



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE CENTRO  
DE TECNOLOGIA (CT)

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA (CCET)



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
ENGENHARIA DE MATERIAIS

## TESE DE DOUTORADO

DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS DE SOLO CIMENTO  
UTILIZANDO ARGISSOLO COM INCORPORAÇÃO DE  
MATERIAL ARMAZENADOR DE CALOR POR MUDANÇA DE  
FASE (MMFs)

Valter Bezerra Dantas

Orientador:

Prof. Dr. Uílame Umbelino Gomes

Tese N° 161/PPgCEM

Abril de 2015

Natal-RN

Valter Bezerra Dantas

DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS DE SOLO CIMENTO  
UTILIZANDO ARGISSOLO COM INCORPORAÇÃO DE  
MATERIAL ARMAZENADOR DE CALOR POR MUDANÇA DE  
FASE (MMFs)

Tese de doutorado apresentada á Universidade Federal do Rio Grande do Norte junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, como parte do requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais. Sobre orientação Prof. Dr. Uílame Umbelino Gomes.

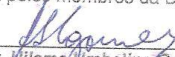
Orientador: Prof. Dr. Uílame Umbelino Gomes


Abril de 2015

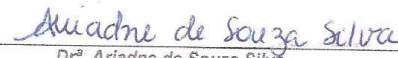
Natal-RN

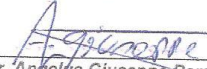
ATA Nº 161/2015 DE REALIZAÇÃO DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DO ALUNO Válter Bezerra Dantas DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE.

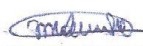
Aos dez dias de abril de dois mil e quinze, às oito horas na sala de aulas do Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), realizou-se a defesa de tese de doutorado intitulada "DESENVOLVIMENTO DE UM BLOCO UTILIZANDO ARGISSOLO COM INCORPORAÇÃO DE MATERIAL ARMAZENADOR DE CALOR POR MUDANÇA DE FASE (MMFs)" do doutorando Válter Bezerra Dantas do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), tendo como Orientador o Prof. Dr. Uilame Umbelino Gomes. A Banca Examinadora foi composta por: Uilame Umbelino Gomes (Orientador e Presidente da Banca) - UFRN; Rubens Maribondo do Nascimento (Examinador Interno) - UFRN; Ariadne de Souza Silva (Examinadora Interna) - UFRN; Angelus Giuseppe Pereira da Silva (Examinador Externo) - UENF e José Nilson França de Holanda (Examinador Externo) - UENF. Inicialmente, o Orientador expôs aos presentes o roteiro formal da Defesa de Tese de Doutorado e, em seguida, deu início aos trabalhos da Banca, passando a palavra ao candidato para que desse início a apresentação de seu trabalho, marcando o tempo médio de cinqüenta minutos para a devida explanação. Concluída a exposição do candidato, o Presidente passou a palavra aos examinadores, que deram início ao exame oral. Terminada a arguição oral, solicitou aos presentes e ao doutorando que se retirassem do recinto para que a Banca proferisse o julgamento. O orientador solicitou o retorno do candidato e, em seguida, foi comunicado que o aluno Válter Bezerra Dantas foi APROVADO, na Defesa de Tese de Doutorado de acordo com as normas vigentes na UFRN. A versão final da do trabalho deverá ser submetida, via SIGAA, para fins de homologação, no prazo de 120 dias; contendo as modificações sugeridas pela Banca Examinadora. Conforme o artigo 46 da Resolução nº 197/2013 - CONSEPE, o candidato não terá o título se não cumprir as exigências acima. Nada mais tendo sido tratado, a Ata da Sessão Pública de Tese de Doutorado foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e pelo candidato ao título.

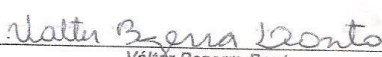
  
Prof. Dr. Uilame Umbelino Gomes  
Orientador e Presidente da Banca

  
Prof. Dr. Rubens Maribondo do Nascimento  
Examinador Interno

  
Dr. Ariadne de Souza Silva  
Examinadora Interna

  
Prof. Dr. Angelus Giuseppe Pereira da Silva  
Examinador Externo

  
Prof. Dr. José Nilson França de Holanda  
Examinador Externo

  
Válter Bezerra Dantas  
Candidato

## DEDICATÒRIA

Dedico a Você...

Dedico este trabalho a todos aqueles que na curta passagem pela terra deixaram exemplos de honestidade... Tornaram esse mundo um pouco melhor... e que me fizeram sorrir. No Livro da Sabedoria atribuído a Salomão, está escrito: "A sabedoria não entra de jeito algum na alma malvada".

## AGRADECIMENTO

Nesta trajetória da vida já ultrapassei alguns obstáculos que após a ultrapassagem, já não parecem tão difíceis, por não despertar um sentimento desafiador. Aproveito então, enquanto falta algum instante para alcançar ao topo do monte, para agradecer às pessoas que me ajudaram a subir, talvez, o Everest da minha vida. Esta tese é a finalização de um estudo de anos de formação, assimilando conhecimentos, cálculos realizados e experimentos que pareciam não ter fim.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em ciências e Engenharia de materiais-(PPgCEM), A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES, ao Laboratório de Materiais Cerâmicos e Metais Especiais-LMCME, ao Laboratório de Transferência de Calor-LTC, ao Laboratório de Construção Civil-Da Universidade Do Minho.

Ao orientador Prof. Dr. Uílame Umbelino Gomes pela presteza e precisão nos diálogos que mantivemos ao longo desses anos, á Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e ao professor Prof. Dr. José de Aguiar Barroso da universidade do *Minho*-Portugal.

Nesta tese, foi necessário um trabalho de equipe para o seu desenvolvimento. A autoria é minha, mas o mérito é de muitos professores e colegas. Agradeço aos autores com quem dividiu os trabalhos publicados, entre eles: Leiliane Alves, Edmilson, Ariadne, Robson, Samara, Angélica, Maria José, Carlos Renner, Alexandre e os outros colegas de forma indireta. Aos meus amigos, que de ano para ano vão diminuindo e ficando apenas um nicho de verdadeira amizade.

Á minha família, começando pelos meus irmãos Dirceu, José, Wanderley, Dirce, Lurdes e Creunice, obrigado por existirem. Distante há 35 anos, mas sempre presente na minha memória. Aos meus; Walter Maxwell Sarturi Dantas e Wallan Devid Praxedes Dantas razões da minha existência e continuidade.

Aos meus pais, Marcionílio Bezerra Dantas e Cícera Rosa Cirilo Dantas sem os quais, não estaria a escrever este texto nem sequer existir.

*“A mente avança até o ponto onde pode chegar; mas depois passa para uma dimensão superior, sem saber como lá chegou”.* Todas as grandes descobertas realizaram esse salto.

*“Albert Einstein”*

## RESUMO

A produção de materiais como os blocos de solo-cimento a partir de uma matéria prima abundante, como o solo, é um forte instrumento para a eventual solução de um problema global emergente, o aumento da demanda de amplas faixas da população por melhores condições de moradias. O atendimento dessas necessidades, dentro dos atuais padrões de consumo pode ser traduzido pela aplicação econômica desses blocos de solo-cimento com MMFs em habitações por oferecer boa resistência mecânica, conforto térmico e facilidade na obtenção. Este trabalho tem como objetivo principal a produção de blocos de solo-cimento com boas propriedades mecânica e térmica. Para isso o material foi desenvolvido da seguinte forma: partindo do estudo das propriedades físicas e químicas e da morfologia dos solos argiloso do semiárido (Brasil) e do Alentejo (Portugal). Inicialmente, tem-se o solo do semiárido que foi fabricado sem e com adição de 10% de areia 04, e depois o solo argiloso do Alentejo que foi produzido sem e com adição de 30% também com areia 04. Para ambos os solos argilosos estudados, adicionou-se areia para ajustá-los às normas recomendada da ABNT, na fabricação de bloco de solo-cimento. O desempenho da argamassa com adição MMFs, parafínicos para a fabricação dos blocos de solo-cimento, porcentagens, em peso, de parafina n-eicosano, ponto de fusão de 37°C, e de parafina 120/130F, ponto de fusão de 50,3°C e parafina sasolwax ponto de fusão 57°C, foram adicionados aos constituintes da argamassa, os MMFs são denominados de materiais “inteligentes” por se ajustar a certa temperatura definida. Em seguida foi produzida duas argamassas, uma com o solo argiloso do Brasil, (9% p de cimento; 9,63% p de água; 0%, 3% e 5% p de MMFs) e a outra com o solo argiloso do Alentejo (9%p de cimento; 10%p de água, 0% e 5% de MMFs). Depois da mistura a argamassa foi prensada numa prensa manual com capacidade de pressão de 2MPa, a fim de estabilizar e dar forma aos blocos de solo-cimento. Finalizando o processo de produção, com a cura do material. No produto final foram realizados os ensaios de resistência mecânica e das propriedades térmicas (Compressão simples, calor específico, calor latente, condutividade, resistência e capacidade térmica, imersão e capilaridade de água), além disso, o material foi caracterizado por fluorescência, MEV, DSC, TG. E os ensaios realizados no solo argiloso foram: fluorescência de raios X, densidade aparente, densidade real, tamanho de partícula, peneiramento, sedimentação e ensaio de Proctor. Com os ensaios realizados foram possíveis produzir blocos de solo-cimento com resistência mecânica e boas propriedades térmicas.

**Palavras-Chave:** Bloco, solo-cimento, resistência, propriedade térmicas, MMFs

## ABSTRACT

The production of materials such as soil-cement blocks from a raw material abundant, as the soil is a strong tool for the eventual solution of an emerging global problem, the increased demand for large sections of the population for better conditions villas. Meeting these needs within the current patterns of consumption can be translated by the economic application of soil-cement blocks with MMFs in homes by offering good mechanical strength, thermal comfort and ease in obtaining. This work has as main objective the production of soil-cement blocks with good mechanical and thermal properties. To this material was developed as follows: starting from the study of physical and chemical properties and morphology of the clayey soils of semiarid (Brazil) and Alentejo (Portugal). Initially, there is the semi-arid soil that was made without and with addition of 10% sand, 04, and then the clay soil Aletenjo which was produced without and with addition of 30% also with sand 04. For both clay soil studied, sand was added to adjust them to the recommended standards of ABNT in the manufacture of soil-cement block. The performance of the mortars with addition MMFs, paraffin to manufacture soil cement blocks, percentages by weight of n-paraffin, eicosane, 37 ° C melting point paraffin, and 120/ 130F, melting point 50 , 3c and paraffin sasolwax melting point 57°C, were added to the constituents of the mortar, the MMFs are called "smart" materials for adjusting the right set temperature. Then two mortars were produced, one with the clayey soils in Brazil (9 wt% cement; 9.63 wt% water, 0%, 3% and 5% w MMFs) and the other with clay soil Alentejo (9 wt% cement, 10 wt% water, 0% to 5% MMFs). After mixing the mortar was compressed with a manual press capacity 2MPa pressure in order to stabilize and to form soil cement blocks. Finishing the production process, with the cure of the material. In the final product were carried out the mechanical resistance and thermal properties (compressive, specific heat, latent heat, conductivity, strength and thermal capacity, immersion and capillary water) in addition, the material was characterized by fluorescence, SEM, DSC, TG. And the tests were performed in clayey soil: X-ray fluorescence, bulk density, true density, particle size, screening, sedimentation and Proctor test. With the trials were possible to produce soil-cement blocks with good mechanical strength and thermal properties.

**Keywords block:** soil-cement, strength, thermal property, MMFs

## LISTA DE FIGURA

<i>Figura 1-Topossequencia De Tipos De Solos .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2-Distancia <math>\Delta x</math> Da Superfície De Propagação De Energia Térmica.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3-Fluxograma O Qual Representas As Possíveis Combinações Dos Mmfs.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4-Fluxograma Experimental Para Obtenção Do Bloco De Solo-Cimento Com Mmfs.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5-Visão Geral Do Perfil Onde Foi Coletado O Solo Mossoró RN-In Situ .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 6-Quarteamento Para Microanalise (A) E Proporção De Areia Adicionado Ao Solo (B), (Portugal).....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 7-Densidade Real (Pp) Pelo Método De Picnometria Com Álcool.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 8-Detalhes Das Quantidades E As Características Da Argamassa .....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 9-Sasolwax 5603, Parafina Hidrogenadas Com Ponto De Fusão Entre (56-58°C).....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 10-Tipo De Parafinas Adicionada A Argamassa Para A Fabricação Do Bloco.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 11-Anel Volumétrico Para Determinação Da Densidade E Teor De Água Do Bloco .....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 12-Amostra Do Solo Preparada Para Determinação Da Densidade E Teor De Água.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 13-Prensa Manual Para Blocos De Solo-Cimento Do Brasil .....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 14-Blocos De Solo-Cimento Para Ensaios De Resistências A Compressão Simples .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 15-Bloco De Solo - Cimento Sendo Ensaiado.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 16-Blocos De Solo-Cimento Para Ensaios Mecânico E Microanalise.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 17 - Bloco De Solo-Cimento Para Microanálise .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 18-Equipamento KD2 Pro E Gabarito Figura.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 19-Sondas Inseridas No Bloco E Conjunto De Três Blocos Colados .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 20-Detalhes De Montagem Experimental Das Balanças .....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 21-Detalhes Das Sondas Usados Nos Experimentos E As Formas De Ligação .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 22-Detalhes De Ligação Das Sondas Nos Orifício Dos Blocos De Solos-Cimento.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 23-Blocos De Solo-Cimento Câmara Quentes Sondas E Data Logger .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 24- Imagens (MEV) Do Solo Argiloso Do Brasil, Profundidade De 0,05m A 0,40m, Com Aumentos De: (A) 1000x E (B) 1500x. ....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 25- Imagens (MEV) Do Solo Argiloso Do Brasil, Profundidade De 0,45m A 0,80m, Com Aumentos De: (A) 200x E (B) 500x. ....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 26-Imagens (MEV) Do Solo Argiloso Do Brasil, Profundidade De 0,85m A 1,20m, Com Aumentos De: (A) 500x E (B) 1000x .....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 27-Figura (MEV) Do Solo Argiloso Do Brasil, Profundidade De 1,20m A 1,80m, Com Aumentos De: (A) 40x E (B) 500x. ....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 28-Imagens (MEV) Do Solo Argiloso Do Brasil, Moídos Por 15 minutos No Moinho De Bolas, Com Os Aumentos De: (A) 24x, (B) 1000x, (C) 10000x E (D) 20000x.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 29-Analise (EDS) Comparativas Dos Elementos Presente No Argissolo (A) Coletados Na Profundidade De 0,05-0,60m, E (B) Profundidade De 0,60-1,80m.....</i>	<i>81</i>

<i>Figura 30-Distribuições Granulométricas Do Solo, Areia, Solo Corrigido</i> .....	84
<i>Figura 31- Solo Do Brasil (Plintita) E (B) Área E Pseudo Grão De “Areia”</i> .....	86
<i>Figura 32-Visualização Grosseira Solo, Portugal, Pseudo Grão De “Areia”</i> .....	86
<i>Figura 33–Solo–Cimento Com Base No Teor De Águas Obtido Por Proctor</i> .....	88
<i>Figura 34–Aspecto Geral Do Solo Cimento Pronto Para Prensagem Com Mmfs</i> .....	89
<i>Figura 35–Microestrutura Do Material Solo–Cimento Com Adição De 5% De SW</i> .....	91
<i>Figura 36–Microestrutura Das Áreas Z1, Z2, Z3 E Z4</i> .....	92
<i>Figura 37–Espectrograma E Análise Químicos Dos Blocos De Solo–Cimento Após Cura, Microestrutura</i> .....	93
<i>Figura 38–Espectrograma Da Microestrutura Da Região Da Região Z1</i> .....	93
<i>Figura 39–Espectrograma Da Microestrutura Da Região Z2</i> .....	94
<i>Figura 40–Espectrograma Da Microestrutura Da Região Da Região Z3</i> .....	94
<i>Figura 41–Espectrograma Da Microestrutura Da Região Z4</i> .....	95
<i>Figura 42-Morfologia Do Bloco De Solo–Cimento Com Adição Do Mmfs SW</i> .....	95
<i>Figura 43- Espectrograma Da Microestrutura Da Área Toda Por EDS</i> .....	96
<i>Figura 44-Espectrograma Da Microestrutura Da Área Z1 Por EDS</i> .....	96
<i>Figura 45–Espectrograma Da Microestrutura Da Região Z3</i> .....	97
<i>Figura 46–Morfológico Geral Do Bloco De Solo–Cimento Após A Cura</i> .....	97
<i>Figura 47–Microscopia Eletrônica Da Região Z5</i> .....	98
<i>Figura 48–Espectrograma Da Microestrutura Da Região Z5</i> .....	98
<i>Figura 49–Microestrutura Da Região Z5</i> .....	99
<i>Figura 50–Bloco De Solo–Cimento, Valores Absorção De Água Por Capilaridade (Kg/M<sup>3</sup>)</i> .....	100
<i>Figura 51–Blocos Quando Realizado O Ensaio De Absorção De Águas Em (%)</i> .....	101
<i>Figura 52-Resultado Da Resistência À Compressão Dos Blocos De Solo–Cimento Do Alentejo</i> .....	104
<i>Figura 53–Corpo Do Mmfs Submetido À Temperatura De 180<sup>o</sup>c</i> .....	105
<i>Figura 54–Micrografia Dos Blocos De Solo Cimento</i> .....	107
<i>Figura 55–Condutividade Térmica Dos Blocos De Solo–Cimento Com Parafina N–Eicosano</i> .....	107
<i>Figura 56–Resistências Térmicas Do Bloco De Solo–Cimento Do Semiárido</i> .....	109
<i>Figura 57–Temperatura Ambiente Dos Blocos Do Solo–Cimento</i> .....	110
<i>Figura 58–Aquecimento Constante A Temperatura De 25<sup>o</sup>C</i> .....	112
<i>Figura 59–Comportamento Térmico Dos Blocos De Solo–Cimento A 36<sup>o</sup>C</i> .....	113
<i>Figura 60 - Comportamento Dos Blocos De Solo–Cimento Com Aquecimento de Até 40<sup>o</sup>C</i> .....	115
<i>Figura 61–Comportamento Dos Blocos De Solo–Cimento No Aferrecimento</i> .....	114
<i>Figura 62–Desempenho Dos Blocos De Solo–Cimento A Temperaturas De 60oc</i> .....	116
<i>Figura 63–Resfriamento Dos Blocos De Solo–Cimento Partindo Da Temperatura Aos 60<sup>o</sup>C</i> .....	117
<i>Figura 64–Monitoramento De Temperatura Bloco De Solo–Cimento A 70<sup>o</sup>C</i> .....	117
<i>Figura 65–Comportamentos Dos Blocos De Solos–Cimento A Temperatura De 98<sup>o</sup>c</i> .....	119

<i>Figura 66–Perda De Massas Acumulativa Em Função Do Tempo E Da Temperatura .....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 67–Perda De Massa Acumulativa Em Função Da Temperatura E Do Tempo .....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 68- Análise Térmica DSC–TGA Do Material Que Compõe O Bloco Com Adição De RT36..</i>	<i>123</i>
<i>Figura 69–Análise Térmica DSC–TGA Do Material Que Compõe O Bloco Com Adição De SW .....</i>	<i>124</i>

## LISTA DE TABELA

<i>Tabela 1–Índice Físico Do Solo Para Fabricação De Bloco De Solo-Cimento</i> .....	23
<i>Tabela 2–Tamanho Das Partículas Que Compõem O Solo</i> .....	24
<i>Tabela 3–Área Por Unidade De Massa– Área Superficial Específica (ASE)</i> .....	25
<i>Tabela 4– Classificação Dos Poros De Acordo Com Suas Dimensões</i> .....	33
<i>Tabela 5–Temperaturas De Mudança De Fase Mmfs Parafina</i> .....	41
<i>Tabela 6 - Condutividade Térmica De Solo Registrada A Condutividade</i> .....	43
<i>Tabela 7–Água Utilizada Como Material De Mudança De Fase</i> .....	48
<i>Tabela 8–Característica Do Solo Argiloso Para O Uso Na Fabricação De Solo–Cimento</i> .....	58
<i>Tabela 9-Propriedade Térmica Da Parafina Sasol</i> .....	59
<i>Tabela 10–Parafina Existente No Mercado</i> .....	60
<i>Tabela 11–Propriedade Térmica Da Parafina N–Eicosana (RT36)</i> .....	61
<i>Tabela 12– FRX- Composição Química Amostra A E B Em Diferentes Profundidades</i> .....	82
<i>Tabela 13–Solo Com Incremento De 10 % De Areia De Outra Jazida</i> .....	83
<i>Tabela 14-Análise Química Por Florescência De Raios X Das Concreções</i> .....	87
<i>Tabela 15–A Análise Química Obtida Por Fluorescência De Raios X</i> .....	90
<i>Tabela 16-Absorção De Água A Uma Umidade Relativa Do Ar Em Torno De 70%</i> .....	101
<i>Tabela 17-Propriedade Física Da Argamassa Usada No Bloco De Solo–Cimento (Brasil)</i> .....	102
<i>Tabela 18–Índice Físico Do Solo E Teor De Umidade Ótimo Do Solo</i> .....	102
<i>Tabela 19–Valores Médios Da Resistência À Compressão Dos Blocos De Solo–Cimento</i> .....	103
<i>Tabela 20–Análise Térmica Dos Blocos De Solo–Cimento Do Semi-Árido</i> .....	106
<i>Tabela 21–Perda De Massas Em Função Do Tempo E Da Temperatura</i> .....	120
<i>Tabela 22–Perdas De Massa Dos Blocos De Solo–Cimento Sem Saturação</i> .....	121

## LISTA DE SIGLA

AA = Absorção de água

AG= Análise granulométrica

AP = Análise de plasticidade

AA = Taxa de absorção de águas;

ac = Contribuição da expansão térmica

c = Calor específico do solo (cal /g<sup>0</sup>C);

C = Capacidade de aquecimento volumétrico;

Cs= Calor específico dos sólidos do solo;

Cw= Calor específico da água;

Ca= Calor específico do ar;

Cv =Capacidade térmica volumétrica;

CP I = Cimento Portland comum

CP II E = Cimento Portland com adição de escoria

CP = Calor específico

D = Difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s);

Ds= Densidade do solo, g.cm<sup>-3</sup>;

Ds = Densidade do aparente; g cm<sup>-3</sup>;

DRX =Difração de raios X

DTA = Análise térmica diferencial

Da = Massa específica aparente

d = Diâmetro médio

F=força N;

FRX = Fluorescência de raios X

Qe=Energia é emitida j;

Qsis= Quantidade de calor na vizinhança;

q = Fluxo de calor

IP=Índice de Plasticidade

J= Joule

L=Comprimento m;

LP= Limite de plasticidade

LL = Limite de liquidez

LP = Limite de plasticidade

Ms = Massa do solo seco, g;

mo= Massa do picnometro seco e vazio em;

m1= Massa do picnometro com solo seco em estufa a 105°C;

$m_2$  = Massa do picnometro com solo e águas destilada;  
 $m_3$  = Massa do picnometro com águas destilada ate a marca estabelecida  
MEV = Microscopia eletrônica de varredura  
 $M$  = Massa do sistema, tendo  $c$  como unidade  $JK^{-1} kg^{-1}$ .  
NBR = Norma brasileira registrada  
 $P_c$  = Pressão constante;  
 $P$  = Pressão;  
 $P_A$  = Peso da amostra seca;  
 $P_U$  = Peso da amostra úmida, com água absorvida.  
 $P_A$  = Porosidade aparente  
 $P_t$  = Porosidade total em %;  
 $RL$  = Retração linear  
 $R$  = Resistência térmica – ( $^{\circ}C.cm / W$ )  
 $R_t$  = Resistência térmica ( $K/W$ );  
TGA = Análise termogravimétrica  
 $T$  = Temperatura  
 $vc$  = Contribuição das vibrações térmicas dos átomos na rede cristalina, chamadas de fônons.  
 $\kappa$  = Condutividade térmica – ( $W/m.k$ )  
 $d_p$  = Massa específica seca do solo ( $g/cm^3$ );  
 $dk$  = Contribuições das, expansão térmica e defeitos, para a condutividade térmica;  
 $\gamma$  = Coeficiente de expansão volumétrica;  
 $\Phi$  = Intensidade de fluxo de calor, em  $W/m^2$ ;  
 $\Phi_t$  = Intensidade total de fluxo de calor, em  $W (J/s)$ ;  
 $E$  = Energia (calor), em  $J$ ;  
 $\Delta T$  = Diferença de temperatura entre exterior e interior, em  $^{\circ}C$ ;  
 $\Delta t$  = Intervalo de tempo;  
 $\Sigma$  = Somatório;  
 $\alpha$  = Alpha  
 $\varphi$  = diâmetro  
 $e$  = externo

## SUMÁRIO

<b>CAPITULO 1: INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPITULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1 A LINGUAGEM NO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO .....	21
2.2 UM SISTEMA CONSTRUTIVO MILENAR .....	21
2.3 FATORES DE FORMAÇÃO DO SOLO E RELEVO.....	21
2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO.....	22
2.4.1 <i>Características de um solo muito argiloso do Alentejo-Portugal.....</i>	<i>25</i>
2.5 ELEMENTOS CONSTITUINTES DO SOLO .....	26
2.5.1 <i>Quartzo (areia).....</i>	<i>26</i>
2.5.2 <i>Argila.....</i>	<i>26</i>
2.5.3 <i>Siltes .....</i>	<i>27</i>
2.6 ELEMENTOS CONSTITUINTES DO BLOCO SOLO-CIMENTO.....	28
2.6.1 <i>Cimento Portland CP II usado na fabricação do bloco de solo-cimento .....</i>	<i>28</i>
2.6.2 <i>Aditivo (MMFs) .....</i>	<i>29</i>
2.6.3 <i>Blocos de solo-cimento: produção e normas técnicas.....</i>	<i>30</i>
2.6.4 <i>Máquina para fabricação do bloco de solo-cimento.....</i>	<i>31</i>
2.6.5 <i>Propriedades do bloco solo-cimento .....</i>	<i>31</i>
2.7 RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO SIMPLES .....	32
2.8 ABSORÇÕES DE ÁGUA.....	32
2.8.1 <i>Absorção de água por imersão e por capilaridade.....</i>	<i>32</i>
2.9 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS E CONCEITOS BÁSICOS .....	33
2.10 CAPACIDADE TÉRMICA DE UM MATERIAL .....	34
2.11 MATERIAIS DE MUDANÇAS DE FASES MMFS .....	39
2.11.1 <i>MMFs orgânico usado na construção civil.....</i>	<i>40</i>
2.11.2 <i>MMFs usado na tecnologia espacial .....</i>	<i>41</i>
2.11.3 <i>Placas de gesso acantonado com MMFs .....</i>	<i>42</i>
2.11.4 <i>Fluxograma o qual representa as possíveis combinações dos MMFs .....</i>	<i>42</i>
2.12 PROPRIEDADES TÉRMICAS .....	43
2.12.1 <i>Condutividade térmica.....</i>	<i>43</i>
2.12.2 <i>Propriedade térmica que proporciona a velocidade de aquecimento .....</i>	<i>43</i>
2.12.3 <i>Medida de propriedade térmica.....</i>	<i>45</i>
2.12.2 <i>Inércias térmicas com MMFs .....</i>	<i>47</i>
2.12.3 <i>Armazenamentos térmicos a água é o melhor representante dos MMFs. ....</i>	<i>48</i>
2.13 ISOLAMENTOS TÉRMICOS .....	49

<b>CAPITULO 3: MATERIAIS E MÉTODO.....</b>	<b>50</b>
3.1 O FLUXOGRAMA DESCREVE O PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL UTILIZADO NESTE TRABALHO..	50
3.2 ENSAIOS DOS MATERIAIS DE PARTIDA (SOLO).....	50
3.2.1 Solo argiloso, classificação e local de coleta .....	50
3.2.2 Preparação e caracterização do solo .....	51
3.2.3 Moinhos de bola .....	52
3.2.4 Análise granulométrica do solo natural, solo corrigido com areia do Brasil e Portugal ...	52
3.2.5 Preparação do solo para análise da microestrutura EDS, FRX e MEV .....	52
3.2.6 Análise de FRX – do solo e do bloco de solo- cimento para determinar os óxidos presente no solo do (Brasil) e (Portugal).....	53
3.2.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	53
3.2.8 Índices de plasticidade do solo .....	54
3.2.9 O limite de liquidez – LL.....	55
3.2.10 Limite de plasticidade – LP .....	55
3.2.11 Densidade real por picnometria dos blocos de solo–cimento e do solo.....	55
3.2.12 Tamanho de partícula .....	56
3.2.13. Ensaio de compactação Proctor .....	56
3.2.14 Umidade ótima de compactação do solo .....	56
3.2.15 Análises de espectrometria de fluorescência de raios-x do solo .....	57
3.4 PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA PARAFINA PARA SER INSERIDA NO BLOCO SOLO-CIMENTO ....	57
3.4.1 Preparação da parafina para inserir no bloco de solo–cimento do Brasil e de Portugal...	57
3.4.2 Componentes da argamassa do solo do Brasil com MMFs .....	57
3.4.3 Preparação da argamassa solo–cimento com PCMs (solo Portugal).....	58
3.4.4 Preparações da argamassa solo–cimento com PCMs (solo Brasil).....	59
3.4.5 Caracterizações das parafinas existentes no Mercado .....	60
3.5 PROPRIEDADES DOS BLOCOS SOLO-CIMENTO .....	61
3.5.2 Propriedade térmica do bloco solo-cimento .....	62
3.6 CONDUTIVIDADES TÉRMICAS PELO MÉTODO DO FIO QUENTE PARALELO .....	62
3.7 DENSIDADE APARENTE ATRAVÉS DO ANEL VOLUMÉTRICO DO BLOCO DE SOLO–CIMENTO .....	62
3.7.1 Porosidade total do bloco de solo–cimento .....	63
3.7.2 Umidade do bloco de solo–cimento .....	64
3.8 Prensagem da argamassa depois de caracterizado .....	64
3.9 DEMAIS ENSAIOS DO BLOCO SOLO-CIMENTO .....	65
3.9.1 Ensaio da resistência à compressão simples dos blocos de solo – cimento (Brasil).....	65
3.9.2 Resistência à compressão dos blocos de solo–cimento (Portugal) .....	66
3.10 ENSAIOS FÍSICOS .....	68

3.10.1 Taxa de absorção de água por imersão .....	68
3.10.2 Absorções de água por capilaridade dos blocos de solo-cimento .....	69
3.10.3 Absorção de água por imersão dos blocos solo cimento .....	69
3.11 ENSAIOS TÉRMICOS.....	69
3.11.1 Transferência de calor por condução .....	69
3.11.2 Medidas das propriedades térmicas do bloco solo-cimento (Brasil) .....	70
3.12 DATALOGGER EQUIPAMENTO DE AQUISIÇÃO DE DADOS (BLOCO DE SOLO-CIMENTO PORTUGAL) .....	71
3.13 PERDA DE MASSA DOS BLOCOS DE SOLO-CIMENTO (PORTUGAL).....	71
3.13.1 Sistema de aquisição de dados.....	72
3.14 ANÁLISES QUÍMICAS DOS BLOCOS SOLO-CIMENTO.....	75
3.14.1 Análise de fluorescência do bloco (FRX).....	75
3.14.2 Análise química dos blocos de solo-cimento (MEV e EDS) .....	75
<b>CAPITULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>76</b>
4.1 RESULTADOS DO SOLO .....	76
4.1.1 Morfologias do solo argiloso do semiárido Nordeste Brasil .....	76
4.1.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) do solo Brasil.....	76
4.1.3 Análise pela técnica de EDS.....	80
4.2 RESULTADOS DA ARGAMASSA .....	82
4.2.1 Análise de FRX - Óxidos presente no solo do semi-árido (Brasil).....	82
4.2.2 Análise de FRX - Elemento oriundo da correção granulométrica -.....	83
Óxidos presente no solo do semi-árido (Brasil) com acréscimo de 10% de areia .....	83
4.2.4 Correção granulométrica por Análise granulométrica e fluorescência de Raios X.....	84
4.2.5 Morfologia das concreções cores claras areia e cores avermelham pesado grão de areia	85
4.2.7 Correção granulométrica com base nos óxido de silício e alumina obtido por fluorescência de raios X-FRX (Portugal).....	87
4.2.8 Morfologia da argamassa do com adição de MMFs, Alentejo (Portugal).....	88
4.2.9 Morfologia da argamassa com adição de MMFs (Brasil) .....	88
4.2.10 Análise química obtida por fluorescência de Raios-X (FRX) (Portugal) .....	89
4.2.11 MEV-Morfologia do solo e do bloco de solo-cimento (Portugal).....	90
4.3 RESULTADOS DOS BLOCOS SOLO-CIMENTO (PORTUGAL).....	91
4.3.1 Microanálise por microscopia eletrônica de Varredura MEV - EDS .....	91
4.3.2 EDS - espectrograma e análise química da Microestrutura figura 36.....	92
4.3.3 MEV- EDS Microestrutura por microscopia eletrônica com 5% de SW.....	95
4.3.4 (MEV) Morfologia geral dos blocos de solo-cimento após a cura com aumento de 5000 vezes.....	97
4.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DOS BLOCOS SOLO-CIMENTO (BRASIL E PORTUGAL).....	99

4.4.1. Ensaio de absorção de água obtida por capilaridade (Portugal) .....	99
4.4.2 Ensaio de absorção de água dos blocos de solo–cimento por imersão em % (Portugal) .	100
4.4.3 Absorção de água por imersão do bloco de solo–cimento do Semi-árido do Nordeste (Brasil) .....	101
4.4.4 Ensaio de propriedades físicas dos blocos de solo– cimento (Brasil) .....	101
4.4.5 Teor de umidade do bloco de solo–cimento do semiárido (Brasil) .....	102
4.4.6 Ensaio de resistência a compressão simples do bloco de solo–cimento sem e com adição de PCM. (Brasil) .....	103
4.4.7 Resistência à compressão dos blocos de solo–cimento do Alentejo–(Portugal) .....	104
4.4.8 Ensaio de porosidade e influencias dos aditivos no bloco de solo - cimento com MMFs (Brasil)	104
4.4.9 Medidas das propriedades térmica dos blocos de solo–cimento (Brasil) .....	105
4.4.10 Condutividade e difusividade térmica pelo método da agulha de prova (Brasil).....	107
4.4.11 Capacidades térmicas das parafinas do bloco de solo–cimento em função da quantidade (Brasil).....	108
4.4.12 Resultados da resistência térmica do bloco de solo–cimento (Brasil) .....	109
4.4.13 Comportamentos térmicos dos blocos de solo do Alentejo (Portugal).....	110
4.4.14 O sistema monitoramento de temperatura e massa a 25 °C.....	111
4.4.15 O Sistema de monitoramento de temperatura e massa a 36°C.....	112
4.4.16 O Sistema monitoramento da temperatura e massa a 40°C .....	113
4.4.17 Quantidade de 400g de RT36 inserido no bloco de solo–cimento de 8kg a 40°C .....	114
4.4.18 O sistema monitoramento de temperatura e massa a 57°C (Portugal).....	115
4.4.19 Monitoramento de temperatura dos blocos de solo–cimento aos 60 °C.....	115
4.4.20 Monitoramento de temperatura do bloco de solo–cimento aos 70°C.....	117
4.4.21 Monitoramento de temperatura a 98°C e perda de massa dos blocos de solo–cimento..	118
4.4.22 Perdas de Massa dos blocos de solo–cimento com e sem PCM.....	119
4.4.23 Perda de massa sem saturação até 105°C .....	121
4.4.24 Inércia térmica e uso da parafina em materiais de construção .....	122
4.4.25 Análise térmica DSC–TGA e decomposição de massa da parafina n–eicosano .....	123
<b>CAPITULO 5: CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>125</b>
<b>SUGESTÕES.....</b>	<b>126</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>127</b>

---

## CAPITULO 1: INTRODUÇÃO

---

Durante mais de um milhão de anos, o homem utilizou materiais de construção quase sem transformação: a madeira, a pedra, o osso, as peles e as matérias-primas disponíveis rotulavam os sistemas construtivos em habitação (MENDONÇA, 2005). No princípio do período neolítico e paleolítico aconteceu o enriquecimento quantitativo e qualitativo dos materiais utilizados pelo homem tais como: argila, fibras animais, fibras vegetais e metais (DINIZ, 2007).

A produção de materiais como os blocos de solo-cimento a partir de uma matéria-prima abundante, como o solo, é um forte instrumento para a eventual solução de um problema global emergente, o aumento da demanda de amplas faixas da população por melhores condições de moradias. O atendimento dessas necessidades, dentro dos atuais padrões de consumo, pode ser traduzido pela aplicação econômica destes blocos de solo-cimento com MMFs em habitações por oferecer boa resistência mecânica, conforto térmico, facilidade em obtenção e seu design proporciona funcionalidades, podem ser produzidos na forma de encaixe.

O conhecimento e o domínio das propriedades dos materiais são importantes para a indústria em geral da construção civil (cerâmica), metal mecânica, química, elétrica, têxtil, eletrônica de alimentos, etc. As propriedades térmicas e mecânicas dos blocos de solo-cimento e outros materiais devem apresentar comportamento em diversas situações e em nível de solicitação e interação entre os elementos constituintes. Segundo (FERREIRA et al., 2007) e, (MORAIS; DELERUE-MATOS, 2010) quando escolhemos um material levamos em consideração vários fatores, os economicamente viáveis, os práticos, leves, resistência, duráveis e sustentáveis, inúmeros fatores podem ser citados, uns mais gerais outros mais restritos, ao emprego dado ao material.

Os materiais chamados de eco materiais, não tóxicos, devem trazer benefícios em termos de conforto e qualidade de vida, compatíveis com o avanço tecnológico, e mostrando que a expansão das fronteiras da humanidade pode ser feita de forma segura e eficiente (FERREIRA et al., 2007). O desenvolvimento sustentável, não é sinônimo de retrocesso e nem modo de vida desconfortável e rústico, devido ao uso de materiais de qualidade inferior. Os blocos de solo-cimento com materiais de mudança de fase MMFs são fabricados especificamente para minimizarem efeitos adversos ao meio ambiente, manter o seu desempenho, design e custo viável.

Geralmente, os materiais são utilizados na forma de um produto, peça ou dispositivo, em consequência, o conceito de ciclo de durabilidade está diretamente conectado à vida útil do produto (FERREIRA et al., 2007), afirma que as aplicações de um mesmo material são amplas quando comparadas ao produto, que são específicas. O fato que as propriedades de um material podem ser controladas através de modificações da sua microestrutura e macroestrutura. O uso do aditivo é uma alternativa, sendo compatível com a reciclagem, no caso dos blocos de solo-cimento com MMFs.

Nos estudos realizados por diversos pesquisadores, os aditivos MMFs têm sido usados para melhorar as propriedades térmicas dos materiais em diversas aplicações; como nas indústrias têxtil e espacial. Na construção civil, os MMFs foram usados na forma de encapsulado como material de mudança de fase, em placas de gesso e betões, entretanto, apesar de ter se mostrado uma alternativa na melhoria das propriedades térmicas, o seu preço elevado limitou a sua utilização. Neste caso, blocos de solo-cimento com micropartícula de MMFs foram produzidos com preços compatíveis aos blocos tradicionais existentes no mercado, mas com propriedade térmicas e absorção de água melhores.

O MMFs tem a capacidade de armazenar o calor latente no material. O armazenamento de calor latente ocorre com as vibrações intermoleculares das ligações químicas entre as moléculas fundindo ao absorver calor ao longo do tempo. E quando a temperatura diminui, as ligações químicas entre molécula são refeita e solidifica, liberando calor numa transformação transitiva física, solido para liquido e liquido para sólido. Devidos o balanço de energias e controle da temperatura são considerados materiais inteligentes. A energia armazenada nas substâncias dá-se o nome de entalpia, usualmente é representado pela letra H ou conteúdo de calor.

Atualmente os produtos são feitos de materiais que conseguem atender não só, as exigências de mercados, mas também as exigências técnicas de adequação ao uso e ao processo de fabricação. Neste estudo sobre um solo argiloso do estado do Rio Grande do Norte-Brasil e um solo argiloso do Alentejo-Portugal a propriedade original do solo foi alterada através da correção granulométrica com areia (quartzo), para potencializa a sua estabilização, facilitar a fabricação e melhorar a resistências mecânicas. Nenhum fator sozinho é decisivo na escolha de um material, mas a combinação de materiais diversos. Por exemplos a adição de MMFs, na argamassa do solo-cimento para fabricações dos blocos de solo-cimento, as propriedade térmica foi aumentada enquanto a resistência mecânica foi diminuída. Uma solução necessária para o aumento das resistências mecânica dos blocos de

solo-cimento foi proporcionado pelo aumento da quantidade de cimento e de areia como observado nos resultados apresentados.

Os MMFs orgânicos, parafina têm larga aplicação na indústria têxtil e na indústria aeroespacial, neste trabalho esta tecnologia foi adaptada a um bloco de solo-cimento com a função de melhorar a propriedade térmica e acumular energias na forma de calor latente. A caracterização química dos materiais de partidas, por fluorescências de raios X com a finalidade de analisar os óxidos presente e fazer intervenção em sua composição química a fim de minimiza as quantidades de cimento usado na sua fabricação e produzir um bloco de solo-cimento com resistência mecânico e térmico elevado.

Para o aperfeiçoamento e a utilização dos materiais de mudança de fase (MMFs) na construção de blocos de solo-cimento para ser utilizado na construção civil, é necessário conhecer com clareza as propriedades física e química dos materiais que compõem os blocos de solo-cimento e o seu comportamento quando a temperatura varia ao longo do tempo.

Este trabalho tem como objetivo a produção de blocos de solo-cimento com boas propriedades mecânica e térmica. Foi desenvolvido um bloco de solo-cimento com incorporação de MMFs. O material foi desenvolvido partindo do estudo das propriedades físicas e químicas e da morfologia dos solos argiloso do semiárido (Brasil) e do Alentejo (Portugal). Inicialmente temos o solo do semiárido que foi fabricado sem e com adição de 10% de areia 04, e o solo argiloso do Aletenjo foi produzido sem e com adição de 30% também de areia 04, para ambos os solos argilosos estudados, adicionou-se areia para ajustar as normas recomendada da ABNT, na fabricação de bloco de solo-cimento. O desempenho da argamassa com adição MMFs, parafínicos para a fabricação dos blocos de solo-cimento, porcentagens, em peso, de parafina n-eicosano, ponto de fusão de 37°C, e de parafina 120/130F, ponto de fusão de 50,3°C e parafina sasolwax ponto de fusão 57°C, foram adicionados aos constituintes da argamassa, os MMFs são denominados de materiais “inteligentes” por se ajustar a certa temperatura definida. Em seguida foi produzida duas argamassas, uma com o solo argiloso do Brasil, (9% p de cimento; 9,63% p de água; 0%, 3% e 5% p de MMFs) e a outra com o solo argiloso do Alentejo (9%p de cimento; 10%p de água, 0% e 5% de MMFs). Depois da mistura a argamassa foi prensada numa prensa manual com capacidade de pressão de 2MPa, a fim de estabilizar e dar forma aos blocos de solo-cimento. Finalizando o processo de produção, com a cura do material.

As propriedades físicas do material solo estudado foram a densidade, porosidade, massa específica, tamanho de partícula, limites de plasticidade e teor de água, ensaios de

Proctor. No produto final foram realizados os ensaios de resistência mecânica e das propriedades térmicas (Compressão simples, calor específico, calor latente, condutividade, resistência e capacidade térmica, imersão e capilaridade de água), além disso, o material foi caracterizado por fluorescência, MEV, DSC, TG.

Com os ensaios realizados foram possíveis produzir blocos de solo-cimento com resistência mecânica e boas propriedades térmicas. A perda de massa é um fator determinante a considerar, pois com a temperatura mais alta (105°C) e tempo de 24 horas, não verificou perdas de massa do material MMFs com a parafina sasolwax, já com o material utilizando a parafina n-eicosana, observou-se pequena perda de massa com na temperatura de aproximadamente 82°C.

---

## CAPITULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1 A linguagem no desenvolvimento científico

Os fenômenos extremamente complexos da natureza são infinitos e variados. Usando conceitos físicos para entender esta complexidade, combinações de certas leis simples para descrição dos fenômenos complexos. Segundo (KODAMA, 2010) o estudo desorganizado de um sistema escolhido não é produtivo. As descobertas de novas leis têm interpretação complexa. (MENDES, 2010); (KODAMA, 2010) afirma podemos construir um conjunto de leis fundamentais de fenômenos completamente fora do conceito estabelecido usando método sistemático.

O método científico pode ser dividido em três fases. A primeira fase extrair certas regras através de observações existentes entre os dados, empiricamente. Em geral, estas leis expressas na linguagem matemática não são independentes. A segunda fase chamada de fenomenologia pode ser reduzida a leis empíricas com a introdução de hipóteses, onde organizar as leis buscou se fundamentar os possíveis modelos utilizados para o sistema em estudo. Na terceira fase, o fenômeno obtido nas fases anteriores manifesta-se de forma inteiramente diferente daquelas conhecidas, são induzidas novas descobertas (KODAMA, 2010) e (MENDES, 2010).

### 2.2 Um sistema construtivo milenar

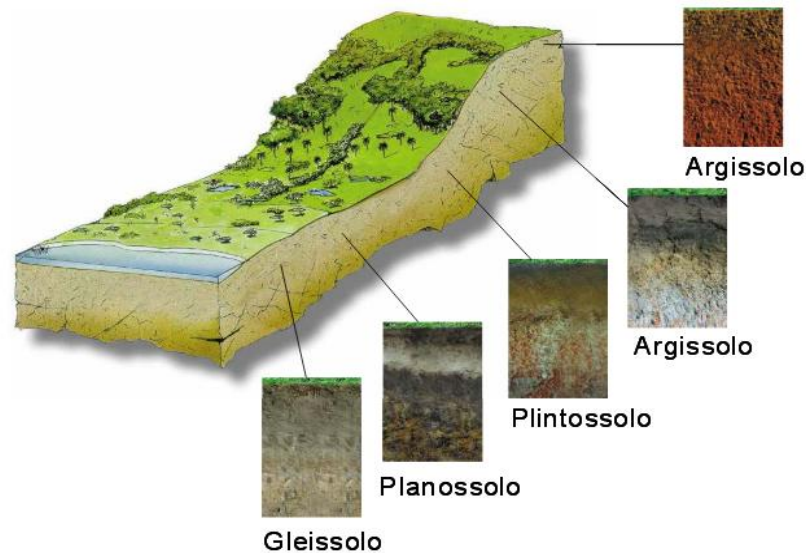
Segundo (CUNHA 1978), há evidências arqueológicas de que a construção com blocos de terra seca ao sol já eram comuns no final do período Neolítico. A construção em terra é uma das mais antigas formas de construção existente, a sua utilização estende-se a todos os cinco continentes, sempre que a matéria-prima se apresentava disponível. (CYTRYN, 1957) afirma que a construção com terra foi à primeira solução encontrada pelo homem primitivo para a construção de abrigo eficiente contra o meio ambiente hostil, em locais onde se apresenta dificuldades de manuseio de pedras e madeira (MANIATIDIS; WALKER, 2003).

### 2.3 Fatores de formação do solo e relevo

Quando um fator varia de maneira muito acentuada que os outros, de modo que é possível avaliar seus efeitos conforme figura 1. Assim, temos climosseqüências (variação

climática), toposseqüências (variação na topografia–e litosseqüências (variação do material de origem). Os Argissolo são oriundos da decomposição de rochas e sedimentares, corresponde a cerca de 50% de o registro sedimentar. São solos de natureza detrítica e consolidada de grão muito fino, resultante da consolidação de argilas e de vários silicatos, (SILVA et al., 2013); (STRECK et al., 2002).

**Figura 1-Topossequencia de tipos de solos**



Paisagem de (STRECK et al., 2002)

#### 2.4 Características físicas do solo para fabricação de blocos de solo–cimento

A consistência do solo refere-se à resposta do solo às forças externa que tenta deformar, ou romper, e deve-se à manifestação das forças de coesão e adesão com diferentes teores de água (ou umidade) chamados de estado de consistência. À conceituação do limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) é atribuído ao cientista sueco Albert Atterberg que buscava caracterizar argilas para uso na indústria de cerâmica.

- a) No ‘estado líquido’, o solo não apresenta resistência ao cisalhamento. À medida que perde água, o solo (coesivo) endurece (ou fica mais viscoso);
- b) A partir de certo teor de umidade LL (limite de liquidez), o solo pode ser moldado e conservar sua forma, caracterizando o ‘estado plástico’;
- c) Com a continuação de perda de umidade, a capacidade de ser moldado diminui, e que a partir da umidade o LP (limite de plasticidade). Este é o chamado ‘estado semissólido’, no qual o solo tem aparência sólida, mas sofre reduções de volume enquanto continuar a secar. A plasticidade se manifesta quando a água lubrifica as partículas, possibilitando o deslizamento entre elas, e esse intervalo é denominado de índice de plasticidade IP;

d) Continuando a secagem, ocorre à passagem gradual para o ‘estado sólido’, onde praticamente não mais ocorre variação de volume devida à redução de umidade tem-se a unidade é  $m^3/m^3$  ou, quando multiplicado por 100, para obter o resultado em porcentagem %. Como o volume de poros é afetado pela compactação ou preparo, O total de poros pode estar preenchido por água ou por ar (BRADY; WEIL, 2007).

**Tabela 1–Índice físico do solo para fabricação de bloco de solo-cimento**

Classificação dos solos em função dos índices de plasticidade (CRATerre, 1979)		
Tipo de solo	IP (%)	LL (%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Siltoso	5 a 25	20 a 50
Argiloso	> 20	> 40

Existem normas para o desempenho térmico dos materiais de edificações definições, símbolo segue normas específico. (ABNT–NBR 15220 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS PARTE 1, 2003) define os parâmetros de condutividade térmicos dos blocos cerâmicos; Desempenho térmico de edificações parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (ABNT–NBR 15220 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS PARTE 2, 2003). No entanto ainda não existem normas para determinar a propriedade térmica em função da microestrutura.

Uma importante exposição organizada pelo arquiteto belga Jean Dethier, Em 1981, na França, no centro George Pompidou em Beauborg, intitulada de “Down to Earth”. Na exposição foram mostrados exemplos de construções de terra em 34 países. Esta importante exposição foi apresentada em diversos países europeus, África, Estados Unidos e América do Sul. E visitada por um público estimado em dois milhões de pessoas (NEVES, 2001); (MORETT, 2003). Os novos conceitos de arquitetura sustentável e de baixo impacto ambiental tem incentivado a utilização das tecnologias de terra, devido às características intrínsecas do material.

#### Meio ambiente e sociedade e degradação

Ao processo de formação da Terra no período Hadeano e no Arqueano estão associadas à formação da atmosfera e da hidrosfera onde ocorreu várias faixas de temperatura até a sua forma habitável como atual. (KASTING; ONO, 2006) cita que existe uma estreita relação entre a vida, atmosfera e a composição química; esta relação permite as identificar elementos químicos encontrados no registro de rochas sedimentares utilizadas no estudo da biosfera e atmosfera da Terra. A atmosfera primitiva era composta por  $CO_2$ , vapor de  $H_2O$  e

outros gases (principalmente  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  e  $\text{H}_2\text{S}$ ) liberados como decorrência da diferenciação da Terra, o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{CH}_4$  tiveram um papel fundamental como gases estufa principal na atmosfera inicial da Terra.

A Tabela 2–Tamanho das partículas que compõem o solo originado a partir do intemperismo sobre as rochas. Independe do tipo de rocha que originou os solos são classificadas em função de seu diâmetro (mm).

<b>Tabela 2–Tamanho das partículas que compõem o solo</b>	
Fração Limites definidos pela Norma da ABNT	
Matacão	de 25 cm a 1 m
Pedra	de 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	de 4,8 cm a 7,6 cm
Areia grossa	de 2,0 cm a 4,8 cm
Areia média	de 0,042mm a 2,0 cm
Areia fina	de 0,05 mm a 0,042 mm
siltes	de 0,005 mm a 0,05 mm
Argila inferior	A partir 0, 005 mm

Fonte ABNT

Portanto, as porções de areia e silte, são predominantes de forma esférica e composição mineralógica formada por quartzo e as partículas de argila são de formato laminar e composta por minerais de argila caulinita, ilita, montmorilonita e os óxidos de (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Al) são os elementos presente em toda as rochas a qual deu origem ao solos. O quartzo, presente na maioria das rochas, muito resistente à desagregação e forma grãos de silte e areia (MELO et al.; 2002). A composição química do silício é simples,  $\text{SiO}_2$ , e apresenta baixa atividade elétrica.

Os solos laterítico, pertencem a um nível superior, bem drenado, onde predomina a argilas do grupo da caulinite e contêm óxidos de ferro hidratados que lhes confere uma cor avermelhada ou amarelada, (BUOL, S.W. & ESWARAN, 1977) no geral não incluiu minerais primários e a estrutura da rocha–mãe ainda não foi totalmente destruída e são depositado logo acima da rocha original, que contêm pequenas quantidades de fração argilosa e incluem minerais primários é solo jovem, (REIS, 2004).

**Tabela 3–Área por unidade de massa– área superficial específica (ASE)**

Aresta (mm)	Área específica (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Número de partículas
2	0,001	4,7x10
1	0,002	3,8x10 <sup>2</sup>
0,5	0,005	3,1x10 <sup>3</sup>
0,25	0,009	2,4x10 <sup>4</sup>
0,10	0,023	3,8x10 <sup>6</sup>
0,05	0,045	3,0x10 <sup>7</sup>
0,002	1,132	4,7x10 <sup>10</sup>
0,001	2,264	3,8x10 <sup>11</sup>

Fonte: Toledo, M.C. M (2009).

#### 2.4.1 Processos gerais de formação do solo

A gleização é um processo típico de ambiente com condições de redução, o que ocorre quando há saturação por água na maior parte do tempo. Esse fato gera duas consequências para a gênese do solo, maior abundância de elétrons no meio, havendo primeiro uma redução intensa de nitrogênio e, subsequente do ferro e manganês com isso, esses elementos é transportada para fora do perfil e são agente responsável pela cor são os óxidos e matéria orgânica, a superfície do solo fica com coloração acinzentada, típica dos argilominerais que permanecem no perfil. Assim, a coloração acinzentada no perfil é um forte indicativo de drenagem lenta ou impedida. Solos dessas classes foram observados in situ (em campo). A interpretação, uso diversos meios como imagem, comparação guias, folhetos, painéis, dentre outros. (RUCHKYS, 2007).

O Fe hidratado, quando presente no solo, tem forte poder de agregá-lo. No entanto, na presença de grandes concentrações de Fe já se observou que esse elemento causa a dispersão das argilas, pois, ao revestir sua superfície, altear-lhes a carga (SHANMUGANATHAN, R.P. & OADES);(ANTOLINI; CRUZ) descreve a clara a relação entre a estabilidade estrutural e o Fe adsorvido, o qual verifica que a substâncias úmidas, na ausência de tal cátion, não forma agentes agregante efetivo tanto o aumento de Fe quanto o de Al causa aumento das forças de atração dos coloides que influencia a agregação do solo.

#### 2.4.1 Características de um solo muito argiloso do Alentejo–Portugal

A argila nas camadas subsuperficiais pode aumentar a coesão dos solos, importante na

construção civil. (EMBRAPA SOLOS, 2013). A interação da fração argila com óxidos de Fe, Si e Al promove uma ação cimentante, resultando num aumento da coesão no solo com baixo teor de água. (SILVA, DA; CARVALHO, DE, 2007); (SILVA; CARVALHO, 2007). Independentemente do tipo de rocha que originou os solos são classificadas em função de seu diâmetro (mm).

## 2.5 Elementos constituintes do solo

### 2.5.1 Quartzo (areia)

Estruturalmente, é um tectossilicato em que todos os tetraedros, estão ocupado por  $\text{Si}^{4+}$  apresenta a fórmula  $\text{SiO}_2$  e o peso específico é 2,65. Normalmente é sem cor ou branco (Quartzo hialino), mas pode se apresentar colorido pela presença de impureza, apresentando as mais diversas cores (alocromático), que caracterizam suas muitas variedades de cores. A presença de Ti confere ao quartzo cor azul, e Mn cor rósea, de Fe e Mn cor violeta (ametista), de Ni cor verde, de Cr, cor vermelha e matéria orgânica cor fume (Quartzo esfumaçado). O quartzo é o mais comum e abundante mineral presente na maioria dos solos. Em solos argilosos é encontrado em pequenas quantidades (W. TEIXEIRA, M. C. M. DE TOLEDO, T. R. FAIRCHILD, 2000). Devido sua abundância nos solos arenosos, o quartzo e areia têm sido usados como sinônimos.

### 2.5.2 Argila

A argila na camada subsuperficial pode aumentar a coesão do solo, um fator importante na construção civil. (ABNT, 1984); (EMBRAPA 2008B, 1998). A interação da fração argila com óxidos de Fe Si e Al requeira uma ação cimentante que resulta num aumento da coesão no solo com baixo teor de água.

A argila é responsável pela coesão do solo e em parte, pela sua resistência à ação da água, aumentando de volume na sua presença. De forma a ser usada em construção terra com um mínimo de 5% de argila (GUERRERO, 2006). A argila possui capacidade de coesão tão forte que, de um modo geral, não é necessário mais do que 20% afirma (Maniatidis and Walker 2003), (DUARTE, 2013). Na realidade, a designação argila apenas deve ser usada para o elemento em estado puro. Em composição com areias e silte a designação mais correta é barro. A existência de argila em excesso pode originar o aparecimento de fendas por efeito de

retração durante a secagem, é necessário saber a quantidade a ser usada juntamente com dos quais com os restantes elementos para obter uma mistura de solo mais adequada para a construção (DUARTE, 2013).

Aos solos arenosos, chamados terras magras, o que as torna pouco plásticas, então terão de ser adicionados aglomerantes que aglutinem as partículas, como a argila ou a cal ("solo-cal"). A adição de cal ou cimento, corretivo químico para estabilização solo-cimento uma vez que reagem com a terra ao nível molecular. Este tem também a capacidade de aumentar a impermeabilização da terra, sendo por isso utilizado mesmo quando se trata de solos argilosos. Segundo (CRATERRE 1979), a percentagem de adição da cal ou do cimento varia entre 6 e 12% do peso do solo seco (o mais utilizado é o traço 1:10), Em Portugal, a percentagem de cal hidráulica utilizada para estabilização dos adobes varia entre os 25 e os 40%.

Segundo (DUARTE, 2013) durante as operações de fabricação do bloco de solo-cimento os blocos apresenta a plasticidade necessária para garantir a coesão suficiente para as operações de moldagem e desmoldagem, e transporte até o local destinado à cura dos blocos solo. ABCP (1985), cimento afirma que os solos mais arenosos são os que se estabilizam com menores quantidades de cimento, sendo necessária a presença de argila na sua composição, visando dar, à mistura, quando umedecida e compactada, coesão suficiente para a imediata retirada da máquina de compactar (ROLIM et al., 1999).

A composição das propriedades da mistura de solo admite uma coesão interna, onde a argila age com a função de argamassa, enquanto a areia age como um esqueleto interno. No bloco de solo-cimento pelas, suas propriedades coesivas é indispensável uma quantidade mínima de argila na estrutura de solo. A capacidade da argila de variar de volume em função da porcentagem de água cria alterações importantes no material, que proporciona a aglutinação dos componentes da mistura, (DUARTE, 2013). A porcentagem de solo argiloso deve ser restringida no tijolo de solo, inferior a 50%. E a proporção de areia deverá ser superior a 50% (MORETT, 2003).

### 2.5.3 Siltes

Os siltes são fragmentos de mineral menor do que areia fina e maior que argila (P. SOUZA SANTOS, 1992). A norma da ABNT, a NBR 6502, afirma que os silte são originados das rochas, e apresenta pouca plasticidade e baixa resistência mecânica ao solo,

quando seco ao ar. As partes constituídas pela fração silte, também como as areias, são considerada fração grosseira do solo. As areias constituem os agregados que fornece resistência a terra e diminuem a fissuração por retração. A combinação de diferentes granulometria permite uma maior resistência através do preenchimento, pelos finos, dos vazios entre os grãos de maior dimensão (C. MARTINS, E. DE S. MARTINS, 2004) A areia é um conjunto de partículas de rochas desagregadas, um material de origem mineral finamente dividido em grânulos ou granito, chamado de dióxido de silício, com 0,063 a 2 mm de diâmetro.

## 2.6 Elementos constituintes do bloco solo-cimento

Os blocos de solo-cimento inter-travados não empregam fôrmas; dispensa o uso de madeira; não polui por não necessitar de queimas, possui furos que serve como câmaras termo-acústica condutora de redes hidráulicas e elétricas, além de possibilitar a introdução rápida das colunas de sustentação, permitindo a economia em relação ao uso de fôrmas, rapidez no assentamento e baixa perda no transporte e no manuseio, esses fatores leva a uma redução de custos de 20% a 40%, se comparado com a alvenaria tradicional de tijolos de barro ou cerâmica, estudo feito pelo (CEPED, 2012); (IPT, 1980); Apesar de ter custo reduzido, o que favoreceria a construção de habitações de interesse social, os blocos de solo-cimento ganha espaço, no mercado de classe sociais de médio e alto padrão. Os materiais que compõem os blocos de solo-cimento geralmente são: solo (areia, silte e argila), cimento, e aditivos.

### 2.6.1 Cimento Portland CP II usado na fabricação do bloco de solo-cimento

O cimento usado para a fabricação do bloco de solo-cimento foi o cimento Portland CP II (NBR 11578). Recomendado para obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, concreto armado e concreto protendido, elementos pré-moldados e artefato de cimento. Este cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos, contidos no solo. Com relação ao cimento, Portland CP II-32, por possui propriedade satisfatória para confecção de solo-cimento, além disso, os cimentos são os mais utilizados, sendo facilmente encontrados no mercado, respondendo por aproximadamente 75% da produção industrial brasileira (ZANOTTI, 2010).

O cimento é uma substância alcalina composta por silicato e aluminato de cálcio que quando

reage com a água libera hidróxidos de cálcio, originando compostos cristalinos hidratados e gel do cimento que se desenvolve espontaneamente sobre a superfície mineral, ligando-se aos íons de oxigênio exposto nos silicatos e incorporando íons de cálcio livre a uma superestrutura formada pelo agrupamento de silicatos. A reação do cálcio livre liberado durante o processo de hidratação do cimento provoca a agregação do solo-cimento. A presença de cargas elétricas nas partículas de cimento provoca uma atração entre o cimento e as partículas de argilas, produzindo agregados (FERREIRA et al., 2008).

O solo, material disponível na superfície Terra vem se mostrando se como excelente alternativa técnica e econômica para uso em construções, por meio das técnicas, como a taipa de mão, a taipa de pilão, o adobe, paredes monolíticas e, principalmente, sob a forma de tijolos ou blocos prensados. Seu uso isolado ou associado a aditivos químicos e/ou resíduos de atividade agrícola, industrial ou agroindustrial, tais como: cimento, cal, silicato de sódio, cinzas vegetais, cinzas volantes, escória de alto forno, dentre outros, vêm sendo objeto de inúmeras pesquisas com a finalidade de aprimorar sua resistência à compressão simples, seu comportamento sob a ação da água e sua durabilidade em longo prazo (FERREIRA et al., 2008).

#### 2.6.2 Aditivo (MMFs)

Materiais que melhora a propriedades térmicas e ajuda na agregação do solo Ao longo da História, especialmente na África é costume usar gordura (sebo de porco ou carneiro), esterco (de boi ou cavalo, devido ao grande quantidade de fibras não digeridas), cinzas de madeira, óleos vegetais (como óleo de linhaça, coco, algodão, seiva de cacto, folha de bananeira ou palmeira) fibras vegetais, ou óleo de baleia na mistura de terra, como estabilizante, para aumentar a plasticidade, coesão e as propriedades hidrófugas da pasta (MINKE, 2001).

Neste trabalho a cera parafinas foi usada por (DANTAS, GOMES, REIS; 2013) a fim de melhorar as propriedades térmicas e diminuem a absorção de águas na argamassa solo - cimento; (MINKE, 2012) usou uma mistura de cal e soro de leite caseína, como camada impermeabilizante superficial, uma das maiores autoridades no assunto, a nível europeu, é Gernot Minke (MINKE, 2001) e (DIRETRIZES et al. 2013); trabalhando a partir da Universidade de Kassel, na Alemanha, tem desenvolvido inúmeros estudos sobre construção sustentável, em particular através do uso da terra como matéria prima o qual apresentou um gráfico das curvas granulométrica pelo método tradicional, semelhante aos dados obtido pelos

método fluorescência de raios FRX ( DANTAS, GOMES, VITAL, MARINHO 2014). O processo de obtenção do solo e correção granulométrica para a fabricação de bloco de solo-cimento, os autores consideram os óxidos de silício como partículas de areia e os demais óxidos classificaram com os finos como argila. Obtiveram um bloco de solo-cimento com as elevadas resistências mecânicas.

Critério proposto pelo CINVA (Centro Interamericano de Vivenda y Planeamiento-Colômbia) ou por autores como Merrill ou Cytryn afirma que os resultados dos ensaios não são sistematizados, onde os resultados são deduzidos muitas vezes por julgamentos subjetivos, que não podem garantir a sua reprodução em diferentes contextos.

Ao contrario dessa afirmação usando a técnica de FRX ( DANTAS, GOMES, VITAL, MARINHO; 2014), produziram blocos de solo-cimento de diferentes solos de diferentes Países o qual garante a reprodutividade dos blocos de solo-cimento e apresentaram a resistências mecânicas semelhantes.

### 2.6.3 Blocos de solo-cimento: produção e normas técnicas

O uso de blocos de solo-cimento, no Brasil, particularmente nas regiões menos favorecidas, como parte do interior da região sudeste, constitui uma alternativa de valor construtivo, tem demonstrando capacidade de absorção de esforços como alvenarias de vedação. Mediante os resultados de elevadas resistências à compressão dos blocos, poderão ser utilizados em alvenaria estrutural, para utilização em alvenaria com função estrutural, de acordo com a média acima de 4,5 Mpa. Entretanto, o solo cimento não possui resistência suficiente para alvenaria estrutural, podendo ser utilizados apenas com função de vedação, (MACÊDO ET AL., 2011); (NUNES DE MAGALHÃES 2010);

Estudos realizados neste âmbito pela (HUGO HOUBEN, 2007); (DUARTE, 2013) revelam como composição "ideal" 15-25% de argila, 20-35% de silte, 40-50% de areia e 0-15% de para o bloco de solo-cimento, agregado granulado com dimensão transversal compreendida entre 5 e 15 milímetros. Outras fontes variam entre 30-40% argila e 60-70% areia (versão simples), ou 15-18% de argila, 10-28% de silte, 55-75% de areia e 0-15% de gravilha.

#### 2.6.4 Máquina para fabricação do bloco de solo–cimento

Na década de 50, importantes programas de investigações de construções com terra realizada pelo Ministério do Trabalho de Israel, com a participação da Administração de Ajuda Técnica das Nações Unidas e do CINVA–Centro Interamericano de Vivenda y Planeamiento, estabelecido em 1951, em Bogotá, Colômbia, com participação da Organização dos Estados Americanos–OEA.

No trabalho do CINVA, realizado na Colômbia com ênfase na construção com blocos de solo–cimento, foi desenvolvido um modelo prensa manual, conhecida pelo nome de CINVA–RAM. Máquinas similares já haviam sido desenvolvidas na África do Sul, em Johannesburg, conhecidas comercialmente por “Landcrette” e “Ellson” (Santiago; 1984).

O solo pode ser extraído do próprio local onde se deseja construir, com isso economiza–se tempo e dinheiro, pois não precisa ser transportado. Alguns materiais duplicam o seu custo quando se transporta por uma distância de apenas 100 km (SALGADO, 2010). Os resultados levam a um menor custo construtivo, que pode ajudar a reduzir valor da construção e colaboram para o desenvolvimento sustentável, tão incentivado hoje em consequência do aquecimento global (BARBOSA, 2005).

#### 2.6 5 Propriedades do bloco solo-cimento

Pesquisadores de diversas, universidades, profissionais técnicos e construtores, têm realizando importantes pesquisas e contribuições para o desenvolvimento das técnicas construtivas de solo–cimento. Dentre os diversos centros de pesquisas de arquitetura de terra, destaca–se a atuação do CRATERRE, situado em Grenoble, França. Nos anos oitenta, diversos projetos experimentais foram ampliados (DUARTE, 2013).

O projeto mais expressivo realizado pelo CRATERRE foi à construção de 94 vilas utilizando tecnologias de terra, na região de Prajinburi, Tailândia. Este projeto foi executado durante os anos de 1983 a 1989.

Todas as técnicas de estabilização da terra foram divididas em seis categorias principais que sintetizam os diferentes tipos de abordagem: densificar (reduzir a porosidade), armar (reduzir a retração), encadear (reforço da ligação química entre o estabilizante e a componente arenosa; ex. cimento Portland), ligar (reforço da ligação química entre todas as partículas; ex. cal hidratada reage com a argila formando um material pozolânico),

impermeabilizar (enchimento dos poros com material impermeável; ex. betume), e hidrofuga (impedir a passagem e absorção da água). (CTERRERA, 1979).

## 2.7 Resistências à compressão simples

De acordo a (ABNT– NBR 8492/1984) a resistência à compressão para blocos vazados de solo–cimento deve ser maior ou igual a 2,0 MPa para valores médios, e maior ou igual a 1,7 MPa para valores individuais, aos 28 dias de idade.

Segundo a (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10834:, 1989), a resistência à compressão para tijolos maciços de solo–cimento não deve ser inferior a 2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais, com idade mínima de sete dias.

## 2.8 Absorções de água

De acordo com a (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT). NBR 10836. 1994), a absorção de água para blocos vazados de solo–cimento deve ser menor ou igual a 20% para valores médios, e menor ou igual a 22% para valores individuais, aos 28 dias de idade.

Segundo a (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. NBR 8492:, 1984), a absorção de água para tijolos maciços de solo–cimento não deve ser maior do que 20% para valores médios, e não superiores a 22% para valores individuais.

### 2.8.1 Absorção de água por imersão e por capilaridade

A classificação pelo tamanho dos poros é importante quando é necessário analisar características de um material como a absorção por capilaridade ou por imersão do mesmo em meio líquido (GREGG; SING, 1982).

Destacaram que a variação das velocidades e propensões à absorção nestas condições é diretamente influenciada pela proximidade das paredes dos poros, com destaque para maior absorção por capilaridade em mesoporos e maior absorção por imersão ou pressão nos macroporo (GREGG; SING, 1982) e (GREGG et al., 1967).

**Tabela 4– Classificação dos poros de acordo com suas dimensões**

Classificação	Diâmetro médio dos poros
Microporo	Menor que 2nm
Mesoporo	Entre 2 e 50nm
Macroporo	Maior que 50nm
Fonte–Embrapa 2013	

O ensaio de imersão total em água (APIT) em água para avaliação da permeabilidade é um ensaio valioso no estudo da taxa de absorção de água de um determinado material, principalmente quando se deseja inter-relacionar os resultados deste com outras análises, como a capilaridade (GREGG; SING, 1982);(MOREIRA et al., 2012).

O bloco de solo–cimento para alvenaria sem função estrutural (tijolo de solo–cimento para alvenaria de vedação) segundo a NBR 10834 define–se como um bloco vazado de solo–cimento como componente para alvenaria de seção transversal útil entre 40 e 80% da seção transversal total, constituído por uma mistura homogênea de solo, cimento, água e, eventual, o aditivo.

Conforme a NBR 8491(1984), define–se o tijolo maciço de solo–cimento como tijolo com volume real não inferior a 85% de seu volume total bruto, constituído por uma mistura homogênea de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos.

## 2.9 Propriedades térmicas dos materiais e conceitos básicos

A propriedade térmica de um material ou uma substância é representada por funções fundamentais da termodinâmica. Segundo (ZEMANSKY, 1968) o calor específico está associado à variação de energia interna do material, e se manifesta através da temperatura como acúmulo em diferentes “subsistemas”, depende especificamente do material, como:

- Energia de vibração dos átomos que compõem o material;
- Energia cinética dos elétrons livres que existirem no material;
- Orientação de dipolos magnéticos;
- Orientação dipolos elétricos;
- Criação de defeitos;
- Fenômenos de desordenamento;
- Rotação de moléculas, etc.

De maneira geral, os resultados de condutividade térmica, apesar de sofrer influências

locais da mineralogia, refletem as características físicas gerais de cada litotipo. Cada mineral possui um coeficiente de dilatação térmica diferente. Como exemplo o quartzo e o feldspato sob mesma temperatura tem diferença no aumento de volume. Em grande amplitude térmica repetitiva, pode ocorrer devido às dilatações diferenciada que enfraquece os pontos de união na periferia dos cristais isolados com isso, desprende os cristais, que forma o solo argiloso e arenoso (GALINDOV).

A condutividade térmica é a propriedade essencial que controla o fluxo de calor por condução normal. A faixa de valores de condutividade térmica para solos finos, como: argila e, silte é de 0,25 a 2,5 W/m. K de acordo com Mitchell (1993).

O balanço entre formas diferentes de energia é o enunciado da conservação de energia aplica a um sistema. Como calor ( $Q$ ) e trabalho ( $W$ ) são as únicas formas de energia ( $E$ ) que pode atravessar a fronteira de um sistema, pode-se escrever a primeira lei para um processo que conduz o sistema do estado 1 para um estado 2 (FREEDMAN; ZEMANSKY, 2009). Segundo (MOREIRA; BASSI, 2001) e (ANACLETO; ANACLETO, 2007) conceito fundamental em termodinâmica é de variáveis conjugadas. Uma variável extensiva  $X$  e outra intensiva  $Y$  são conjugadas se o produto  $YdX$  for uma grandeza infinitesimal com dimensões de energia.

A quando ocorrem sucessivos processos infinitesimais o processo é lento ou quase estático e todos os estados intermédios são de equilíbrio. As linhas contínuas ligam dois estados quase estáticos no diagramas de variáveis termodinâmicas representa o equilíbrio inicial e final do sistema. Os processos que passam por situações de não equilíbrio ou processo (não quase estáticos) não podem ser representados por linhas contínuas, e representa-se, por linhas tracejadas, (ANACLETO, 2004), (ANACLETO; ANACLETO, 2007).

## 2.10 Capacidade térmica de um material

A determinação experimental da condutividade térmica de uma amostra plana de um material é baseada na equação de Fourier. Se medirmos a taxa de calor conduzido ( $\Delta Q$ ) a taxa de transferência de calor  $W$  em uma amostra espessa ( $\Delta x$ ) de face e área ( $A$ ) em  $m^2$ , então a condutividade térmica unidimensional, para este caso é determinada. Num experimento, calor fornecido a umas faces da amostra por uma fonte térmica e removido da outra face por um trocador de calor (CENGEL 2009).

A temperatura das faces e medida, por termopares (PARK et al., 1999); (ALONSO,

M. E FINN, 1968); (GOMES, 2011).

Podemos definir, a condutividade térmica ( $\kappa$ ) é uma propriedade que expressa à quantidade de calor transferida no intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), na direção perpendicular a uma superfície de área ( $A$ ), e espessura ( $x$ ), quando há uma diferença de temperatura ( $\Delta T$ ). (CENGEL 2009) essa correlação pode ser expressa Matematicamente como:

$$k = \frac{q \Delta x}{A (T_1 - T_2)} \quad 2.1$$

onde:

$\Delta Q$  é quantidade de calor transferido (cal/g;)

$\Delta s$  a espessura da amostra (m)

$\Delta T$  a diferença de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );

$\kappa$  é condutividade térmica (W/m. K);

$A$  é a área perpendicular ao fluxo de calor ( $\text{m}^2$ ).

Quando um sistema recebe energia térmica, provoca mudança de a sua temperatura ocorre chamado calor sensível ( $c$ ) que depende da massa ( $m$ ) e suas e propriedade química, o produto da massa pelo calor específico e temperatura quando não ocorre mudança de fase, é o chamado calor latente de fusão ou vaporização. Quando a diferença ( $T_f - T_i$ ) tende para zero, esta razão aproxima-se de um valor limite, designado por capacidade térmica  $C$  representado pela equação:

$$C = \lim_{T_f - T_i \rightarrow 0} \frac{Q}{T_f - T_i} \quad 2.2$$

A variação infinitesimal da quantidade de calor ( $dQ$ ) o material absorve ou cede calor e causa a variação do sistema e conseqüentemente uma variação de temperatura  $\Delta T$  durante a transferência de calor (em condições de pressão constante). A capacidade térmica média  $C_p$  do sistema é definida pelas variáveis quantidades de calor e pelas variações de temperatura conforme equação da calorimetria (DIAS, 2007); (MOREIRA; BASSI, 2001) seu valor momentâneo da Capacidade térmica como:

$$C_p = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{dQ}{dT} = \frac{\delta Q}{dT} \quad 2.3$$

No sistema SI, a capacidade térmica  $C$  é medida em  $J.K^{-1}$ . Notemos que o segundo membro da equação 2,3 é a razão de duas grandezas infinitesimais  $\delta Q$  e  $dT$ . A capacidade térmica mássica é definida como

$$C = \frac{C \delta Q}{M dt} \quad 2.4$$

Onde:  $M$  é a massa do sistema, tendo  $c$  como unidade  $JK^{-1}kg^{-1}$ .

A alta capacidade térmica é uma das propriedades muito buscada por vários pesquisadores a fim de encontrar formas de acumular energias na forma de calor latente com o uso de materiais de mudanças de fase PCM

Do ponto de vista prático segundo (SANTOS, 2005); (HERZEN, VON; MAXWELL, 1959); (MULLINS et al., 1990); (AKIYOSHI et al., 2001) e (MOURA et al., 2005) a porosidade do material cerâmico deve ser considerada na avaliação da capacidade térmica volumétrica ( $C_v$ ) do material segundo a equação:

$$C_v = \rho_a \cdot c \quad 2.5$$

Onde  $\rho_a$  é a massa específica aparente e  $c$  é o calor específico do material, ou calor específico teórico ( $cal/g \text{ } ^\circ C$ ) (HUBER, 2003).

O Diagrama da convenção de sinais para o fluxo de calor por condução o sinal negativo ( $-$ ) é devido à 2ª Lei da Termodinâmica. O fluxo de calor de  $T_2$  para  $T_1$ , sendo que  $T_1 < T_2$ ). O elemento infinitesimal  $dx$  ilustra o balanço de energia para o fluxo de calor unidirecional e variável no tempo (DIAS, 2007). O calor que entra no elemento pela face na posição  $x$ , dada pela aplicação da equação 2.6 como decorrência, podemos escrever:

$$Q_e = -A \left( K \cdot \frac{dT}{dx} \right)_x \cdot dt \quad 2.6$$

Onde  $A = dy \cdot dz$  é a área e  $\left( K \cdot \frac{dT}{dx} \right)_x$  representa o fluxo de calor que entra conforme figura 1.

O calor que sai do elemento pela face na posição  $x+dx$  e dado segundo a equação:

$$Q_s = -A \cdot \left( K \cdot \frac{dT}{dx} \right)_{x+dx} \cdot dt = -A \left( \left( K \cdot \frac{dT}{dx} \right)_x + \frac{d \left( K \cdot \frac{dT}{dx} \right)}{dx} dx \right) dt \quad 2.7$$

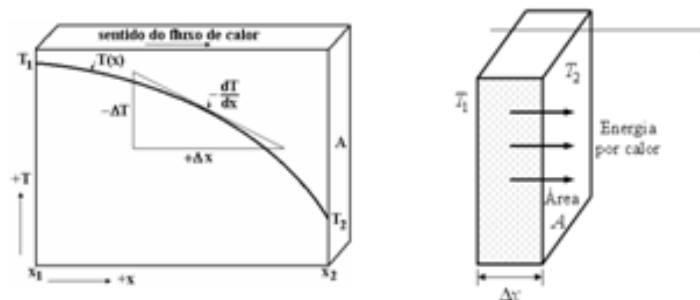
O termo entre parênteses representa o fluxo de calor, este é composto pelo fluxo de calor pela superfície de área ( $A$ ) em direção à posição ( $x$ ) ao longo da superfície com um aprofundamento infinitésimo ( $dx$ ). O calor convertido em energia interna do material e responsável pela variação da temperatura. Onde a unidade de volume.  $v=dx \cdot dy \cdot dz$  e envolve os seus gradientes de grandezas, (INCROPERA et al., 2007), (CALLISTER, 2007). Isto se quisesse estar de acordo com a gênese do conceito, como função matemática.

$$\frac{d \left( \frac{dT}{dx} \right)}{dx} - \frac{\rho \cdot c_{pm}}{K} \cdot \frac{dT}{dt} = 0 \quad 2.8$$

Onde  $\delta = \frac{k}{(\rho \cdot c_{pm})}$  a difusividade térmica do material na forma mais geral  $m^3 \left( \frac{kg}{m^3}, \frac{J}{kg \cdot K}, \frac{K}{s} \right) s = J$ .

Segundo (DIAS, 2007) à distância ( $x$ ) a partir da superfície do material, a perda de energia onde o sinal ( $-$ ) indica que o fluxo de calor ocorre em sentido contrário ao sentido do aumento da temperatura figura 2. O sinal negativo gera um valor positivo para o poder de freamento da propagação de energia, uma vez que a energia diminui à medida que  $x$  cresce. Figura 2–distância ( $\Delta x$ ) da superfície do material sinal ( $-$ ) indica que o fluxo de calor ocorre em sentido contrário do aumento da temperatura.

**Figura 2-Distancia  $\Delta x$  da superfície de propagação de energia térmica**



Fonte adaptada Dias M.S 2007

O gradiente  $dx/dT$  de temperatura na direção de  $Q$ , ocorre em todas as formas de

matéria, sólidos, líquidos, gases e plasmas, não requer qualquer movimento massa da matéria condutora, mas apenas de seus componentes subatômicos ou suas vibrações em escala microscópica, a distribuição da temperatura apresenta-se em forma logarítmica. Segundo (DIAS, 2007) o fluxo de calor em um material é descrito, indicando-se a temperatura (T) de cada ponto do material numa variável temporal (t). Na equação obtida por Fourier, a temperatura (T) aparece como uma função matemática das coordenadas e do tempo,  $T=T(x, y, z, t)$ .

A dilatação térmica são as propriedades térmicas mais importantes seguida da condutividade térmica, calor específico e a resistência térmica. A equação que representa a dilatação térmica é:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta t} = \frac{L - L_0}{L_0(t_2 - t_1)} \quad 2.9$$

Esta propriedade pode afetar a estrutura devida o processo de inchamento e encolhimento. As variações dimensionais associadas com as variações de temperatura são importantes para muitas aplicações. O coeficiente de expansão térmica linear momentânea é definido por (DIAS, 2007) apud (KINGERY, W.D., BOWEN, H.K., UHLMANN, D.R., 1976):

$$\alpha = \frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dT} = \frac{d\varepsilon}{dT} \quad 2.10$$

E o coeficiente de expansão volumétrica momentâneo é dado como;

$$\gamma = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT} = \frac{d\varepsilon\gamma}{dT} \quad 2.11$$

Onde  $\varepsilon\alpha$  e  $\varepsilon\gamma$  são as deformações térmicas lineares e volumétricas, respectivamente a integração da equação 2.12 resulta em:

$$\frac{L}{L_{ref}} = \exp\left(\int_{T_{ref}}^T \alpha \cdot dT\right) \quad 2.12$$

O calor específico e o coeficiente de expansão térmica são tabelados para uma faixa de

temperatura de referência, tomada como referência zero °C ou a temperatura ambiente. Considerando paralelepípedo de dimensões  $V = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3$ . O coeficiente de expansão volumétrica  $\gamma = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$  é relacionado com as expansões lineares e pela equação (ZEMANSKY, 1968); (VLACK, VAN, 1984).

$$\frac{\partial V}{\partial T} = L_2 \cdot L_3 \cdot \frac{\partial L_1}{\partial T} + L_1 \cdot L_3 \cdot \frac{\partial L_2}{\partial T} + L_1 \cdot L_2 \cdot \frac{\partial L_3}{\partial T} \quad 2.13$$

e

$$\frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial T} = \frac{1}{L_1} \cdot \frac{\partial L_1}{\partial T} + \frac{1}{L_2} \cdot \frac{\partial L_2}{\partial T} + \frac{1}{L_3} \cdot \frac{\partial L_3}{\partial T} \quad 2.14$$

Em termos práticos considera um material isotrópico ( $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$ ). O coeficiente de expansão térmico volumétrico médio  $\gamma$ , em uma faixa de temperatura  $\Delta T = T - T_{ref}$ .

A posição média do oscilador não é, obviamente, em função da temperatura (LEVY, 1968) é também evidenciado a partir da comparação da magnitude da expansão térmica com a amplitude de vibração da rede entre zero absoluto e o ponto de fusão, a expansão térmica média dos cristais alcança valores em torno de 1%.

Por outro lado, a maioria dos cristais funde quando a amplitude de vibração térmica alcança 10% de conforme já discutido na expansão térmica representa somente 10% da amplitude de vibração. Portanto, o modelo de oscilador harmônico não se ajusta plenamente às observações experimentais (DIAS, 2007) apud (LEVY, 1968).

### 2.11 Materiais de mudanças de fases MMFs

A exsudação praticamente não ocorre nos polímeros (MMFs) devido à sua capacidade de retenção de água no interior da argamassa, não só da parte hidrófila do polímero para fixar as moléculas de água na mistura impedindo a sua saída por evaporação ou absorção pelos restantes materiais, mas também devido à barreira física conferida pelo revestimento do filme polimérico formado. Este comportamento traduz-se numa cura interna muito vantajosa para as MMFs, por reduzir a necessidade de um período de cura úmida prolongada evaporação/condensação (RIBEIRO, 2012).

(RIBEIRO, 2012) observou desempenho das argamassas com cimento modificadas com polímeros (MMFs) como material de reparação de estruturas de betão armado, o MMFs mostrou se muito promissor. Um trabalho alargado sobre as características das MMFs foi realizado com destaque para três áreas de atuação dos polímeros em argamassas com cimento:

nas resistências à compressão e à tração e na inibição dos fenômenos da carbonatação e da corrosão induzida por carbonatação. As características reológicas e da sua composição em função do uso pretendido e da durabilidade desejada, bem como a análise da degradação térmica dos polímeros após as elevadas temperaturas, são algumas das novas linhas de investigação.

### 2.11.1 MMFs orgânico usado na construção civil

Estudo pioneiro realizado por (Telkes, MARIA—Thermal storage for solar heating and cooling. 1975), relatam experiências de uso de PCM no aquecimento e arrefecimento de espaços em edifícios, tendo registrado diversas patentes de uso de MMFs, (TELKES, 1947);(TELKES, 1952); (TELKES, 1980). Segundo (HUNGER; ENTROP, 2009) concluíram que as propriedades térmicas e mecânicas de peças endurecidas de betão verificaram influenciadas com aumento da percentagem de PCM micro encapsulados, provou-se que um a diminuição da resistência à compressão e a condutibilidade térmica do betão.

Segundo (KUZNIK et al., 2011), as vantagens dos MMFs, orgânicos são: disponibilidade em um amplo faixa de temperatura, capacidade para fundir em equilíbrio entre si, boa capacidade de auto restaurar. Na nucleação as cadeias emaranhadas do polímero MMFs se orientam em conformação adequada, alinhando se em padrão tridimensional perfeito, chamado núcleo. A não segregação do MMFs evita o deslocamento de contornos de grão, falha de empilhamento, interface com precipitado, as desvantagens dos MMFs orgânicos, condutividade térmica baixa e variações de volume, aproximado em 10%.

MMFs Inorgânico estes materiais são classificados como sais hidratados o ponto de fusão esta entre 20–32 °C (TYAGI; BUDDHI, 2007).

Segundo (KUZNIK et al., 2011), as vantagens deste tipo de MMFs são capacidade de armazenamento de calor latente elevada e disponibilidade, alta condutividade térmica e as desvantagens deste tipo de MMFs são o efeito (“supercooling”) sobre arrefecimento, é o método de redução da temperatura fluido abaixo do seu ponto de congelarão sem que se torne um sólido.

### 2.11.2 MMFs usado na tecnologia espacial

O Controle Térmico do Bloco Girométrico da Plataforma Sub-Orbital (PSO) depois de reentrada na atmosfera do foguete com duração aproximada de 8 minutos os componentes eletrônicos sobre um aquecimento inaceitável. A adição de material de mudança de fase, acoplada MMFs a caixa confeccionada, 2402g em alumínio e inserida com 781 g de parafina n-eicosano  $C_{20}H_{42}$ , para absorver calor, a uma potência de 60 W por 54 minutos. O capacitor térmico estatizou a temperatura na faixa de 36 a 42 °C durante 55 min.

A faixa de temperatura de operação do PSO que atende as especificações é -25 a 85 °C. (VALERI V. VLASSOV, 2001) Teste em laboratório, alcançaram um valor em torno de 85 °C de temperatura , após 80 minutos de funcionamento em teste de bancada, tempo superior ao solicitado para operação de um voo do PSO que é de aproximadamente 15 minutos.

O material parafínico utilizado na construção deve ser essencialmente do tipo orgânico como a parafina. As parafinas puras contem geralmente 14 a 40 carbonos. Os elementos presentes na parafina são o carbono e hidrogênio na seguinte proporção  $C_nH_{2n+2}$ , o ponto fusão varia, em função do numero de carbono (n) presente na parafina portanto quanto menos número de carbonos, menor é a temperatura do ponto de fusão da parafina,(DAVIS, DANNY ALLEN).

Mistura consiste na combinação de dois ou mais MMFs, independentemente de eles serem orgânicos e/ou inorgânicos. Normalmente são utilizadas estas misturas quando se pretende chegar a temperaturas de transição flutuante próximas das necessidades, desejável (SILVA). A sua principal desvantagem reside no seu custo elevado.

**Tabela 5–Temperaturas de mudança de fase MMFs parafina**

MMFs	Nº de átomos de carbono	Temperatura de mudança de fase °C	Entalpia de mudança de fase ( kl/kg)
Hexadecano	16,0	18,5	237,0
Heptadecano	17,0	22,5	213,0
Octadecano	18,0	28,2	244,0
Nonadecano	19,0	32,1	222,0
Eicosano	20,0	36,1	247,0
Heneicosano	21,0	40,5	213,0

Fonte (Smith 2009)

A impregnação do MMFs ao material de construção e através da mistura durante a preparação do material de construção. Após o resfriamento o MMFs solidifica no

poro ocupando menos espaço devido à contração experimentada na mudança de fase (ZHOU et al., 2012). Quando em serviço, o MMFs líquido não flui para fora do material de construção devido às forças de capilaridade que o mantêm dentro dos poros.

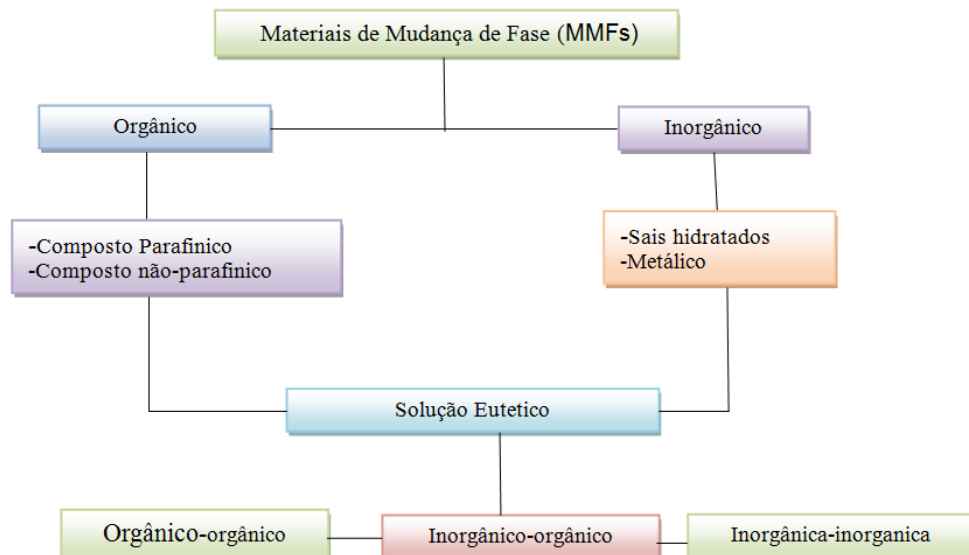
### 2.11.3 Placas de gesso acantonado com MMFs

As wallboards são parede de custo baixo, leve, usada em inúmeras aplicações, fazendo delas um bom meio para inserir o MMFs. Este tipo de parede é usado para separar ambientes interiores de exteriores e para reduzir a transferência de energia entre esses dois meios. Estas são nomeadamente constituídas por gesso cartonado.

Assim, as suas propriedades termodinâmicas afetam significativamente o desempenho térmico dos edifícios, (SILVA, 2009).

### 2.11.4 Fluxograma o qual representas as possíveis combinações dos MMFs

**Figura 3-Fluxograma o qual representas as possíveis combinações dos MMFs**



Os materiais mudança de fases são classificados em diferentes subcategorias com base na sua composição química como orgânicos inorgânicos e misturas eutéticas. Os compostos orgânicos subdividem-se ainda em parafínicos e não parafínicos, enquanto que os compostos inorgânicos dividem-se em sais hidratados e metálicos. Os sais hidratados são uma combinação de sais e água com baixo ponto de fusão. Uma mistura eutéticas é constituída por dois ou mais componentes que fundem e cristalizam congruentemente (SHARMA et al., 2009).

## 2.12 Propriedades térmicas

### 2.12.1 Condutividade térmica

Os métodos de fluxo de calor permanente o gradiente constante da temperatura por um longo tempo aos solos, pode influenciar na umidade devido à migração que causa mudanças nas suas propriedades térmicas tabela 3. O método de fluxo permanente usado para medir condutividade e difusividade em solos secos, evitando-se assim os gradientes de umidade (MITCHELL, 1993).

Com os métodos de fluxo transiente, a temperatura do solo varia com o tempo, segundo (FAROUKI, 1986) métodos transientes são rápidos e minimizam os gradientes de umidade. (VRIES, DE, 1952), sugere o uso de pequenos gradientes de temperatura para minimizar os gradientes de umidade.

**Tabela 6 - Condutividade Térmica de Solo registrada a condutividade**

Material	Condutividade Térmica (W/m/K )
Solos em Geral	0,15–4,00
Solos Saturados	0,60–4,00
Areia Seca	0,15–0,25
Areia Úmida	0,25–2,00
Areia Saturada	2,00–4,00
Argila de Seca a Úmida	0,15–1,80
Argila Saturada	0,60–2,50
Solo Orgânico	0,15–2,00

Fonte-(MITCHELL, 1993)

O método da sonda térmica (agulha térmica) é o método mais rápido e apropriado para medir condutividade térmica de solo em campo e em laboratório, este tem sido bastante utilizado pela sua facilidade de execução e rapidez na obtenção dos resultados (SANTOS, 2005); (CARVALHO, S.P.DE et al., 2013a); (FAROUKI,O.T.,1986) e (JACKSON; KIRKHAM, 1958); (OULDBOUKHITINE et al., 2012); (CARVALHO et al., 2013b). A razão do aumento da temperatura da sonda depende da condutividade do meio onde está inserida, ou seja, quanto maior a condutividade térmica do solo, menor retenção de calor na sonda.

### 2.12.2 Propriedade térmica que proporciona a velocidade de aquecimento

A difusividade é uma variável mais importante para o controle térmico das materiais de construções que a condutividade, porque expressa a velocidade com que um corpo se ajusta por inteiro à temperatura de seu entorno. Materiais de baixa difusividade retardam a transferência de variações externas de temperatura para o interior das construções, (SANTOS, 1989); (ABU-HAMDEH, N.H. E REEDER, 2000).

(R. INGERSOLL, 1955), (NIX G.H. VACHON R.I. AND TANGER G.E., 1967) demonstraram a utilização do método da fonte linear de calor, considerando um ponto no material de condutividade térmica ( $k$ ) que recebe uma fonte linear de calor ( $q$ ), que provoca a elevação de temperatura de  $T_1$  para  $T_2$ , no intervalo de tempos  $t_1$  a  $t_2$  e pode ser representada pela equação 2.15.

$$T_2 - T_1 = \frac{q}{4\pi k} \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad 2.15$$

onde:

$k$ —condutividade térmica experimental,  $W m^{-1} ^\circ C$ ,

$q$ —calor proporcionado à amostra,  $Wm^{-1}$ .

Para materiais a condutivos, a difusividade térmica controla a velocidade de propagação da frente de aquecimento. (SINGH; GOSWAMI, 2000) difusividade térmica está relacionada com a condutividade térmica ( $k$ ), com o calor específico ( $c_p$ ) e com a massa específica ( $\rho$ ) dividindo a condutividade ( $\kappa$ ) pelo calor específico volumétrico obtém a difusividade térmica ( $\alpha$ ).

Um material com baixa difusividade tem  $\kappa$  pequeno (conduz mal o calor) é necessária muita energia térmica para aumentar a temperatura de determinado volume do material (SWEAT 1974). A difusividade possa se determinada matematicamente pela equação:

$$\alpha = \frac{\kappa}{\rho c_p} \quad 2.16$$

onde:

$k$  Condutividade térmica ( $W/(m \cdot K)$ );

$\rho$  Massa específica ( $kg/m^3$ );

$c_p$  Calor específico ( $J/(kg \cdot K)$ );

$\alpha$  difusividade térmica ( $m^2/s$ ).

### 2.12.3 Medida de propriedade térmica

O princípio de funcionamento do equipamento de medida a sonda KD2 Pro baseia-se na metodologia de fio quente, em que os valores de condutividade térmica e difusividade térmica são obtidos através da solução da equação de condução de calor em coordenadas cilíndricas em um meio homogêneo, (Equação 2.17); (FONTANA; WACKER, B. T.; et al., 2001):

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \left( \frac{d^2T}{dr^2} + r^{-1} \frac{dT}{dr} \right) \quad 2.17$$

em que:

T=temperatura (°C);

t=tempo (s);

$\alpha$ =difusividade térmica ( $m^2 s^{-1}$ );

r=distância (m).

O fluxo de calor que passa, na unidade de tempo, através da espessura unitária e dimensões suficientemente grandes para eliminada a influência de contorno, quando se estabelece, uma diferença de temperatura unitária (JURINAK, 1979), (SACHT et al., 2010). Considerando dois ambientes separados por um elemento, o calor é transmitido do ambiente mais quente por condução externa e radiação para a superfície da parede, através da condutividade externa para ambiente mais frio, (MOREIRA et al., 2012)

A condutividade térmica por difusão, segundo (Incropera, F.P. and DeWitt 1998), fornece indicação da taxa o qual a energia térmica é transferida. A condutividade térmica dos materiais sólidos variam de valores baixos 0,04W/mK, como os dos isolantes térmicos, poliestireno expandido, até magnitudes maiores de 400W/mK, no cobre.

O método utilizado nos padrões térmicos de medição de condutividade e resistividade (ASTM, 2008); IEEE 442 e ASTM 5334 são geralmente chamados de fonte de calor de linha transitório ou método agulha aquecidos. Se uma taxa constante de calor, é aplicada a uma fonte infinitamente longa e infinitamente fina (linha), a resposta à temperatura da fonte ao longo do tempo, onde k é a condutividade térmica do meio em qual a linha está enterrado, D é a difusividade do meio, r é a distância entre a linha na qual variação de temperatura  $\Delta T$  é medida, e Exp é o exponencial integrante. Exp é definido da seguinte equação, e pode ser aproximado pela série mostrada:

$$-Ei(-\alpha) = \int_a^{\infty} \left(\frac{1}{u}\right) \exp(-u) du = -\gamma - \ln\alpha - \frac{\alpha^2}{4} + \dots \quad 2.18$$

Em que  $\gamma=0,5772$  é constante de Euler e  $\alpha= r^2/4DT$ . Os termos além  $\alpha \ln$  na expansão da série de exponencial tornar-se desprezível por longos períodos quando  $r$  é pequeno e  $D$  é grande, de modo Equação. 2.18 aplicando a expansão de Taylor nessa equação e aproximar como:

$$-Ei(-a) = \int_a^{\infty} \left(\frac{1}{u}\right) \exp(u-1) du = -\gamma - \ln\left(\frac{r^2}{4at}\right) + \left(\frac{r^2}{4at}\right) - \left(\frac{r^2}{8at}\right)^2 + \dots \quad 2.19$$

A construção do equipamento de medida das propriedades térmica KD2 Pro a agulha térmica, consistentes com uma hipótese de que o raio de fonte e o raio de medição, são o mesmo  $r$ . Os comprimentos e diâmetros da sonda sugeridos pela IEEE 442-03 e as dimensões pequeno (DEVICES, 2006). As limitações nos momentos de aquecimento longo, exceto para o teste de campo, valores de erro aceitáveis a ser obtida após 30s a 200s de aquecimento. Contudo, tempos de aquecimento longos são prejudiciais em, pelo menos, duas maneiras. Em material úmido, a água se move a partir de regiões de alta temperatura para regiões de baixa temperatura. O aquecimento da agulha conduz a umidade a partir de em torno da agulha. Isto reduz a condutividade térmica exatamente na região onde a condutividade está sendo medida. Minimizando o tempo de aquecimento reduz a magnitude do erro.

Pelo fato de ser transiente, essa técnica utiliza gradientes térmicos pequenos. O modelo teórico no qual a técnica foi concebida considera que o fio quente é uma fonte de calor ideal, longa e fina, que está circundado até o infinito pelo material que se deseja medir (DEVICES, 2006). O aumento da temperatura a uma distância ( $r$ ) conhecida do fio quente. Quando recebe calor a uma taxa constante,  $q$  é aplicado as agulha do KD2 Pro, a resposta do sensor de temperatura com o tempo pode ser descrito pela equação;

$$T(r, t) = -\frac{q}{4K\pi} Ei(x) \quad 2.20$$

T: Temperatura em relação à temperatura de referência (°C);

q: fluxo de calor (W/m);

r: distância radial à fonte de calor (m);

t: tempo decorrido desde o início da liberação de calor (s);

k: condutividade térmica (W/m. °C);

O KD2 Pro é um equipamento usado para medir a propriedade térmica como condutividade e resistividade e difusividade. A medição se baseia em uma fonte de calor transiente e um termopar, uma sonda inserida no interior do bloco de solo-cimento (DEVICES, 2006).

Que baseia na metodologia de fio quente, os valores condutividade térmica ( $k$ ) e difusividade térmica ( $\alpha$ ) foram obtidos pela solução da equação de condução de calor em coordenadas cilíndricas em um meio homogêneo, (FONTANA; WACKER, B.; et al., 2001) segundo a equação 2.21.

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \left( \frac{d^2T}{dr^2} + r^{-1} \frac{dT}{dr} \right) \quad 2.21$$

em que:

$T$  = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );

$t$  = tempo (s);

$\alpha$  = difusividade térmica ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ); e

$r$  = distância (m).

A solução analítica da Equação 2.21 foi obtida (FONTANA; WACKER, B.; et al., 2001).

### 2.12.2 Inércias térmicas com MMFs

Um material retém parte da energia que flui entre suas faces. A quantidade que fica retida depende da capacidade térmica do material que constitui. Essa característica dos corpos é denominada de inércia térmica. Materiais com elevada inércia térmica permitem diminuir a amplitude de variação da temperatura no interior das edificações como os MMFs. Dessa forma, os picos de temperatura interna dos ambientes podem ser modificados para reduzir as sensações de desconforto devido ao “calor” ou ao “frio”.

Quando a temperatura aumenta, os MMFs absorvem calor, reação endotérmica, liquefazendo, seu ponto de fusão. Quando se dá a diminuição da temperatura o MMFs se solidifica, reação exotérmica reage da forma oposta, transitando do estado líquido a sólido, libertando ou absorvendo energia. Os MMFs quando adicionado ao solo-cimento ajuda no conforto térmico, diminuindo variação da temperatura que acontece entre o dia e a noite (DANTAS, GOMES, REIS, 2013).

Segundo (TYAGI; BUDDHI, 2007) a que resulte na temperatura de fusão se que enquadre na faixa onde o MMFs terá o seu melhor rendimento, elevado calor latente por

unidade de massa, elevada condutividade, elevada densidade, equilíbrio de fases, pequenas alterações de volume, baixa pressão de vapor.

### 2.12.3 Armazenamentos térmicos a água é o melhor representante dos MMFs.

A água um PCM que possui elevado calor específico possibilita maior capacidade de estocagem de energia em temperatura inferior a 100°C (Tabela 7). Quando materiais líquidos são utilizados para o armazenamento térmico na forma de calor sensível, faz-se necessário o uso de tanques e sistemas de carga e descarga do fluido a ser estocado. O isolamento que impeça as perdas de energia tanto durante o armazenamento como durante as fases de carga e descarga. A água é o meio de armazenamento mais amplamente empregado devido as suas características desejado para o fluido de armazenamento é calor específico (capacidade térmica volumétrica elevada); baixo custo; condutividade térmica elevada, isto é, alta difusividade térmica. Estas características fazem da água o meio de armazenamento de calor, na maioria dos casos são mostradas (APPLICATIONS, 1997); (PERRY, ROBERT H., GREEN, DON W., 1999).

**Tabela 7–Água utilizada como material de mudança de fase**

Condutividade térmica da fase sólida	2,24 W/mK
Condutividade térmica efetiva da fase líquida	2,5 W/mK
Calor específico da fase sólida	2040 J/kgK
Calor específico da fase líquida	4210 J/kgK
Calor latente	3334kJ/kg
Temperatura de mudança de fase	0 °C
Densidade da fase sólida	917.8 kg/m <sup>3</sup>
Densidade da fase líquida [kg/m <sup>3</sup> ]	999.8 kg/m <sup>3</sup>

Os outros MMFs, orgânicos têm um custo inicial mais elevado, apesar disso, tende a ser os mais utilizados numa série de aplicações, porque são substâncias químicas mais estáveis por comparação aos MMFs inorgânicos (SHARMA et al., 2009) os MMFs, orgânicos apresentam algumas desvantagens, tais como a inflamabilidade e a produção de fumos perigosos durante o seu processo de combustão, (SILVA) 2009).

A constituição material parafínico utilizados na construção deve ser essencialmente do tipo orgânico como a parafina. As parafinas pura contém geralmente 14 a 40 carbono os elementos presentes na parafina são o carbono e hidrogênio na seguinte proporção  $C_nH_{2n+2}$ , o ponto fusão varia, em função do número de carbono (n) presente na parafina portanto quanto menos número de carbono, menor é a temperatura do ponto de fusão (ZHOU et al., 2012).

Estes tipos de MMFs utilizado levam vantagem de acumulação de energia, redução de custos e fácil aplicação em bloco para construção civil, redução de combustível quer no transporte ou no processamento dos tijolos convencional com menos CO<sub>2</sub> para o meio ambiente. A sua pouca utilização na atualidade deve-se, contudo ao preço deste material e a escassez de estudo e investimento em máquinas e técnica para sua implantação. No entanto, com o avanço da tecnologia e investigação é provável que o preço se torne mais competitivo; (CABEZA et al., 2007) e (F. KUZNIK, D. DAVID, K. JOHANNES).

### 2.13 Isolamentos térmicos

O conjunto de toda a estrutura, paredes, pavimentos e coberturas e piso, ou seja, os elementos físicos que delimitam o interior de uma habitação do exterior, são chamadas de envolvente, podem ser entendidos como eficácia de um material para isolamento térmico é caracterizada pelo valor da condutibilidade térmica. Segundo o RCCTE considera-se isolante térmico o material cujo coeficiente de condutibilidade térmica seja inferior a 0,065 W/m°C, ou cuja resistência térmica seja superior a 0,30 m<sup>2</sup>°C/W.

---

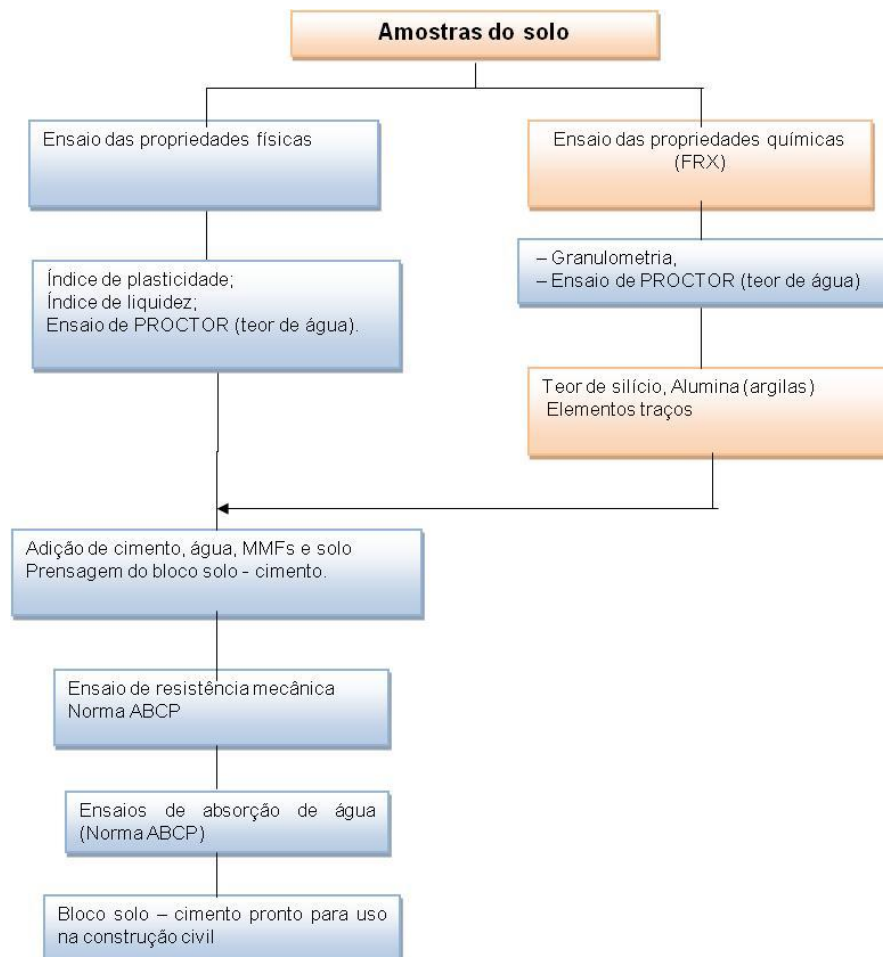
## CAPITULO 3: MATERIAIS E MÉTODO

---

3.1 O fluxograma descreve o procedimento experimental utilizado neste trabalho

Partindo da caracterização do solo com suas propriedades físicas e químicas, até a obtenção do solo-cimento, seguindo de uma nova caracterização desse material, e por fim a produção do bloco solo-cimento, que foi ensaiado e analisado para o uso na construção civil.

**Figura 4-Fluxograma experimental para obtenção do bloco de solo-cimento com MMFs**



### 3.2 Ensaio dos materiais de partida (solo)

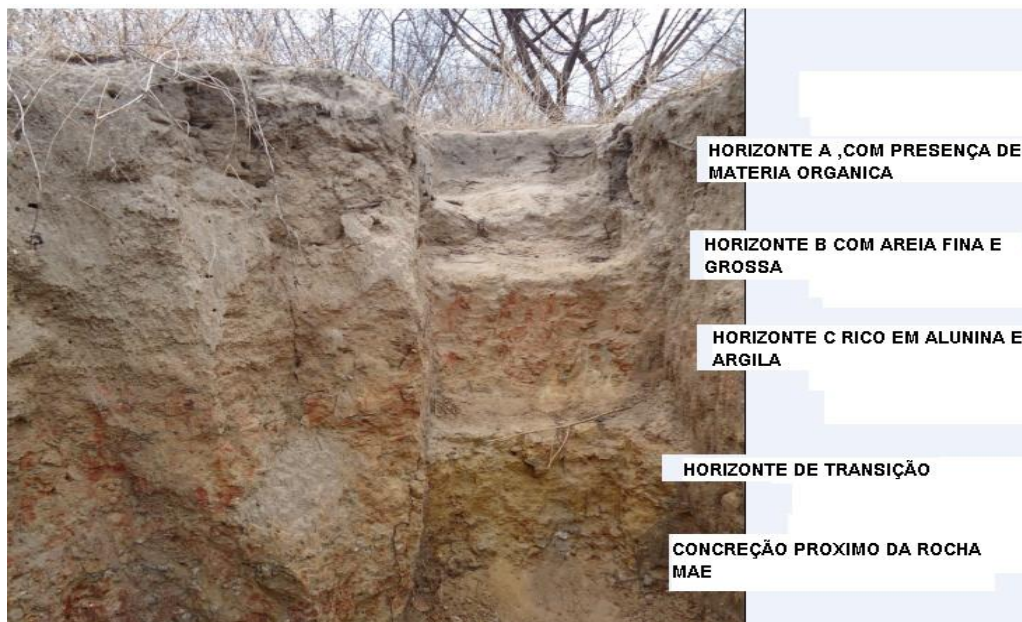
#### 3.2.1 Solo argiloso, classificação e local de coleta

O material solo argiloso foi retirado do campus da Universidade Federal Rural do

Semiárido UFERSA, em Mossoró–RN, localizado aproximadamente a 20 metros de altitude, e 5°12'34.68 de latitude Sul e 37°19'5.74 de longitude oeste. O solo foi classificado, segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo SBCS, (EMBRAPA SOLOS, 2013), como argissolo, foram descartados os 5cm da camada superficial que contém matéria orgânica que pode influenciar na compactação do solo e no processo de estabilização química.

Um aspecto geral do perfil do solo é mostrado na figura 5. A superfície desse solo tem um aspecto acinzentado devido à ação de dois fatores que atuam modificando a sua estrutura. Os materiais finos, argila e os óxidos de ferro são responsáveis pelo aspecto avermelhado e amarelado observado no solo. Tanto a argila quanto o óxido de ferro são arrastados pela água da chuva e pela ação da gravidade para horizonte B, onde se encontra a maior porcentagem de argila e óxido de ferro. E pelas volatilizações do carbono orgânico da superfície pela ação da temperatura relativamente elevadas em regiões quentes. Esses fatores dão aspectos cinzentos nas paisagens dos solos de regiões Nordeste Brasileiro.

**Figura 5–Visão geral do perfil onde foi coletado o solo Mossoró RN–in situ**



Fonte–Dantas 2012

Durante o processo de preparação o solo foi coletado de três locais e três profundidades, diferentes de 0,05–0,45m, 0,48–0,85m e 0,90–1,90 m. O perfil mínimo exigido e de 2m de profundidade ou até encontrar a rocha mãe (EMBRAPA, 1997).

### 3.2.2 Preparação e caracterização do solo

Após a coleta do solo foi realizado um desterroamento com um martelo de madeira

apropriado para tal função, em seguida foi realizado um peneiramento para retirada das pedras com tamanho superior a 4mm (parte grosseira). Durante o processo de preparação, os solos foram homogeneizados em uma betoneira por 20 minutos, em seguida o solo foi condicionado num saco plástico para a fabricação dos blocos de solo-cimento, num total de 60 kg, o suficiente para fabricação de 20 blocos maciços de solo-cimento e a realização de todos os ensaios físicos e químicos do solo Figura 6. Esses solos foram caracterizados pelos ensaios de: LP, LL, tamanho de partículas (sedimentação e peneiramento), densidade real, densidade de partícula e ensaio de Proctor.

### 3.2.3 Moinhos de bola

A utilização do moinho de bolas para moagem por fricção, descontínua em um processo de redução granulométrica, frequente utilizado na preparação de pastas cerâmicas, solos, porcelana e de vidrados. Habitualmente a sua utilização limita-se à moagem das matérias-primas vulgarmente designadas por não plásticas (ou duras), nomeadamente: areias, calcitas, dolomitas, feldspatos. O que determina a adoção de uma ou outra solução será sempre a correlação da granulometria de partida, a dureza do material a ser moído.

### 3.2.4 Análise granulométrica do solo natural, solo corrigido com areia do Brasil e Portugal

A análise granulométrica consiste de três partes, peneiramento (grosso e fino) e sedimentação. Na distribuição da curva granulométrica do solo natural, mostra-se a percentagem de areia, silte e argila solo do Brasil.

### 3.2.5 Preparação do solo para análise da microestrutura EDS, FRX e MEV

Depois desse processo de preparação do solo, em uma amostra com 10 quilos de solo, foi efetuado o quartemaento, Figura 6 do solo natural, da areia e do solo corrigido com areia até obter um valor aproximado de 150 gramas de cada material. Esta porção do solo foi moída em moinho de bola de alta energia com 12 bolas de alumina por 15 minutos, conforme recomendação técnica, tempo suficiente para que as partículas do solo passem nas peneiras de 200 Mesh (0,074mm), com a finalidade de analisar o material pelo método de FRX e MEV.

**Figura 6-Quarteamento para microanálise (a) e proporção de areia adicionado ao solo (b), (Portugal)**



### 3.2.6 Análise de FRX – do solo e do bloco de solo- cimento para determinar os óxidos presente no solo do (Brasil) e (Portugal)

Os valores de todo perfil do solo argiloso bem homogeneizado solo natural e com incremento de 10% de areia solo do Brasil e 30% de areia solo de Portugal essas a análise de fluorescência de raios-X mostra, composição dos óxidos presente. Conhecendo os elementos do solo natural o qual podemos modificar o solo que melhor se apresenta para fabricação de bloco de solo - cimento prensado, com menor quantidade de cimento e maior resistência mecânica.

### 3.2.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A variabilidade espacial do tamanho de partículas é enorme. Não se percebe isto num primeira observação no solo, simplesmente porque as partículas parecem todos muito pequenos perante os materiais com os quais acostumados a lidar. Existem grãos de areia com dimensões de 1 a 2mm, e partículas de argila com espessuras da ordem de  $10\text{\AA}$  (0,000001mm). Isto significa que, se uma partícula de argila fosse ampliada de forma a ficar com o tamanho de uma folha A4 de papel, o grão de areia citado ficaria com diâmetros da ordem de 100 a 200 metros, um quarteirão em função dessa dimensão foi necessário o uso do microscópico eletrônico de varredura MEV.

As analise microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi usado para determinar a morfologia do solo e dos blocos de solo-cimento prensado, análises químicas semi-quantitativa foi obtida por (EDS) foram realizada no Laboratório de Engenharia e Ciência dos Materiais (PPGgCEM) Universidade Federal do Rio Grande do Norte e no Laboratório de engenharia Civil do MINHO-PORTUGAL por equipamento EDX (SHIMADZU EDX-700).

Os materiais que compõem os blocos de solo-cimento não são um bom condutor de

elétrons e em função disso uma cobertura ultrafina de ouro/paládio, material eletricamente condutor, foi depositado por evaporação de alto vácuo por sputter na amostra em análise. Isto para prevenir a acumulação de campos elétricos estáticos no espécime devido irradiação elétrica durante a produção da imagem. A metalização com ouro/paládio tem a função de melhorar o contraste, e esta aplicação é necessária na operação de microscópios eletrônicos de varredura por emissão de campo (Field emission SEM).

As imagens foram obtidas por um microscópio eletrônico varredura (MEV modelo Jeol JSM-840, operando entre 20v e 25v. Nas análises da topografia da superfície da amostra de solo e do blocos de solo-cimento foram necessário que esta superfície seja condutora então para o material foi necessário um recobrimento com uma fina camada de um metal condutor ouro de (0 a 5 nm).

O micro análise consiste na medida de Raios-X característicos emitidos de uma região microscópica da amostra bombardeada por um feixe de elétrons. As características são específicas do número atômico da amostra e, do seu comprimento de onda, ou da sua energia, que podem ser utilizados para identificar o elemento que está emitindo a radiação. Espectros de raios-X podem ser obtidos para todos os elementos da tabela periódica, com exceção do hidrogênio. A técnica WDS, a separação dos raios-X é obtida por difração dos fótons característicos incidentes dos átomos presentes na região escolhida da amostra e incidida pelo feixe de elétrons do canhão do MEV. A lei de Bragg fornece a relação  $n\lambda=2d\text{sen } \theta$ , onde “n” é um número inteiro e “d” o espaçamento interplanar da família de planos difratados entre o comprimento de onda  $\lambda$  de raios-X, e o ângulo crítico  $\theta$  de incidência do feixe de interferência construtiva. No microscópio eletrônico podem acoplar detectores de raios-X (EDS E WDS), permitindo coletar fótons produzidos pelo feixe de elétrons primários e secundários.

### 3.2.8 Índices de plasticidade do solo

O índice de plasticidade (IP) é obtido através da diferença numérica entre o Limite de liquidez (LL) e o Limite de plasticidade (LP), ou seja, matematicamente, pela equação 3.1.

$$IP = LL - LP \quad 3.1$$

O IP é expresso em porcentagem e pode ser interpretado, em função da massa de uma

amostra, como a quantidade máxima de água que pode lhe ser adicionada, a partir de seu limite de plasticidade, de modo que o solo mantenha a sua consistência plástica.

### 3.2.9 O limite de liquidez – LL

Foi definido como o teor de umidade do solo, com o qual uma ranhura nele feita requer 25 golpes para se fechar numa concha. Diversas tentativas são realizadas, com o solo em diferentes umidades, anotando-se o número de golpes para fechar a ranhura e obtendo-se o limite pela interpolação dos resultados. O procedimento de ensaio é padronizado no Brasil pela ABNT (MÉTODO NBR 6459).

### 3.2.10 Limite de plasticidade – LP

Foi definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão. O procedimento é padronizado no Brasil pelo Método NBR 7180. Deve ser notado que a passagem de um estado para outro ocorre de forma gradual, com a variação da umidade. A definição dos limites acima descrita é arbitrária. Isto não diminui seu valor, pois os resultados são índices comparativos. A padronização dos ensaios é que é importante, sendo, de fato, praticamente universal.

### 3.2.11 Densidade real por picnometria dos blocos de solo-cimento e do solo

A densidade real foi determinada pelo método da picnometria com álcool para o solo-cimento conforme figura 7 e segundo (STENGEL, 1983). Neste método, o volume de álcool deslocado pela fase sólida de um pedaço do bloco de solo-cimento moído em um moinho de bola de alta energia até passar pela peneira 80 $\mu$ .

**Figura 7–Densidade real (pp) pelo método de picnometria com álcool.**



Fonte–Dantas 2012

A partir da massa conhecida e o volume do material e volume do picnômetro a densidade real foi determinada segundo a equação 3.3

$$\rho_p = (m_1 - m_0) / [(m_3 - m_0) \cdot (m_2 - m_1)] \quad 3.3$$

onde:

$\rho_p$ : densidade de partícula, g/cm<sup>3</sup>;

$m_0$ : massa do picnômetro seco e vazio em g;

$m_1$ : massa do picnômetro com solo seco em estufa a 105°C;

$m_2$ : massa do picnômetro com solo e álcool destilada;

$m_3$ : massa do picnômetro com álcool destilada até a marca estabelecida.

### 3.2.12 Tamanho de partícula

As análises do tamanho de partículas foram realizadas por dois métodos: por peneiramento, para solos grossos até a abertura de malha da peneira 200 (0,075 mm), e, pela sedimentação, para solos finos segundo a ABNT-NBR 6491 (1982).

### 3.2.13. Ensaio de compactação Proctor

Aplicando-se certa energia de compactação, certo número de golpes de um soquete sobre o solo contido num molde, a massa específica resultante é função da umidade presente no solo. Quando se compacta com umidade baixa, o atrito entre as partículas é muito alto e não se consegue uma significativa redução de vazios. Para umidades mais elevadas, a água provoca certo efeito de lubrificação entre as partículas, que deslizam entre si, acomodando-se num arranjo mais compacto.

### 3.2.14 Umidade ótima de compactação do solo

A umidade ótima de compactação do solo é obtida pelo ensaio de Proctor, na compactação, as quantidades de partículas e de água permanecem constantes; o aumento da massa específica corresponde à eliminação de ar dos vazios. Há, portanto, para a energia aplicada, certo teor de umidade, denominado umidade ótima, que conduz a uma massa específica máxima, ou uma densidade máxima.

### 3.2.15 Análises de espectrometria de fluorescência de raios-x do solo

O solo foi analisado pela técnica e EDS, com a finalidade de observar os prováveis átomos presente em uma porção do solo, com esta técnica foi possível obter uma análise semiquantitativa das quantidades e elemento químicos presente no solo. Neste trabalho também, usou-se a correção granulométrica com base nos óxidos presentes, obtidos por fluorescência de raios (FRX), na qual considerando a areia-  $\text{Si}_2\text{O}_4$ , como parte grosseira a alumina -  $\text{Al}_3\text{O}_4$ , e os outros elementos traços presente no solo considerando como argilas.

### 3.4 Preparação e caracterização da parafina para ser inserida no bloco solo-cimento

#### 3.4.1 Preparação da parafina para inserir no bloco de solo-cimento do Brasil e de Portugal

A parafina Sasolwax 5603, figura 13 refinada e hidrogenada com ponto de fusão 56–58°C a parafina n-eicosana-RT-36, com ponto de fusão 34–36°C, e a parafina 120/125 com ponto de fusão 53,2°C foram moídas por um processo de moagem a frio, o qual congelou a parafina até obter as mesmas características de um material iônico, ou seja, quebradiço. Isto foi possível quando as temperaturas das parafinas foram submetida a um aferrecimento menor que 3°C, negativo. No aferrecimento da parafina foi usado um freezer com capacidade de aferrecimento de 3°C negativos, e as barras de parafinas tornaram quebradiças. Quando a temperatura atingiu-3°C, as barras de parafinas foram quebradas com um martelo em tamanhos pequenos, e os pedaços foram para um processador com lamina cortante de aço inox. A potência do processador era de 800 W, com velocidade variável mais pulsar e com capacidade máxima do copo de dois litros, 2L. Os pedaços de parafinas foram postos no jarro do processador no qual no seu interior continha 3 laminas cortantes de aço inox giratória e duas lâminas de aço inox pulsante. O processador foi ligado por um período de 10 minutos, tempo suficiente para que as partículas de parafinas adquirissem tamanho menor que 0,177mm, os materiais de partida.

#### 3.4.2 Componentes da argamassa do solo do Brasil com MMFs

A figura 8 mostra a e a quantidade de (a) solo (b) cimentos e (c) partículas de MMFs. A parafina n-eicosano, parafina 120/125F e Sosalwax MMFs inserido são congeladas até a

temperatura negativa de 3°C, em seguida, foi adicionado ao solo, cimento e águas e homogeneizada.

**Figura 8–Detalhes das quantidades e as características da argamassa**



Fonte–Dantas 2012

### 3.4.3 Preparação da argamassa solo–cimento com PCMs (solo Portugal)

Os solos estudados na região de Portugal são de baixo teor de areia em torno de 40%, e elevado teor de argila 60%. Foi necessário efetuar uma correção do solo, que foi realizado com a ajuda da FRX, para que as suas propriedades físicas adquirissem as características aproximada do solo do Brasil, conforme tabela 8. Com isso foi acrescentado 30% de areia a esse solo natural do Alentejo. Depois de corrigido o solo, foi feita a adição de 9%p de cimento, 10 %p de água e ou 5%p RT–36 e 5%p SW, por fim, obteve uma argamassa de solo–cimento com PCM. A argamassa obtida foi depositada numa matriz da prensa manual com capacidade de prensagem de 2MPa a qual deu origem ao bloco de solo–cimento.

**Tabela 8–Característica do solo argiloso para o uso na fabricação de solo–cimento**

Características	
% passante na peneira 4 Mesh (4,75mm)	100
% passante na peneira 200 Mesh (75µ)	≤45
Limite de liquidez	≤18
Limite de plasticidade	10 a20
Fração argila	10 a20
Fração silte	10 a 20
Fração areia	50 a 70

As características da parafina tabela 9 usada no argissolo e o resultado dos ensaios de perda de massa, experimento realizado no laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Minho, são apresentados na tabela 9 e figura 9, foi usada como MMFs a SASOLWAX 5603 parafina refinada e hidrogenada ponto de fusão entre (56–58°C) e Parafina n–eicosana–RT–

36 com ponto de fusão (34–36°C) o que foram adicionadas ao bloco de solo–cimento uma porcentagem de 5%p.

Tabela 9-Propriedade térmica da parafina existente no mercado europeu

Fabricante	Produto	Características	T <sub>f</sub> / °C	Embalagem
	Sasol Wax 1800	Cera microcristalina	78-83	Pérolas 20 kg
	Sasol Wax 5603	Parafina refinada; diversas aplicações	56-58	Placas 25 kg
	Sasol Wax 6063	Parafina refinada; diversas aplicações/Fisioterapia	44-47	Placas 25 kg
	Sasol Wax 6220	Produto p/ enchimento - cola às paredes, baixa contração	52-52	Placas 25 kg

Sasolwax 5603 Parafina refinada e hidrogenada ponto de fusão (56–58°C).Grau técnico

Figura 9–Sasolwax 5603, parafina hidrogenadas com ponto de fusão entre (56–58°C)



Dantas–2014

#### 3.4.4 Preparações da argamassa solo–cimento com PCMs (solo Brasil)

Na preparação da argamassa com o solo argiloso do Brasil, foi utilizado 9% p de cimento; 9,63% p de água; 0%, 3% e 5% p de MMFs. Depois da mistura a argamassa foi prensada numa prensa manual com capacidade de pressão de 2MPa, a fim de estabilizar e dar forma aos blocos de solo–cimento. Finalizando o processo de produção, com a cura do material. No produto final foram realizados os ensaios de resistência mecânica e das propriedades térmicas (Compressão simples, calor específico, calor latente, condutividade, resistência e capacidade térmica, imersão e capilaridade de água), além disso, o material foi caracterizado por fluorescência, MEV, DSC, TG.

### 3.4.5 Caracterizações das parafinas existentes no Mercado

Nos blocos em estudos foi acrescentada a parafina 120/125F, dentre as que existem no mercado brasileiro, conforme se pode observar na tabela 10 e figura 10.

**Tabela 10–Parafina existente no mercado**

Características	Parafina	Parafina	Parafina	Parafina	Parafina	Métodos
	120°/125°F	130°/135°F	140°/145°F	150°/155°F	170°/190°F	
Ponto de fusão (°C)	50,3	55,8	61,4	66,9	82,4	ASTM-D-87
Densidade (água = 1g/cm3)	0,78	0,81	0,81	0,91	0,84	ASTM-D-1298
Viscosidade a 90°C (cSt)	3,49	4,39	6,01	5,53	N.D	ASTM-D-445
Cor Saybolt	+20	+30	+30	+30	+28	ASTM-D-156
Teor de óleo máx. (%p)	3	0,5	1 e 2	1,70	1,0	ASTM-D-721
Penetração a 25°C(0,1mm)		14	12	21	15 (máx.)	ASTM-1321
Ponto de fulgor(°C)	202	232	244	276	290	ASTM-D-92

Fonte – Petrobrás

**Figura 10–Tipo de parafinas adicionada a argamassa para a fabricação do bloco**



Fonte–Dantas 2015

As características físicas–químicas da parafina n–eicosano figura 10a cor amarela e a parafina 120/125F figura 10b na forma de pó com diâmetro  $\theta \geq 80\mu$  de Mesh (0,177mm) são apresentadas as características físicas na tabela 9 e 10. Essas parafinas foram adicionadas 3 e 5%p na uma argamassa para a fabricação de blocos de solo-cimento, na tabela 11 são apresentadas as características químicas e físicas da parafina n- eicosano.

Tabela 11–Propriedade térmica da parafina n–eicosana (RT36)

Informações sobre o produto		n-Eicosano
Fórmula Hill	$C_{20}H_{42}$	
Fórmula Química	$CH_3(CH_2)_{18}CH_3$	
Código HS	2901 10 00	
Número CE	204-018-1	
Massa Molar	282.55 g/mol	
Número CAS	112-95-8	
Dados físico-químicos		
Solubilidade em água	(20 °C) insolúvel	
Ponto de fusão	34 - 37 °C	
Massa Molar	282.55 g/mol	
Densidade	0.79 g/cm <sup>3</sup> (20 °C)	
Ponto de Ebulição	204 - 206 °C (20 hPa)	
Pressão de Vapor	1.3 hPa (20 °C)	
Ponto de inflamação	>100 °C	

Fonte - Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha química (at)

### 3.5 Propriedades dos blocos solo-cimento

Os blocos foram prensados utilizando uma prensa manual com capacidade de prensagem de 2MPa a fim de proporcionar as primeiras estabilizações, e dar forma e proporcionar o manuseio dos blocos quando verde.

Com base nos valores das propriedades físicas quando o solo disponível para a fabricação de blocos de solo-cimento não apresentar as características da Tabela 8 deve efetuar a correção granulométrica adicionando ou retirando os constituintes a fim de obter um solo com características similares. A taxa de água ideal que deve ser adicionada ao solo a fim de fabricar o bloco de solo-cimento é obtido usando os ensaios de Proctor. Este ensaio sozinho não é suficiente, mas devemos ter o cuidado em obter a umidade do solo natural e descontar umidade obtida pelos ensaios de Proctor menos a umidade do solo natural e o teor ideal para fabricação do bloco de solo-cimento.

#### 3.5.1 Resistência mínima do bloco solo-cimento

Os blocos solo-cimento, de acordo com a ABCP devem apresentar resistência a compressão simples  $RC \geq 2,0MPa$  ( $\geq 1,7MPa$  individual) e taxa de absorção de águas (AA)  $\leq 20\%$  e  $\leq 22\%$  individual) os ensaios dos blocos de solo-cimento devem ser feito aos 28 dias de curas. A norma ABNR 1522 estabelece a condutividade térmica K entre 0,70–1,05

(w/m.k), e densidade  $\rho$  entre (1 a 2)  $\text{g/cm}^3$ , para tijolo ou telhas. No entanto, para o bloco de solo-cimento ainda não tem estudo.

### 3.5.2 Propriedade térmica do bloco solo-cimento

As propriedades térmicas, tais como condutividade térmica, calor específico e capacidade térmica foi obtida pelo equipamento K2 Pro. O desempenho térmico dos blocos de solo-cimento com adição de MMFs foi obtido por câmara quente e com termopar inserido no interior do bloco, e medindo a temperatura e comparando com a temperatura da câmara quente e do ambiente. Também foram feitos os ensaios de resistência à compressão simples, capilaridade, absorção de água; Análise Térmica Diferencial (DTA) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), bloco, solo armazenador de calor.

### 3.6 Condutividades térmicas pelo método do fio quente paralelo

A condutividade térmica foi medida por um equipamento modelo KD2 Pro que inclui uma fonte de calor linear com uma resolução de  $0,001^\circ\text{C}$ . O KD2 Pro produz corrente constante a 0,01 V e 0,01 ampères e no tempo de 0,1 segundo. Acessórios capazes de fazer um furo na amostra com diâmetro e profundidade iguais às dimensões da agulha do aparelho também foram utilizados. Este método analítico é baseado em microprocessadores adequados a todas as especificações da ASTM D5334-08.

### 3.7 Densidade aparente através do anel volumétrico do bloco de solo-cimento

A medida de densidade aparente foi feita com o anel volumétrico, de dimensões de 0,024m de altura e 0,074m o qual foi colocado no fundo da matriz da máquina manual. O conjunto solo-cimento, máquina e anel foram prensados, figura 11, e após foi retirado os excessos de material e feitas as medida de densidade aparente e teor de água do bloco de solo-cimento após a cura aos 28 dias. Foi pesada a massa úmida da argamassa do interior do anel e levada a estufa aos  $105^\circ\text{C}$  graus. Com esse procedimento também foi possível determinar o teor de água.

**Figura 11–Anel volumétrico para determinação da densidade e teor de água do bloco**



Fonte –Dantas 2013

Na coleta das amostras para os ensaios de densidade do bloco de solo–cimento foi empregado anel volumétrico de dimensões de 0,024m de altura e 0,074 m de diâmetro, com suas respectivas cápsulas, extrator de amostras. Amostra posta num dissecador para manter sua massa constante durante o resfriamento e pesagem figura 12.

**Figura 12–Amostra do solo preparada para determinação da densidade e teor de água**



3.7.1 A densidade aparente dos blocos de solo–cimento solo foi determinada pela equação

$$D_s = \frac{M_s}{V_s} \quad 3.2$$

onde:

$D_s$  é a densidade do solo,  $\text{g.cm}^{-3}$ ;

$M_s$  é a massa do solo seco, g;

$V_s$  é o volume do solo seco,  $\text{cm}^3$ .

### 3.7.1 Porosidade total do bloco de solo–cimento

Todos os cálculos de índice de vazios ou porosidade foram realizados com três

repetições para cada intervalo de profundidade. Através de cálculo indireto, utilizando a densidade do solo aparente e a densidade real. O índice de vazios total ou porosidade total foi determinado pela Equação 3.4:

$$P_t = 1 - (D_s / D_p) \quad 3.4$$

Onde:

$P_t$  é a porosidade total em %;

$D_s$  é a densidade aparente;  $\text{g cm}^{-3}$ ;

$D_p$  é a densidade real,  $\text{g cm}^{-3}$ .

### 3.7.2 Umidade do bloco de solo-cimento

Os blocos de solo-cimento natural foram pesados em uma balança de precisão, e mergulhados em um recipiente contendo água destilada. Após 24 horas, os blocos de solo-cimento foram secos com uma toalha e pesados novamente. A absorção de água dos blocos solo cimento foi obtida pela equação 3.5.

$$AA = \frac{P_u - P_a}{P_a} \cdot 100 \quad 3,5$$

onde

$AA$  é a taxa de absorção de água;

$P_a$  é o peso da amostra seca;

$P_u$  é o peso da amostra úmida, com água absorvida.

### 3.8 Prensagem da argamassa depois de caracterizado

O bloco de solo-cimento foi prensado ou compactado numa máquina manual que possui um dispositivo para ejetar o bloco de dentro da máquina após ser compactado. A matriz usada na máquina de prensagem tem as dimensões; 12,5 x 7,0 x 25 cm. Os blocos de solo-cimento foram confeccionados a partir de uma prensa manual, idealizada pelo pesquisador, e rolamentada com a finalidade de diminuir o atrito entre as partes móveis da prensa. A sua capacidade de prensagem é de 2,0 MPa que ocorre no sentido uniaxial.

Cada bloco de solo-cimento possui área igual a 305,04  $\text{cm}^2$ , e altura igual a 7,5 cm. A figura 13 mostra a prensa utilizada na confecção dos blocos e o bloco compactado a verde.

**Figura 13–Prensa manual para blocos de solo–cimento do Brasil**



Fonte-Dantas 2013

### 3.9 Demais Ensaios do bloco solo-cimento

#### 3.9.1 Ensaio da resistência à compressão simples dos blocos de solo – cimento (Brasil)

Os valores de ensaios de resistência à compressão simples e cura conforme figura 14 são parâmetros importante expressos em MPa, obtido dividindo-se a carga máxima observada durante o ensaio em Kgf, pela área da face do bloco em  $\text{cm}^2$ . Os blocos de solo–cimento moldados tiveram suas faces de aplicação de carga capeadas de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 1994), figura 14bb, e foram rompidos aos 7, 14 e 28 dias, contados a partir do momento em que o cimento foi posto em contato com a água de mistura (argamassa).

Os corpos–de–prova foram mantidos por 28 dias em sacos plásticos, após a cura, conforme figura 14- blocos de solo-cimento para ensaios simples, foram centralizado no prato inferior, depois de suas faces inferiores e superiores estarem limpas e secas. O carregamento do ensaio foi aplicado de forma contínua e sem choques, com velocidades entre 0,3 MPa/s e 0,8 MPa/s. Para determinação do ensaio nos prismas, foi utilizada a NBR 8.215, que recomenda um número mínimo de três blocos.

**Figura 14–Blocos de solo–cimento para ensaios de resistências a compressão simples**



Fonte Dantas 2012

### 3.9.2 Resistência à compressão dos blocos de solo–cimento (Portugal)

Neste ensaio de resistências a compressão simples, foi usado o mesmo procedimento do item 3.9.1 Ensaio da resistência à compressão simples dos blocos de solo – cimento (Brasil), com uma diferença na metodologia do capeamento o qual nestes experimentos, nas faces de aplicação de carga dos blocos de solo–cimento foi colocada cartão de papel figura 15 blocos de solo cimento sendo ensaiado, e foi rompida aos 28 dias contados a partir do momento em que o cimento foi posto em contato com a água e mistura (argamassa). O papel cartão usado entres as faces, superior e superior e inferior dos blocos e os prato da máquina de ensaios a compressão, possivelmente atuou por amortecimento do impacto e minimização das forças de deslizamento lateral dos blocos em desnível.

**Figura 15–Bloco de solo - cimento sendo ensaiado**



Fonte–Dantas 2015

Para analisar os ensaios mecânicos dos blocos de solo–cimento os blocos foram cortados ao meio conforme a figura 16.

**Figura 16–Blocos de solo–cimento para ensaios mecânico e microanálise**



Fonte-Dantas 2015

A morfologia do bloco de solo–cimento foi obtida por imagens fotográfica e por Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Análise química semiquantitativa dos elementos constituintes do bloco de solo–cimento foi obtida por (EDS). Um pedaço dos blocos de solo–cimento foi cortado com as dimensões (2x2x0,5cm) para análise morfológica da microestrutura e química, figura 17.

**Figura 17 - bloco de solo–cimento para microanálise**



O micro análise consiste na medida de Raios–X característicos emitidos de uma região microscópica da amostra bombardeada por um feixe de elétrons. As características são específicas do número atômico da amostra e, do seu comprimento de onda, ou da sua energia, que podem ser utilizados para identificar o elemento que está emitindo a radiação. Espectros de raios–X podem ser obtidos para todos os elementos da tabela periódica, com exceção do hidrogênio. A técnica WDS, a separação dos raios–X é obtida por difração dos fótons característicos incidentes dos átomos presentes na região escolhida da amostra e incidida pelo feixe de elétrons do canhão do MEV. A lei de Bragg fornece a relação  $n\lambda=2d\sin\theta$ , onde “n” é

um número inteiro e “d” o espaçamento interplanar da família de planos difratados entre o comprimento de onda  $\lambda$  de raios-X, e o ângulo crítico  $\theta$  de incidência do feixe de interferência construtiva. No microscópio eletrônico podem acoplar detectores de raios-X (EDS E WDS), permitindo coletar fótons produzidos pelo feixe de elétrons primários e secundários.

### 3.10 Ensaio Físicos

#### 3.10.1 Taxa de absorção de água por imersão

Os blocos de solo-cimento foram saturados, e uma marcação com um lápis nas alturas correspondentes a 1/3 e a 2/3 da sua altura total foi feita colocação de água no interior do recipiente não absorvente de plástico, até aproximadamente 1/3 da altura dos blocos de solo-cimento, sem molhar a restante da altura dos mesmos; imersão dos blocos de solo-cimento até aproximadamente 2/3 da sua altura, passada 1 hora; e de acordo com a especificação do LNEC após, voltou colocar mais água para o interior do recipiente, até aproximadamente 2,5 cm acima da face superior dos blocos de solo-cimento. Para as várias composições de blocos de solo-cimento em estudo, determinam-se os valores da absorção de água por imersão. Para comparar a absorção por imersão do bloco de solo-cimento de referencia B.Ref., com os blocos de solo-cimento com adição de 5% de RT36 e blocos de solo-cimento com adição 5% de SW. O procedimento-obtenção do bloco de solo-cimento para a realização do ensaio;

–determinação da massa dos blocos de solo-cimento saturado;

–determinação da massa hidrostática dos blocos de solo-cimento;

–determinação da massa dos blocos de solo-cimento seco em Câmara quente.

Em cada pesagem, cada um dos blocos de solo-cimento correspondente às três composições a ensaiar, foi retirado manualmente do recipiente com água, deixando a água superficial escorrer. Em seguida, a superfície foi seca com panos absorventes e depois os blocos de solo-cimento foram pesados. Após a pesagem, os dos blocos de solo-cimento voltaram a ser colocados no recipiente cheio de água. Apenas para efetuar duas pesagens (separadas de 24 h), uma vez que na segunda pesagem os blocos de solo-cimento já estavam saturados, as massas obtidas na 2ª medição correspondem às massas dos blocos de solo-cimento saturados ao ar. O estudo da transferência de umidade é importante para a caracterização do comportamento dos blocos de solo-cimento notoriamente no que se referem à durabilidade.

### 3.10.2 Absorções de água por capilaridade dos blocos de solo–cimento

Foram efetuadas medições da ascensão capilar após 3 h, 20 h, 24 h e 48 h. Em cada uma das medições, registrou a massa e a altura de ascensão capilar em cada uma das quatro faces dos blocos solos–cimento, de acordo com o seguinte procedimento: cada um dos blocos de solo–cimento foi retirado da câmara do reservatório com água e foi colocado num recipiente não absorvente durante 60 segundos de seguida, foi pesado. Após a pesagem, mediu-se a altura de ascensão capilar em cada uma das quatro faces; depois de efetuadas as medições anteriores, dos blocos de solos–cimento foram colocadas de novo dentro do recipiente com água e o recipiente não absorvente foi seco com um pano absorvente LNEC, (O et al.), com as massas constantes determinou se a taxa de absorção de águas por capilaridade.

### 3.10.3 Absorção de água por imersão dos blocos solo cimento

A absorção e a propriedade dos materiais porosos de absorverem e transportarem água através de sua rede de capilar. As transferências de umidade ocorrem durante a vida inteira dos materiais. Notadamente, para os blocos de solo–cimento, materiais à base de solo e cimento Portland, a água está presente desde os primeiros momentos da produção. Para as várias composições de blocos de solo–cimento com adição de 5% de SW e RT36. A realização deste ensaio é para determinar a quantidade de absorção de águas por capilaridade. Após a pesagem, mediu-se a altura de ascensão capilar em cada uma das quatro faces; Após de ter efetuadas as medições anteriores, dos blocos de solos–cimento foi colocado de novo dentro do recipiente com água, recipiente não absorvente, foi seco com um pano absorvente.

## 3.11 Ensaio Térmicos

### 3.11.1 Transferência de calor por condução

A condutividade térmica do solo é a quantidade de energia térmica transferida através de uma unidade de área, em uma unidade de tempo submetida a um gradiente de temperatura de um grau ( $J.m^{-1}.K^{-1}.s^{-1}$ ), que depende dos constituintes do solo, umidade, do tamanho, forma e arranjo espacial do tipo e proporção das partículas. A transferência de calor constituinte do solo por difusão dentro do material e descrita pela equação de transporte linear

ou primeira lei de condução de calor de Fourier. Material de mudança de fase MMFs parafínico inserido no bloco de solo cimento.

### 3.11.2 Medidas das propriedades térmicas do bloco solo-cimento (Brasil)

O processo de preparação das amostras foi feito inserindo uns gabaritos na massa colocada dentro da prensa e efetuando a prensagem. E em seguida foi retirado o gabarito deixando o furo para inserir a sonda, figura 18 apresenta o equipamento KD2 Pro da Decagon e o detalhe do gabarito ao lado inserido no bloco de solo-cimento. As sondas foram encaixadas nos furos feitos por este gabarito, após a cura aos 28 dias.

**Figura 18–Equipamento KD2 Pro e gabarito figura.**



Fonte–Dantas 2014

As medidas de condutividade térmica e resistividade térmica aprestaram uma margem de erro em torno de  $\pm 5$ . O equipamento, modelo KD2 Pro, é um medidor de propriedades térmicas totalmente portátil pertencente ao LTC (Laboratório de Transferência de Calor) da UFRN. Esse equipamento utiliza o método de fonte de calor linear transiente para medir a condutividade térmica, resistividade, difusividade e calor específico. O KD2 Pro pode coletar automaticamente os dados em intervalos pré-definidos e possui um micro controlador de 16bit com potência ultra baixa com conversor A/D 2w4 bit.

A caixa de isolamento térmico foi construída de ferro de modo a acomodar o bloco de solo-cimento e o sistema de isolamento térmico mais os sensores. O sistema foi internamente forrado com isopor de 0,025m de espessura de forma a ficar sistema isolado do ambiente externo. Após posicionamento dos fios termopar, foram então executadas as medidas do conjunto de amostras de acordo com os blocos de solo-cimento, cada conjunto com um total de três repetições para melhor representatividade dos resultados.

### 3.12 Datalogger equipamento de aquisição de dados (Bloco de solo-cimento Portugal)

O equipamento usado para monitorar a temperatura e a perda de massa foi um Datalogger modelo Agilent 34970a, com Módulo multiplexado de 20 canais para medição de Tensão AC e DC, resistência, frequência, período, temperatura direta com termopar. O datalogger foi calibrado para fazer uma leitura a cada 30 segundo por um período de 24 horas e um software de registro de dados interativo foi usado para adquirir rapidamente, analisar e apresentar dados LabVIEW (Laboratório Virtual Instrument Engenharia Workbench). O LabVIEW é comumente utilizado para aquisição de dados, controle de instrumento. Em termos de desempenho, LabVIEW inclui um compilador que produz código nativo para a plataforma de CPU. O código gráfico é traduzido em código de máquina executável, interpretando a sintaxe e pela compilação.

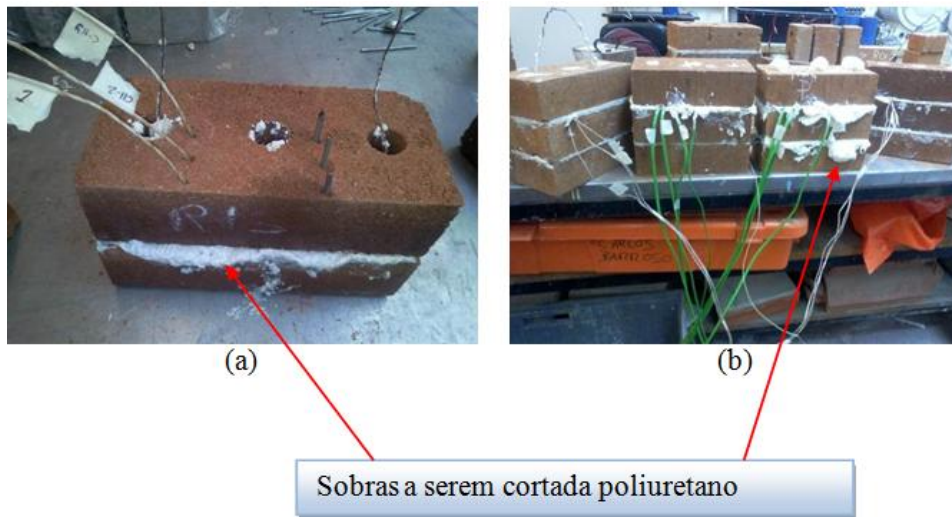
### 3.13 Perda de massa dos blocos de solo-cimento (Portugal)

As massas do material para a fabricação dos blocos de solos-cimento com parafina sasolwax (SW) e blocos solos-cimento com parafina n-eicosana RT36 e blocos solos-cimento de referencia (B.Ref.), a argamassa com cada um dos materiais foram com massa constante de 2.700 g foi posta em uma matriz de aço, cujo a força de prensagem de 2MPa a fim de produzir o blocos de solo cimento como mostra. Os blocos de solo-cimento foram curados por 28 dias o qual os blocos de solo-cimento de referencia, os blocos (B.Ref.) passou ter massa 2.419,2 g. Passaram a ter uma massa de e os blocos de solo-cimento RT36, passou ter massa de 2.488,9 gramas e os blocos de solo-cimento SW passou ter massa 2.479,8 gramas no processo de cura podem ter ocorrido às perdas de massa. Após os blocos fora perfurado equidistante de 2 cm e inserido uma sonda conforme a e colado um conjunto de três blocos de solo-cimento ficando a sonda no centro dos blocos conforme. A antes de ir para a estufa, os blocos de solo-cimento foi mergulhado em águas por 3 horas a massa e temperatura constante. Este bloco de referencia B.Ref. passaram a ter uma massa de 8157,6 g e os blocos de solo-cimento RT36 passou ter massa 7466,5 g, e os blocos de solo-cimento SW passou ter massa 7439,2 g, com esse experimentos a finalidade era monitorar as perdas de massa em função da temperatura.

Os blocos de solo-cimento fora colado num conjunto de três blocos de modo que a sonda ficasse no interior do bloco. A cola usada para junção dos blocos foi poliuretano (denominado pela sigla PU) que é um polímero o qual compreende uma cadeia de unidade

orgânica unida por ligações polímero (prepolímeros uretânicos à base de poli(glicol propilênico) (PPG). É amplamente usado em espumas rígidas e flexíveis, em elastômeros duráveis e em adesivos como bom isolamentos térmico e acústico, selante, em fibras em cimentos e outros materiais. Os blocos de solo-cimento depois de unidos pela cola PU foram cortadas as sobras das espumas em excesso conforme figura 19(a) e figura 19(b) podemos observar as sobras entres os dois blocos colados.

**Figura 19–Sondas inseridas no bloco e conjunto de três blocos colados**



Fonte–Dantas–2015

### 3.13.1 Sistema de aquisição de dados

O sistema foi montado por não possuir um equipamento representativo de aquisição de dado (temperatura e perda de massa) em material com massa elevada, como o bloco de solo-cimento sem destruí. O computador foi ligado a duas balanças calibradas e sincronizadas para aquisição da massa a cada 30 segundo conforme figura 20. Uma balança monitorava as massas do bloco de solo-cimento natural, verificar a perda de massa (água). E outra balança ligada blocos de solo-cimento mais 5% de MMFs para verificar as perdas de massa. Outro computador foi ligado à datalogger o qual foi acoplado 10 sondas sendo 4 no interior do blocos de solo-cimento de referencia (B.Ref), e 4 no interior do blocos de solo-cimento com MMFs. Sendo estudadas duas parafinas n-eicosano (RT36) e sasolwax (SW) e duas sonda uma medindo a temperatura ambiente e outra medindo o interior da câmara quente.

Para aquisição das temperaturas e massas foram sincronizados o datalogger, as balanças e os termopares.

A figura 20 apresenta a montagem experimental do sistema de medidas das variações

de temperaturas dos blocos de solo-cimento. As duas balanças estiveram ligados ao computador um, e o computador dois estava ligado o datalogger.

**Figura 20–Detalhes de montagem experimental das balanças**



Fonte–Dantas 2015

### 3.13.2 Sensores termoelétrico tipo Kapa (termopar)

Através dos sensores termoelétricos (termopares), um fio de cobre formava uma junção com um fio de ferro que quando percorrido por uma corrente elétrica gerava uma força eletromotriz (f.e.m.) que pode ser medida entre eles; e o datalogger converte essa força em temperatura e essa tensão tem origem em dois fenômenos separados, que receberam os nomes de seus descobridores Seebeck e Peltier.

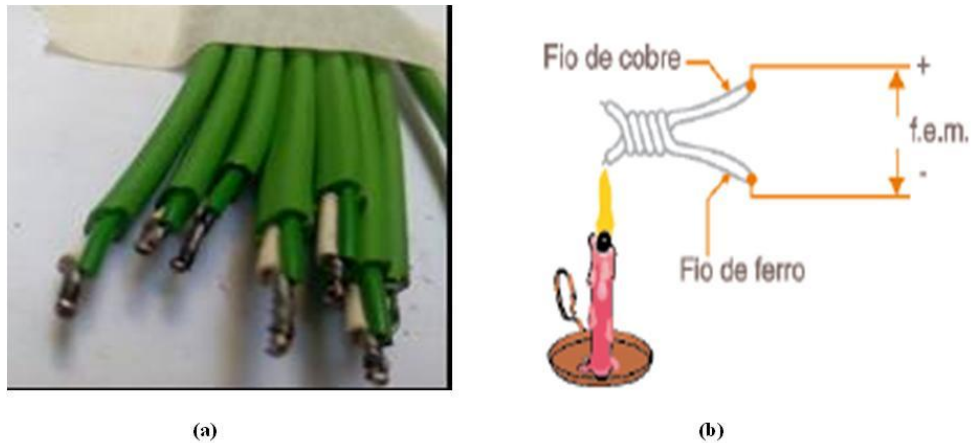
A figura 21(a) mostra o detalhe das junções soldadas por eletrofusão ao qual foram inseridos no orifício feitos nos blocos de solo-cimento, conforme a figura (21b). As sondas foram inseridas e ajustadas com partículas oriundas do mesmo material a qual foi fabricado o bloco de solo-cimento. Este procedimento é fundamental para que as pontas da sonda com elemento positivo ni90%, Cr10% (cromo níquel) e elemento negativo Ni95%, Mn<sub>2</sub>%, Si1%, Al<sub>2</sub>%, mantenha o maior contato com o material que se deseja medir a temperatura bloco de solo-cimento. Segundo o efeito Peltier, se uma corrente elétrica flui na junção entre dois metais diferentes, calor é gerado ou absorvido neste local em quantidade proporcional à intensidade da corrente.

O calor gerado ou absorvido dependerá do sentido da corrente elétrica, o que quer dizer que podemos fazer com que a junção gere ou absorva calor simplesmente invertendo o sentido da corrente, conforme mostra a figura 21(b).

O princípio de funcionamento dos sensores, termopares baseia-se no efeito de

Seebeck. A junção de dois materiais metálicos diferentes gera uma tensão proporcional à diferença de temperatura entre os terminais e a junção. A esta tensão dá nome de tensão de Seebeck.

**Figura 21–Detalhes das sondas usados nos experimentos e as formas de ligação**



Fonte Dantas 2013

O termopar tipo K foi o usado, neste experimento, onde o elemento positivo Ni90% Cr10% (cromo níquel) e elemento negativo é o Ni95% Mn2% Si1% Al2% a tensão média gerada é de  $41(\mu\text{v}/^\circ\text{C})$  microvolts graus Celsius com tolerância. Valores de tolerância de temperatura para termopares–classe um de tolerância  $-40^\circ\text{C}$  a  $+375^\circ\text{C}\pm 1.5^\circ\text{C}$ . Segundo as normas Internacionais nas IEC584, a figura 22 as sondas foram cuidadosamente isoladas com resina epóxi para evitar que a água presente nos blocos de solo–cimento em estudo interferisse no resultado da temperatura.

**Figura 22–detalhes de ligação das sondas nos orifício dos blocos de solos–cimento**



Fonte–Dantas 2014

Na figura 23 detalhe da sonda tipo K para a aquisição dos dados, inserido no bloco de solo - cimento, a sonda de fibra de vidro (fio prata) é usada para temperaturas elevadas e sonda de PVC fio verde. A diferença esta no preço optou se pela fibra de PVC, pois o limite de aquecimento para essa sonda e de aproximadamente  $300^\circ\text{C}$ , os blocos foram aquecido até  $105^\circ\text{C}$ .

**Figura 23–Blocos de solo–cimento câmara quente sondas e data logger**



Fonte–Dantas 2014

### 3.14 Análises químicas dos blocos solo-cimento

#### 3.14.1 Análise de fluorescência do bloco (FRX)

Para o bloco de solo–cimento foi tomado como referencia dois blocos de solos - cimento (2700g), o qual foi analisado por Espectrometria de Fluorescência de Raios–X com objetivo de obter os óxidos presentes em cada bloco de solo cimento.

#### 3.14.2 Análise química dos blocos de solo–cimento (MEV e EDS)

A análise das características de acordo com a Figura 36) e da morfologia, como também na composição química dos elementos presente no bloco de solo–cimento com 5% RT36 a fim de melhorar as propriedades de absorção de águas como também as propriedades térmicas, também para o bloco de solo–cimento. Microscopia Eletrônica de Varredura, MEV e EDS para identificar os elementos químicos das regiões Z1, Z2, Z3 os elementos carbono e hidrogênio presente no MMFs os quais foram inseridos na massa e possui muitos óxidos o qual foi determinado por difração de raios X (FRX). Neste estudo interferindo na estrutura do solo efetuando a correção granulométrica acrescentando o constituinte MMFs e areia quartzosa tornando o estudo do bloco–cimento complexa. Com a modificação do solo obtivemos uma composição aproximada para o bloco de solo.

---

---

## CAPITULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

---

Nesse capítulo, serão abordados todos os resultados que influenciarão na produção dos blocos solo-cimento, utilizando o solo do Brasil e o solo de Portugal, com análises e ensaios dentro das normas brasileira e europeia. Para um melhor entendimento, os resultados serão dispostos da seguinte forma: 4.1 Resultados dos solos (Brasil e Portugal); 4.2 resultados da argamassa utilizando os dois solo (Brasil e Portugal) e as diferentes MMFs; 4.3 Resultados sobre os blocos solo-cimento; 4.4 Os ensaios utilizados no produto final.

### 4.1 Resultados do solo

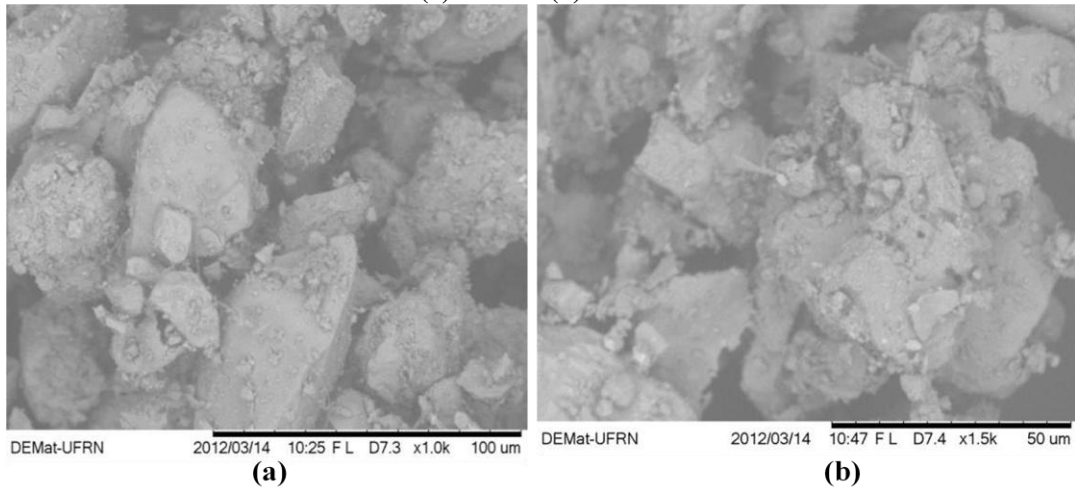
#### 4.1.1 Morfologias do solo argiloso do semiárido Nordeste Brasil

Partindo da coleta nas diferentes regiões (profundida) do solo brasileiro, como foi discutido e observado na Figura 5 capítulo anterior, e de acordo com o conceito de variabilidade espacial do solo, pode-se observar uma grande diferença na morfologia e distribuição das partículas relacionada a cada profundidade que as mesmas foram coletadas. Como iremos observar nas imagens de MEV abaixo.

#### 4.1.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) do solo Brasil

Na figura 24 foi possível ver a morfologia do solo argiloso, com detalhes, as partículas maiores, que são provenientes de silício (hipótese) enquanto que as partículas menores podem ser definidas como compostos de materiais de solo argiloso, os quais apresentam grande variabilidade de componentes químicos entre estas partículas. Estas imagens são de amostras de solo coletadas da região superior com a profundidade de 0,05m a 0,40m.

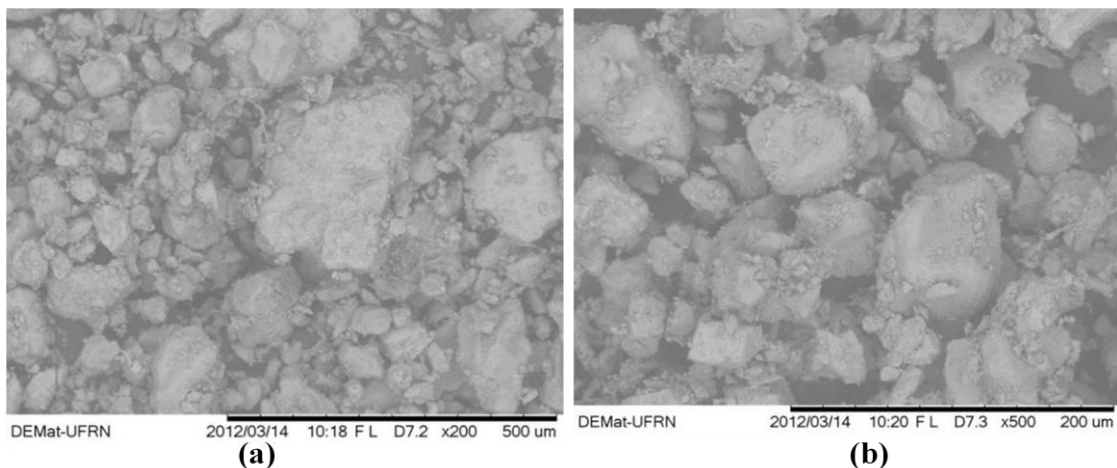
**Figura 24- Imagens (MEV) do solo argiloso do Brasil, profundidade de 0,05m a 0,40m, com aumentos de: (a) 1000x e (b) 1500x.**



Fonte Dantas 2013

Na figura 25 observa-se uma morfologia das partículas do solo retirado, com a profundidade de 0,45–0,80m. Em relação às partículas menores e dispersas pode-se afirmar que se trata de argila, e as partículas maiores são do silício, elemento este presente em maior quantidade, mas com menos quantidade de partículas, comparado com as partículas de argilas.

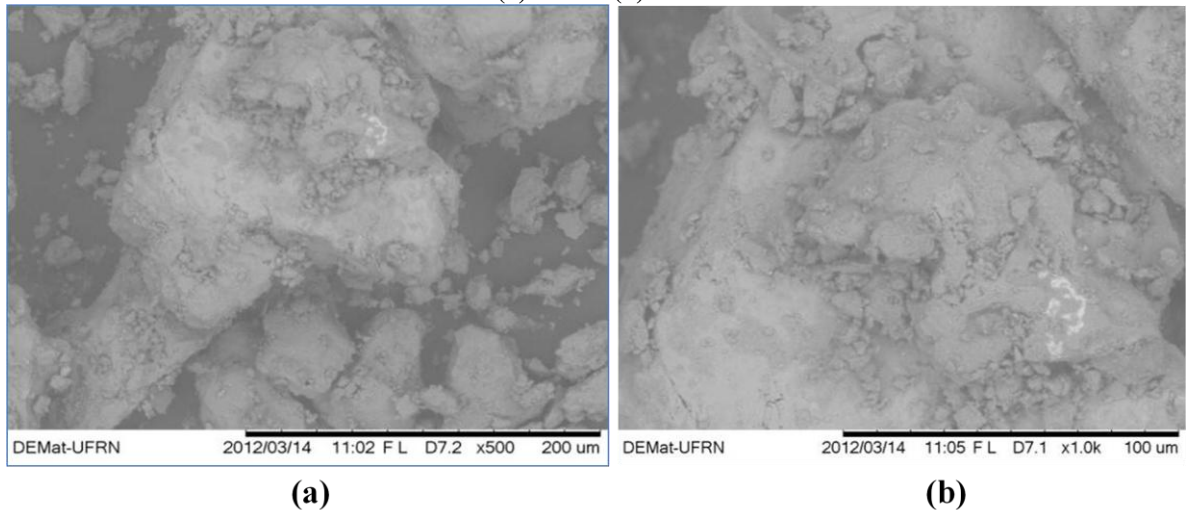
**Figura 25– Imagens (MEV) do solo argiloso do Brasil, profundidade de 0,45m a 0,80m, com aumentos de: (a) 200x e (b) 500x.**



Fonte–Dantas 2013

Na figura 26 tem-se a imagem da morfologia das partículas do solo retirado, com a profundidade de 0,85–1,20m. Nessa análise das micrografias, observa-se uma interação entre as partículas do silício, das argilas e da matéria orgânica decomposta, além do efeito cimentante provocados pela água presente nas argilas. Essa interação pode ser devido a eletrostática e/ou a força de van Der Wall.

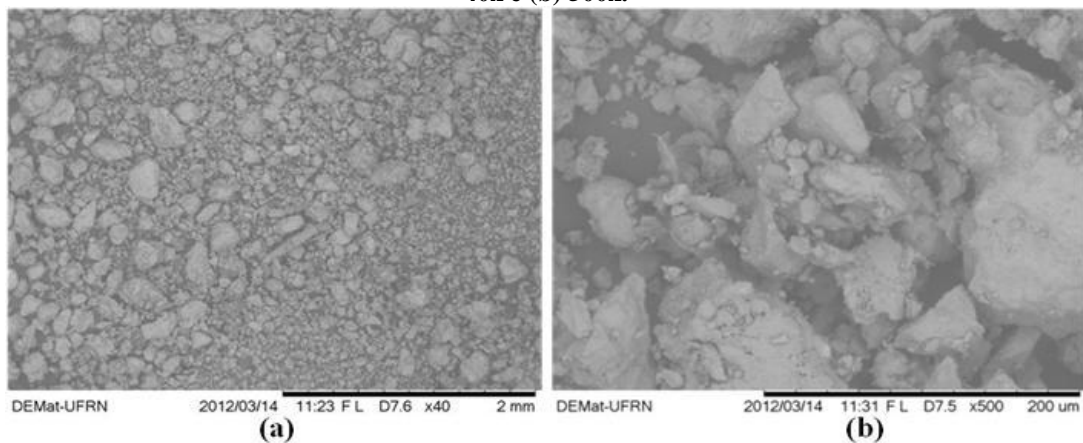
**Figura 26-Imagens (MEV) do solo argiloso do Brasil, profundidade de 0,85m a 1,20m, com aumentos de: (a) 500x e (b) 1000x**



Fonte–Dantas 2013

Com as amostras de solo coletada na profundidade de 1,20-1,80m, observa-se figura 27, partículas na forma de esferas, ainda com tamanhos desuniformes e mais dispersas. Também foi observado que a maioria das partículas faz interação entre si. Essa interação é devido às cargas cátions advinda do óxido de silício com cargas negativas e o ânion proveniente das argilas, ou pelas águas presentes nesse material, juntamente com a matéria orgânica.

**Figura 27-Figura (MEV) do solo argiloso do Brasil, profundidade de 1,20m a 1,80m, com aumentos de: (a) 40x e (b) 500x.**



Na figura 28 observa-se a evolução da morfologia do pó do solo puro que foi moído no moinho de bolas de alta energia por 15 minutos. Na figura 28(a) observam-se partículas com tamanhos variados, na qual foi realizado uma medição de duas partículas, uma pequena e uma outra maior. Do mesmo material foi realizado um aumento, figura 28(b) para uma possível análise morfológica da aglomeração das partículas de argila nas partículas de silício.

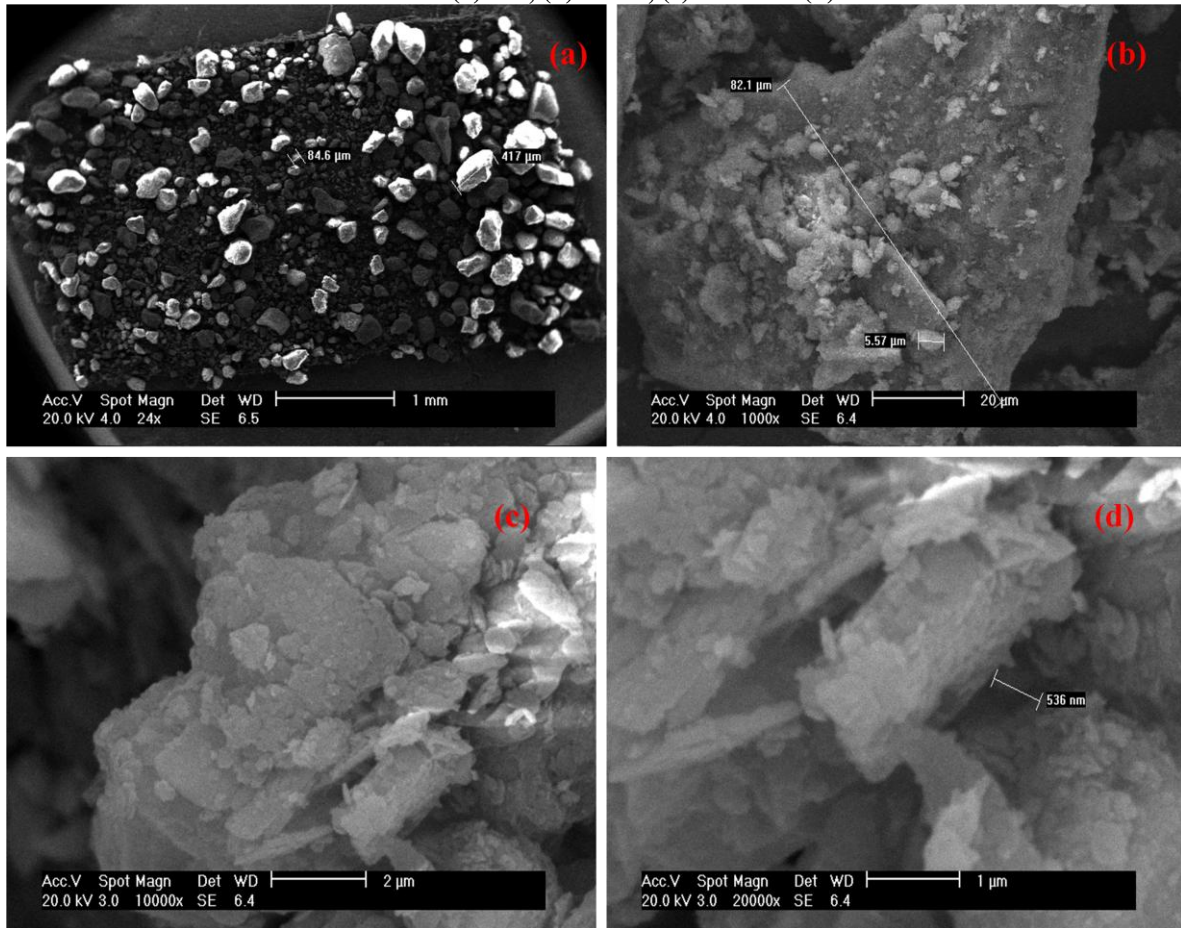
Ainda na figura 28(b) tem-se a morfologia das partículas de argila presa ou aderida na

superfície do silício, com base nessa micrografia pode-se confirmar que os solos arenosos têm menor área superficial específica, pois existe uma partícula de silício para milhares de partículas de argilas, e conseqüentemente, os solos argilosos são menos densos quando comparado com os solos arenoso.

Na figura 28(c) observa se uma partícula maior de silício com dimensões de 82,1 $\mu\text{m}$  e sob essa superfície existe uma partícula menor de 5,57 $\mu\text{m}$  de tamanho. Com a ampliação da imagem, figura 28(c), observa-se mais a morfologia das partículas de argilas, as quais estão em forma de escamas e com isso tem-se a presença de espaços vazios entre elas. No decorrer do processo esses espaços vazios podem ser preenchidos com água, o que apresenta grandes teores de água livre na argila, fato esse que não ocorre com as areias ou silício.

Na figura 28(d), também está presente a microestrutura de um material argiloso. A interação química e física é melhor apresentada em partículas quando adquire tamanho de nano partículas ( $10^{-9}$ ), embora, a dimensão seja maior que a dimensão do tamanho nanométrico. Mas é evidente que ha interação acentuada com a água, que ocupa esse espaço poroso micrométrico. Quando em quantidade de água superior aos volumes de vazios, a interações argilas-água promove o efeito desagregante das partículas de argilas. Pode se verificar a variabilidade de forma e tamanho e dimensões do micro porosidade presente nestas argilas conforme micrografia segundo a figura 28. No solo argiloso nestes espaços de micro porosidade, ocorrem as trocas de energias e massa do solo, e outras interações ainda não definidas, por isso o solo e considerado material dinâmico. Também as cargas elétricas e a reatividade ficam evidenciadas em partículas nano ou micrométrica.

**Figura 28-Imagens (MEV) do solo argiloso do Brasil, moídos por 15 minutos no moinho de bolas, com os aumentos de: (a) 24x, (b) 1000x, (c) 10000x e (d) 20000x**



#### 4.1.3 Análise pela técnica de EDS

O solo foi analisado pela técnica de EDS, com a finalidade de observar os prováveis elementos presentes em uma determinada porção do solo, com esta técnica foi possível obter uma análise semiquantitativa das quantidades e elementos químicos presentes no solo.

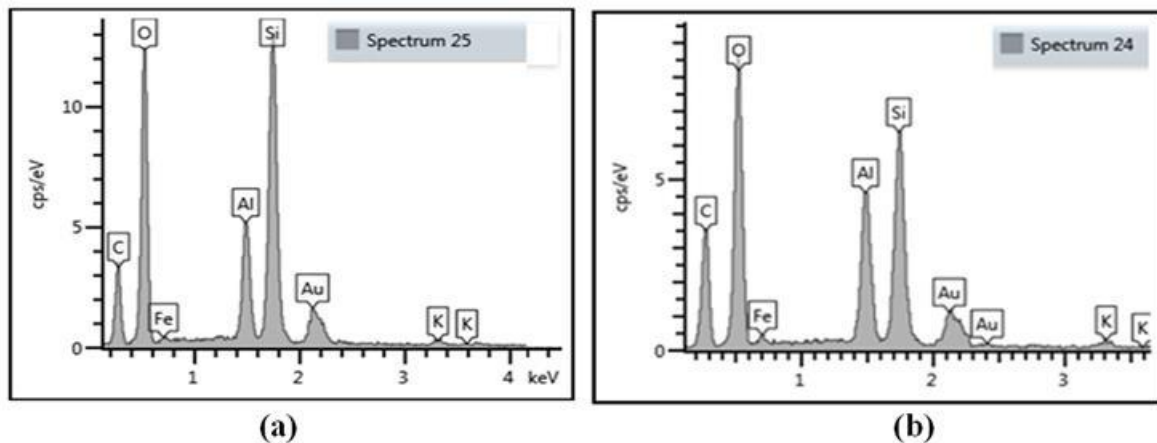
Na figura 29 têm-se os resultados da análise de EDS do solo. Na figura 29(a) observa-se os elementos presentes no solo coletado na profundidade de 0,05 a 0,60m, na figura 29(b) os elementos na profundidade 0,60-1,80m. A dispersão dos elementos presentes onde o maior pico é do elemento oxigênio seguido do carbono orgânico proveniente da flora e da fauna morta presente no solo, silício, alumínio, ferro. O ouro encontrado deve ser desconsiderado, pois na amostra foi feito um recobrimento de uma fina camada deste metal condutor (até 5 nm) para realização do ensaio.

Quando se compara os resultados da camada superficial do solo de 0,05–0,60m de profundidade, com valores encontrados na profundidade de 0,60–1,80m, verificou-se uma

diferença significativa. Um maior teor de oxigênio ligado às argilas e silício e uma diminuição do carbono elemento voláteis quando livre pode ser observado na tabela 29(a) quando comparamos com a tabela (20b). A menor porcentagem de carbono observado está em função dos restos de flora e fauna morta e decomposta mais presente na camada superficial do solo estudado. A camada superficial, também apresenta a maior porcentagem do elemento silício.

Na camada mais profunda no solo argiloso em estudo conforme tabela (b) verificou um valor elevado em porcentagem do elemento silício, isto não era esperado já que em outros estudos desse solo argiloso, mostraram um valor superior desses elementos. Isto podem ter ocorrido devido à resistência do elemento silício e a dimensões da partícula ser maior, também podem ter ocorrido uma concentração localizada desse elemento e a pequenas quantidades usadas no ensaio seria necessária varias analises para uma caracterização mais precisa.

**Figura 29-Analise (EDS) comparativas dos elementos presente no argissolo (a) coletados na profundidade de 0,05-0,60m, e (b) profundidade de 0,60-1,80m.**



Elemento	Wt%	Wt% Sigma
C	39.05	1.16
O	41.52	0.92
Al	6.54	0.22
Si	14.87	0.33
K	0.55	0.11
Fe	2.86	0.33
Total:	100.00	

Elemento	Wt%	Wt% Sigma
C	32.83	1.12
O	44.04	0.84
Al	5.54	0.18
Si	9.48	0.27
K	0.52	0.09
Fe	2.21	0.25
Total:	100.00	

## 4.2 Resultados da argamassa

### 4.2.1 Análise de FRX - Óxidos presente no solo do semiárido (Brasil)

Nos resultados das análise química o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) apresentou maior proporção no solo argiloso, e o óxido de alumínio, ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), é segundo elemento mais representativo. Os elemento ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ( $\text{K}_2\text{O}$ ), ( $\text{SO}_3$ ) ( $\text{TiO}_2$ ) e  $\text{MnO}$  são os menos representativos e com quantidade variável ao longo do perfil. As amostras do solo argiloso natural foram obtidas em duas profundidades de 0,05–0,45m, camada superior do solo (A), nesta condição esse material é ideal para a fabricação dos blocos de solo–cimento. A camada, 0,45–1,80m camada inferior solo (B) apresenta uma variabilidade da composição química bastante significativa, apresentou uma quantidade em massa de  $\text{SiO}_2$  (63,11 %) e provável presença de argilominerais. Os valor total de 95,952 em massa de ( $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) indica o caráter refratário da matéria–prima presente no material em estudo. As argilas são transportadas para as partes mais profundas, para o interior do solo pela água e pela força da gravidade, as quais justificam essas diferenças como observado em diferentes profundidades com mostra a tabela 12.

De acordo os valores dos resultados acima, da tabela 12 o solo superficial da camada (A) apresentou teor de 67,51%  $\text{SiO}_2$  e 23,89% de argila, solo natural, esta composição proporciona ao solo bom acabamento e consumo mínimo de cimento, segundo a recomendação da ABNT para a fabricação do blocos de solo–cimento. No entanto, na mistura do solo A com o solo (B) e acrescentado 10% de areia, o solo com a correção granulométrica, segundo a Figura 30 com teor de 80%  $\text{SiO}_2$ , 8% silte, 12% argila, e nestas composições os blocos oferece a resistências mínima para o manuseio na compactação.

**Tabela 12– FRX- Composição química amostra A e B em diferentes profundidades.**

Componentes Óxido presente	Porcentagem presente no solo	
	Amostra (A)	Amostra (B)
$\text{SiO}_2$	67.512 %	63.117 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	23.889 %	32.835 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.617 %	2.555 %
$\text{K}_2\text{O}$	1.996 %	3.929 %
$\text{SO}_3$	1.722 %	0.644 %
$\text{TiO}_2$	0.692 %	0.492%
$\text{MnO}$	0.019 %	0.046 %

#### 4.2.2 Análise de FRX - Elemento oriundo da correção granulométrica Óxidos presente no solo do semi-árido (Brasil) com acréscimo de 10% de areia

Os valores de todo perfil do solo argiloso bem homogeneizado e com incremento de 10% de areia, e a análise de fluorescência de raios-X mostra, composição química conforme tabela 13, sendo essa composição que melhor se apresenta para fabricação de bloco de solo - cimento prensado, com menor quantidade de cimento e maior resistência mecânica.

A fluorescência de raios X (FRX) mostrou o incremento de outros elementos traço, como  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  e  $\text{La}_2\text{O}_3$ , que são os elementos oriundos, possivelmente vindos da areia usada na correção granulométrica. Pode-se ver também na FRX um teor de 70,137%p  $\text{SiO}_2$  e a soma de todos os constituintes da argila que dar 29,039%p, esses resultados são observados na tabela 13. A partir destes resultados da análise de partículas (granulométrica), Pode-se classificar o solo, como solo arenoso, recomendado para a fabricação de solo-cimento.

**Tabela 13–Solo com incremento de 10 % de areia de outra jazida**

Componente Óxido presente	Porcentagem presente no solo	
	Amostra 3	
$\text{SiO}_2$	70,137 %	
$\text{Al}_2\text{O}_3$	23,651 %	
$\text{K}_2\text{O}$	2,735 %	
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,156 %	
$\text{SO}_3$	0,814 %	
$\text{TiO}_2$	0,366 %	
$\text{Sm}_2\text{O}_3$	0,068 %	
$\text{La}_2\text{O}_3$	0,063 %	
( $\text{GeO}_2$ )	0,033 %	

#### 4.2.3 Analise granulométrica do solo natural, solo corrigido com areia e da areia (Brasil)

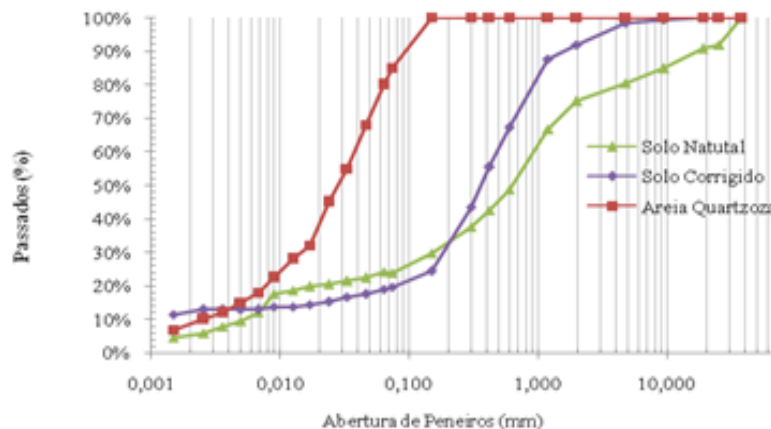
A análise granulométrica consiste de três partes, peneiramento (grosso e fino) e sedimentação. Os resultados são apresentados na Figura 30-Distribuições granulométricas do solo, areia, solo corrigido, para a distribuição granulométrica do solo natural, corrigido com 10% de areia 04.

Na distribuição da curva granulométrica do solo natural, mostra-se a porcentagem de 70% areia, 17% silte e 5% argila. No solo corrigido com a adição de 10% de areia quartzosa

apresentou um aumento das partículas que falta, tornando a distribuição mais uniforme nos tamanhos totais de partículas, 80% areia, 8% silte e, 12% argila. A distribuição uniforme dos tamanhos de partículas nos solo argiloso proporciona a melhor densidade e empacotamento entre as partículas, isto auxilia na estabilização mecânica quando compactado e consequentemente na estabilização química, com o aumento de contato entre seus constituintes potencializando os ligantes químicos por aumentar o contato entre as partículas.

Na distribuição dos agregados do solo corrigido, areia, silte e argila pode-se notar uma uniformidade da curva do solo corrigido, também uma uniformidade no tamanho das partículas, sendo essa característica que melhora o processo de compactação. Composição química das concreções encontradas no interior do solo.

**Figura 30-Distribuições granulométricas do solo, areia, solo corrigido**



Fonte–Dantas 2014

#### 4.2.4 Correção granulométrica por Análise granulométrica e fluorescência de Raios X

Comparando os valores encontrados na fluorescência de Raios X com (Resultado 4.2.3 Análise granulométrica do solo natural, solo corrigido com areia e da areia (Brasil) o mesmo solo apresentou valores abaixo, em torno 70,137 %,  $\text{SiO}_2$  e 23,651% alumina e óxido perfazendo um total de 29,039% de partículas finas, também observou o incremento de outros elementos de traço como ( $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ), ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ) e ( $\text{GeO}_2$ ) possivelmente da areia usado na correção granulométrica, com solo corrigido com 10% de areia .

A areia é um elemento de difícil intemperismo, praticamente não se decompõem e é responsável pela parte grosseira do solo a parte fina do solo são as argilas e feldspatos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ). Todas as argilas partículas lamelares com a máxima dimensão variando de dois

micros a 0,1 micra. Por isso pode-se usar a fluorescência de raios X (FRX) para fazer a correção granulométrica do solo com mais precisão em função dessas características.

Análise comparativo a de areia de uma mesma amostra, num mesmo solo, a análise granulométrica do solo natural à distribuição das partículas, quando comparado com os resultados da FRX tabela 12, resulta o valor médio da granulometria em torno de 65%, o qual foi usado para fabricar o bloco de solo-cimento natural. O solo natural após ter acrescentado 10% de areia originou o solo corrigido conforme, Tabela 13. As vantagens de se usar a fluorescência de raios X são a rapidez e precisão dos resultados o qual exclui os falsos grãos de areia conforme, Tabela 14-Análise química por fluorescência de raios X das concreções. Como pode verificar em todos os resultados o método de fluorescência mostrou se valor de silício menor quando comparado pelo método granulometria (Figura 30 tamanho de partícula). Pelo método tradicional o solo natural já se apresentava próprio à fabricação do bloco de solo-cimento, mas pelo método de fluorescência de raios FRX revelou a necessitava de acrescentar 10% de areia. Os resultados dos blocos de solo-cimento fabricado com os dois solos mostrou que o solo com adição de 10% de areia em função disso apresentou se maior resistência com a mesma quantidade de cimento conforme resultado apresentado na Tabela 19.

#### 4.2.5 Morfologia das concreções cores claras areia e cores avermelham pesado grão de areia

A composição química das concreções encontrada no solo do Brasil como também no solo de Portugal o qual apresenta seguinte composição química, alumina, ferro e silício e possui efeito cimentante que provocam a agregação dos constituintes que são muito resistentes. De tamanho variado desde uma partícula de areia até blocos conforme mostrado na figura 31(a) e aspecto de “partícula de areia”, figura 31(b) o qual só diferencia com análise de FRX. No entanto uma visualização grosseira pode aferir que as partículas de cor clara são areias e de cor escura são pseudo partículas de “areia”.

**Figura 31- (a) solo do Brasil (plintita) e (b) área e pseudo partículas de “areia”**



A figura 32 (a) mostra uma parte do solo, que confirma a presença das concreções de óxidos de ferro, ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), caracterizadas pela cor avermelhada, são pseudo partículas de “areia” encontrados dispersos no solo do Brasil como também no solo de Portugal, estudado, que segundo a literatura são chamadas de plintita ou plintossolo.

**Figura 32-Visualização grosseira solo, Portugal, pseudo partículas de “areia”.**



#### 4.2.6 FRX- para caracterização das concreções solo do (Brasil)

Para caracterização das concreções, chamadas de plintita, dispersos ao longo do perfil do solo uma porção de solo de 0,05m a 1,80m de profundidade, foi feito uma moagem de 15 minutos dos torrões. Com esses materiais efetuaram análise de fluorescências de raios X, e o qual apresentou se valores conforme a tabela 14.

Foram cinco concreções retiradas ao longo do perfil e verifica diferença química de todas as concreções e isso já eram de se esperar já que o material solo tem uma variedade espacial grande devido a sua dinâmica de energias ao longo do tempo.

Tabela 14-Análise química por fluorescência de raios X das concreções						
Elementos	Porcentagem das partículas					
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	87.401 %	35.510 %	45.247 %	68.497 %	35.506 %	67.042 %
SiO <sub>2</sub>	4.774 %	23.286 %	25.608 %	10.326 %	22.081 %	10.761 %
ZrO <sub>2</sub>	1.982 %	5.727 %	5.438 %	7.474 %	21.734 %	7.745 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.590 %	4.920 %	7.292 %	5.602 %	4.555 %	5.932 %
TiO <sub>2</sub>	1.575 %	4.493 %	3.997 %	4.422 %	4.120 %	4.421 %
K <sub>2</sub> O	1.386 %	5.995 %	6.750 %	1.915 %	7.659 %	–
SrO	0.446 %	6.753 %	1.532 %	0.454 %	1.220 %	0.516 %
CaO	0.271 %	11.292 %	1.938 %	0.460 %	0.923 %	0.436 %
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.228 %	0.240 %	–	–	–	–
MnO	0.194 %	0.682 %	0.213 %	–	0.343 %	0.180 %
SO <sub>3</sub>	0.152 %	–	–	0.280 %	0.400 %	0.304 %
Rb <sub>2</sub> O	–	0.710 %	–	0.569 %	–	0.615 %
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	0.392 %	–	–	0.345 %	–
CuO	–	–	0.273 %	–	–	–
Br	–	–	0.356 %	–	–	–

#### 4.2.7 Correção granulométrica com base nos óxido de silício e alumina obtido por fluorescência de raios X–FRX (Portugal)

Os resultados das análise do solo argiloso, para obter argamassa para fabricação de bloco de solo–cimento com modificação da estrutura do solo. A correção granulométrica propiciou-se um solo ideal para a fabricação do bloco de solo–cimento com as proporções mínimas de óxido de silício em torno de 65% o qual nesta proporção demanda menos quantidade de cimento para estabilizar sem perda das propriedades mecânica dos blocos de solo–cimento. No entanto, além do método Granulométrico, (tamanhos de partículas) para determinar a proporção granulométrica, a fluorescência de raios X (FRX), também pode ser usada no processo de correção granulométrica do solo para fabricação de bloco de solo–cimento. Por esse método basta verificar as quantidades de óxidos presente de silícios e de alumina. A porcentagem de oxido de silício foi de 40% no solo do Alentejo (Portugal), segundo as recomendações os menores valores admissíveis e de 65%, adicionou-se 30% de areia, óxidos de silício (SiO<sub>2</sub>). O método de fluorescência de raios X é mais preciso na correção granulométrica para obtenção da argamassa para a fabricação do bloco de solo–cimento, visto que este exclui os pseudos–agregados de silício, plintita, muito comum em solo com o composto ferro e alumina, que no método de peneiramento e sedimentação são

contados como areia, isto foi verificado em ambos os solo de Portugal como também no solo do Brasil.

#### 4.2.8 Morfologia da argamassa do com adição de MMFs, Alentejo (Portugal)

Como visto na metodologia, tem-se que o teor de água ideal e a densidade para fabricação do bloco de solo-cimento foi obtido pelo ensaio de compactação de Procter, o qual mostrou taxa de água em torno de 12%. A composição da argamassa para fabricação do bloco de solo-cimento, com esta taxa de água não é possível efetuar a mistura, porque acontece o fenômeno de agregação induzida pela energia de rotação da betoneira, formando bolas na argamassa de composição químicas diferentes, conforme figura 33.

Quando o solo foi analisando antes do ensaio de Procter, verificou-se que esse solo muito argiloso já continha aproximadamente 2% de água, então, foi necessários descontar os 2% de água da argamassa. Com teor de água de 10%, conforme figura 33, observa-se uma mistura homogênea fato ocorrido com o solo de Brasil como também de Portugal, com uma morfologia uniforme e tamanha de partículas aumentada com adição de areia.

**Figura 33–Solo–cimento com base no teor de águas obtido por Procter**



Fonte–Dantas 2014

#### 4.2.9 Morfologia da argamassa com adição de MMFs (Brasil)

O aspecto geral da argamassa conforme figura 34, feita com o solo argiloso do semiárido Nordeste em Mossoró–RN a argamassa para fabricação do bloco de solo-cimento com MMFs foi feita em recipiente de zinco adicionando ao solo, areia, cimento e MMfs

parafinico, sendo a água adicionada por ultimo e na forma pulverizada. Este aspecto também é confirmado através da literatura com a variabilidade espacial das propriedades químicas, cor e textura do solo. Também essa variabilidade foi observada em outro perfil situado equidistante.

**Figura 34–Aspecto geral do solo cimento pronto para prensagem com MMFs**



Fonte–Dantas 2014

#### 4.2.10 Análise química obtida por fluorescência de Raios–X (FRX) (Portugal)

O solo estudado é uma substância constituída por muitos elementos químicos, em que um deles, O mais representativo para fabricação de bloco de solo–cimento é o oxido de silício seguido das argilas, conforme resultados obtidos por FRX, apresentado na tabela 15. Nesta, tem-se a análise química de quatro tipos de materiais, solo referencia, areia quartzosa, bloco de solo–cimento com 5% de RT36 mais 30% de areia 04 e bloco de solo–cimento com 5% SW de areia 04. Ambos foram obtidos do solo natural ao qual foram acrescentados, 9% de cimento e 10 % de água conforme tabela 15.

**Tabela 15–A análise química obtida por fluorescência de Raios X**

Molécula	Solo	Areia	Blocos de solo- cimento	Blocos de solo cimento	Erro
Presente	Referencia	04	RT–36	SW	
	(%)	%	(%)	(%)	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,6	11,40	15,20	16,10	0,09
BaO	0,05	0,06	0,04	0,05	0,00
CaO	0,9	0,58	9,12	8,70	0,10
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,02	0,07	0,07	0,01
CuO	9,63	1,70	0,03	0,04	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,8	5,20	9,77	10,10	0,05
K <sub>2</sub> O	2,01	1,02	2,07	1,93	0,05
MgO	0,49	0,38	0,54	0,54	0,01
MnO	0,24	0,04	–	0,24	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,75	1,01	0,23	0,52	0,01
NiO	0,02	–	–	0,01	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,21	0,30	0,28	0,01
Rb <sub>2</sub> O	–	0,03	0,02	0,02	0,00
SO <sub>3</sub>	0,07	0,04	0,59	0,55	0,01
SiO <sub>2</sub>	43,0	78,30	60,70	59,70	0,20
SrO	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,25	1,21	1,06	0,03
ZnO	–	0,01	0,02	0,02	0,00

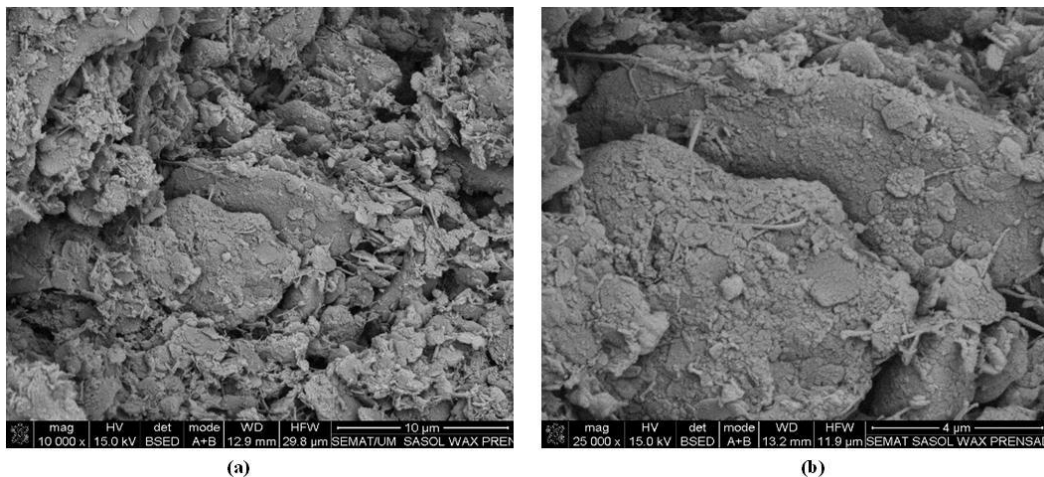
Os MMFs, RT–36 e SW, são moléculas de hidrocarboneto que obedece a relação  $C_nH_{n+2}$ , compostos de carbono e hidrogênio. O hidrogênio não é detectado pela técnica de FRX. A porcentagem de água neste solo é elevada, o solo argiloso também apresenta elevado teor matéria, orgânicos compostos de nitrogênio e carbono, oriundo de restos de flora e fauna morta e decomposta no solo. Isto justifica a composição de massa e dos constituintes que faltam para os 100% na análise de FRX.

#### 4.2.11 MEV-Morfologia do solo e do bloco de solo–cimento (Portugal)

O material em estudo do solo do Alentejo Portugal cujas características são apresentadas na figura 35. O solo estudado representando um produto de massa aparente maiores devidos altas teor de argilas, e uma distribuição de partícula heterogênea, o qual lhe dá maior resistência e impermeabilidade a águas ocorrendo anulação do índice de plasticidade e da expansão volumétrica em relação ao solo original. Uma porção do bloco de solo–cimento com 5% de SW, após a cura foi cortado em tamanho de aproximadamente de (2,0x2,X0,5) cm

o qual foi observado ao microscópio eletrônico MEV. A parte clara visível ao olho nu são partículas de óxidos de silício (areia do solo natural e areia grossa acrescentada ao solo). Foi acrescentado ao solo, areia com a finalidade de diminuir a agregação conforme já discutido e melhorar as propriedades mecânicas. O silício ou areia são materiais inertes de difícil intemperismo capazes de suportar as flutuação da temperatura e aumentar a resistências mecânicas do bloco de solo-cimento.

**Figura 35–Microestrutura do material solo-cimento com adição de 5% De SW**



#### 4.3 Resultados dos Blocos solo-cimento (Portugal)

##### 4.3.1 Microanálise por microscopia eletrônica de Varredura MEV - EDS

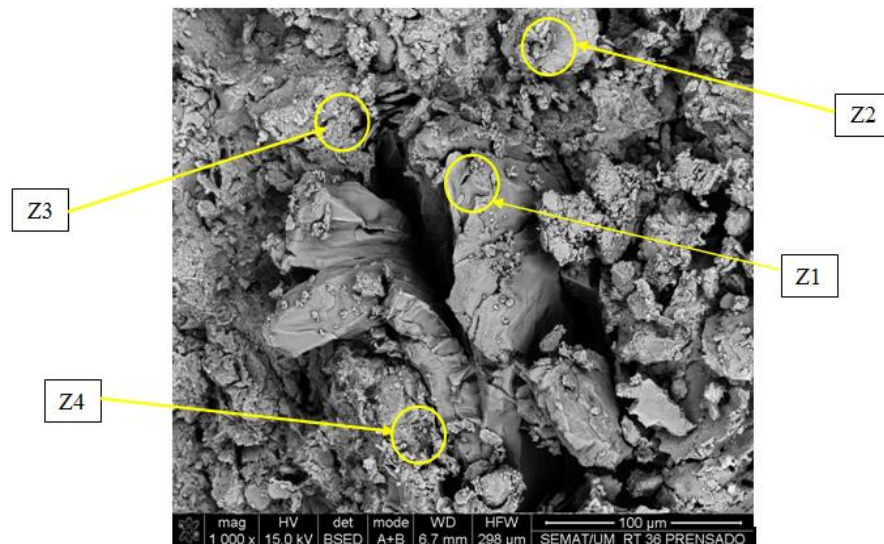
Aspecto semiquantitativo para determinação das porcentagens dos átomos por microanálise de Raios-X é uma operação possível no microscópio eletrônico. Os problemas são inúmeros: excepcionalmente, além das áreas analisadas, figura 36 com adição de RT36 e figura 42 com adição de SW os da quantidade muito pequenas dos materiais analisados, outros parâmetros ligados ao material em estudo que pode fazer variar a superfície dos picos que deve ser considerado como: a) tensão de aceleração; b) a natureza dos outros elementos presentes os quais se faz identificação, as raias de um elemento podem ser mais ou menos absorvidos pelos outros elementos que estão presentes no volume analisado, c) separação dos átomos no volume analisado (os programas de cálculo são) elaborados para os elementos que seriam repartidos de forma homogêneos, portanto à análise de material com múltiplas fases (camadas, lamelas, inclusões, geometria superficial analisada os programas de cálculo quantitativo são elaborados para superfícies planas, polidas) esses parâmetros devem ser levados em consideração quando analisamos o material, solo e blocos de solo-cimento, com

muitos elementos e características diferentes.

Na figura 36 com adição de RT36 e com adição de SW (Figura42) são apresentadas regiões distintas dos blocos de solo cimento o qual foram feitas análise destas regiões Z1, Z2, Z3 e Z4 por EDS. A micrografia, eletrônica varredura, figura 36 mostra que a estrutura não é homogênea conforme análise dessa micrografia pode ser observada as regiões Z1 e Z4 com características visualmente diferentes e a região de Z2 semelhante da região Z4. Na região Z1 verifica-se comportamento de um material que ofereceu certa resistência ao cisalhamento e um comportamento distinto em relação às outras partículas do bloco de solo-cimento. Com base nesta figura pode-se afirmar que esse bloco teve um aumento na força de tração.

Uma cobertura ultrafina de ouro/paládio, material eletricamente condutor foi depositada por evaporação de alto vácuo por sputter devemos desconsiderar esses elementos ouro e paládio na análise química o qual este presente em todo o espectrograma.

**Figura 36–Microestrutura das áreas Z1, Z2, Z3 e Z4**

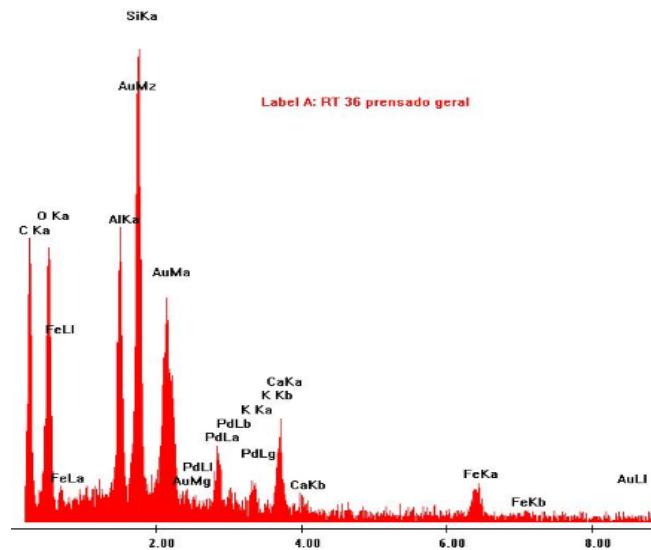


Fonte–Dantas 2013

#### 4.3.2 EDS - espectrograma e análise química da Microestrutura figura 36

O espectrograma e análise química da figura 37 relacionada com a Microestrutura da figura 36 (MEV), observou a variedade de elementos químicos, onde o elemento silício é o mais representativo, o elevado teor de carbonos em decorrência dos 5%p de RT36 elemento a base de carbono e hidrogênio, materiais de mudança de fase (MMFs).

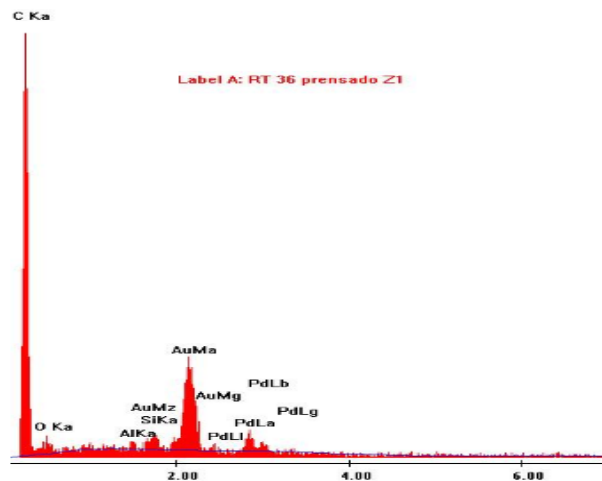
**Figura 37–Espectrograma e análise químicos dos blocos de solo–cimento após acura, microestrutura**



Fonte Dantas–2015

No espectrograma figura 38 da região Z1 MEV (Fig. 36), apresenta maior quantidade de MMFs RT36 seguido do elemento alumina e oxido de ferro.

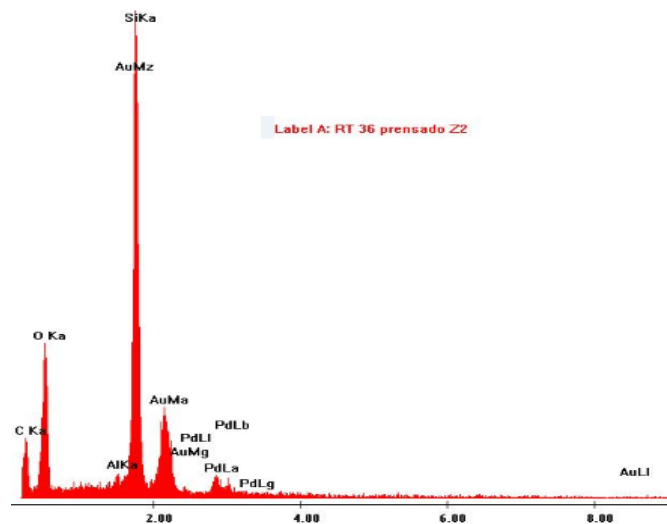
**Figura 38–Espectrograma da microestrutura da região da região Z1**



Fonte–Dantas 2015

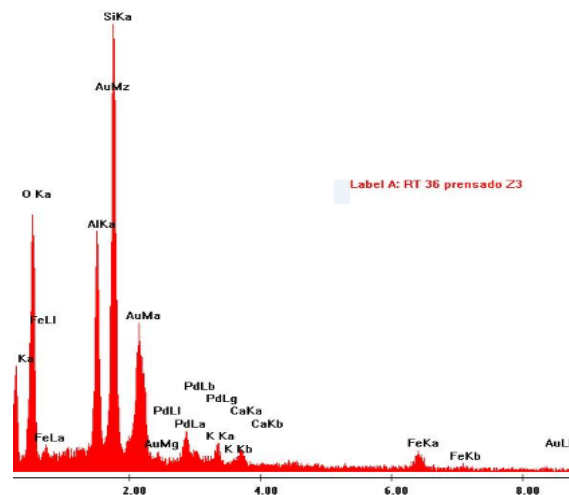
No espectrograma figura 39 da região Z2, a análise química mostrou o átomo de silício, oxigênio e carbono o qual apresentou maior porcentagem, e em menor quantidade o alumínio. Não apresentando o elemento cálcio, isso indica que nessa região pode não ter acontecido à hidratação do cimento ou não existe cimento nessa região.

Figura 39–Espectrograma da microestrutura da região Z2



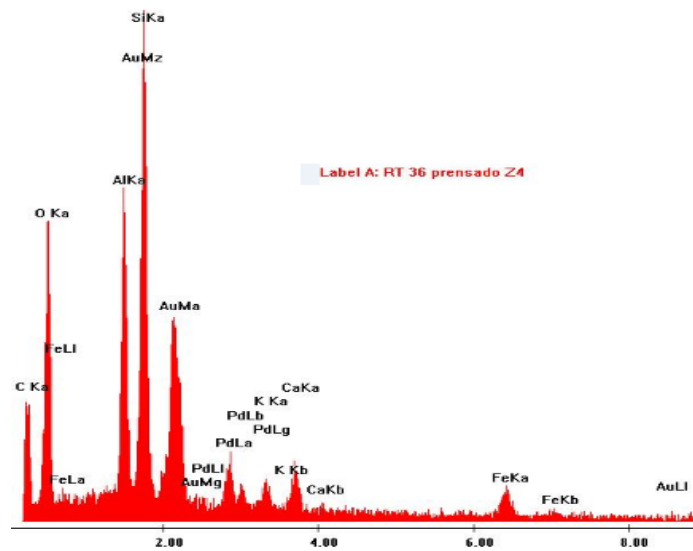
No entanto no espectrograma da figura 40 obtida na região Z3 os átomos de silício, oxigênio, alumínio, ferro, potássio são os mais representativos, não sendo observado o elemento carbono na região Z3. Ao contrario da região Z2, o cálcio e o potássio estão presentes então nessa região existe a hidratação do cimento formando a etringita.

Figura 40–espectrograma da microestrutura da região da região Z3



No espectrograma da figura 37, região Z4 há a presença dos átomos de silício, oxigênio, alumínio, ferro, carbono e potássio inclusive o cálcio uma indicação da presença de hidratação do cimento ou a formação da etringita ( $C_6ASH_{32}$ ). Podem se observar os elementos constituintes presente nos blocos de solo-cimento.

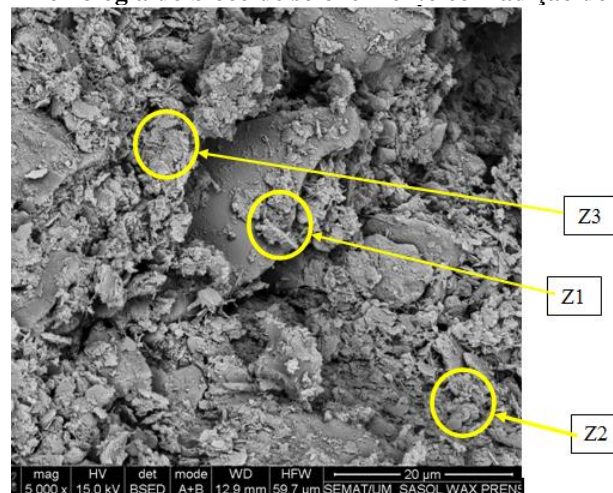
Figura 41–Espectrograma da microestrutura da região Z4



#### 4.3.3 MEV- EDS Microestrutura por microscopia eletrônica com 5% de SW

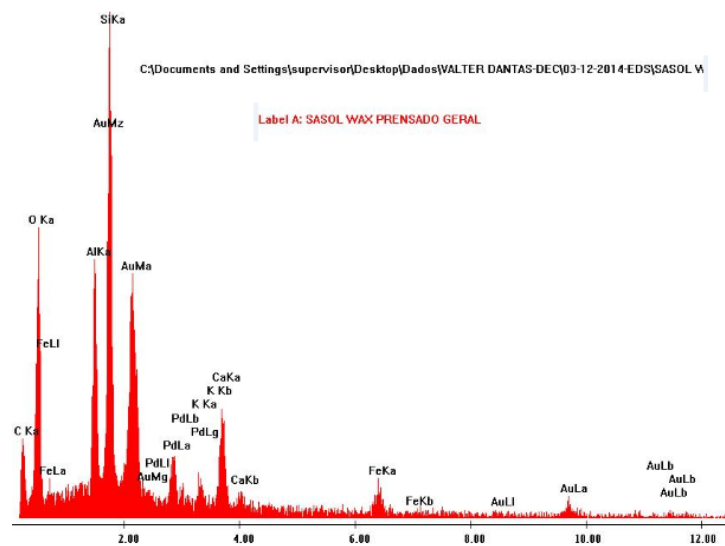
Na figura 42 (MEV) mostra claramente a microestrutura que revela a morfologia, de três regiões distintas, do bloco de solo-cimento que compõem adição de 5%p de MMFs denominadas SW de três regiões distintas, Z1, Z2 e Z3, analisada através do EDS. O MMFs chamado SW é composta praticamente de carbono e hidrogênio. O espectrograma, segundo análise da microestrutura da área Z1, mostra uma fraca evidencia que pode ser a formação de heteroátomo com o carbono do SW, no entanto, isso pode ser um indicativo, que o carbono fez interação com o oxigênio da argila ou da água usada na hidratação do cálcio ou do cimento.

Figura 42-Morfologia do bloco de solo-cimento com adição do MMFs SW



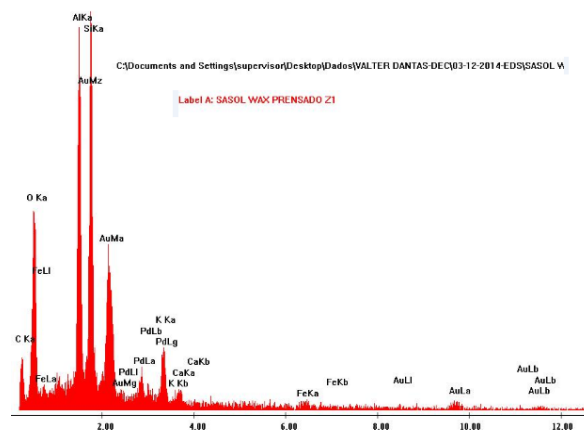
Foi analisada a microestrutura das regiões Z1, Z2 e Z3 de uma parte da amostra de blocos de solo-cimento, com adição de 9%p de cimento e 5%p de SW e 10%p de água, curada aos 28 dias. A análise do espectrograma da microestrutura obtida microscópica eletrônica (EDS) detectou a composição química do bloco de solo - cimento conforme figura 43. Mostrando que a maior porcentagem é de óxido de silício, oxigênio e uma variedade de elementos químicos.

**Figura 43- Espectrograma da microestrutura da área toda por EDS**



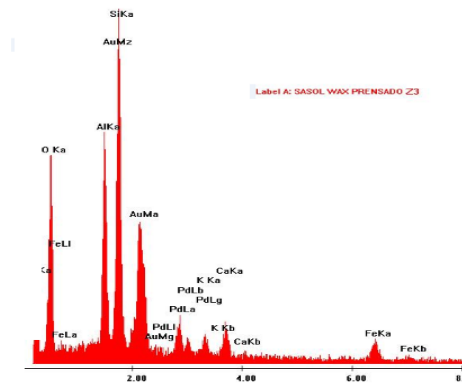
No espectrograma da microestrutura da figura 44 decorrente da área da figura 43 regiões Z1 observou-se que o elemento predominante é oxido de alumina seguida do silicio. Os demais elementos químicos presente no bloco de solo-cimento também está indicado.

**Figura 44-Espectrograma da microestrutura da área Z1 por EDS**



No espectrograma da microestrutura da figura 45 regiões Z3 observa-se que o elemento predominante é o silício. Os demais elementos químicos presente no bloco de solo-cimento também está indicado. Em todas as amostras o elemento oxigênio é expressivo neste material solo.

**Figura 45–Espectrograma da microestrutura da região Z3**

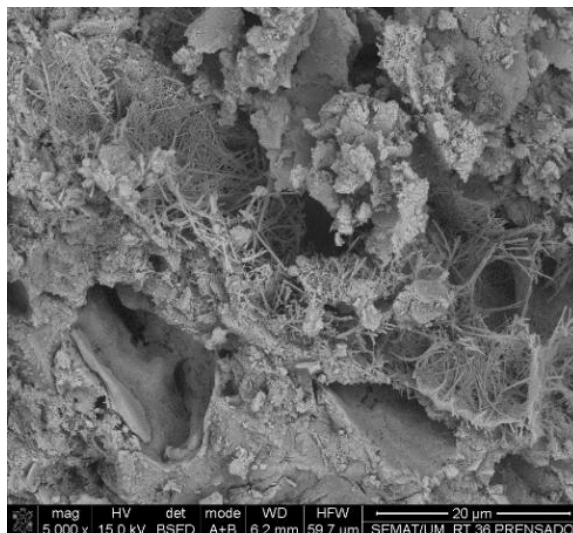


A figura 45 apresenta espectrograma Z2 que é semelhante a Z3, no qual os elementos são encontrados de forma diferenciada,

#### 4.3.4 (MEV) Morfologia geral dos blocos de solo-cimento após a cura com aumento de 5000 vezes

A figura 46 apresenta os blocos de solo-cimento com adição de 5% de RT 36, observa a formação de produtos de hidratação, verificando a presença de C-S-H tanto em estado amorfo como em estado cristalino. Observa-se também a presença de etringita.

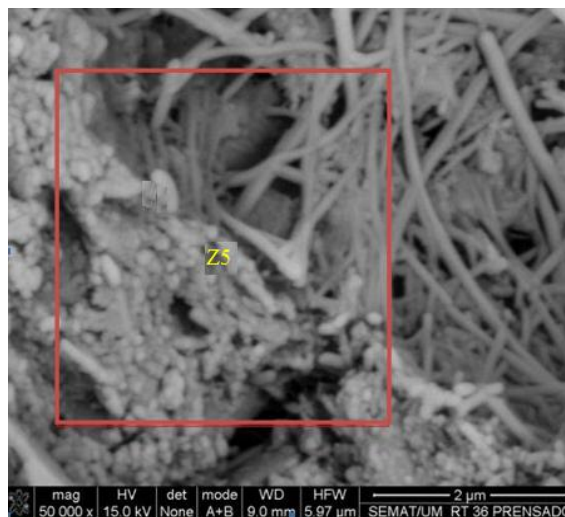
**Figura 46–Morfológico geral do bloco de solo-cimento após a cura**



#### 4.3.5 Análise química e morfológica da área Z5 dos blocos solo-cimento

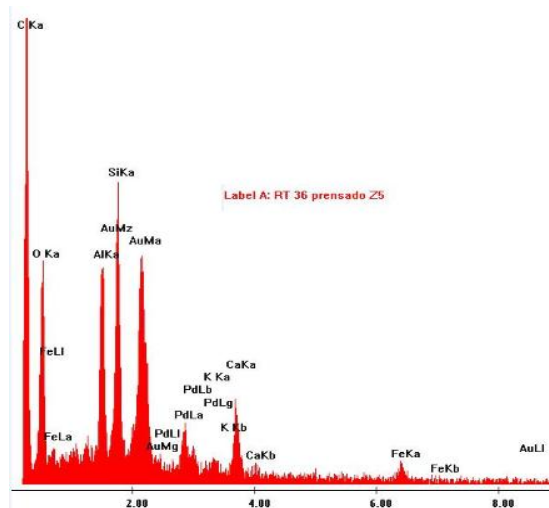
Na figura 47 apresenta a microestrutura da região Z5 na qual observam-se duas regiões, a superior e inferior onde na região superior apresenta a formação mais acentuada da fase etringita consequentemente do aumento da quantidade de microporo, o que requer maior teor de água para hidratar o cálcio o qual forma a etringita. Surge microporo de cálcio da pasta endurecida do cimento ao redor das partículas entrelaçada pela etringita.

**Figura 47–Microscopia eletrônica da região Z5**



Na figura 48 podem-se observar o difratograma o qual mostra os átomos presentes na área destacada Z5. O carbono do material RT36 apresenta maiores quantidade seguido de silício e os demais átomos.

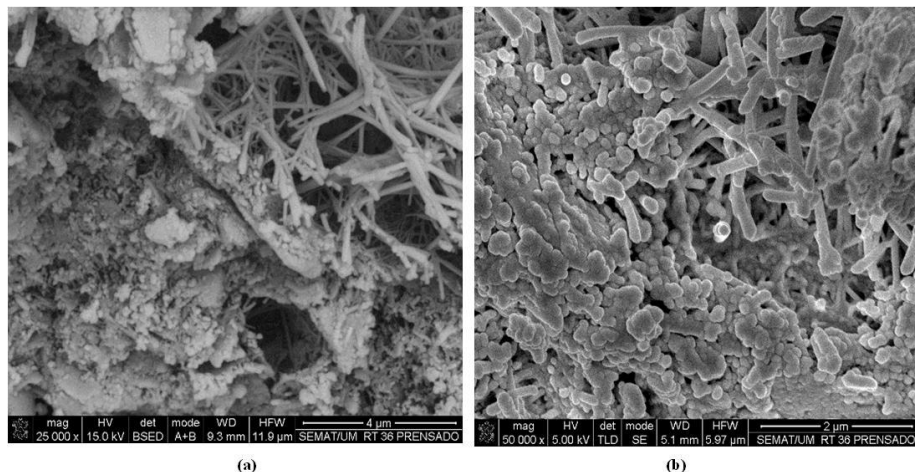
**Figura 48–Espectrograma da microestrutura da região Z5**



Como o MMfs tem moléculas grandes e átomos muito pequenos existe muita

possibilidade de ligação com um do constituinte do material que compõem o bloco de solo-cimento. A micrografia revela a possibilidade do material quanto as interação com MMFs e águas presente neste solo figura 49 o aspecto geral dos materiais que compõem uma parte dos blocos de solo-cimento com adição de SW o qual foi fabricado os blocos para os ensaios de capilaridade e absorção de água. Os constituintes dos blocos de solo-cimento presente nesse solo, e a rede de micro poros e nano poros presente podem existir água intersticial e água ligada por cargas elétricas, a qual faz parte do constituinte do bloco de solo-cimento. A água livre ou ligada pelas forças física fracas entra e sai dos blocos de solo-cimento em função da variação da temperatura e da pressão e dimensões dos poros.

**Figura 49–Microestrutura da região Z5**



#### 4.4 Resultados dos ensaios dos blocos solo-cimento (Brasil e Portugal)

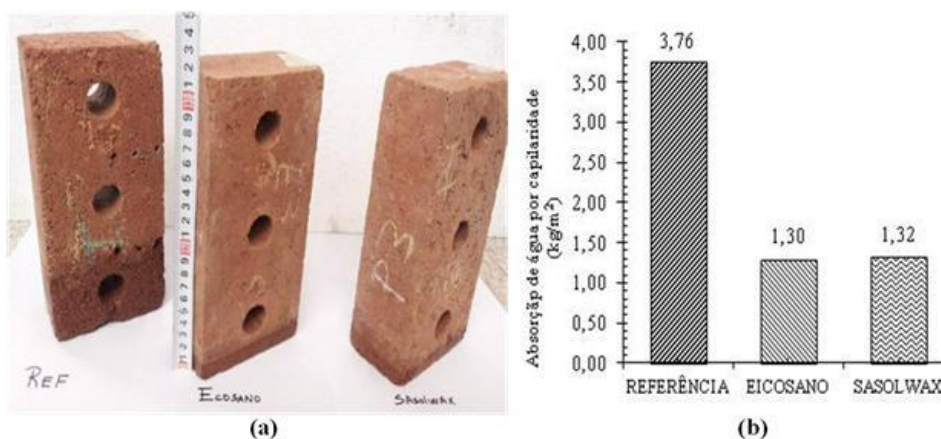
##### 4.4.1. Ensaio de absorção de água obtida por capilaridade (Portugal)

Na figura 50 é mostrada o aspecto geral dos materiais que compõem uma parte do bloco de solo-cimento com adição de RT36, SW e bloco de referência (B Ref). A morfologia do bloco de solo-cimento e valores em ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) de absorção de águas por metro quadrado dos blocos de solo-cimento o qual apresentou melhor desempenho foi apresentado pelos blocos com 5% de MMFs n-ecosana e sasolwax de absorção água por capilaridade são apresentados na figura 50(a) e 50(b).

Quanto maior a capilaridade no bloco de solo - cimento maior a porosidade, mais permeável e menos resistente aos agentes de degradação. O bloco de solo-cimento de referência (B.Ref.) foi obtido às maiores taxas de absorção de água, em média  $3,76 \text{ Kg}/\text{m}^2$  de

absorção de água, e para os blocos com RT36, bloco de solo - cimento com parafina n-eicosano seguida bloco de solo - cimento com adição de parafina sasolwax SW, os resultados foi de aproximadamente de  $1,3\text{kg/m}^3$  de água por metro quadrado em função da capilaridade para ambos os blocos. Quando comparamos as taxas de absorção de água por capilaridade, observa-se que o menor índice de absorção de água foi para os blocos de solo-cimento com adição de 5% de parafina n-eicosano conforme figura 50(b).

**Figura 50–Bloco de solo-cimento, valores absorção de água por capilaridade ( $\text{kg/m}^3$ )**



Fonte–Dantas 2015

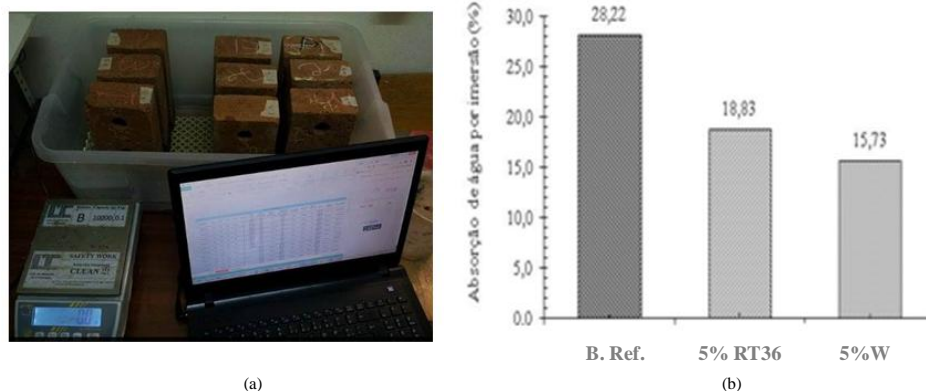
#### 4.4.2 Ensaio de absorção de água dos blocos de solo-cimento por imersão em % (Portugal)

A figura 51(a) apresenta a morfologia e a figura 51(b) os valores de absorção de águas por imersão de bloco de solo – cimento

Verificou-se que os blocos de solo-cimento de referencia (B.Ref.), a absorção de água por imersão, apresentou se uma taxa média 28,2%, e para os blocos com 5% p de RT36 (parafina n-eicosano) e de parafina sasolwax 5%p de SW, os resultados foram de 18,83% para o bloco com 5% de RT36 e 15,73% para os blocos de solo com 5% de SW, conforme mostra o resultado da figura 51(b).

Comparando as taxas de absorção de água por capilaridade e por imersão, figura 50(b) e 51(b), respectivamente revelou forte influencia dos MMfs RT36 e SW nas taxas de absorção água, uma propriedade muito buscada nos materiais de construção.

**Figura 51–Blocos quando realizado o ensaios de absorção de águas em (%)**



Fonte–Dantas

#### 4.4.3 Absorção de água por imersão do bloco de solo–cimento do Semi-árido do Nordeste (Brasil)

Na diferença da taxa de absorção de água na tabela 16, observa se para o bloco de solo–cimento natural e o bloco de solo–cimento com adição de 3% de parafina 120/125F é pouca significativa, sendo 10,08 e 9,84%, respectivamente.

Todos os blocos com adição de parafina 120/125F e parafina n–eicosano apresentaram pouca diferença na absorção de água em relação o bloco de solo–cimento, no entanto no bloco de solo–cimento com 5% de parafina n–eicosano mostrou o menor índice de absorção de água.

**Tabela 16-Absorção de água a uma umidade relativa do ar em torno de 70%**

Material	Blocos de solo cimento + aditivo	Porosidade aberta
Bloco referência	Blocos de solo cimento natural	10,08
Parafina 120/125F MMFs	Blocos de solo–cimento + 3% MMFs	9,84
Parafina 120/125F MMFs	Blocos de solo–cimento + 5% MMFs	9,22
Parafina n–eicosano MMFs	Blocos de solo–cimento + 3% MMFs	9,82
Parafina n–eicosano MMFs	Blocos de solo–cimento + 5% MMFs	8,92

#### 4.4.4 Ensaios de propriedades físicas dos blocos de solo–cimento (Brasil)

Ensaio de propriedades físicas apresentou resultados de 9,15 %p de águas para o solo corrigido com 10%p areia e o teor de 9,63%p de águas para o solo sem correção. A massa específica aparente e massa específica real com a qual se determinou a porosidade total indireta usando a equação:  $[Pt = (1 - (\text{Densidade aparente})/(\text{densidade de partículas}) \times 100]$ . A densidade real foi obtida por picnometria com álcool para o solo e para o material solo com

adição de cimento. A diferença nos teores ótimos de água pode ser em função do aumento da granulometria da areia usada na correção granulométrica, diminuindo a área superficial específica e diminuição dos teores de argilas que tem maior afinidade com a água.

Os valores da massa especificam aparente (densidade aparente), massa específica real (densidade Real) do solo depois de adicionado 9%p de cimento, e água são apresentados na tabela 17. O bloco de solo-cimento fabricado com solo natural apresentou-se à porosidade real de 28,32%p e para o solo corrigido com 10%p de areia e 9%p de cimento e a, porosidade em torno de 25,88%. O teor de umidade usado na confecção do corpo de prova foi obtido pelos ensaios de Proctor.

**Tabela 17-Propriedade física da argamassa usada no bloco de solo-cimento (Brasil)**

Solo natural + 9%p de cimento							
Amostra	1	2	3	4	5	Média	±5%
Massa específica aparente g/cm <sup>3</sup>	1,87	1,99	2,05	1,93	1,87	1,94	±5%
Massa específica real g/cm <sup>3</sup>	2,65	2,78	2,7	2,69	2,73	2,71	±5%
Porosidade total %	29,30	28,5	24,05	28,08	31,61	28,32	±5%
Solo corrigido + 10%p de Areia + 9% p de cimento						Média	
Massa específica aparente g/cm <sup>3</sup>	1,84	2	2,02	1,9	1,82	1,916	±5%
Massa específica real g/cm <sup>3</sup>	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	±5%
Porosidade total %	27,84	26,66	20,784	28,63	25,49	25,88	±5%

#### 4.4.5 Teor de umidade do bloco de solo-cimento do semiárido (Brasil)

A umidade ótima de compactação foi determinada em laboratório através da medida da massa específica do solo em diferentes umidades, quando compactado em um determinado molde (cilindro de Proctor). A tabela 18 mostra os valores de umidade ótima de compactação para solo natural e para o solo corrigido como também os índices físicos. O solo coletado ao logo do perfil e corrigido e solo coletado ao logo do perfil foi adicionado 10% de areia quartzosa.

**Tabela 18-Índice físico do solo e teor de umidade ótimo do solo**

Perfil	Areia	Argila+ siltes	M <sub>esp</sub>	LL	LP	IP	águas
Natural	78%	5% +17%=22%	1,94	20%	13%	7%	9,63%
Corrigido	80%	12%+08%=20%	1,92	20%	7%	12%	9,15%

M<sub>esp</sub>: massa específica aparente seca (g/cm<sup>3</sup>); LL Limite de Liquidez; LP Limite de Plasticidade e IP Índice de Plasticidade.

#### 4.4.6 Ensaio de resistência a compressão simples do bloco de solo–cimento sem e com adição de PCM. (Brasil)

Os valores médios das resistências à compressão simples dos blocos de solo–cimento estão apresentados na tabela 19. Embora, todos os blocos apresentam valores superiores aos exigidos pela norma NBR 7182; (1984), verifica se que os melhores desempenhos foram obtidos pelos blocos de solo corrigidos com 10% de areia e os de menor desempenho foram os blocos de solo natural e de solo corrigido com 10% de silício e 3% ou 5% MMFs.

Entretanto, os blocos com MMFs mostraram valores de resistência mecânica, ainda superiores as recomendações de 2MPa.

Uma menor resistência para os blocos com adição de MMFs, esta em função deste, não permitir a hidratação completa do cimento, por não proporcionar o contato do cimento com os constituintes do solo, areia e argila.

Embora a interação dos MMFs no blocos de solo–cimento provocou se uma resistência mecânica menor, mas a taxa de absorção de água foi melhor conforma já discutido anteriormente, também as propriedades térmicas foi melhor como discutiremos a seguir.

Verificou–se que independente da idade, os melhores resultados em termos de desempenho mecânico foram alcançados pelo solo corrigidos com 10% de areia. O solo com adição de 10% de areia diminuiu a área superficial de contatos entre as partículas ocasionando melhora na compactação dos blocos de solo–cimento, ocasionando redução do seu volume e vazios no sistema.

Na resistência apresentada pelos blocos de solo–cimento aos 28 dias mostrou superior à resistência apresentada aos sete e 14 dias de cura, nesse período ainda não sucedeu toda hidratação do cimento. O período de sete para 28 dias a resistência mecânica aumentou, devido a hidratação completa do cimento.

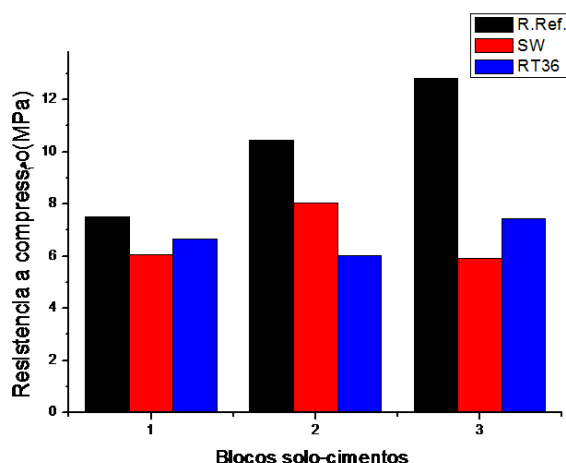
**Tabela 19–Valores médios da resistência à compressão dos blocos de solo–cimento**

Característica do solo	Resistência Média (MPa)		
	7dias	14dias	28 dias
Solo natural + 9% de cimento	3,30	4,39	6,76
Solo + 10% de areia + 9% de cimento	3,86	6,91	10,95
Solo+10% de areia+ 9% de cimento 5% de MMFs	2,78	3,74	4,86
Solo+10% de areia+ 9% de cimento 3% de MMFs	2,58	3,84	4,76

#### 4.4.7 Resistência à compressão dos blocos de solo–cimento do Alentejo– (Portugal)

Foram realizados ensaios de resistência para os blocos de solo–cimento com e sem adição de MMFs, bloco de solo–cimento de referencia (RRF.), bloco de solo–cimento com SW e bloco de solo–cimento com RT36 conforme figura 52. Os resultados apresenta que todos os blocos estão acima da norma técnica o qual define, resistências mínima de 2MPa, destacando o bloco de solo-cimento de referência sem MMFs, este apresentou melhor resultado na propriedade mecânica. Os resultados obtidos em todos os ensaios mostraram valores de resistência mecânica aos 28 dias de cura que a norma recomenda.

**Figura 52-Resultado da resistência à compressão dos blocos de solo–cimento do Alentejo**



#### 4.4.8 Ensaio de porosidade e influencias dos aditivos no bloco de solo - cimento com MMFs (Brasil)

Os poros fechados são neutros quanto ao fluxo de líquidos e gases, mas exercem influência sobre as propriedades mecânicas, térmicas e densidade do material. A figura 53 mostra o processo de mosqueado figura 53(a) corpo de prova de solo–cimento com MMFs quando aquecido acima do ponto de fusão do MMFs, figura 53(b) o arranjo dos agregados e MMFs figura 53(c) os poros aberto, onde podem ocorrer as trocas gasosas e uma possível saída do MMFs quando a temperatura se exceder o ponto de fusão ou vaporização por um período longo. O qual não foi verificado para nenhuma saída dos PCM estudados quando a temperatura excedeu 50% acima do ponto de fusão dos MMFs no caso da Parafina n-icosano de 70 °C e da parafinas Sosalwax 105°C e a parafina 120/125F.

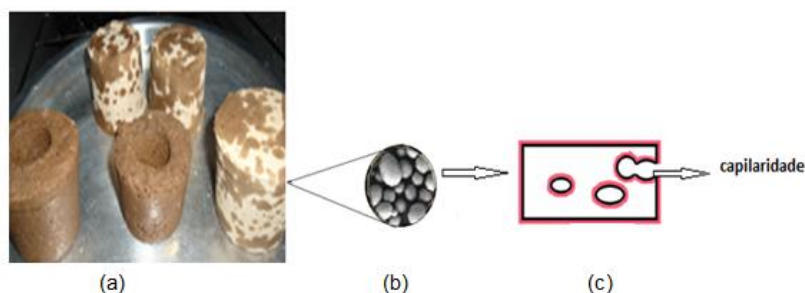
No ensaio térmico dos corpos de prova com MMFs, quando submetido à temperatura acima do ponto de fusão por um período de 2 horas, provocou uma movimentação do aditivo

pelo corpo-de-prova figura 53. A geometria complexa do espaço poroso no interior bloco cria inúmeras combinações de interfaces, capilares, cunhas e pirâmide a água e os MMFs são retidos nessas interfaces. O que podem conter água livre e águas ligadas aos interstícios juntamente com MMFs líquido. Devido a limitações práticas de métodos de medição presente, não é feita qualquer distinção entre os diversos mecanismos que afeta o líquido em matrizes porosas do bloco de solo-cimento. A representação dos poros capilares cilíndricos, equivalente é grande o que simplifica a modelagem do espaço poroso do material e que pode proporcionar entrada da água e dos MMFs líquido para o interior do bloco de solo-cimento. As tendências dos MMFs é buscar o equilíbrio espalhando se pelos espaços porosos conforme verificado na figura 53a.

Na água, como nos MMFs, quando há duas forças atuando, uma que faz com que as moléculas se atraindo coesiva, esta gera a atração entre as moléculas do líquido, e os poros tortuosos de vários formatos. A força de adesão superior foi de vaporização das moléculas. A força de adesão puxa as moléculas para as paredes do poro e ela fica colada. Como uma atraindo a outra, mais moléculas vão subindo, até formar uma pequena coluna de líquido colada ou presa no interior dos poros ou micro poros.

A força de adesão é a atração entre as moléculas diferente, ou seja, a afinidade das moléculas do líquido com as moléculas do tubo sólido. Atua no sentido de o líquido molhar o sólido.

**Figura 53–Corpo do MMFs submetido à temperatura de 180°C**



Fonte–Dantas

#### 4.4.9 Medidas das propriedades térmica dos blocos de solo-cimento (Brasil)

A condutividade térmica do bloco de solo-cimento depende das composições químicas e dos aditivos adicionado, porosidade e da umidade. As parafinas e os poros são mal condutores de calor, a alumina um dos constituintes da argila presente no bloco de solo-cimento possui boa condutividade térmica e pode levar o fluxo de calor até o MMFs dispersos no interior do bloco de solo-cimento, acumulando calor na forma de calor latente, em função

disso, melhora o desempenho dos MMFs conforme tabela 20.

Foram observadas menores condutividades térmicas, taxa do fluxo de calor que se propaga através do material, nos blocos de solo-cimento com adição de 5%p de parafina 120/125F e n-eicosano, provavelmente influenciado pelo MMFs.

O MMFs melhora as propriedades térmicas, as quais conferem aos blocos com MMFs a capacidade de impedir que o calor seja todo transmitido através do bloco, mantendo a rede vibrando por um período e consumindo as energias em excesso acumulando assim, na forma de calor latente.

A capacidade calorífica C/kcal foram maiores em função da quantidade do MMFs como observado na tabela 20. Quanto maior a quantidade do MMFs, melhor a capacidade de absorção de calor. No entanto observou se que à quantidade pode influencia na resistência térmica como também na resistência mecânica do bloco de solo-cimento.

**Tabela 20–Análise térmica dos blocos de solo-cimento do semi-árido**

Blocos de solocimento	T (°C)	R (K.m/W)	$\lambda$ (W/ m.k)	D (mm <sup>2</sup> /s)	C (MJ/ k.m <sup>3</sup> .)	Erro
Bloco Referencial	28,21	0,78	1,28	0,950	1,350	0,054
Eicosana 3%	27,97	0,82	1,22	0,842	1,446	0,047
Parafina 3% 120/125F	30,74	0,078	1,27	0,745	1,703	0,033
Eicosana 5%	28,63	0,87	1,15	0,619	1,855	0,040
Parafina 5% de 120/125F	30,16	1,00	1,00	0,544	1,832	0,032

A resistência térmica R(K.m //W); condutividade  $\lambda$ (W/m.k); difusividade D (mm<sup>2</sup>/s); capacidade C(MJ/K.m<sup>3</sup>)

A escolha do hidrocarboneto esta de acordo do número de carbono da cadeia linear como (CH<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-CH<sub>3</sub>.) onde ponto de fusão e calor latente de varia de acordo com número de carbono da cadeia. A temperatura de fusão que pode variar de 0°C a 130°C com entalpias de fusão entre 150–220MJ/m<sup>3</sup>.

Com base nos resultados, os blocos de solo-cimento com materiais de mudança de fase (MMFs) podem ser aplicados na construção civil com duas finalidades: dificulta a propagação de calor por condutividade e quando o calor atinge o estado critico de temperatura começa a mudança de fase do material MMFs, absorve calor em excesso retarda por certo tempo a entrada de calor para o interior do sistema por condução. Quando a temperatura do sistema ficar abaixo do sistema critica os MMFs começa a voltar a ser solido cede calor para o sistema. O processo de fusão ocorre quando o material consome energia na forma de calor latente o que pode reduzir bastante à carga térmica do sistema.

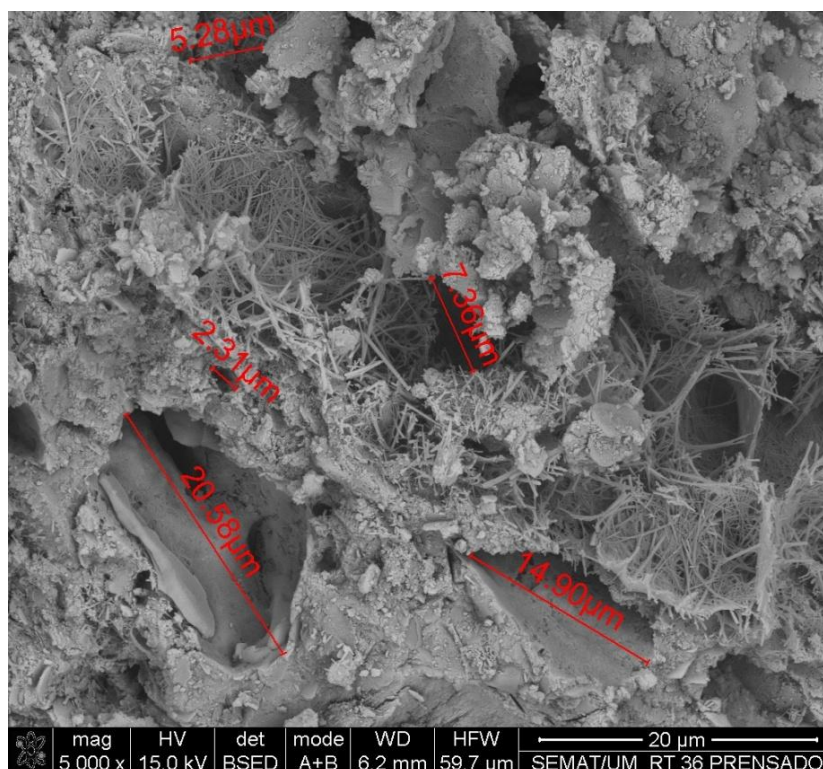
A condutividade térmica quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica, uma das características específica de cada material. O bloco de solo-cimento possui vários elementos conforme já descrito (análise química). Quando comparado os resultados das

propriedades térmicas com a dosagem de 5%p e 3%p do MMFs as propriedades térmicas são melhoradas, com o aumento da quantidade.

#### 4.4.10 Condutividade e difusividade térmica pelo método da agulha de prova (Brasil)

Na análise das propriedades térmicas existem muitos fatores que influênciam nessas medidas, como a porosidade, água, e a variabilidade dos materiais, forma geométrica e tamanho dos poros conforme micrografia, figura 54. Porosidade aberta diminui a resistência e permite a saída e entrada de material (água e ar) e os MMFs a porosidade fechada aumenta a resistência e mantém a estabilidade do material.

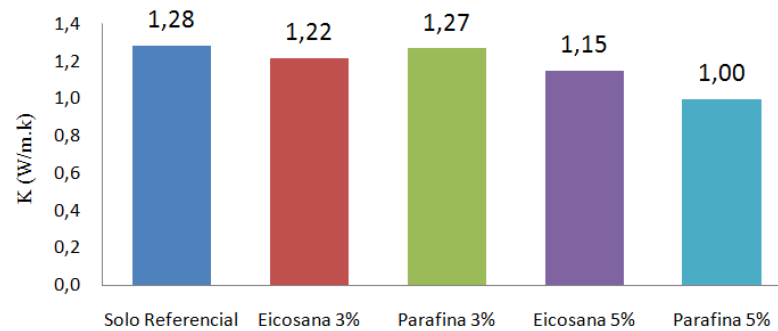
**Figura 54–Micrografia dos blocos de solo cimento**



Fonte–Dantas 2015

A figura 55 apresenta os valores de condutividade térmica medida para blocos de solo–cimento investigado. A condutividade térmica do bloco apresentou a menor capacidade de conduzir energia térmica através de suas estruturas, em destaque os de maior quantidade de MMFs, parafina n–eicosano e parafina 120/125F, quando comparado ao bloco de solo–cimento de referencia fabricado com o solo referencial. Essa propriedade importante dificulta o transito de calor através do bloco.

**Figura 55–Condutividade térmica dos blocos de solo–cimento com parafina n–eicosano**



Fonte–Dantas

As moléculas do MMFs sofrem muitas vibrações internas e interação com os constituintes dos blocos de solo–cimento e com isso a energia potencial armazenada nestes graus de liberdade, contribui para aumento do conteúdo de energia potencial, mas não da sua temperatura. Para a saída do MMFs do interior dos blocos de solo–cimento é necessário que a temperatura seja suficiente para superar os efeitos de interação quânticos e o calor é armazenado pelo bloco em diferentes modos, correspondem aos vários estados quânticos possíveis. Na medida em que a temperatura aumenta, mais estados quânticos são acessíveis pelo sistema, o que resulta no aumento da sua capacidade térmica.

Dessa forma, os blocos de solo–cimento com MMFs quando incorporado, parafina n–eicosano e parafina 120/125F mostram bom isolamento térmico proporcionado pela baixa condutividade térmica até certa temperatura, a qual quando aplicado na construção, em parede de uma residência, o fluxo de calor é minimizado e, com isso, as trocas de energia do interior com exterior do ambiente também.

#### 4.4.11 Capacidades térmicas das parafinas do bloco de solo–cimento em função da quantidade (Brasil)

Os blocos de solo–cimento com teor 5%p de parafina n–eicosano e parafina 120/125F que apresenta propriedade térmica no acúmulo de energias. A capacidade térmica do bloco de referência apresentou menor capacidade térmica ( $1,35 \text{Mj/k.m}^3$ ) e o bloco de solo–cimento com adição de 3%p de n–eicosano obteve capacidade térmica de  $1,45 \text{Mj/m}^3$ . k e o bloco com adição de 5%p de n–eicosano a capacidade térmica foi de  $1,85 \text{Mj/m}^3$ . k, 37% a mais em relação ao bloco de referência. Já o bloco de solo–cimento com 3%p de parafina 120/125F observa uma capacidade de armazenar calor de  $1,703 \text{Mj/m}^3$ . k e para adição de 5%p parafina 120/125F capacidade térmica de armazenar calor de  $1,832 \text{Mj/m}^3$ . K.

Podemos observar que o aumento na capacidade térmica é linear, esta função do aumento

da taxa de adição de n-eicosano e ou parafina 120/125F. O qual a capacidade térmica para os blocos de solo-cimento com adição de parafina 120/125F obedece à equação:

$$y=0,176X+1.147 \quad 3.6$$

A capacidade térmica do bloco de solo-cimento com adição n-eicosano obedece à equação:

$$y=0.120x+1,267 \quad 3.7$$

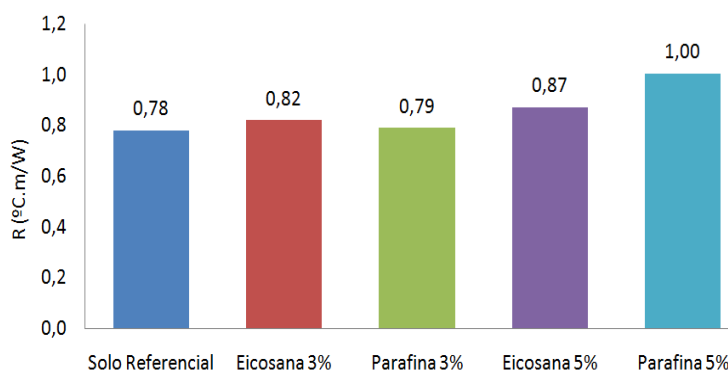
Onde x é o teor de parafina 120/125F e n-eicosano.

Pode observar um aumento na capacidade térmica, através do calor latente para a n-eicosana e para a 120/125F. Os blocos de solo-cimento com MMFs mostram a capacidade de acumulo de energias através do calor latente de forma inteligente e esse calor pode ser aproveitado quando a temperatura baixar ou aumentar ficando o material por um período na temperatura de sua mudança de fase.

#### 4.4.12 Resultados da resistência térmica do bloco de solo-cimento (Brasil)

A figura 56 apresenta as resistências térmicas dos blocos destacando o bloco com teor 5% de n-eicosana e 120/125F que apresentou maior resistência e os blocos com 3% de n-eicosana e 120/125F foi pouco expressiva em relação ao bloco de referência.

**Figura 56–Resistências térmicas do bloco de solo-cimento do semiárido**



Fonte–Dantas

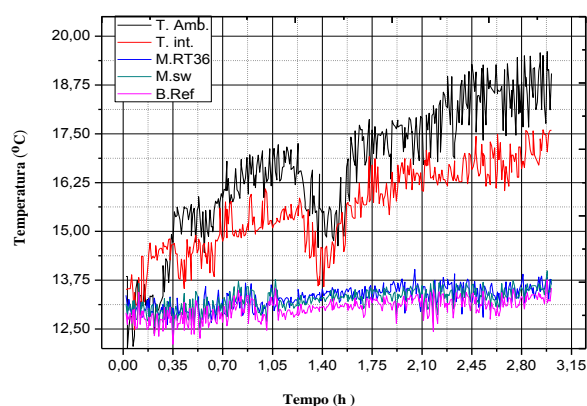
Para todos os blocos estudados a resistência térmica foi aumentada em relação ao bloco de solo-cimento referencial, no entanto, se o calor for suficientemente elevado, entra em ação o terceiro mecanismo importante (chamado material inteligente), os MMFs detectam

a variação de temperatura fora dos limites da temperatura do material naquela fase e processa a quebras das ligações químicas entre os átomos das moléculas de hidrogênio, absorvendo calor, e conseqüentemente acumulando energia potencial na forma de calor latente, e quando, a temperatura diminui as ligações químicas átomos das moléculas são refeita, em função disso, devolve esse calor ao ambiente.

#### 4.4.13 Comportamentos térmicos dos blocos de solo do Alentejo (Portugal)

Os blocos foram fabricados com o solo argiloso de Alentejo–Portugal a qual foram acrescentados 30% de areia 04, com essa medida obtém uma argamassa para blocos de solo–cimento prensado semelhante aos blocos estudado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte–Brasil. Esses blocos foram monitorado as perdas de massas e a temperatura desde a temperatura ambiente até a temperatura de 105°C. A finalidade foi de observar o comportamento térmico dos três blocos: blocos de solo–cimento referência (B. Ref.); bloco de solo–cimento com adição 5% de RT36 (parafina n–eicosano ponto de fusão de (34–37°C) e blocos de solo–cimento com adição 5% SW (parafina sasolwax ponto de fusão de (54–58°C). Embora as temperaturas do meio ambiente e da temperatura interna da câmara quente oscilem, os blocos de solo–cimento em estudo se mantêm em aproximadamente 13°C conforme figura 57. Os resultados das temperaturas internam da câmara quente e externa do meio ambiente foi influenciados pelas trocas de calor por convecção, sendo a temperatura interna da câmara quente ligeiramente menor. Não foi verificado mudança de massa nessa temperatura.

**Figura 57–Temperatura ambiente dos blocos do solo–cimento**



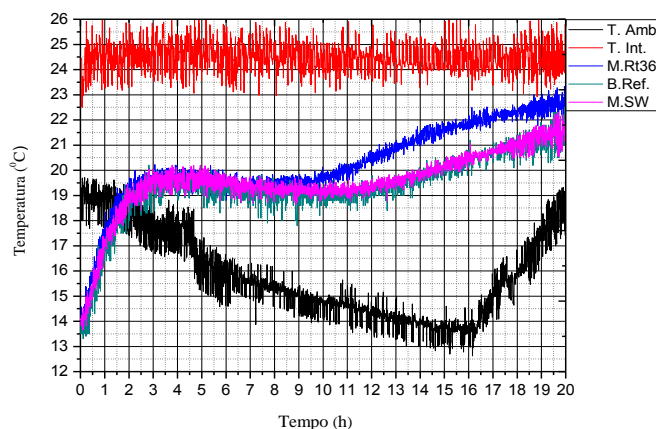
Fonte Dantas

#### 4.4.14 O sistema monitoramento de temperatura e massa a 25 °C

Quando comparado à temperatura constante de 25<sup>0</sup>C da câmara quente com o desempenho térmico dos blocos de solo-cimento, verificou-se que o bloco de solo-cimento com adição de 5% SW e o bloco com adição de 5% RT36, ambos obtiveram um aumento da temperatura interna em relação aos blocos de solo-cimento de referencia (B. Ref.), variando de 13<sup>0</sup>C, temperatura inicial, até 20<sup>0</sup>C, temperatura final, num período de 3 horas e 30 minutos, conforme figura 56. O aumento de temperatura de 7<sup>0</sup>C é proporcionado pelo calor sensível, isto por que, não se verificou mudança de fase de nenhum dos componentes presentes nos blocos.

A figura 58 mostra o comportamento térmico do interior da estufa, do meio ambiente e dos blocos de solo cimento com RT36, blocos de solo-cimento com SW os quais se comportaram após 3 horas e 30 minutos de aquecimento constante a temperatura de 25<sup>0</sup>C não se observou diferenças significativas entre os blocos de solo-cimento com 5%p, RT36, B.REF e SW5%p até 8 horas de aquecimento. A partir de 8 horas o bloco RT36 sofreu um aumento de temperatura maior que o bloco 5%p de SW e (B.Ref.) o qual se estenderam até 20 horas, chegando a uma temperatura máxima de 23<sup>0</sup>C. Os blocos de solo-cimento com adição RT36 observou uma diferença de temperatura de aproximadamente de 3<sup>0</sup>C superior ao bloco de solo-cimento com adição de 5%p SW e o bloco de solo-cimento de referencia, (B. Ref.). As diferenças observadas nas propriedades térmicas entre blocos com adição 5%p de RT36, bloco com adição de SW e bloco (B. Ref.) esta em função dos materiais distintos presentes nos blocos, as argilas material refratário é responsável por manter todos os blocos abaixo da temperatura interna da estufa, no caso de estudo de 25<sup>0</sup>C. No entanto, o bloco com adição de 5%p de RT36, n-eicosano com ponto de fusão entre (34-38<sup>0</sup>C) pode ter ocorrido um amolecimento da cera absorvendo calor. Os blocos de solo-cimento com adição de 5% de cera SW, com ponto de fusão entre (54-58<sup>0</sup>C), e no bloco de solo-cimento de referencia (B.Ref.).

**Figura 58–Aquecimento constante a temperatura de 25<sup>0</sup>C**

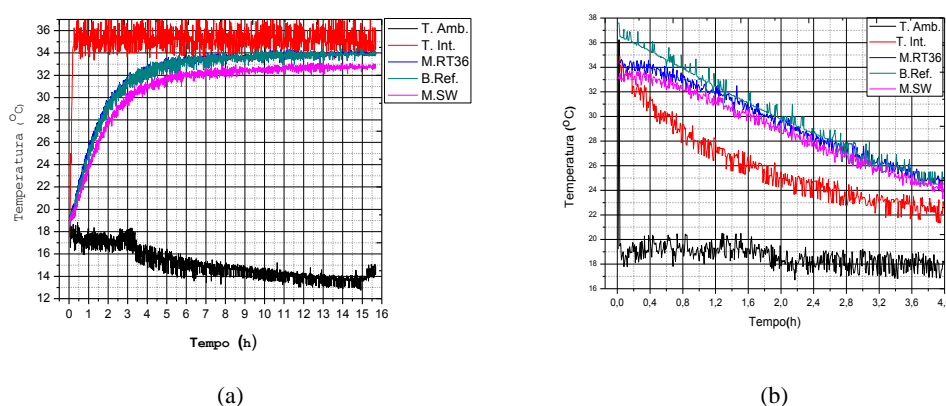


Fonte Dantas

#### 4.4.15 O Sistema de monitoramento de temperatura e massa a 36<sup>0</sup>C

Para o comportamento térmico do sistema externo, interno no interior da câmara quente e o comportamento térmico no interior dos blocos (B.Ref.), RT36 e SW a temperatura de 36<sup>0</sup>C, figura 59a. Os blocos de referencia (B.Ref.) e com SW tiveram o mesmo comportamento, no entanto, dos 17<sup>0</sup>C até os 32<sup>0</sup>C, por um período de 5 horas, se absorveu calor sensível que se manteve abaixo da temperatura interna da câmara quente, o blocos de solo-cimento com SW manteve a temperatura de 2<sup>0</sup>C abaixo do bloco referencia. O bloco de solo cimento com RT36 por um período de 16 horas de aquecimento a 36<sup>0</sup>C. O bloco com material RT36 e SW quando foi aquecimento por 1 hora ficou acima da temperatura interna da estufa, conforme figura 59b. A diferença de temperatura ficou abaixo da temperatura interna da estufa por 4 horas, mantendo um atraso de 10<sup>0</sup>C para os blocos com SW, (B.Ref.) e com RT36. A partir de 4 horas até 20 horas a diferença dos blocos em função do material, absorver calor sensível o blocos de solo-cimento com RT36 até a temperatura de 34<sup>0</sup>C sem mudar de fase, a partir de 34 até 37<sup>0</sup>C esse bloco passou a absorve calor latente de fusão mudando de fase. Os blocos (B.Ref), RT36 e SW, todos absorveram calor sensível por um período de 5 horas. Após esse período, todos os blocos se mantiveram a temperatura constante de 32<sup>0</sup>C por 20 horas figura 59a. No entanto, neste processo não se verificou nenhuma perda de massa dos blocos em estudo. O comportamento dos blocos de solo-cimento quando a estufa foi desligada é mostrado na figura 59b, comportamento inverso quando comparado com a figura 56(a).

**Figura 59–Comportamento térmico dos blocos de solo–cimento a 36<sup>0</sup>C**

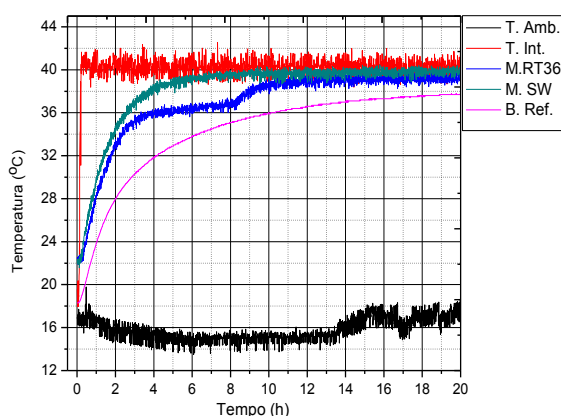


Fonte Dantas

#### 4.4.16 O Sistema monitoramento da temperatura e massa a 40<sup>0</sup>C

A figura 60 apresenta o comportamento dos blocos de solo–cimento com aquecimento até 40°C e arrefecido até a temperatura ambiente. Neste gráfico fica evidente o acúmulo de calor latente e também de calor sensível. Este resultado mostra a eficiência dos blocos de solo–cimento tanto para o aditivo inserido RT36 como para o aditivo SW. Neste gráfico ficou evidente o acúmulo de calor latente por um período 4 horas e também de calor sensível por um período 4 horas.

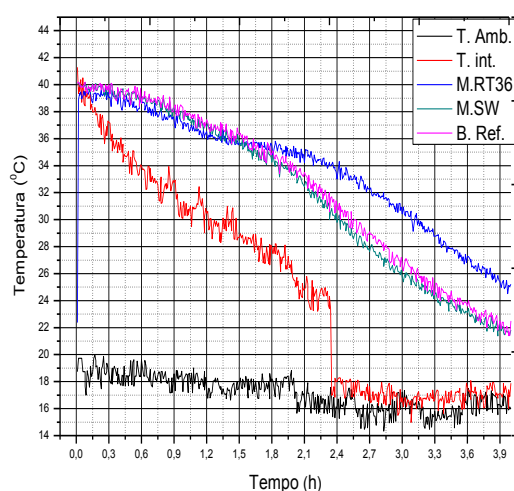
**Figura 60-Comportamento dos blocos de solo–cimento com aquecimento de até 40<sup>0</sup>C**



Os blocos de solo–cimento com 5%p de RT36, 5%p de SW e B.Ref. tiveram atraso semelhantes no arrefecido por um período de 2 horas. No processo de arrefecimento verificou se calor latente de solidificação por um período de uma hora a temperatura constante de 36<sup>0</sup>C para o bloco de solo–cimento com adição 5% RT36 o qual o bloco de solo-cimento devolve o

calor ao ambiente. A porta da estufa foi aberta por um período 1,5 horas, a temperatura interna abaixou bruscamente conforme figura 61 e equilibrou a temperatura ambiente com a da estufa, quando ambos mantiveram a temperatura de 17<sup>o</sup>C, no entanto, o atraso no arrefecimento verificou se um atraso para o bloco de solo-cimento com 5%p RT36. Os blocos de solo-cimento (B.Ref.) e SW foram observados um comportamento semelhante.

**Figura 61–Comportamento dos blocos de solo-cimento no arrefecimento**



Fonte–Dantas

#### 4.4.17 Quantidade de 400g de RT36 inserido no bloco de solo-cimento de 8kg a 40°C

A quantidade de calor sensível é dada pela equação  $Q = m.c.\Delta T$  e para o calor latente pela equação  $Q=m.\Delta L$ . O bloco de solo-cimento em estudo tendo o peso total de 8 kg dos quais 5% é de RT36 é composto de parafina n-eicosano, então a quantidade de calor total é obtido pela soma do calor sensível mais a soma do calor latente absorvido pelo 5%p RT36 que foi inserido no blocos de solo-cimento.

Para 400 gramas da parafina n-eicosano presente no interior do bloco de solo-cimento, em estudo, a quantidade de calor sensível é calculada:

$$Q_s = mc\Delta T$$

$$\text{Calor sensível, } Q=mc\Delta T$$

$$Q_s = 400g \times 0.528gm.cal/gm.(38-34)$$

$$Q_s = 844,8 \text{ Cal (calorias) ou } 3531,264j$$

$$Q_s = 3.53 \text{ kJ}$$

Para as 400 gramas de parafina n–eicosano presente no interior do bloco de solo–cimento a quantidade de calor latente é:

$$Ql = mL_{(liq.)}$$

Calor latente

$$QL = mL_{(fus.)}$$

$$QL = 400 \times 247 \times 10^3 \text{ Cal (calorias)}$$

$$QL = 98.800 \text{ Kcal ou } 42537,352 \text{ kj}$$

Para 400 gramas de parafina n–eicosano, a quantidade de calor total calculada pela soma das energias gasta nas fases que compõem parafina n–eicosano, desprezando as influencia da água presente nos poros e as impurezas presentes na parafina e considera que nenhuma influencia dos componentes dos elementos químico solo–cimento:

$$Q_s = mc\Delta T$$

Calor sensível,  $Q = mc\Delta T$

$$Q_s = 400 \text{ g} \times 0,481 \text{ gm.cal/gm (40–34)}$$

$$Q_s = 1154,44 \text{ Cal ou } 4,825 \text{ Kj}$$

Quantidade de calor total

$$Q_t = Q_s + Q_l + Q_s$$

$$Q_t = 4832,7837 \text{ Kj}$$

#### 4.4.18 O sistema monitoramento de temperatura e massa a 570C (Portugal)

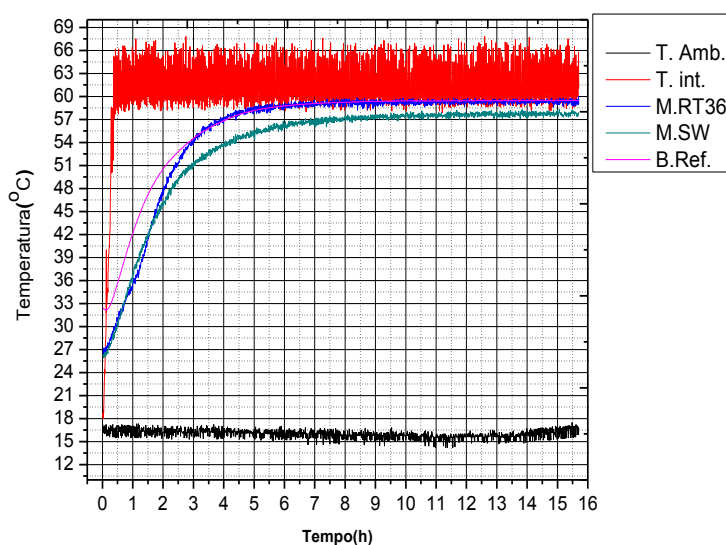
Na figura 60 A temperatura da câmara quente foi elevada até a temperatura de 57°C, o qual foi observado um atraso no aquecimento dos blocos M. RT36 e M. SW. Os resultados são mais acentuados no bloco de solo–cimento com adição do PCM. Também se verificou um acúmulo de energia por calor latente aos 38°C, e aos 57°C, para o bloco de solo–cimento com adição de RT36. No entanto, os blocos (B.Ref.) e SW se Apresentaram comportamento térmico semelhante.

#### 4.4.19 Monitoramento de temperatura dos blocos de solo–cimento aos 60 °C

O sistema foi aquecido até a temperatura de 60°C e verificou se um atraso no

aquecimento por um período de 1 hora e 30 min. Durante 4 horas, figura 62, nos blocos de solo-cimento observou-se aumento de temperatura, na forma de calor sensível até aproximadamente aos 36°C e após 1h de aquecimento, os blocos RT36 e blocos 5%p SW entraram em equilíbrio térmico aos 42°C por trinta minutos e manteve o aquecimento constante, e após os 42°C, o bloco de solo-cimento com adição de 5%p RT36 e o bloco de solo-cimento de referencia (B.Ref) teve um aquecimento com calor sensível até atingir 54°C quando entraram em equilíbrio térmico por duas horas. Após duas horas de aquecimento, os blocos RT36 e SW entraram em equilíbrio térmico e manteve-se, assim, o calor latente por 16 horas. Neste período, o bloco com adição de 5% de SW manteve um atraso térmico de 1,5°C.

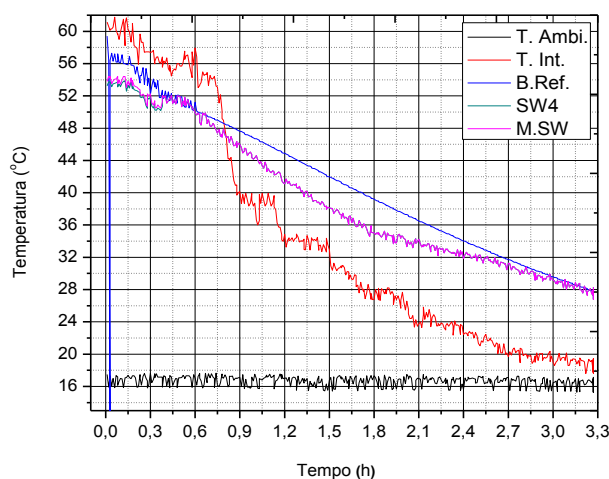
**Figura 62–Desempenho dos blocos de solo-cimento a temperaturas de 60oC**



Fonte-Dantas 2015

No aferrecimento, figura 63, os blocos de solo-cimento tiveram um comportamento inverso do aquecimento, onde os blocos de solo-cimento de referencia (B.Ref.) teve um tempo maior para o aferrecimento, no entanto, os blocos de solo - cimento com adição de RT36 e os blocos de solo cimento com adição de SW liberou calor em menor tempo. Neste experimento, durante o aferrecimento, a câmara quente teve uma pequena entrada de ar, no qual verificou-se uma grande variação na temperatura interna da câmara quente, entretanto, no interior dos blocos não foram verificadas as flutuações dessas temperaturas.

**Figura 63**–Resfriamento dos blocos de solo–cimento partindo da temperatura aos 60°C.

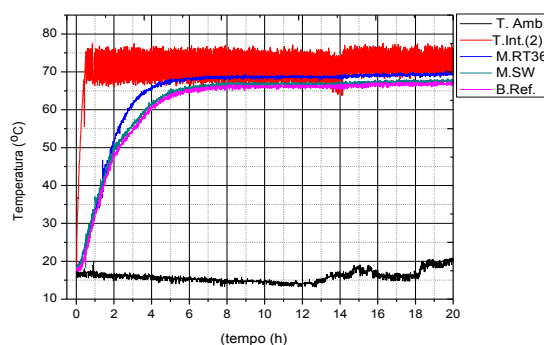


Fonte Dantas 2015

#### 4.4.20 Monitoramento de temperatura do bloco de solo–cimento aos 70°C

Quando aquecido os blocos de solo–cimento figura 64, nota se um comportamento semelhante dos blocos de solo–cimento (B. Ref.) e blocos de solo–cimento com adição de 5% de RT36 e bloco de solo–cimento com adição de 5% de por 2 horas, e estabeleceu se o equilíbrio térmico aos 45°C. Após duas, horas e os blocos de solos–cimento (B.Ref.) e o com adição de 5%p de SW se comportaram de modo semelhantes, com um atraso no aquecimento devido os blocos com MMFs absorverem energia para passar para fase líquida e a água absorveu energia para passar para fase de vapor, o qual foi observado uma perda de água de 304,3 gramas para o bloco de referência (B.Ref.) e com 70,2 gramas para o blocos de solo-cimento com 5% de RT36, o qual manteve a temperatura próxima aos 68°C por 20 horas.

**Figura 64**–Monitoramento de temperatura bloco de solo–cimento a 70°C



Fonte– Dantas 2015

Análogo ao do aquecimento aos 60°C, sendo essas diferenças mais acentuada dos 48°C até 68°C por um período de 6 horas. Às 10 horas seguintes, as temperaturas dos blocos com adição de RT36 com adição SW e referencia (B.Ref.) se mantiveram constantes e apresentaram o mesmo comportamentos do aquecimento a 60°C, como já descrito.

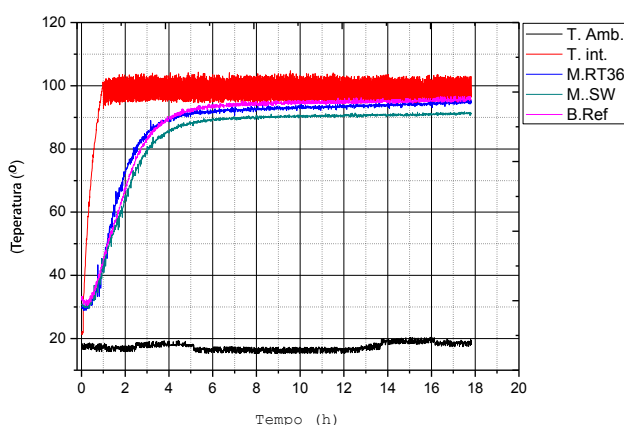
#### 4.4.21 Monitoramento de temperatura a 98°C e perda de massa dos blocos de solo-cimento

Ao avaliar o equilíbrio térmico de todos os blocos, por um período de aquecimento de 30 minutos, figura 65. No entanto os blocos de solo-cimento de referencia (B.Ref.), bloco com adição de RT36 e bloco com adição de SW entraram em equilíbrio térmico aos trinta minutos, quando a temperatura atingiu 40°C. De 30 minutos até 4 horas observou um aumento de calor mais acentuado para o bloco de solo-cimento com RT36. Isto pode ser devido à vaporização da água nesse bloco, o qual teve uma perda de massa de 112g, não admite se perda de massa do MMFs, RT36, por aparentar se, temperatura de vaporização elevada Tabela 11. No bloco de solo- cimento, Não pode ocorrer o escorrimento devido o tamanho das moléculas, por isso durante o experimento não verificou se visualmente perda de massa e nem cheiro do vapor característicos da vaporização do RT36. O blocos de solo-cimento de referencia (B.Ref.) e o bloco de solo-cimento com 5% de SW, ao termino de 4 horas de aquecimento, entraram em equilíbrio térmico entre eles e após 4 h até às 18 h de aquecimento a temperatura de 98°C, o bloco com adição de RT36 manteve aproximadamente 4°C abaixo da temperatura do blocos de solo-cimento de referencia (B.Ref.), e o bloco com adição de PCM; SW manteve a temperatura de aproximadamente de 1°C abaixo do bloco de solo-cimento de referencia (B.Ref.) a essa singularidade é em função da perda de massa do (B. Ref) foi de 375 g de água, enquanto o bloco com adição de 5% de SW perdeu 182,8 g de massa, pode ser da água por apresentar massa molecular de 18,2 um, (unidade de massa atômica) e ponto de fusão ao nível do mar de 100°C são moléculas pequenas, enquanto parafina SW apresenta fórmula molecular  $C_nH_{2n+2}$  ( $n>20$ ); densidade  $0,90 \text{ g.cm}^{-3}$ , ponto de fusão (50–57°C) e ponto de ebulição aproximadamente 350°C, também nestas condições para a parafina SW, não seria possível a perda de massa na temperatura de 105°C.

Quando a temperatura acumulativa foi de 98°C, as resistências térmicas dos MMFs RT36 e SW foram quebradas figura 66. A água livre presente nos blocos evaporou num total de 479,7g

para o bloco de solo-cimento de referencia (B.Ref), 120,5g, para o bloco com adição de SW e 182,2g para o bloco com adição de RT36. Com a saída total da água livre, o comportamento dos blocos foi observado tabela 21. Onde no bloco de referencia (B.Ref) a temperatura se aproximou dos 98 C, e para os blocos com aditivos podemos observar o fator de resistência térmica atuando, mantendo a temperatura dos blocos abaixo do bloco de solo-cimento de referencia conforme observado.

**Figura 65–Comportamentos dos blocos de solos-cimento a temperatura de 98 C**

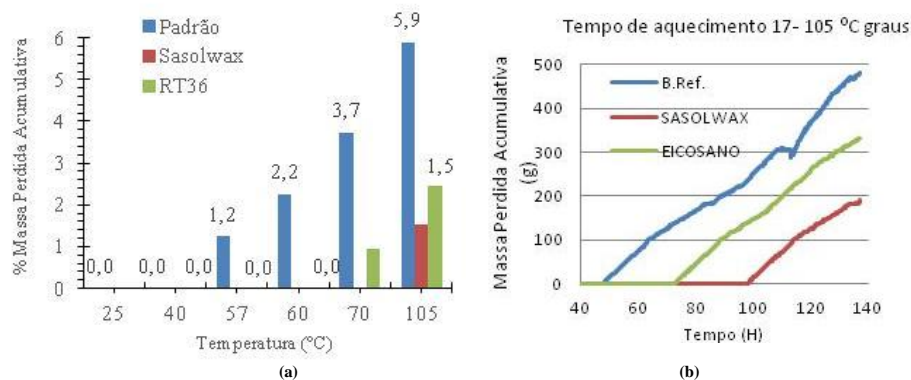


Fonte–Dantas 2015

#### 4.4.22 Perdas de Massa dos blocos de solo-cimento com e sem PCM

As perdas de massa acumulativa foram avaliadas de acordo com o aquecimento partindo de 25 C, aquecendo por 24 horas. Nestas condições não verificou perda de massa. Os blocos de solo-cimento RT36, SW, (B.Ref), foram aquecidos até a temperatura de 36 C, temperatura média de fusão do MMFs RT36, figura 66, não ocorrendo perda de massa. Com novo aquecimento até temperatura de 57 C, ponto médio de fusão do PCM SW. Nessa temperatura foi observada perda de massa do bloco de solo-cimento B.Ref. de 101 g após 50 horas de aquecimento, enquanto os blocos RT36 e SW mantiveram as massas constantes. O sistema foi aquecido por mais 25 horas a temperatura de 60 C, durante esse período foi verificado uma nova perda de massa de 183g no (B.Ref.), os blocos RT36 e SW mantiveram a massa constante.

**Figura 66–Perda de massas acumulativa em função do tempo e da temperatura**



O sistema sofreu um novo aquecimento até 70°C, por 24 horas, o qual apresentou perda de massa acumulativa do (B.Ref.) de 304g e do bloco RT36 foi de 70 g enquanto o bloco de solo - cimento SW manteve com a massa constante tabela 21. A temperatura do sistema foi elevada a 105°C por mais 24 horas, temperatura em que a água livre do solo passa para o estado de vapor. O sistema foi aquecido a 105°C, por 128 horas e verificou uma perda de massa para blocos B.Ref de 479,7g, e para blocos o com RT35 182,4g e para o bloco com SW, de 120 g respectivamente.,

Mistura	Peso do Bloco (g)	Número de Ciclos	Tempo (h)	Temperatura do Ciclo (°C)	Perda de Massa (g)	% Massa Perdida Acumulativa
<b>B.Ref.</b>	8157,6	1	15,2	25	0,0	0,0
		2	39,2	40	0,0	0,0
		3	64,1	57	101,4	1,2
		4	85,9	60	183,3	2,2
		5	108,3	70	304,3	3,7
		6	137,3	105	479,7	5,9
SW	7466,5	1	15,2	25	0,0	0,0
		2	39,2	40	0,0	0,0
		3	64,1	57	0,0	0,0
		4	85,9	60	0,0	0,0
		5	108,3	70	0,0	0,0
		6	137,3	105	120,5	1,5
RT36	7439,2	1	15,2	25	0,0	0,0
		2	39,2	40	0,0	0,0
		3	64,1	57	0,0	0,0
		4	85,9	60	0,0	0,0
		5	108,3	70	70,2	0,9
		6	137,3	105	182,2	2,4

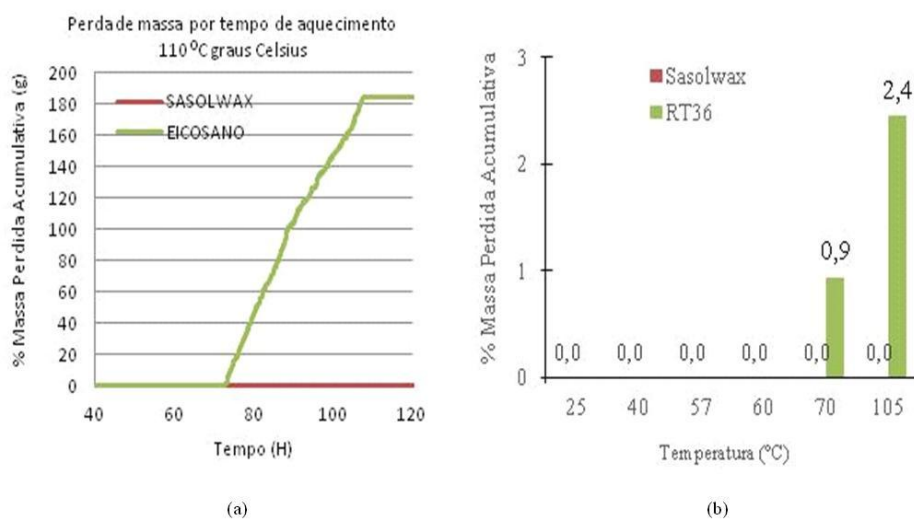
## 4.4.23 Perda de massa sem saturação até 105°C

Blocos de solo-cimento com peso inicial e suas variações de massa em função da temperatura estão apresentados na tabela 22.

Mistura	Peso do Bloco (g)	Número de Ciclos	Tempo (h)	Temperatura do Ciclo (°C)	Perda de Massa (g)	% Massa Perdida Acumulativa
SW	7488,1	1	15,2	25	0	0
		2	39,2	40	0	0
		3	64,1	57	0	0
		4	85,9	60	0	0
		5	108,3	70	0	0
		6	137,3	105	0	0
RT36	7514,8	1	15,2	25	0	0
		2	39,2	40	0	0
		3	64,1	57	0	0
		4	85,9	60	0	0
		5	108,3	70	70,2	0,9
		6	137,3	105	182,8	2,4

Quando aquecido, os blocos de solo–cimento tiveram comportamento distinto sendo o bloco com adição SW à perda de massa até o final do processo nula enquanto o bloco com adição de RT36 a perda de massa foi de 182,8g. O gráfico da perda de massa acumulativa em função do tempo é mostrado na figura 67.

**Figura 67–Perda de massa acumulativa em função da temperatura e do tempo**



#### 4.4.24 Inércia térmica e uso da parafina em materiais de construção

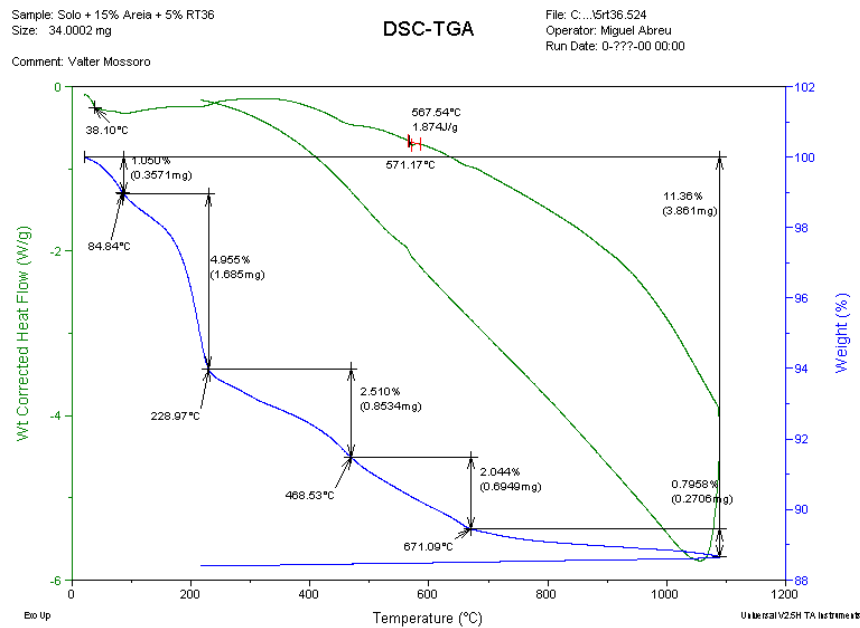
Na figura 68 análises térmicas DSC– TGA e decomposição de massa da parafina n–eicosano e vaporização de águas são apresentadas. As curvas DSC–TGA do material bloco de solo–cimento com MMFs parafina n–eicosano, e perda de massa da água e da parafina n–eicosano adicionado no bloco com 5% de RT36. Na curva TGA, para temperatura abaixo de 84,84°C observa perda de massa de 1,050%, e entre 84,84°C a 228,97°C, houve perda de massa somente da água num total de 4,955%.

No entanto, na faixa de 228,97°C a 468,53°C ocorre a perda de água ou da parafina n–eicosana num total de 2,04mg, no entanto quando a temperatura atingiu a faixa entre 468,53°C a 671,09°C a perda de massa observada foi de 0,81%, essa perda é proveniente da passagem da parafina sólida para o estado gasoso deixando os poros e os microporos do blocos de solo–cimento, ou possivelmente, a degradação da parafina. A curva mostra que a máxima de perda de massa ocorre nas temperaturas de 228,97°C a 671,09°C; tendo uma perda de massa de 5,554% podendo ser de água ou material do bloco.

Até o final do aquecimento a perda total de massa foi de 11,36%, e a massa perdida durante todo o ciclo foi de 3,87 mg. Na temperatura de até 350°C, admite a perda de toda água capilares se evaporaram e possivelmente o carbono livre.

Como podem verificar na figura 68 a perda de massa de 0,9% a temperatura de 70°C graus e de 1,5% aos 110°C. Fato confirmado pelo ensaio de perda de massa figura 66 e 67. No entanto, 4,955% de água dos poros foi perdida no intervalo de 84,84 a 228,97°C. Observa-se que a perda de massa do RT36 a partir de 350°C foi de 5,32%. Esses resultados estão de acordo com a quantidade de massa do RT36 adicionada ao bloco de solo–cimento. Essa diferença pode ser em função do carbono que contém no solo, ou a água presa ao carbono.

**Figura 68- Análise térmica DSC–TGA do material que compõe o bloco com adição de RT36**



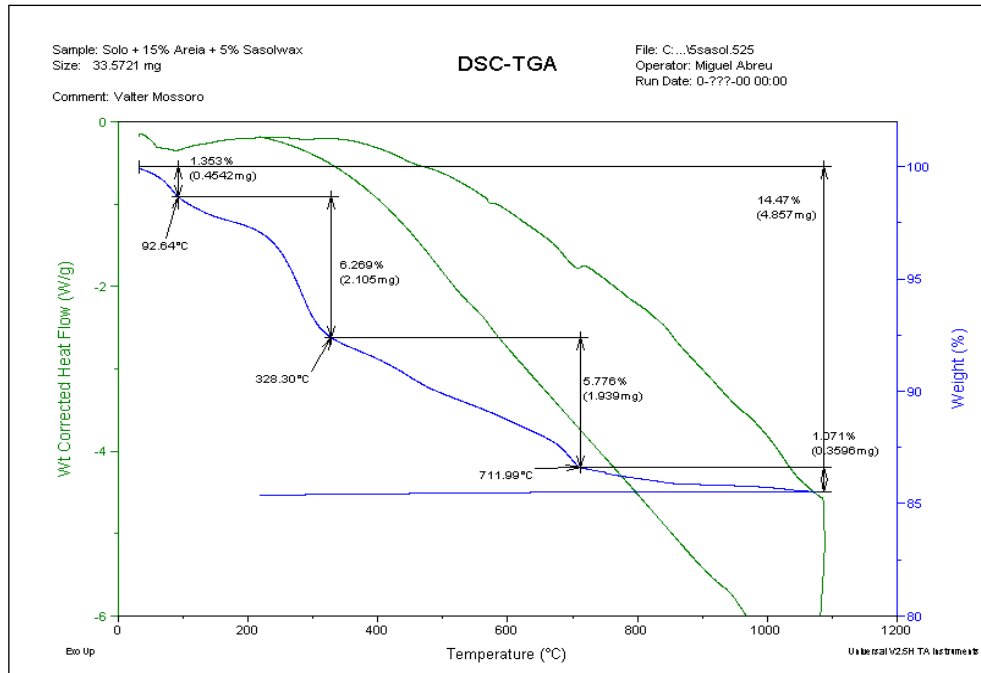
Fonte:Dantas 2015

#### 4.4.25 Análise térmica DSC–TGA e decomposição de massa da parafina n–eicosano

A figura 69 apresenta à decomposição térmica da parafina sasolwax as curvas DSC–TGA dos blocos de solo–cimento com MMFs parafina SW. Na curva TGA, para temperaturas abaixo de 92,6 °C são observadas perdas de massa de 1,35% resultado mostram a influencia da compactação do material, neste ensaio o estrutura do bloco de solo- cimento foi destruído pela moagem. No entanto, os blocos de solo–cimento com 5% desse aditivo não foi observada perda de massa ate a temperatura de 70°C conforme figura 69. Na temperatura de 92,64°C a 328,30°C ocorreu uma perda de massa de 6,27% que pode ser da água livre ou de água intersticial presente nos micro poros, devido o peso molecular elevado não é possível perda massa do aditivo SW. A mesma amostra quando a temperatura na faixa de 328,30°C a 711,09°C ocorreu a perda de água do interstício e possivelmente do PCM SW de 5,776% e entre 711,09°C a 1200°C a perda de massa foi de 1,071%. A figura 69 mostra que a maior velocidade de perda de massa ocorre nas temperaturas de 328,30°C a 711,09°C. A perda de massa total acumulativa no processo foi de 3,87 mg que corresponde a 4,42%. Diante dos resultados apresentados fica evidente da interação do carbono do composto SW com os materiais que compõe o bloco de solo cimento, uma propriedade muitos buscado em um

material que é a inércia térmica.

**Figura 69**–Análise térmica DSC–TGA do material que compõe o bloco com adição de SW



Fonte Dantas 2015

---

---

## CAPITULO 5: CONCLUSÕES E SUGESTÕES

---

---

Os resultados e procedimentos adotados neste trabalho demonstraram que para se obteve um solo para fabricação de blocos de solo-cimento com boa resistência mecânica, onde a faixa de silício deve estar entre (65–80%) quando analisadas por fluorescência de raios X. O mesmo mostrou ser mais eficaz que o método convencional (peneiramento e sedimentação), pois este método exclui os falsos grão de  $\text{SiO}_2$  agregados da fração do solo plintita. Já o método de peneiramento e sedimentação conta cada grão existente como sendo  $\text{SiO}_2$ .

O acréscimo da parafina n-icosana e Sasolwax na argamassa do solo-cimento proporcionaram uma forte influencia nas taxas de absorção de água por capilaridade e submersão. Com base nessas taxas pode-se afirmar que esse bloco apresenta uma durabilidade maior quando comparado com o bloco de referência, e também que a massa feita para fabricação do bloco de solo-cimento pode ser usada como reboco, diminuindo as taxas de absorção de água.

Sob o ponto de vista termo-físico e pelos resultados obtidos, os MMFs escolhidos apresentaram: temperatura de transição de fase na margem de temperatura de operação desejada; elevado calor de transição por unidade de volume, armazenamento máximo de energia com o mínimo de incorporação de MMFs; elevado calor latente, representado pela sua capacidade calorífica, de modo a aumentar a sua capacidade de armazenamento de energia, além de manter inerte os matérias que compõem o blocos de solo-cimento com adição de SW até  $100^\circ\text{C}$  e com n-icosano até  $80^\circ\text{C}$  em um período de aquecimento de até 140 horas.

Através dos resultados obtidos, os quais revelam que o volume de poros presente o solo argiloso e argissolo tem bom indicativo para a fabricação do blocos de solo-cimento com material de mudança de fase MMFs, pois estes materiais podem desempenhar a função de manter o ambiente construído com esses blocos, um melhor conforto térmico, boa resistência mecânica, baixa taxa de absorção de água (uma propriedade muito buscada nos materiais), e melhorias nas propriedades térmica (como isolantes térmicos e acumulador de calor latente e sensível os estes blocos mostram-se muito inovador e promissor para a aplicabilidade na construção civil.

---

---

## SUGESTÕES

---

---

–Com bases nos resultados de resistências térmicas e dos dados das propriedades térmicas com adição de 9% de cimento 3% e 5% de MMFs, foi verificada uma diminuição significativa das propriedades mecânicas. No entanto teve melhoria significativa nas propriedades térmicas. Outra opção é aumentar o teor de cimento na mesma proporção do aumento da massa de MMFs adicionado no solo e testar as propriedades térmicas e mecânicas com a finalidade de obter uma argamassa com propriedade térmicas e mecânicas.

–Efetuar estudo para verificar como os elemento carbono da parafina interagem com os constituintes do bloco de solo–cimento e águas, também como elemento carbono e oxigênio interagem, com os constituinte dos blocos de solo–cimento o qual foi verificado que a temperatura de 100°C não apresentou perdas de massa do blocos de solo–cimento com 5% de n–hexacosane  $C_{26}H_{54}$  e nem do cera Sasolwax.

–Fazer ensaios com o micro porosidade do solo com adição de MMFs aumentando a porcentagem de cimento na mesma proporção de MMFs. E mensurando as propriedades térmicas, absorção de águas, perda de águas e resistências mecânica.

–Fazer blocos de solo–cimento com outros tipos de solo e inserir MMFs para verificar o efeito contrastante entre esse e o solo argiloso estudado já estudado.

–Também testar a correção granulométrica pelo óxido presente no solo (método de fluorescências de Raios X) e pelo método de peneiramento e sedimentação para outros solos em blocos de solo–cimento e refazer os testes de resistências mecânicas também.

–Construir três célula experimental uma com blocos de solos–cimento natural, e outra com solo cimento mais 5% de MMFs e 5% de n–eicosano dois aditivos estudado e fazer o balanços de energias em função do conforto térmico.

–Como a literatura afirma na possibilidade de vazamento do MMFs orgânico quando esse torna liquido, no ensaio realizado não foi verificada essa perda, então fazer novos ensaios nas mesmas condições, aumenta os teores de PCM, de 2, 4, 6, 9,12% determinarmos uma equação que represente essa perda em função da quantidade adicionada.

---

---

## REFERÊNCIAS

---

---

**ABCP. Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1985. 8p. BT-111.**

**ABCP. Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1985. 8p. BT-111x.**

ABNT–NBR 15220 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações Parte 1-Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 2003.

ABU-HAMDEH, N.H. E REEDER, R. C. **Soil Thermal Conductivity: effects off Density, Moisture, Salt Concentration, and Organic Matter. Soil Science Society of America Journal.**, 2000.

AKIYOSHI, M. M.; SILVA, A. P. DA; SILVA, M. G. DA; PANDOLFELLI, V. C. Condutividade térmica e sua correlação com a temperatura e a massa específica volumétrica de materiais refratários sílico-aluminosos e aluminosos. **Cerâmica**, v. 47, n. 301, p. 19–27, 2001. Associação Brasileira de Cerâmica. Disponível em: [scielo.br/scielo](http://scielo.br/scielo). Acesso em: 15/1/2015.

ALONSO, M. E FINN, E. **Fundamental University Physics. vol. III: Quantum and Statistical Physics, USA.**, 1968.

ANACLETO, J.; ANACLETO, A. Sobre a primeira lei da termodinâmica: as diferenciais do calor e do trabalho. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 488–490, 2007. SBQ. Disponível em: [scielo.br](http://scielo.br). Acesso em: 2/1/2015.

ANACLETO, J. M. S. **Termodinâmica e Mecânica Estatística, Série Didáctica Ciências Puras**, 2004.

ANTOLINI, A.; CRUZ, J. C. **Infiltração De Água No Solo Em Sistema De Semeadura Direta E Área Florestada**, p. 1–13.

APPLICATIONS, A. H. **American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditionig Engineers, Inc. Atlanta.**, Inc. Atlanta, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10834: NBR 10832: **Fabricação de Tijolo Maciço de Solo-Cimento com a Utilização de Prensa Manual**, 1989. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10836: **Bloco Vazado de Solo-Cimento sem Função Estrutural– Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água**, 1994. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8492: Tijolo Maciço de Solo-Cimento—Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção D'Água, 1984. Rio de Janeiro, RJ.

ASTM. D 5334-08 Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure. , 2008.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. Prentice Hall, 2007.

BUOL, S.W. & ESWARAN, H. Micromorphology of oxisols. In: INTERNACIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORPHOLOGY, Granada, Espanha, Proceedings. Granada, University of Granada, 1978. p.325-328, 1977.

C. MARTINS, E. DE S. MARTINS, A. R. Revisão de intemperismo de micas. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 48 p. (Embrapa Cerrados, 2004).

CABEZA, L. F.; CASTELLÓN, C.; NOGUÉS, M.; et al. Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 2, p. 113–119, 2007.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma introdução**, 2007.

CARVALHO, S. P. DE; SOUZA, J. R. S. DE; MAKINO, M. Observações e estimativas de propriedades térmicas do solo sob floresta e pastagem no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 331–340, 2013a. Revista Brasileira de Meteorologia. Disponível em: .scielo.br/scielo. Acesso em: 18/1/2015.

CARVALHO, S. P. DE; SOUZA, J. R. S. DE; MAKINO, M. Observações e estimativas de propriedades térmicas do solo sob floresta e pastagem no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 331–340, 2013b. Revista Brasileira de Meteorologia. Disponível em: scielo.br/scielo.php. Acesso em: 18/1/2015.

CENGEL, Y. **Transferência de Calor e massa: uma abordagem prática**. São Paulo: McGraw-Hill, 2009. (livro-texto). McGraw-Hil ed. São Paulo - Brasil, 2009.

CEPED-Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, p. <http://www.cimentoitambe.com.br/ceped-tem-forte-vi>, 2012. localizado em Camaçari, na região metropolitana de Salvador-BA.

CRATERRE. **Centre de Recherche d'Architecture de Terre. Centro de pesquisa da Escola de Arquitectura de Grenoble, França (ENSAG), fundado em 1979. Disponível em URL:<http://craterre.org>>**.

CTERRERA. CTerreRA - Centre de Recherche d'Architecture de Terre. Centro de pesquisa da Escola de Arquitectura de Grenoble, França (ENSAG), fundado em 1979, p. <http://craterre.org>>, 1979.

CUNHA, U. V. L. **Terra-cimento: contribuição para o estudo da casa de baixo custo**. São Carlos. EESC-USP (Dissertação de Mestrado)., 1978.

CYTRYN, S. **Soil construction: its principles and application for housing. State of Israel – Ministry of Labor – House Division. The Weizman Science Press of Israel. Jerusalém. 1957.**

DEVICES, D. DECAGON DEVICES. INC. Simultaneous Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity Measurement of Foods. Pullman, USA. Disponível em [www.decagon.com](http://www.decagon.com) Acessado em 20 de março de 2014 às 15:20. **Anais**, 2006.

DIAS, A. M. S. **Marcio Soares Dias**, 2007.

DINIZ, M. O Sítio da Valada do Mato ( Évora ): aspectos da neolitização no Interior/Sul de Portugal. **Trabalhos de Arqueologia**, v. 48, p. 323, 2007.

DUARTE, S. R. **Construir com a terra**, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. , , n. 2. ed. Brasília, p. 212p, 1997.

EMBRAPA 2008B. SOLOS DA ILHA DE SANTANA, MUNICÍPIO DE SANTANA, ESTADO DO AMAPÁ, 1998.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (3ª edição)**. 3rd ed. São Paulo - Brasil, 2013.

F. KUZNIK, D. DAVID, K. JOHANNES, J.-J. R. A review on phase change materials integrated in building walls. **Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 2011, 15 (1), pp.379-391. <10.1016/j.rser.2010.08.019>. <hal-00541875>.**

FAROUKI, O. T. **Thermal Properties of Soils, Series on Rock and Soil Mechanics, Vol. 11**. 1986.

FERREIRA, O. P.; ALVES, O. L.; MACEDO, J. DE S.; GIMENEZ, I. DE F.; BARRETO, L. S. Ecomateriais: desenvolvimento e aplicação de materiais porosos funcionais para proteção ambiental. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 464–467, 2007. SBQ. Disponível em: [scielo.br/scielo](http://scielo.br/scielo). Acesso em: 1/1/2015.

FERREIRA, R. DE C.; GOBO, J. C. DA C.; CUNHA, A. H. N. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 1–11, 2008. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola. Disponível em: [scielo.br/scielo](http://scielo.br/scielo). Acesso em: 28/12/2014.

FONTANA, A. J.; WACKER, B.; CAMPBELL, C. S.; CAMPBELL, G. S. Simultaneous thermal conductivity , thermal resistivity, and thermal diffusivity measurement of selected foods and soil. **The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems**, v. 0300, n. 016101, p. 0–6, 2001.

FONTANA, A. J.; WACKER, B. T.; CAMPBELL, C. S.; CAMPBELL, G. S. Simultaneous thermal conductivity and thermal diffusivity measurement of selected foods. 26th

International Thermal Conductivity Conference/14th International Thermal Expansion Symposium. **Anais...** . p.38–44, 2001.

FREEDMAN, Y.; ZEMANSKY, S. **Física universitária V.1**. 2009.

GALINDOV, M. A. B. L. A. C. A. J. DE A. N. N. E. R. H. F. A. C. Revista Brasileira de Geociências - Relação entre a condutividade térmica e parâmetros físicos dos gnaisses Casablanca, Juparaná Delicato e Giallo Falésia (Ceará-Brasil).

DAVIS, DANNY ALLEN, ET AL. Macrocapsules containing microencapsulated phase change.2011.

GOMES, N. L. M. **Eficiência energética de edifícios: Contributo dos PCMs e Parede Trombe Eficiência energética de edifícios: Contributo dos PCMs e Parede Trombe-Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro**, 2011.

GREGG, S. J.; SING, K. S. **Adsorption, Surface Area and Porosity**. Academic Press, 1982.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W.; SALZBERG, H. W. Adsorption Surface Area and Porosity. **Journal of The Electrochemical Society**, 1967.

GUERRERO, M. C. J. D. AND I. C. “Earth Building in Spain”, Construction and Building Materials, p. 679–690, 2006.

HERZEN, R. VON; MAXWELL, A. E. The measurement of thermal conductivity of deep-sea sediments by a needle-probe method. **Journal of Geophysical Research**, 1959.

HUBER, E. Determinação Experimental da Difusividade Térmica de uma Massa de Tomate Comercial Experimental Determination of Thermal Diffusivity in Commercial Tomato Paste. p. 285–290, 2003.

HUGO HOUBEN. **Construção de Terra: A Comprehensive Guia**. Universida ed.2007.

HUNGER, M.; ENTROP, A. The direct incorporation of micro-encapsulated Phase Change Materials in the concrete mixing process—A feasibility study. **Systems and Materials**, p. 141–148, 2009. Disponível em: [utwente.nl/ctw/gtbcenter/Publications](http://utwente.nl/ctw/gtbcenter/Publications).

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 2007.

INCROPERA, F.P. AND DEWITT, D. . **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**.2007.

IPT. **IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). Utilização de bloco solo -cimento na constução e habitações - São Paulo. relatório-14.120**. 1980.

JACKSON, R. D.; KIRKHAM, D. Method of Measurement of the Real Thermal Diffusivity of Moist Soil1. **Soil Science Society of America Journal**, 1958.

JURINAK, J. A. AND S. I. A.-K. **Sizing Phase-Change Energy Storage Units for Air-Based Solar Heating Systems. Solar Energy 22: 355. 1979.**

KASTING, J. F.; ONO, S. Palaeoclimates: the first two billion years. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 361, n. 1470, p. 917–929, 2006.

KINGERY, W.D., BOWEN, H.K., UHLMANN, D.R. **Introduction to ceramics, 2 ed., New York, John Wiley & Sons.** 1976.

KODAMA, T. Instituto de Física - UFRJ-Ciência e Método Científico, 2010.

KUZNIK, F.; DAVID, D.; JOHANNES, K.; ROUX, J. J. A review on phase change materials integrated in building walls. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2011. LEVY, R. A. **Principles of Solid State Physics. 2a Ed. New York, NY: Academic Press.** 1968.

MACÊDO, A. N.; COSTA, D. H. P. E; TRINDADE, S. R. DOS S.; SOUZA, J. A. DA S; CARNEIRO, R. J. DE F. M. Comportamento de blocos cerâmicos estruturais produzidos a partir da mistura de lama vermelha e argila. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 25–36, 2011. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído-ANTAC. Disponível em: [scielo.br/scielo](http://scielo.br/scielo). Acesso em: 4/8/2015.

MANIATIDIS, V.; WALKER, P. A Review of Rammed Earth Construction, n. May, 2003. Disponível em: <<http://opus.bath.ac.uk/685/>>.

MELO, V. F.; NOVAIS, R. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, M. P. F.; SINGH, B. Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do grupo barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, n. 1, p. 29–41, 2002. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Disponível em: [scielo.br/scielo](http://scielo.br/scielo). Acesso em: 16/3/2015.

MENDES, F. A. C. **Física: uma língua (gem)**, 2010. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

MENDONÇA, P. Habitar sob uma segunda pele : estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados, 2005. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/4250>>. Acesso em: 1/1/2015.

MINKE, G.-. Construction Manual for Earthquake-Resistant houses Built of Earth [Em linha]. Alemanha: Gate-Basin, Disponível em [gernetminke.de/veroeffentlichungen/manual\\_engl.pdf](http://gernetminke.de/veroeffentlichungen/manual_engl.pdf)>, 2001.

MINKE, G.-. Building with Bamboo: Design and Technology of a Sustainable Architecture. Alemanha: Birkhäuser. ISBN: 978-3-0346-0748-3, 2012.

MITCHELL, J. **Fundamentals of Soil Behavior. Jonh Wiley & Sons, Inc.** 1993.

MORAIS, S. A.; DELERUE-MATOS, C. A perspective on LCA application in site remediation services: critical review of challenges. **Journal of hazardous materials**, v. 175,

n. 1-3, p. 12–22, 2010. Disponível em: [ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19910112](http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19910112)>. Acesso em: 19/12/2014.

MOREIRA, A.; ANTÓNIO, J.; ANTÓNIO, T. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E HIGROTÉRMICA DE BETONILHAS FABRICADAS COM AGREGADOS DE CORTICA EXPANDIDA. CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2012. **Anais**, 2012.

MOREIRA, N. H.; BASSI, A. B. M. S. Sobre a primeira lei da termodinâmica. **Química Nova**, v. 24, n. 4, p. 563–567, 2001. SBQ. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422001000400019&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422001000400019&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 2/1/2015.

MORETT, A. H. THOMAZ. **importância da inserção dos sistemas construtivos de solo-cimento no processo de industrialização da construção**, 2003.

MOURA, S. C. S. R. DE; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, Á. M. C. B. Propriedades termofísicas de soluções-modelo similares a sucos: parte II. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 454–459, 2005. SBCTA. Disponível em: [.scielo.br/scielo](http://www.scielo.br/scielo). Acesso em: 15/1/2015.

MULLINS, C. E.; MACLEOD, D. A.; NORTHCOTE, K. H.; TISDALL, J. M.; YOUNG, I. M. **Hardsetting soils: Behavior, occurrence, and management**. Springer, 1990.

NEVES, C. M. M. Inovações Tecnológicas em Construção com Terra na Ibero-América. CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. BA. Disponível na Internet via correio eletrônico: [cneves@ufba.br](mailto:cneves@ufba.br). Arquivo consultado em novembro de, 2001.

NIX G.H. VACHON R.I. AND TANGER G.E., L. G. W. Direct determination of thermal diffusivity and conductivity with a refined line-source technique. **Process in Aeronautics and Astronautics: Thermophysics of Spacecraft and Planetary Bodies**, v. 20, p. 865–878, 1967.

NUNES, L.; MAGALHÃES, D. ANÁLISE COMPARATIVA DOS BLOCOS DE SOLO-CIMENTO, DE CONCRETO E CERÂMICOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL DO A ALVENARIA NO SUDESTE. , p. 7–10, 2010.

O; BRITO, J. DE; PEREIRA, S. absorção de por capilaridade e imerção. 2012.

OULDBOUKHITINE, S.-E.; BELARBI, R.; DJEDJIG, R. Characterization of green roof components: Measurements of thermal and hydrological properties. **Building and Environment**, v. 56, p. 78–85, 2012. Disponível em: [elsevier.com](http://www.elsevier.com). Acesso em: 18/11/2014.

P. SOUZA SANTOS. **Ciência e Tecnologia das Argilas**. 3ª Ed ed.S. Paulo, SP, 1992.

PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; NUNES, A. S. Determinação experimental da condutividade e difusividade térmica de grãos em regime permanente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 2, p. 264–269, 1999. SBCTA. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-20611999000200020&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611999000200020&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 15/1/2015.

PERRY, ROBERT H., GREEN, DON W., M. **Perry, Robert H., Green, Don W., Maloney, James O. Chemical Engineers'**. Perry, Rob ed. New York, 1999.

R. INGERSOLL, O. J. Z. AND A. C. I. Heat conduction with engineering, geological and other applications. **London (Thames and Hudson), 1955. 3rd Edition. Pp. xiii, 325; 53 Figs., Tables. 32s.6d, 1955.**

REIS, R. M. Comportamento Tensão-Deformação De Dois, 2004.

RIBEIRO, M. S. ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS MODIFICADAS COM POLÍMEROS COMO MATERIAL DE REPARAÇÃO, p. 1–12, 2012.

ROLIM, M. M.; JORGE, W.; LUDOVICO, A. ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DE CORPOS-DE-PROVA , TIJOLOS E PAINÉIS DE SOLO-CIMENTO PANEL MOLDED BY SOIL-CEMENT. **Engenharia Agrícola**, p. 89–92, 1999.

RUCHKYS, Ú. D. A. Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero , Minas Gerais : Potencial para a criação de um geoparque da UNESCO, p. 211, 2007.

SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J. A.; SANTOS, W. N. Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida. **Materials Research**, v. 15, n. 1, p. 31–39, 2010. Revista Matéria. Disponível em: [www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762010000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762010000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)>. Acesso em: 20/1/2015.

SANTIAGO., C. N. C. **I SIACOT. Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra (vários). Anais. Edit. Projeto PROTERRA.** Salvador, 2002.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argila.** 2 Ed. - Vo ed. São Paulo - Brasil, Brasil: Edgard Blucher, 1989.

SANTOS, W. N. DOS. Métodos transientes de troca de calor na determinação das propriedades térmicas de materiais cerâmicos: II - o método do fio quente. **Cerâmica**, v. 51, n. 320, p. 372–381, 2005. Associação Brasileira de Cerâmica. Disponível em: [www.scielo.br/scielo](http://www.scielo.br/scielo). Acesso em: 23/12/2014.

SHANMUGANATHAN, R.P. & OADES, J. . Modification of soil physical properties by manipulating the net surface charge on colloids through addition of Fe (III) polycations. **J. Soil. , p. Sci.**, 33:451–465, 1982.

SHARMA, A.; TYAGI, V. V.; CHEN, C. R.; BUDDHI, D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 318–345, 2009.

SILVA, A. J. N. DA; CARVALHO, F. G. DE. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 853–862, 2007.

SILVA, A. J. N. DA; CARVALHO, F. G. DE. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 853–862, 2007. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>. Acesso em: 16/3/2015.

SILVA, N. **Incorporação de materiais de mudança de fases em materiais de construção** Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2009.

SILVA, N. T. D. F. DA. **Incorporação de Materiais de Mudança de Fase em Materiais de Construção**, 2009.

SINGH, K. K.; GOSWAMI, T. K. Thermal properties of cumin seed. **Journal of Food Engineering**, v. 45, p. 181–187, 2000.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 2008.

SWEAT, V. E. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables. x. **SWEAT, V. E.**, v. v. 39, p. 1080–1083, 1974.

TELKES, M. The efficiency of thermoelectric generators. I. **Journal of Applied Physics**, v. 18, p. 1116–1127, 1947.

TELKES, M. Nucleation of supersaturated inorganic salt solutions. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 44, p. 1308–1310, 1952.

TELKES, M. Thermal energy storage in salt hydrates. **Solar Energy Materials**, 1980.

**Telkes, MARIA - Thermal storage for solar heating and cooling. 1975. .**

TYAGI, V. V.; BUDDHI, D. PCM thermal storage in buildings: A state of art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, p. 1146–1166, 2007.

VALERI V. VLASSOV, I. M. CONTROLE TÉRMICO DO BLOCO GIROMÉTRICO DA PLATAFORMA SUB-ORBITAL. **III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA INERCIAL**, 2001.

DANTAS GOMES, VITAL, MARINHO, A. DE S. S. Characterization and Granulometric Correction Soil for the Production of Soil-Cement Blocks for Two Method, Particle Size and X-Ray Florescence to be Inserted in Phase Change Materials (PCMS). **Materials Science Forum**, v. (Volumes 7, p. 355–359, 2014. São Paulo - Brasil.

DANTAS, GOMES, REIS, S. M. V. A. S. S. DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS SOLO-CIMENTO COM TRÊS INTERVEÇÕES: SOLO NATURAL, SOLO CORRIGIDO COM AREIA E SOLO MAIS MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE (MMFs). **CBECiMat**, p. cbecimat.com.br/resumos/trabalhos\_completos/101-00, 2013.

VLACK, L. H. VAN. . Princípio de ciência dos materiais. Edgar Blucher, 1984.

DANTAS, GOMES, REIS, S. M. V. A. S. S. DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS SOLO-CIMENTO COM TRÊS INTERVEÇÕES: SOLO NATURAL, SOLO CORRIGIDO COM AREIA E SOLO MAIS MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE (MMFs). **CBECiMat**, p. cbecimat.com.br/resumos/trabalhos\_completos/101-00, 2013.

W. TEIXEIRA, M. C. M. DE TOLEDO, T. R. FAIRCHILD, F. T. **Decifrando a Terra.No Title**. 2000.

ZANOTTI, R. A. R. Produção De Solo-Cimento (Tijolo Ecológico) Utilizando Resíduo Do Polimento De Grês Porcelanato Como Fonte De Sílica, v. 1, n. 1, p. 13, 2010.

ZEMANSKY, M. W. **Heat and Thermodynamics**: an interme ed.1968.

ZHOU, D.; ZHAO, C. Y.; TIAN, Y. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. **Applied Energy**, v. 92, p. 593-605, 2012. Disponível em: [sciencedirect.com/science](http://sciencedirect.com/science). Acesso em: 27/10/2014.