos prensados e paredes monolíticas com solo-cal.
- Apresentar um estudo de caso de transferência de tecnologia com treinamento dos moradores de uma comunidade da cidade de João Pessoa.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A CAL

A cal, produto obtido pela calcinação do calcário, CaCO_3 , rocha sedimentar produzida a partir de depósitos de esqueletos de animais e conchas marinhas no fundo de mares e lagos, tem suas primeiras referências de uso na construção há pelo menos 12000 anos, ainda no período paleolítico (600.000 a 10000 a.C), havendo evidências de seu uso em regiões da Turquia. No Tibet, foram encontrados ruínas em que solo argiloso foi estabilizado com cal, na pirâmide de Shershi, e que datam de pelo menos 5000 a.C. Pesquisas, realizadas no Egito dão conta do uso da cal no revestimento da Pirâmide de Queóps e na argamassa de assentamento e vedação de blocos de granito e calcário na Pirâmide de Quefren, cujas construções são datadas entre 2600-2550 a.C (COELHO et al, 2009) e na tumba do Faraó Tutankamon (1339 a.C), onde também foram descobertos artefatos fabricados com calcita (COLLINS; OGILVIE-HERALD, 2004), mineral formador do calcário e do mármore.

Foi largamente utilizada na construção das Casbás, aglomerados edificados por povos nômades que transitavam em caravanas, pela região central da África, devido a necessidade de entrepostos de pouso que fornecessem segurança quanto a ataques de tribos locais. Data de cerca de há pelo menos 4.000 anos o aparecimento de monumentais castelos de terra com uso da cal como aglomerante em rudimentares compósitos do tipo solo-cal, se bem que sua existência remonta a pré-história.

A civilização romana agregou cinzas vulcânicas à cal, produzindo o cimento romano, que reunindo restos de cerâmica e pedras, naturais ou recicladas de outras construções, conseguiu produzir monumentais obras de engenharia como o Panteon Romano e os famosos aquedutos, que desafiam o passar das gerações (Barbosa, 1996:2005).

Atualmente, tanto o calcário quanto a cal são dois insumos largamente empregados na construção civil, sendo utilizados desde a fundação do tipo sapata corrida, até como componente das argamassas e na composição do cimento Portland, entre outras aplicações (GUIMARÃES, 1997).

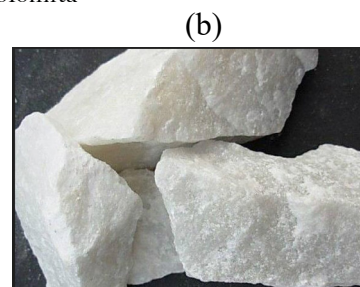
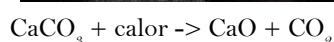
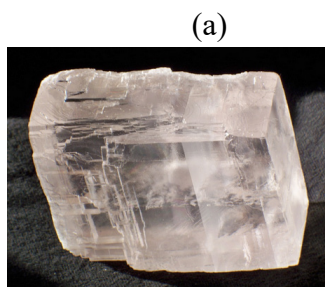
As primeiras “caieras” para fabricação da cal virgem, a partir de conchas marinhas, foram implantadas no Brasil, durante o período colonial, por volta de 1549 como insumo à produção de argamassas de revestimento e pintura do casario da cidade de Salvador-BA, primeira Capital do Brasil, e foram implantadas por ordem do fidalgo português Thomé de Souza. Com a colonização, a produção foi interiorizada pelo território brasileiro, pela necessidade de dar maior durabilidade as moradas e fortificações erguidas pela técnica de taipa, na qual uma estrutura armada de madeira é preenchida por solo umedecido.

Com a descoberta de jazidas de calcário no Brasil, a produção da cal disseminou-se por todo o país, tanto para a fabricação de cales para pintura e argamassa, quanto como insumo importante para a fabricação do cimento

OBTENÇÃO DA CAL

A cal é obtida pela calcinação do calcário, rocha sedimentar formada pelo mineral calcita (CaCO_3) ou pela dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), que são minerais pertencentes ao grupo dos carbonatos (DANA-HURLBUT, 1984) (Figura1), encontrado extensivamente em todos os continentes, sendo extraído de pedreiras ou depósitos cujas idades variam desde o pré-cambriano até o holoceno (ALMEIDA; SAMPAIO, 2005). Durante o processo de queima dissocia-se e produz o óxido de cálcio, CaO , liberando CO_2 para a atmosfera (Equação 1). Isto se dá em temperaturas relativamente baixas, entre 850°C e 1000°C , com um consumo de energia bem menor que o do cimento, que demanda temperaturas da ordem de 1450°C para sua produção (ALVES, 2006).

Figura 1 – (a) calcita. (b) dolomita



Equação 1

TIPOS DE CAL

Segundo a NBR 7175/2003 as cales são classificadas conforme o seu grau de extinção em cal virgem, cal hidratada e cal hidráulica (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação conforme grau de extinção

Tipo	Características principais
Cal virgem	Constituída predominantemente de óxidos de cálcio e de magnésio.
Cal hidratada	Hidróxidos de cálcio e magnésio; Pequena fração de óxidos não hidratados.
Cal hidráulica	Provém de calcário argiloso (marga); Compostos pozolânicos; Se hidrata tal qual o cimento Portland.

Fonte: NBR 7175/2003.

Conforme o teor de óxido de cálcio, a cal virgem pode ser qualificada como cal cálcica, cal magnésiana ou cal dolomítica segundo a NBR 6453/88 (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação quanto ao teor de óxido de cálcio

Tipo da cal	CaO
Cálcica	teor \geq 90%
Magnésiana	$65\% \leq$ teor \leq 90
Dolomítica	teor \leq 65%

Fonte: NBR 6453/88

Quanto ao grau de hidratação, a NBR 7175/2003 classifica as cales hidratadas como CH-I, CH-II e CH-III (Tabela 3).

Tabela 3 - Classificação conforme o grau de hidratação

Tipo	Denominação	Característica
CH - I	Cal hidratada especial	Óxidos totais na base não volátil $>$ 96,88% CO ₂ máximo = 5%
CH - II	Cal hidratada comum	Óxidos totais na base não volátil $>$ 88% CO ₂ máximo = 5%
CH - III	Cal hidratada comum com carbonatos	Óxidos totais na base não volátil $>$ 88% CO ₂ máximo = 13%

Fonte: NBR 7175/2003.

O SOLO

O solo, ou a terra, é a camada de material erodido de rochas matrizes pelo intemperismo ou fruto de depósitos consecutivos de processos de vulcanismo e outros fatores ambientais, que reveste a crosta terrestre (NEVES et al, 2009),.

Vem sendo utilizada na construção civil desde que o homem fundou os primeiros aglomerados, na forma de adobes de terra crua com reforço de palhas ou mais recentemente, estabilizado com outros produtos, naturais ou manufaturados.

Derivando de materiais erodidos das rochas que formam a crosta terrestre ou de materiais depositados por ações outras, tem composição química variada, com percentuais de minerais formadores de acordo com a sua gênese.

Na crosta terrestre, os principais elementos químicos formadores da terra são o oxigênio, o silício, o alumínio e o ferro, que respondem por mais de 80% da de sua composição (SAMPAIO, 1978). Registra-se ainda a ocorrência de outros elementos tais como o hidrogênio, cálcio, sódio, magnésio, ferro, entre outros, que normalmente se apresentam na forma de óxidos, que é a forma mais estável de ocorrência. Desta forma, conforme a localização geográfica os solos, podem diferir bastante entre si, apresentando características e propriedades diferentes.

Na maioria dos casos, o teor de sílica (SiO₂) é superior aos dos outros compostos. Nos casos de solos lateríticos, nos quais o teor de óxido de ferro confere tonalidades avermelhadas ao mesmo, o teor de alumina (Al₂O₃) atinge valores bem próximos da sílica.

O SISTEMA SOLO-CAL

Segundo Picchi *et al* (1988), a adição de cal a um solo argiloso tem a capacidade de introduzir modificações no solo, imediatas e a longo prazo, com intensidade que depende das características do solo e do tipo da cal.

O processo de estabilização de solos com cal remonta há pelo menos 2000 anos, sendo os romanos os responsáveis pelas primeiras utilizações da cal para melhoria de solos para a construção de estradas e para outras obras de engenharia, agregando pozolanas naturais para melhorar a ação cimentante da cal (COELHO *et al*, 2009).

A estabilização de solo com cal acontece conforme o estabelecimento de reações químicas de interação da cal com os argilominerais, com a água e com a atmosfera. Dois tipos de reação são observadas: as reações rápidas ou imediatas, e as reações lentas ou cimentantes.

Após a mistura umedecida do solo com a cal, iniciam-se as reações entre os ions Ca^{++} e OH^- da cal com o solo. Isto induz um processo de permuta iônica em que os cátions Na^+ e K^+ da argila são substituídos por Ca^{++} , transparecendo pelo aumento da concentração eletrolítica nos poros do solo, resultando na diminuição da espessura da dupla camada de argila coloidal, favorecendo a floculação de suas partículas.

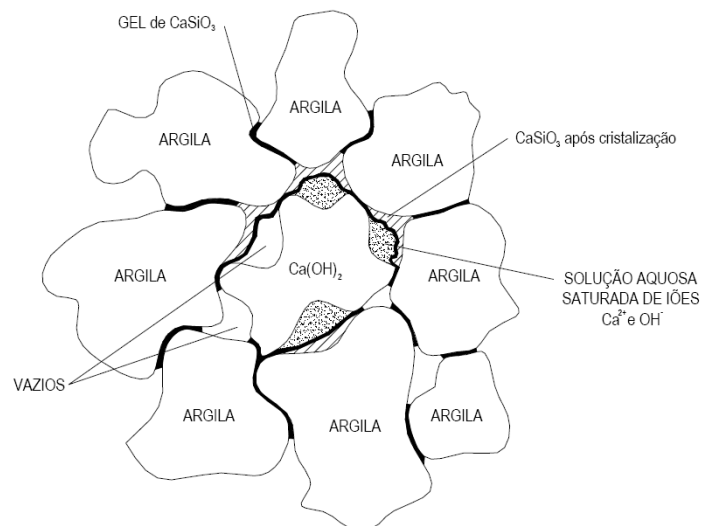
Este processo se encerra ao fim de poucos dias e leva a alterações nas características geotécnicas do solo, traduzido pelo aumento do limite de plasticidade e diminuição do limite de liquidez; diminuição do índice de plasticidade; aumento do índice CBR, achatamento da curva de compactação e diminuição da massa específica aparente seca máxima (PICCHI *et al*, 1988).

À medida que os componentes argílicos do solo reagem com a cal, iniciam-se reações cimentantes, causadas exatamente pela interação entre as partículas reativas do solo, principalmente a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3) formando compostos cimentantes.

Devido ao elevado pH da mistura criado pelas moléculas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, as moléculas de silício e alumínio existentes na argila são dissolvidas e combinam-se com os íons de cálcio, criando compostos cimentícios que interligam as partículas argilosas (Figura 2).

Esta é uma reação pozolânica, em que as partículas de sílica e alumina amorfas, de granulometria fina, reagem quimicamente com a cal hidratada e formam silicatos e aluminatos de cálcio, favorecendo outras propriedades do sistema solo-cal. Estas reações favorecem um aumento da resistência à compressão por um período de até dez anos.

Figura2 - Formação de material cimentício no sistema solo-cal



Fonte: Cristelo e Jalali, 2008.

O aumento do valor da resistência à compressão, da durabilidade e a estabilidade de volume são decorrentes destas reações lentas. No entanto, o aumento da temperatura durante a cura pode acelerar este ganho de resistência à medida que acelera as reações solo-cal.

O segundo tipo de reação lenta, a carbonatação, acontece devido ao contato do hidróxido de cálcio com o CO_2 do ar, formando carbonato de cálcio, que é um cimento fraco. Esta reação não é desejável devido a que consome o hidróxido de cálcio que reagiria pozolanicamente com os minerais do solo, formando um cimento fraco em vez de um cimento mais resistente, que derivaria da reação pozolânica.

A interação entre os argilominerais e o hidróxido de cálcio favorece a formação de novos arranjos, com

aumento da fase cristalina do composto, o que se traduz em melhoria de suas propriedades mecânicas. Quanto maior for o teor de cal maior será a troca catiônica e maior será a formação de produtos cimentantes.

Não existe um teor ótimo, mais um teor mínimo pode ser determinado pelo ensaio de Eads e Grim. A fixação de um percentual ou de um teor de adição da cal ao solo depende da finalidade proposta. Se ha um aumento de trabalhabilidade, induz-se a uma melhoria de uma das características do solo, já alterações na capacidade de resistência à compressão caracteriza uma estabilização.

Segundo Coelho et al (2009), percentuais menores que 3% não são indicados, mesmo que os ensaios de laboratório assegurem melhoria das características da mistura solo-cal. Isto se dá pela falta de controle de produção da mistura ou das argamassas em canteiros de obras, devido as condições meteorológicas, climáticas, entre outras, que são diferentes do ambiente controlado de laboratório.

Por outro lado, segundo os mesmos pesquisadores, percentuais acima de 10% se tornam antieconômicos e devem ser evitados. Evidentemente isto depende também da condição econômica do país em que se está executando o trabalho e da existência de alternativas de outros estabilizantes que produzam o mesmo efeito por um custo menor.

Os efeitos característicos benéficos da aplicação da cal na estabilização de solos são:

- Aumento da distribuição granulométrica: Acontece devido à floculação e agregação das partículas e é tão mais acentuada quanto mais fina seja a granulometria do solo;
- Aumento do limite de Plasticidade: O LP cresce com a adição da cal. Mesmo com o aumento do Limite de Plasticidade nas argilas não expansivas, o LP cresce mais, o que força a diminuição do Índice de Plasticidade (IP).
- Estabilidade de volume: A adição de cal á solos expansivos reduz a variação de volume do solo quando este absorve água. O aumento do Limite de Contração pode ser visto como uma redução da sensibilidade do solo a ação da água, necessitando-se assim de mais água que o usual para que haja uma reação acentuada. Esta diminuição de sensibilidade é muito importante na estabilidade de blocos e paredes monolíticas sujeitas a ação de umidade, como é o caso das paredes externas de uma edificação.

METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido sob a forma de uma pesquisa aplicada. Em sua primeira fase foram desenvolvidas atividades de pesquisa científica. Estas tiveram o intuito de determinar as características físicas e químicas dos materiais, os traços de composição da mistura solo-cal e as formas de aplicação dos elementos construtivos em uma experiência de repasse de tecnologia a uma comunidade instalada na zona sul de João Pessoa, denominada Mussumago.

O solo e a cal foram caracterizados através de ensaios de granulometria por peneiramento na série normal, granulometria por sedimentação, compactação pelo método *Proctor* Normal para determinação da umidade ótima de moldagem, além da determinação dos limites de Atherberg do solo.

Escolhido o solo, foram realizados estudos de composição de traço com a cal sendo determinada a umidade ótima da mistura para moldagem na fabricação dos blocos e painéis de solo-cal. Foram em seguida dimensionadas as fôrmas dos painéis e dos pilares de amarração para a experiência com paredes monolíticas.

Para as atividades de extensão foi firmada uma parceria com o FDDHMMA –Fundação de Defesa dos Direitos Humanos “Margarida Maria Alves”, que já realizava trabalhos de organização comunitária junto à comunidade de Mussumago.

MATERIAIS

O SOLO

Foram analisados dois tipos solos existentes em João Pessoa. O primeiro proveniente de uma jazida ,localizada no Altiplano Cabo Branco, e outro retirado na própria comunidade de Mussumago. Realizados os ensaios de caracterização foi escolhido trabalhar com o que apresentou maior teor de silte-argila, propício à estabilização com cal para a construção dos painéis e fabricação dos blocos, enquanto que o outro foi estabilizado com cimento para execução da fundação corrida do muro construído na comunidade.

A CAL

Foi escolhida uma cal hidráulica fabricada no distrito industrial de João Pessoa pela Companhia Industrial Gramame, e disponível no comércio local.

Todas as atividades de pesquisa e extensão foram realizadas com cal doada pela indústria, acondicionada em sacos de papel com 30 kg, e recolhida aleatoriamente do armazém para distribuição na própria planta industrial.

ÁGUA

A água utilizada na fabricação dos blocos e da parede monolítica na comunidade de Mussumago foi retirada da rede de abastecimento público da cidade de João Pessoa.

CIMENTO

Para a execução das fundações e fabricação dos pilaretes foi utilizado cimento Portland CP-IV-32, disponível no comércio local.

AREIA

Foi utilizada uma areia grossa, adquirida no comércio local, proveniente de um lote adquirido para pesquisa pelo projeto, com a qual foi composto o concreto utilizado nos pilares e nas fundações em solo-cimento do muro construído na comunidade.

MÉTODOS

PLANEJAMENTO

Para a realização dos ensaios de caracterização foi realizado um planejamento de moldagem de corpos de prova destinados aos ensaios de caracterização. Foram idealizadas duas situações: moldagem de corpos de prova cilíndricos destinados para caracterização do comportamento da parede monolítica e moldagem de corpos de prova prismáticos, para investigar as propriedades dos blocos prensados.

O planejamento de moldagem para cada ensaio é apresentado na Tabela 4

Tabela 4 - Planejamento de moldagem (umidade = 16,8%)

Idade	15	21	30	45	60	90
Traço	Quantidade de corpos de prova					
1:8	5	5	5	5	5	5
1:9	5	5	5	5	5	5
1:10	5	5	5	5	5	5
1:11	5	5	5	5	5	5

PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram moldados corpos de prova cilíndricos, em formas de PVC, medindo 100 mm de diâmetro por 70 mm de altura e corpos de prova prismáticos, com as dimensões de 15 cm x 15 cm x 15 cm para todos os traços ensaiados, com umidade mantida em 16,8% à temperatura ambiente. O solo utilizado para a fabricação dos corpos de prova foi anteriormente seco em estufa a uma temperatura de 105°C e peneirado em uma malha #9,5.

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Antes das moldagens, os materiais foram caracterizados isoladamente em laboratório como forma de se determinar as suas propriedades.

As amostras de solo foram submetidas a ensaios de granulometria por peneiramento na série normal e granulometria por sedimentação (NBR 7181/84); ensaio de compactação para determinação da umidade ótima

de moldagem (NBR 7182/86); Limite de Liquidez (NBR 6459/1984) e Limite de Plasticidade (NBR 7180/1984) e determinação da massa específica conforme a (NBR 6508/84), sendo os ensaios realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do CT-UFPB.

A composição química e mineralógica cal foi determinada através dos ensaios de fluorescência de raios X (FRX) (NBR 11303) e difração de raios X (DRX), cuja análise permitiu também a determinação de seu índice de hidraulicidade. Seus índices físicos de massa específica solta e compactada, área específica Blayne e granulometria por peneiramento foram fornecidos pela empresa, gerados no laboratório de controle de qualidade próprio.

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS PEÇAS

Foram realizados ensaios de resistência á compressão simples nos blocos de solo-cal (NBR 10836/1994) e nos corpos de prova cilíndricos (MB 3361/1990); ensaio de durabilidade (NBR 13554/1996) e ensaio de absorção d'água (NBR 10836/1994).

Na inexistência de normas específicas para solo-cal na época, foram utilizadas as normas padronizadas para solo-cimento.

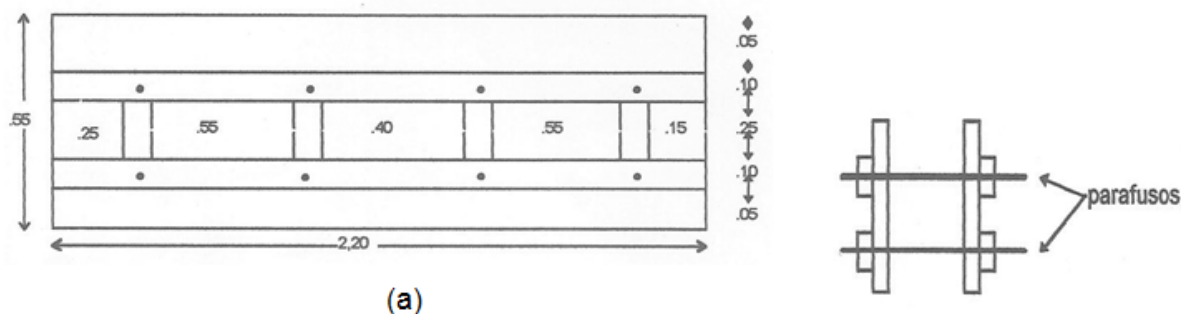
Para a realização dos ensaios de resistência a compressão foram adotadas as idades de 14, 21, 28, 45, 60 e 90 dias. A atribuição destas idades foi baseada em estudo anterior (PICCHI; CINCOTO; BARROS, 2008), sendo neste experimento inserida a idade de 45 dias como forma de melhor caracterizar a curva de crescimento da resistência à compressão dos blocos. Para a realização dos ensaios de absorção d'água e de durabilidade foi estipulada a idade de 60 dias.

Foi adotada a cura ambiente para todos os corpos de prova, simulando uma situação de campo, quando da construção da parede monolítica, adotando-se este como o caso mais crítico na moldagem de blocos na obra ou construção de paredes monolíticas utilizando-se uma cal hidráulica.

PREPARAÇÃO DAS FORMAS

Para a execução dos painéis que compuseram a parede monolítica foram fabricadas formas confeccionadas a partir de folhas de compensado naval com espessura de 12 mm. O conjunto foi completado e afixado nas guias de amarração por 8 parafusos de aço, $\phi = 3/8''$, presos por porcas nos dois lados do painel (Figura 3).

Figura 3 - Detalha das formas: (a) frontal (b) em perfil



PREPARAÇÃO DAS GUIAS DE CONCRETO

As guias de concreto foram fabricadas com as dimensões de (1,50 x 0,25 x 0,15) m, sendo colocadas como delimitadores dos módulos de parede, servindo também como amarração dos módulos, sendo plantadas na fundação com a distância de 1,80 m entre si.

EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES

A cava de fundação foi aberta com as dimensões de (9,00 x 0,30 x 0,40) m, sendo preenchida com uma mistura de solo-cimento, traço 1:12.

CINTAMENTO

Sobre a fundação foi executado um cintamento de concreto, no mesmo traço utilizado para as guias, com as dimensões de (9,0 x 0,25 x 0,15)m como forma de se obter um isolamento entre a fundação e a parede e proteger

a parte inferior dos painéis a ação mecânica acidental.

FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE SOLO-CAL

Os blocos foram fabricados em prensa manual, com capacidade de moldagem de um bloco por vez, em modelo inventado pelo Prof. Dr. Eng. Mecânico José Gonçalves, do DTM-UFPB. Após a prensagem os blocos foram deixados à cura ambiente por um período de 14 dias, quando, foram se iniciaram os ensaios.

CONSTRUÇÃO DOS MÓDULOS MONOLÍTICOS

Para esta etapa do experimento foram observados os mesmos procedimentos utilizados para a caracterização dos materiais e formulação de traço utilizado na fabricação dos blocos, quais sejam o peneiramento do solo, medição da umidade, adição da cal, adição da água, correção da umidade, mistura e lançamento entre as formas.

Em seguida a mistura foi adensada em camadas sucessivas de 10 cm até atingir a altura de 50 cm, quando o outro par de formas é colocado sobre o primeiro, repetindo-se o processo até atingir a altura especificada no projeto, que neste caso foi de 1,20.

Um ponto básico deste processo é que o primeiro par de formas pode ser retirado do conjunto momento que for adensado o material contido na forma superior, o que libera o conjunto para ser colocado no terceiro nível de parede ou em outro módulo.

RESULTADOS

SOLO

O resultado da análise demonstrou que o solo escolhido apresentou características de um solo argiloso, propício à estabilização com cal, de acordo com o determinado pelo ensaio de granulometria por sedimentação (*NBR 7181/1984*). As massas específicas real e aparente foram determinadas, apresentando valores de 2,63 g/cm³ e 1,27 g/cm³ respectivamente.

CAL

Foi determinada uma massa específica solta de 0,49 g/cm³ e massa específica compactada de 0,54 g/cm³. A composição química é apontada na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição química (%)

PR	27,81
RI	1,0
SiO ₂	5,82
Al ₂ O ₃	0,83
Fe ₂ O ₃	0,62
CaO	60,95
MgO	0,09
K ₂ O	2,36
Na ₂ O	0,61

Fonte: CIGRA. Companhia Industrial Gramame.

O índice de hidraulicidade calculado a partir dos dados da análise química apresentou valor que caracteriza o material como uma cal hidráulica (equação 2).

$$IH = \frac{\% Al_2O_3 + \% SiO_2 + \% Fe_2O_3}{\% CaO + \% MgO} = 0,12 \text{ (cal hidráulica)} \quad \text{Equação 2.}$$

Foi determinada a granulometria e a área específica do aglomerante. A área específica Blaine demonstrou valor de 14,110 cm²/g, bem acima das cales comumente comercializadas, que apresentam área específica em torno de 4,230 cm²/g. Os dados da granulometria estão demonstrados na tabela 6.

Tabela 6 - granulometria da cal

Peneira	% acumulada	% que passa
50	0,00	100,00
100	1,40	98,60
200	6,40	93,60
325	19,40	80,60

UMIDADE

A umidade de moldagem foi determinada através do ensaio de compactação (NBR 12023/1984) e apontou para o valor de 16,80% em relação ao peso do aglomerante.

CARACTERIZAÇÃO DAS PEÇAS EM SOLO-CAL

Os resultados apontaram melhores resultados nos corpos de prova moldados em prensa dos que nos moldados manualmente, o que se fez sentir em todos os ensaios realizados, com melhores resultados de resistência à compressão, absorção d'água e de menor perda de massa por escovação nos corpos de prova prismáticos.

Os blocos fabricados com as dimensões de (30 x 17 x 7,5) cm apresentaram um peso médio de 5100 g e uma densidade de material compactado de 1,33 g/cm³.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O resultado do ensaio de resistência à compressão nos blocos e nos corpos de prova cilíndricos são apresentados nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Resistência à compressão – blocos

Idade (dias)	15	21	28	45	60	90
Traço	Resistência à compressão (MPa)					
1:11	1,21	1,37	1,44	1,44	1,53	1,62
1:10	1,21	1,40	1,49	1,53	1,62	1,64
1:9	1,59	1,61	1,68	2,11	2,14	2,24
1:8	1,59	1,61	2,10	2,18	2,24	2,32

Tabela 8 - Resistência à compressão – corpos de prova cilíndricos

Idade (dias)	15	21	28	45	60	90
Traço	Resistência à compressão (MPa)					
1:11	0,82	0,95	1,02	1,22	1,38	1,44
1:10	0,89	0,95	1,12	1,24	1,37	1,45
1:9	0,93	0,99	1,17	1,39	1,55	1,77
1:8	0,97	1,22	1,45	1,63	1,79	1,98

PERDA DE MASSA E ABSORÇÃO D'ÁGUA

Os resultados obtidos nos ensaios de perda de massa por escovação e de absorção d'água são apresentados nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Perda de massa e absorção d'água – blocos

Traço	Perda de massa	Absorção d'água
1:11	3,00	23,97
1:10	2,42	22,30
1:9	2,35	21,72
1:8	2,35	21,02

Tabela 10 - Perda de massa e absorção d'água – corpos de prova cilíndricos

Traço	Perda de massa	Absorção d'água
1:11	3,90	25,12
1:10	3,74	24,01
1:9	3,55	23,45
1:8	2,35	23,22

TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

As atividades de extensão tiveram o objetivo de transferir para uma comunidade da periferia de João Pessoa os conhecimentos gerados na pesquisa. A escolha da comunidade de Mussumago teve como base a organização popular existente, facilitada pela atuação da FDDHMMA, que se propôs a atuar como parceiro na experiência.

Durante as primeiras reuniões foram analisadas questões pertinentes ao déficit habitacional do município e a ausência de programas habitacionais destinados a sanar o problema.

Foi discutida a necessidade de utilização de técnicas que possibilitassem a construção de novas unidades habitacionais com a utilização de materiais existentes na região, que fossem de baixo custo e facilmente assimiladas pela comunidade. A metodologia foi formulada levando-se em conta o baixo nível de escolaridade e a falta de capacitação para a produção, fator comum nas comunidades periféricas de João Pessoa.

Foram selecionadas 20 pessoas que demonstraram interesse na capacitação, aos quais foram fornecidas informações sobre as características do compósito solo-cal e as possibilidades de utilização na construção de moradias populares.

A atividade de produção de blocos de solo-cal consistiu na fabricação de 500 blocos, cabendo a cada aluno participante a prensagem de 25 unidades com os participantes se revezando em todas as etapas de produção. Após a produção os blocos foram deixados á cura ambiente para posterior utilização.

A segunda etapa de treinamento, desenvolvida ao correr de 2 fins de semana, se deu na própria comunidade e constou na construção de uma parede monolítica com solo-cal, consistindo na produção de painéis de solo compactado, contido por formas entre as quais o material é lançado e adensado manualmente.

A experiência comprovou a versatilidade do método e a facilidade de repasse à comunidade através de uma produção orientada.

O passo-a-passo das atividades de produção pode ser mais bem compreendido pelo conjunto de fotos apresentadas na figura 4.

Figura 4 - Detalhes da execução do projeto: (a) reunião de organização (b) cava de fundação (c) impermeabilização (d) colocação de formas (e) mistura (f) lançamento (g) correção da umidade (h) adensamento (i) 2ª linha de formas (j) o muro em 1995 (k) o muro hoje.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados pelas atividades de pesquisa e extensão levam as seguintes conclusões:

A cal é um aglomerante apropriado à estabilização de solos de tendência argilosa. Durante a pesquisa foi evidenciado que a utilização de uma cal hidráulica de boa qualidade favoreceu a fabricação de blocos prensados e paredes monolíticas de solo-cal com boa qualidade e apropriados para uso na construção de alvenarias.

A cal hidráulica, apresentou resultados satisfatórios quando misturada como o solo.

O compósito solo-cal foi caracterizado através de ensaios de resistência à compressão, absorção d'água e durabilidade, apresentou resultados satisfatórios.

Foi apresentada uma metodologia de fabricação de blocos fabricados em uma prensa manual e outra de construção de uma parede monolítica com auxílios de formas de madeira e guias de concreto, testadas com sucesso.

O processo favorece uma redução de custos de uma alvenaria de blocos de solo-cal superior a 20% quando comparada a uma parede de igual dimensão construída com tijolos cerâmicos, não sendo considerada a argamassa de assentamento, dispensável para os blocos de solo-cal. Se considerada, o percentual aumenta para no mínimo 40%.

Foi evidenciado que a tecnologia pode ser utilizada como alternativa a técnica de solo-cimento com vantagem econômica desde que o preço por kg de cal não seja superior a 81% do preço do kg de cimento.

A produção de alvenarias de blocos de solo-cal pode ser facilmente assimilada por pessoas sem prévio conhecimento de técnicas convencionais de construção, o que torna o sistema de construção de alvenarias com blocos de solo-cal uma boa alternativa em relação à alvenaria tradicional.

A viabilidade de implantação em obras de construção de habitação de interesse social através de processo de mutirão ou autoconstrução foi evidenciada pelas atividades de extensão.

Os resultados apresentados, tanto na fase de pesquisa quanto na fase de extensão indicam que o método de produção formulado é viável tanto técnica quanto economicamente, além de ser de fácil assimilação e aceitabilidade por parte da comunidade.

Conclui-se então que tanto o sistema construtivo de paredes monolíticas de solo-cal quanto o sistema construtivo com blocos de solo-cal apresenta-se como técnicas viáveis para a construção de habitações de interesse social, aliando confiabilidade e redução de custos, se comparada aos sistemas tradicionais de construção.

REFERÊNCIAS

- ABNT- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **MB 3361 – Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 1990.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6453. Cal virgem para construção.** Rio de Janeiro, 1988.
- ABNT- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 6508: Grão de solos que passam na peneira de 4,8 mm Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175. Cal hidratada para argamassas.** Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459/1984 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez.** Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180. Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.** Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181. Solo - Análise granulométrica. Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 7182: Solo-Ensaio de Compactação .** Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 10836. Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Determinação da resistência á compressão e da absorção d'água.** Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 11303 – Análise química de materiais refratários aluminosos por espectrometria de fluorescência de raios X.** Rio de Janeiro, 1990.
- ABNT- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 12023 – Solo-cimento – Ensaio de compactação.** Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 13554 – Solo-cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem.** Rio de Janeiro, 1996.
- ALMEIDA, S.L.A.; SAMPAIO, J.A.; **Calcário e dolomito.** CT2005-132-00 Comunicação Técnica elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações Pág. 327 a 350. Capítulo 15. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, 2005.
- ALVES, J.D. **Materiais Alternativos de Construção.** Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 2006. 103 p.
- BARBOSA, N.P. **Considerações sobre materiais industrializados e não convencionais – Texto Técnico – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental – PPGEUA - UFPB – 2005**
- _____. **Construção com Terra Crua – Do Material à Estrutura – Monografia apresentada no Concurso para Professor Titular da Área de Estruturas do Departamento de Tecnologia da Construção Civil – UFPB – 1996.**
- BORBOT, I. Escassez de crédito do BB a agricultores gaúchos limita expansão da indústria de calcário, Artigo. Blog “os divergentes”. Brasil. 2016.
- Disponível em: <http://osdivergentes.com.br/ivanir-bortot/escassez-de-credito-do-bb-agricultores-gauchos-limita-expansao-da-industria-de-calcario/> Acesso: 25/10/2017.
- COELHO, A.Z.G; TORRAL, F.P.; JALALI, S.; **A cal na construção.** Universidade de Minho. TecMinho. ISBN 978-972-99179-8-1. Guimarães, Portugal, 2009.
- COLLINS, A.; OGILVIE-HERALD, C.; **Tutancâmon.** Ed. Landscape. São Paulo, 2004.
- CRISTELO, N.M.C.; JALALI, S. **Estabilização de solos com cal.** Edição TecMinho. ISBN:978-989-95961-1-5,

Guimarães. 2008.

DANA-HURLBUT. **Manual de Mineralogia** – 9ª tiragem: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. – Rio de Janeiro, 1984.

GUIMARÃES, J.E.P. **A Cal – Fundamentos e aplicações à engenharia civil**. São Paulo. PINI. 1997.

NEVES, C.M.M; FARIA, O.B; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P.S.; HOFFMANN, M.V. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA, 2009.

Disponível em <http://www.redproterra.org> Acesso em: 26/07/2017.

SAMPAIO, J.C., “**Materiais de Construção**” AEFEUP, Universidade do Porto, 1978.

PICCHI, F.A.; CINCOTTTO, M.A.; BARROS. J.M.C. **Tijolos de solo-cal**. Tecnologia das Edificações. IPT. Capítulo 090. p 101-106. Pini. São Paulo-SP.1988.

Enviado em: 16/08/2016.

Aceito em: 14/10/2016.