

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

Abílio José Procópio Queiroz

**TIJOLOS ECOLÓGICOS CONSTITUÍDOS DE SOLO E RESÍDUO DE CASA DE
FARINHA**

Campina Grande – PB

2018

Abílio José Procópio Queiroz

**TIJOLOS ECOLÓGICOS CONSTITUÍDOS DE SOLO E RESÍDUO DE CASA DE
FARINHA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de **Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais**.

Orientadora: Profa. Dra. Crislene Rodrigues da Silva Morais

Campina Grande – PB

2018

Q3t

Queiroz, Abílio José Procópio.

Tijolos ecológicos constituídos de solo e resíduo de casa de farinha /
Abílio José Procópio Queiroz. – Campina Grande, 2018.
108 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e
Tecnologia, 2018.

"Orientação: Profa. Dra. Crislene Rodrigues da Silva Morais".

Referências.

1. Tijolos Ecológicos. 2. Manipueira – Reaproveitamento de
Resíduos. 3. Desenvolvimento Sustentável. 4. Meio Ambiente –
Sustentabilidade. I. Morais, Crislene Rodrigues da Silva. II. Título.

CDU 62-431:502.131.1(043)

VITAE DO CANDIDATO

- Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) (2011)
- Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) (2014)

ABÍLIO JOSÉ PROCÓPIO QUEIROZ

TIJOLOS ECOLÓGICOS CONSTITUÍDOS DE SOLO E RESÍDUO DE CASAS DE FARINHA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de **Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais**.

Aprovado em: 17/09/2018

CRISLENE RODRIGUES DA SILVA MORAIS

Dr.^a Crislene Rodrigues da Silva Morais
Orientadora
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG

GELMIRES DE ARAÚJO NEVES

Dr. Gelmires de Araújo Neves
Examinador Interno
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG

HELIO DE LUCENA LIRA

Dr. Helio de Lucena Lira
Examinador Interno
PPG-CEMat/UAEMa/UFCG

JOSÉ WALLACE BRABOSA DO NASCIMENTO

Dr. José Wallace Brabosa do Nascimento
Examinador Externo
UAEMa/UFCG

JOSUÉ DA SILVA BURITI

Dr. Josué da Silva Buriti
Examinador Externo
UAEMa/UFCG/PNPD/CAPES

SORAYA ALVES DE MORAIS

Dr.^a. Soraya Alves de Morais
Examinadora Externa
DQ/UEPB

LUCIANA DE FIGUEIREDO LOPES LUCENA

Dr.^a Luciana de Figueiredo Lopes Lucena
Examinadora Externa
ECT/UFRN

DEDICATÓRIA

Ao meu avô Deda Procópio (*in memoriam*), fonte de toda inspiração, à minha tia Dorinha, que com sua grande dedicação veio para Campina Grande estudar, se formar e trabalhar, através de aprovações em vestibulares e concursos públicos, conseguindo, assim, oferecer condições para que toda a família conseguisse o mesmo, e às pessoas que, verdadeiramente, acreditam em mim e torcem por minhas conquistas, **DEDICO**.

AGRADECIMENTOS

A Deus, o dom da vida, a saúde, a oportunidade de participar deste curso e as condições necessárias para que eu chegasse a tal momento com sabedoria.

À minha avó, Toinha, à minha mãe, Flôr, ao meu pai, Adilson, à minha irmã, Ana, às minhas tias, Dorinha, Maria, Loura, Cida e Julieta, aos meus tios, Dim e Raimundo, o investimento em meus estudos – o melhor alguém pode nos oferecer – e a torcida pelo meu sucesso.

À minha noiva, Camila, a torcida incondicional pelo sucesso de minhas empreitadas.

À Profa. Dra. Crislene Rodrigues da Silva Morais, a aceitação, lá no início do mestrado, mesmo sem me conhecer, do convite para me orientar e a dedicação para ajudar em qualquer demanda, a paciência e a atenção como professora, amiga e, sem exageros, uma mãe.

Ao Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento, a disponibilização de toda estrutura do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LACRA) para realização de atividades da pesquisa, a aceitação do convite para examinar este trabalho e as contribuições valiosíssimas.

Aos Professores Dr. Gelmires de Araújo Neves, Dr. Helio de Lucena Lira, Dra. Soraya Alves de Morais e Dra. Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena e ao Dr. Josué da Silva Buriti, a aceitação do convite para examinar este trabalho e a atenção dada.

Aos professores Dr. Walman Benício de Castro, Dr. Helio de Lucena Lira, Dra. Suédina Maria de Lima Silva e Dr. Marcelo Silveira Rabello, por terem ministrado as disciplinas que compuseram meu currículo no doutorado.

Ao técnico do LACRA Joselito Araujo, ao Dr. Wherllyson Patricio Gonçalves, ao Dr. Renato Correia dos Santos e ao Me. João Fernandes Duarte Neto, a força dada no desenvolvimento de etapas da pesquisa.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, nas pessoas do Ex-Coordenador Prof. Dr. Romualdo Rodrigues Menezes, do Coordenador Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves e dos Secretários José André da Costa e Lúcia Márcia Quirino Donato, a credibilidade, o apoio e a presteza nas demandas.

Aos técnicos Sr. Baiano, Beto e Emanuel, o apoio impagável na realização de algumas atividades básicas dentro do ambiente da unidade acadêmica nesse período.

À turma do programa, da qual fiz parte, e aos colegas de pesquisas e universidade, os momentos de aprendizado e descontração.

Aos amigos e a todos que contribuíram de alguma forma para conclusão deste trabalho.

De coração, muito obrigado!

“Você sai em desvantagem se você não tem fé.”
(Marcelo Falcão / Tom Saboia)

RESUMO

Este estudo buscou desenvolver de tijolos ecológicos constituídos de solo e manipueira – efluente da produção de farinha de mandioca – com viabilidade de utilização, sem o uso de água e de queima e dando destinação adequada para esse resíduo líquido de potencial elevado de impacto ambiental negativo, na perspectiva de desenvolvimento e materialização de tecnologia social. A tecnologia desenvolvida se baseou na NBR 10833/12 da ABNT que trata da produção de tijolos solo-cimento. Os solos trabalhados foram extraídos de jazidas sedimentares na bacia hidrográfica do Rio Paraíba, em Barra de São Miguel, Juazeirinho e Santa Cecília, e a manipueira em casa de farinha do Distrito Jenipapo, Puxinanã, PB. Previamente à composição das massas e preparação dos corpos de provas, as matérias-primas foram preparadas e caracterizadas utilizando técnicas de DRX, EDX, ensaios de Casagrande, análise granulométrica, TG e DTA, para os solos e, para a manipueira, realizando leituras de pH, condutividade e peso específico, e ensaios para determinação de teores de SSV, SSF, SST, DQO, N, P, K e outros elementos químicos. Os solos são semelhantes nas características físico-químicas e apresentaram todas as condições exigidas para utilização na tecnologia de referência (tijolo solo-cimento), em termos de plasticidade e granulometria, e a manipueira, com sua composição baseada em água (90,9%, segundo a curva TG) e com concentração elevada de sólidos orgânicos, se comparada a outros efluentes, permitiu uma boa liga na massa. As composições das massas foram definidas com base em testes preliminares com pequenos corpos de prova que apresentaram resistência de $3,41 \pm 0,73$ MPa, apontando a viabilidade de fabricação com solo e manipueira. Os corpos produzidos em prensas mecânica e hidráulica, foram testados em relação às variações de dimensões, massa, absorção de água e resistência à compressão, e alguns resultados não foram satisfatórios, pois não houve resistência a absorção de água e a resistência variou $0,795 \pm 0,419$ MPa, ou seja, a máxima foi de 1,215 MPa, para composição com 90% de solo, 10% de areia e 12% de manipueira. Os tijolos não atenderam às exigências técnicas para utilização na construção civil nestas condições, contudo, isto não é capaz de dar suporte para condenação das peças desenvolvidas, devendo-se considerar: a aplicação de revestimentos ou impermeabilizantes, para proteção contra a umidade, a utilização de aditivos à massa e a utilização para fins que exijam menores resistências. De cunho socioambiental, foi provada a viabilidade do uso da manipueira em substituição a água na produção de peças cerâmicas sem queima, oferecendo destinação adequada para este efluente e apontando uma nova tecnologia para beneficiar comunidades do semiárido.

Palavras-chave: Tijolos ecológicos. Manipueira. Reaproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

This study aimed to develop ecological bricks consisting of soil and cassava wastewater - effluent from the production of cassava flour - with viability of use, without the use of water and burning and giving adequate disposal to this liquid residue of high potential of negative environmental impact, in the perspective of development and materialization of social technology. The technology developed was based on ABNT's NBR 10833/12 which deals with the production of soil-cement bricks. The soils worked were extracted from sedimentary deposits in the Paraíba river basin in Barra de São Miguel, Juazeirinho and Santa Cecília, and the manipueira in the Jenipapo District, Puxinanã, PB. Priviously to the composition of the masses and preparation of the test bodies, the raw materials were prepared and characterized using XRD, EDX, Casagrande, granulometry, TG and DTA techniques for soils and, for cassava wastewater, readings from pH, conductivity and specific gravity, and tests to determine the contents of VSS, FSS, TSS, COD, N, P, K and other chemical elements. Soils are similar in physicochemical characteristics and have all the conditions required for use in reference technology (soil-cement brick) in terms of plasticity and granulometry, and the cassava wastewater, with its composition based on water (90.9% , according to the TG curve) and with high concentration of organic solids, when compared to other effluents, allowed a good alloy in the mass. The compositions of the masses were defined based on preliminary tests with small specimens that showed resistance of 3.41 ± 0.73 MPa, indicating the feasibility of manufacturing with soil and cassava wastewater. The bodies produced in mechanical and hydraulic presses were tested for variations in size, mass, water absorption and compressive strength, and some results were not satisfactory, as there was no resistance to water absorption and resistance ranged from 0.795 ± 0.419 MPa, that is, the maximum was 1.215 MPa, for composition with 90% of soil, 10% of sand and 12% of cassava wastewater. The bricks did not meet the technical requirements for use in civil construction under these conditions, however, this is not able to support condemnation of the developed parts, considering: the application of coatings or waterproofing, for protection against humidity, the use of additives to the mass and the use for purposes that require less resistance. From a social and environmental point of view, the viability of the use of the manipueira in substitution of water in the production of ceramic pieces without burning was proved, offering adequate destination for this effluent and pointing out a new technology to benefit semi-arid communities.

Keywords: Ecological bricks. Cassava wastewater. Reuse of waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de um solo em (a) esquema e (b) fotografia.....	17
Figura 2 – Colorações típicas de argilas.....	19
Figura 3 – Argila vermelha – coloração característica.....	20
Figura 4 – (a) Prensa para mandioca ralada e (b) manipueira recém coletada.....	22
Figura 5 – Moléculas da (a) linamarina e (b) lotaustralina.....	23
Figura 6 – Forma de tijolos ecológicos.	25
Figura 7 – Fluxograma da pesquisa.....	28
Figura 8 – Pontos de extração do solo em (a) Barra de São Miguel, (b) Juazeirinho e (c) Santa Cecília e (d) da areia em Barra de São Miguel.....	30
Figura 9 – (a) Picarete, (b) enxada, (c) pá e (d) saco plástico para transporte e armazenamento.	31
Figura 10 – (a) Material coletado, (b) trituração em liquidificador, (c) peneiramento.	32
Figura 11 – Montagem das peneiras utilizadas na pesquisa.....	32
Figura 12 – (a) Casa de farinha, (b) moinho e (c) prensa.....	32
Figura 13 – Tambores de armazenamento da manipueira.....	33
Figura 14 – Becker com manipueira misturada.....	34
Figura 15 – (a) Prensa Servitech CT 335 e (b) câmara de prensagem.	38
Figura 16 – (a) Pesagem e (b) mistrura da massa.....	39
Figura 17 – (a) Prensa Sahara para tijolos ecológicos, (b) tijolo sendo ejetado após prensagem e (c) câmara de prensagem	40
Figura 18 – (a) Pesagem e (b) mistrura da massa.....	41
Figura 19 – (a) Prensa Hayabusa para tijolos ecológicos, (b) câmara de prensagem dividida no meio, (c) macaco hidráulico de 6 toneladas e (d) tijolo sendo ejetado após a prensagem.	42
Figura 20 – (a) Marcação do corte central, (b) corte, (c) colagem e (d) regularização de faces...43	
Figura 21 – Difratoograma da amostra Solo A.....	46
Figura 22 – Difratoograma da amostra Solo B.....	46
Figura 23 – Difratoograma da amostra Solo C.....	47
Figura 24 – Distribuição granulométrica de amostra Solo A	49
Figura 25 – Distribuição granulométrica de amostra Solo B	50
Figura 26 – Distribuição granulométrica de amostra Solo C	50
Figura 27 – Curvas TG e DTA da amostra Solo A obtidas a taxa de aquecimento de 10 °C/min, em cadinho de alumina, com fluxo de 100 mL/min de N ₂	51

Figura 28 – Curvas TG e DTA da amostra Solo B obtidas a taxa de aquecimento de 10 °C/min, em cadinho de alumina, com fluxo de 100 mL/min de N ₂ .	51
Figura 29 – Curvas TG e DTA da amostra Solo C obtidas a taxa de aquecimento de 10 °C/min, em cadinho de alumina, com fluxo de 100 mL/min de N ₂ .	52
Figura 30 – Curvas TG e DTA da amostra de manipueira da Casa de Farinha de Jenipapo obtidas a taxa de aquecimento de 10 °C/min, em cadinho de alumina, com fluxo de 100 mL/min de N ₂	57
Figura 31 – Pequenos corpos de prova	59
Figura 32 – Tijolos constituídos de solo argiloso e manipueira conformados em prensa mecânica	61
Figura 33 – Tijolos produzidos na prensa mecânica com a composição A2	61
Figura 34 – Variações mássicas e dimensionais de tijolos de solo e manipueira produzidos com prensa mecânica	64
Figura 35 – Dados de resistência de tijolos ecológicos de solo e manipueira prensados mecanicamente	66
Figura 36 – Tijolos produzidos na prensa hidráulica, com câmara dividida no centro, com massa constituída de solo argiloso, areia e manipueira	68
Figura 37 – Tijolos em cura com camada de fungos de cor esbranquiçada	68
Figura 38 – Variações mássicas e dimensionais de tijolos de solo e manipueira	70
Figura 39 – Resistências de tijolos ecológicos de solo e manipueira fabricados em prensa hidráulica	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Materiais utilizados	29
Tabela 2 – Condições dos ensaios realizados	30
Tabela 3 – Composição química das amostra Solo A, Solo B e Solo C	45
Tabela 4 – Resultados de Plasticidade.....	48
Tabela 5 – Diâmetros característicos das amostras de solos	50
Tabela 6 – Dados de decomposição térmica das amostras Solo A, Solo B e Solo C com base na análise das curvas TG obtidas sob aquecimento de 10 °C/min em atmosfera dinâmica de 100 mL/min de N ₂	52
Tabela 7 – Dados obtidos com a análise das curvas DTA das amostras Solo A, Solo B e Solo C obtidas sob aquecimento de 10 °C/min em atmosfera dinâmica de 100 mL/min de N ₂	54
Tabela 8 – Características físico-químicas da amostra de manipueira.....	55
Tabela 9 – Dados de decomposição térmica da amostra de manipueira da Casa de Farinha de Jenipapo com base na análise da curva TG obtida sob aquecimento de 10 °C/min em atmosfera dinâmica de 100 mL/min de N ₂	57
Tabela 10 – Dados obtidos com a análise da curva DTA da amostra de manipueira da Casa de Farinha de Jenipapo obtida sob atmosfera dinâmica de N ₂ a 100 mL/min a taxa de aquecimento de 10 °C/min	58
Tabela 11 – Variações dimensionais e mássicas de pequenos corpos de prova de solo e manipueira	59
Tabela 12 – Variações dimensionais e mássicas de tijolos de solo e manipueira produzidos com prensa mecânica.....	65
Tabela 13 – Resistência a compressão simples de tijolos de solo e manipueira	66
Tabela 14 – Variações dimensionais e mássicas de tijolos de solo e manipueira conformados na prensa hidráulica.....	69
Tabela 15 – Resistências a compressão de tijolos de solo e manipueira fabricados em prensa hidráulica	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACEM – Associação Brasileira de Cerâmica
ASTM – American Society for Testing and Materials
CE – Condutividade elétrica
DRX – Difração de raios-X
DTA – Análise térmica diferencial
DTG – Termogravimetria derivada
EDX – Fluorescência de raios-X de energia dispersiva
FAO – Food and Agriculture Organization of The United Nations
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
IP – Índice de plasticidade
JIS – Japanese Industrial Standards
LACRA – Laboratório de Construções Rurais e Ambiência
LaSMaC – Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos
LASMAV – Laboratório de Síntese e Materiais Vítreos
LCM – Laboratório de Caracterização de Materiais
LL – Limite de liquidez
LP – Limite de plasticidade
LTM – Laboratório de Tecnologia de Materiais
NBR – Norma Brasileira
PB – Paraíba
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SSF – Sólidos suspensos fixos
SST – Sólidos suspensos totais
SSV – Sólidos suspensos voláteis
TG – Termogravimetria
UAEMa – Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais
UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

LISTA DE SÍMBOLOS

°/min – Grau por minuto
μm – Micrômetro
μV – Microvolt
Al₂O₃ – Óxido de alumínio ou alumina
BaO – Óxido de bário ou barita
C – Carbono
CaO – Óxido de cálcio ou cal
d₁₀ – Diâmetro a 10%
d₅₀ – Diâmetro a 50%
d₉₀ – Diâmetro a 90%
d_m – Diâmetro médio
Fe₂O₃ – Óxido de ferro III ou hematita
g – Grama
g/L – Grama por litro
K₂O – Óxido de potássio
kg – Quilograma
kV – Quilovolt
m_f – Massa final
mg/L – Miligrama por litro
MgO – Óxido de Magnésio
m_i – Massa inicial
mL/min – Mililitros por minuto
mm – milímetro
MnO – Óxido de manganês
MPa – Mega Pascal
mS/cm – Micro Siemens por centímetro
Na-Sc – Sódio-escândio
O – Oeste
°C – Graus Celsius
°C/min – Graus Celsius por minuto
P₂O₅ – Pentóxido de fósforo
pH – Potencial hidrogeniônico

Rb_2O – Óxido de rubídio

S – Sul

SiO_2 – Dióxido de silício ou sílica

SO_3 – Óxido sulfúrico

SrO – Óxido de estrôncio

t/ano – Toneladas por ano

T_f – Temperatura final

T_i – Temperatura inicial

TiO_2 – Dióxido de titânio

Ti-U – Titânio-urânio

T_p – Temperatura de pico

θ – Ângulo teta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	Solo, argilas e cerâmicas vermelhas	17
2.2	Manipueira	22
2.3	Tijolos ecológicos	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	Materiais	28
3.2	Planejamento de experimentos	29
3.3	Coleta e preparação das matérias-primas.....	30
3.3.1	Coleta e beneficiamento dos solos.....	31
3.3.2	Coleta e preparação da manipueira.....	33
3.4	Caracterização das matérias-primas.....	34
3.4.1	Caracterização do solo.....	34
3.4.2	Caracterização da manipueira.....	36
3.5	Produção e testes com corpos de prova pequenos	38
3.6	Produção dos tijolos ecológicos.....	39
3.6.1	Produção em prensa mecânica.....	39
3.6.2	Produção em prensa hidráulica.....	41
3.7	Caracterização dos tijolos e definição de composição e cura ideais.....	42
3.7.1	Resistência mecânica	42
3.7.2	Absorção de água.....	43
3.7.3	Estudo da dilatação linear e variação de peso	43
3.8	Síntese da análise dos resultados	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1	Caracterização das matérias-primas.....	45
4.1.1	Solos	45
4.1.2	Manipueira.....	55
4.2	Corpos de prova pequenos	59
4.2.1	Variações dimensionais e mássicas	59
4.2.2	Absorção de água.....	60
4.2.3	Resistência mecânica.....	60
4.3	Tijolos ecológicos conformados em prensa mecânica.....	61
4.3.1	Variações dimensionais e mássicas	62

4.3.2	Absorção de água.....	65
4.3.3	Resistência à compressão	65
4.4	Tijolos ecológicos conformados em prensa hidráulica.....	67
4.4.1	Variações dimensionais e mássicas	69
4.4.2	Absorção de água.....	71
4.4.3	Resistência à compressão	71
4.5	Síntese.....	73
5	CONCLUSÃO.....	75
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	76
	REFERÊNCIAS	77
	APENDICES	87

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da engenharia no desenvolvimento de novos materiais consiste em produzir com a maior eficiência possível no uso de recursos naturais e energia. No caso de materiais cerâmicos podem ser considerados fatores determinantes, nessa perspectiva, a redução ou o não uso de água, que constitui o elemento plastificante da massa, e de biomassa, que é o combustível nos fornos de sinterização. Os tijolos ecológicos são peças cerâmicas desenvolvidas para utilização nas mesmas aplicações dos tijolos convencionais, sendo a diferença caracterizada pela forma de produção que visa a minimização de impactos ambientais causados pela exploração da natureza e no ciclo produtivo.

O tijolo, peça cerâmica amplamente utilizada na construção civil, tem como elemento principal argila, comumente de cor avermelhada, como a extraída em jazidas paraibanas, denominada de “argila vermelha”, possuindo um alto teor de ferro (Ahmari e Zhang, 2012). Estas argilas são formadas, predominantemente, segundo, Cabral Junior et al. (2008), de “sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, como argilas aluvionares quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que queimam a temperaturas variáveis entre 800 e 1.250 °C”. A baixíssima granulometria desses sólidos e a diversidade de composição química, sobretudo nos teores de minerais e matéria orgânica, são as características que permitem a utilização das argilas como matéria-prima para produção de uma diversidade de peças cerâmicas e que influenciam na organização do processo produtivo e nas propriedades tecnológicas dos produtos finais (Cabral Junior et al., 2008).

As casas de farinha – empreendimentos agroindustriais voltados a produção de farinha de mandioca e/ou fécula – gera, como de praxe para processos industriais, subprodutos, nesse caso sólidos, líquidos e gasosos. A manipueira é um resíduo líquido – efluente – gerado na etapa de prensagem da massa de mandioca ralada, tem, segundo André e Santos (2012), constituição química com amido, glicose e outros açúcares, proteínas, linamarina e derivados cianogênicos, substâncias orgânicas diversas e sais minerais. Segundo Wosiacki e Cereda (2002), a disposição final inadequada desse efluente, pode acarretar graves danos ambientais como, por exemplo, seu descarte em corpos d’água reduz a disponibilidade de oxigênio dissolvido no meio, causando a morte dos organismos aeróbios, enquanto seu lançamento no solo prejudica o equilíbrio entre nutrientes, diminui o potencial hidrogeniônico (pH) e aumenta a salinidade.

Segundo Ponte (2006) a manipueira pode ser utilizada na agricultura como nematicida, acaricida e inseticida, fungicida e bactericida, herbicida e adubo. Quanto a outras utilizações do

efluente, este autor destaca ainda: produção de álcool, indústria da borracha, culinária e produção de bebidas alcoólicas.

Dentre tantos usos da manipueira, o seu uso na indústria cerâmica, especificamente como elemento plastificante de um material cerâmico é inovador, pois não são encontradas na literatura aplicações nesse âmbito, e pode ser um grande contribuinte para o setor cerâmico operado no semiárido brasileiro, haja vista que a água é um gargalo produtivo e esta é, nessa proposta, dispensada.

Os tijolos ecológicos vêm recebendo cada dia mais atenção das engenharias ambiental e de materiais devido aos inúmeros benefícios frente aos convencionais, caracterizados, por exemplo, pelas reduções de extração e de utilização de recursos naturais e energia para sua produção.

Biomassas, resíduos sólidos urbanos, alguns resíduos industriais comuns e até mesmo resíduos da própria construção civil são alguns dos materiais já utilizados na fabricação de tijolos ecológicos. Alguns tipos, a depender das exigências impostas na sua utilização, não necessitam de queima, porém não são apresentados ainda estudos sobre a produção de tijolos compostos por solo e manipueira, subproduto líquido que já é utilizado na agricultura, na indústria de borracha, na produção de bebidas e em outros processos industriais.

Com base no constante aumento do interesse por estudos relacionados à importância tecnológica, econômica e ambiental que materiais produzidos de forma caracterizada como “produção mais limpa” e de redução de impactos ambientais causados por resíduos industriais possuem atualmente, esperou-se que os tijolos ecológicos de solo e manipueira, resultantes desta pesquisa, pudessem atender aos requisitos impostos por normas técnicas existentes para peças semelhantes, apresentando um material com viabilidade de utilização comercial e extinguindo a prática de descarte da manipueira no meio ambiente, associando desempenho ao baixo custo de produção.

O objetivo geral do trabalho foi desenvolver tijolos ecológicos constituídos de solo e manipueira com viabilidade de utilização, evitando o uso de água de melhor qualidade e dando destinação adequada para esse efluente causador de impactos ambientais. Especificamente, a pesquisa teve como objetivos:

- Coletar e caracterizar o solo e a manipueira, matérias-primas que constituíram os tijolos ecológicos;
- Produzir tijolos ecológicos, por prensagem, em diferentes composições;
- Caracterizar os tijolos ecológicos em termos de propriedades físico-mecânicas para definição de composição ideal;

- Apresentar vantagens dos tijolos ecológico desenvolvidos frente aos convencionais;
- Desenvolver e materializar tecnologia social de confecção de tijolos ecológicos constituídos de solo e manipueira, pela adaptação da tecnologia de produção de tijolos solo-cimento, para aplicação em comunidades onde se localizam casas de farinha.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Solo, argilas e cerâmicas vermelhas

O solo é definido como uma camada material de consistência variável encontrada acima da litosfera e abaixo da atmosfera que contém minerais e matéria orgânica, água e soluções de água com seus componentes e ar que, respectivamente, representam as fases sólida, líquida e gasosa, sendo resultante de processos químicos, físicos e biológicos que decompõem as rochas matrizes, com variações de acordo com condições ambientais de cada região (Millioli, 2009). É um recurso natural considerado como renovável, mas que sofre constantes modificações nas suas características por conta de intempéries e, principalmente, pela exploração direta ou pela prática de atividades sobre este que aumentam a erodibilidade, alteram a salinidade e inserem substâncias contaminantes, entre outras (Vaezi et al., 2016; Weissert et al., 2016; Xia et al., 2016).

A Figura 1 apresenta a ilustração com as camadas do solo desde a rocha mãe até a camada superior que contém a cobertura vegetal e orgânica e uma fotografia da observação de um perfil de solo.

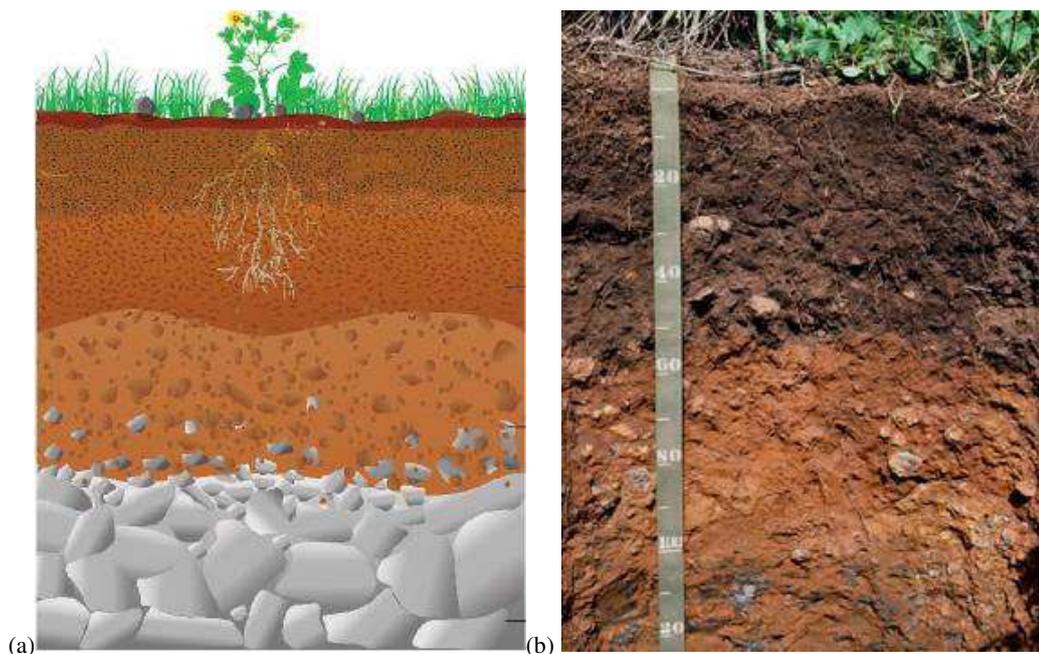


Figura 1 – Perfil de um solo em (a) esquema e (b) fotografia (Pena, 2016; CTAHR, 2018).

Cada área da ciência estuda e trabalha o solo de forma particular: a biologia vê o solo pelas condições que permitem as diversidades da vida, a química como um conjunto de componentes orgânicos e inorgânicos, a engenharia sobre as condições de resistência e características que permitam a extração para criação de peças de construção ou utensílios dos mais diversos usos, a agronomia com o uso para cultivo ou pastagem, entre outras, tendo ainda áreas que, a partir de conhecimentos sobre características do solo definidas por outras, por exemplo usos medicinais de componentes do solo caracterizados pela química. Segundo Hartemink (2016), cada subdisciplina tem sua própria definição para solos, com enfoque em sua linha científica, reforçando ainda que a definição poderá ser simples ou complexa, a depender de quem a proponha.

Bernatek-Jakiel et al. (2016) estudaram características de solos em atividades de tubulação ou “tubagem” e seu comportamento sobre a formação dos que são definidos como “tubos subterrâneos” e viram que atividades biológicas, composição, porosidade e densidade tem influência direta nos resultados. Byre et al. (2016) realizaram estudo sobre a respiração do solo, o estoque de carbono e a capacidade de estoque e a ligação direta desses fatores com a decomposição da matéria orgânica, umidade e temperatura do solo, afirmando a pouca estabilidade para grandes áreas, especificamente no sudeste do Estados Unidos. Lessovaia et al. (2016) pesquisaram o desenvolvimento do solo em rochas definidas como “básicas” e “ultrabásicas” a partir da porosidade e da mineralogia destes e mostrando como resultado final que o acúmulo de silicato e com menor porosidade um solo origina mais minerais argilosos. Entre tantos estudos sobre solos, observando alguns destes é possível inferir sobre a diversidade de áreas que se interessam por solos:

- Avaliação de atividades microbianas em solos vulcânicos agrícolas contaminados com metais (Parelho et al., 2016);
- Análise da mobilidade de veículos terrestres com base em conjunto de séries temporais sobre a umidade do solo, captadas por satélites WindSat e LIS e por sensores locais (Stevens et al., 2016);
- Características dinâmicas de propriedades do solo em vegetação *Robinia pseudoacacia* e eco restauração costeira (Mao et al., 2016);
- Efeito de propriedades do solo na absorção de produtos farmacêuticos por minhocas (Carter et al., 2016);
- Efeito de dois pesticidas sobre a biologia de um solo submetido a grave seca (Franco-Andreu et al., 2016);

- Desenvolvimento de rede de alimentos no solo de micróbios e nematoides sob diferentes práticas agrícolas durante a fase inicial de pedogênese de um Mollisol (Li et al., 2016);
- Dinâmica de temperatura do solo em escala de bacia (Kunkel et al., 2016);
- Cerâmica vermelha de compósitos de lodos perigosos com areia de fundição, resíduos de vidros e sais de neutralização de ácidos (Mymrin et al., 2016).
- Introdução de fibras de milho, como reforço, visando melhorias de propriedades mecânicas de solo cimentado (Tran et al., 2018);
- Estabilização de solos de algodão, com uso de calcário, cinzas vulcânicas e misturas desses elementos, observando propriedades físico-mecânicas, proporções ideais de misturas dos estabilizantes e mudanças nas fases mineralógicas relacionadas (Cheng et al., 2018);
- Investigação do efeito da variabilidade de desempenho de placas de solo tratadas com cimento (Pan et al., 2018);
- Estudo de solos antrópicos em diferentes condições físicas, químicas e climáticas, para caracterização de propriedades físico-químicas, com enfoque na qualidade e na quantidade de matéria orgânica (Kern et al., 2019).

Argilas são minerais de baixa granulometria, com grãos inferiores a 2 μm , originados pela decomposição de rochas sedimentares com composição formada por argilominerais, basicamente silicatos de alumínio e ferro, materiais orgânicos, sais solúveis, óxidos e outros minerais (Santos, 1992; Guggenheim e Martin, 1995; Velde e Meunier, 2008; Santos 2009). São divididas fundamentalmente em três grandes grupos, elencados pela origem, características físico-químicas e utilização na produção de materiais: vermelhas, brancas e refratárias (Menezes et al., 2001). Há, assim, uma grande heterogeneidade entre as argilas, podendo derivar várias subclassificações desse material, exemplificada na Figura 2 (Macedo et al., 2008).



Figura 2 – Colorações típicas de argilas (Google Imagens, 2018).

A argila vermelha, mostrada na Figura 3, empregada na produção de peças como tijolos e telhas, ladrilhos de piso e lajotas, exemplificando, respectivamente, os grupos de materiais cerâmicos vermelhos de massa porosa e de massa semi vitrificada, recebe essa denominação por obter, após sua queima, a faixas de temperatura entre 800 e 1250 °C, cor de tonalidade vermelha, justificada pela presença de teores elevados de óxido de ferro III (Fe_2O_3) (Santos, 1992; Cabral Junior et al., 2005; Vieira e Pinheiro, 2011; Alonso-Sartude et al., 2012; Costa, 2014; Hajjaji, 2016). De acordo com Santos (2009), este é um material que quando úmido apresenta uma plasticidade considerável que permite o processamento ou conformação.



Figura 3 – Argila vermelha – coloração característica.

As argilas, enquanto matéria-prima para cerâmicos, são usadas na produção de agregados leves e isto tem como vantagens o oferecimento de baixa densidade e alta resistência, algo de destaque para peças estruturais, mesmo quando as peças são sinterizadas a temperaturas mais baixas (Ayati et al., 2018).

A indústria cerâmica vermelha representa 40% do segmento cerâmico brasileiro e consome cerca de 70.000.000 t/ano de matéria-prima, sendo a maior parte das plantas industriais de pequeno porte (Macedo et al., 2008). As regiões Sudeste e Sul do Brasil são as mais desenvolvidas nessa atividade, porém outras regiões, destacadamente a Nordeste, tem se desenvolvido consideravelmente (FIEMG e FEAM, 2013; ABRACEM, 2015).

O processo produtivo padrão da indústria cerâmica vermelha – plantas produtivas de peças que usam argila vermelha como matéria-prima – segue as etapas de:

- Extração: nas jazidas, a argila é extraída manualmente ou mecanicamente, geralmente, pela escala;

- Desintegração: no pátio de armazenamento da indústria é realizada a desintegração da argila para permitir a alimentação e evitar problemas nos equipamentos;
- Mistura: nos misturadores é feita a adição de água à massa e, eventualmente, de resíduos de incorporação. Não mais importante, mas com destaque válido, esta etapa tem elevado impacto na qualidade do produto final, pois a não homogeneidade da massa pode oferecer defeitos gravíssimos no produto final, em termos de propriedades tecnológicas;
- Extrusão: nas extrusoras acontece o processamento das peças cerâmicas pressionando a massa por um bocal que possui a saída no formato desejado para estas;
- Corte: extrudadas as peças são cortadas no comprimento desejado e/ou padrão;
- Secagem: nas estufas ou em pátios esta etapa acontece utilizando calor proveniente do sol ou gerado artificialmente;
- Queima: nos fornos a sinterização é realizada a temperaturas na faixa de 800 a 1.000 °C, geralmente, havendo um patamar na temperatura ideal para o tipo de peça;
- Inspeção: verificação da qualidade do produto para posterior certificação de qualidade;
- Estocagem: nos galpões ou pátios de armazenamento, as peças são organizadas em lotes;
- Expedição: seguindo controle de impactos, as peças são expedidas até onde serão comercializadas ou utilizadas (FIEMG e FEAM, 2013).

Não há controle sobre a extração de recursos naturais para utilização como matéria-prima ou insumo na indústria cerâmica, o que não é exclusividade dessa linha industrial, bem como dos impactos ambientais causados pós-retirada, principalmente durante a produção, acarretando na degradação da condição do solo, da água e do ar (Paludo, 2003; Silva, 2007; Saleiro et al., 2010).

Pesquisas sobre materiais cerâmicos são realizadas constantemente, buscando as mais diversas inovações tecnológicas, algumas com preocupação de melhorias de produtos atreladas à redução de impactos negativos no meio ambiente (Liu et al., 2016).

2.2 Manipueira

As casas de farinha são as unidades industriais responsáveis pela produção de farinha de mandioca (Araujo, 2014). É uma atividade que não foge à regra de empreendimentos industriais, sobretudo agroindustriais, e gera subprodutos sólidos, líquidos e gasosos que precisam de tratamento e/ou destinação adequada, sendo um destes denominado de “manipueira”, resíduo líquido, proveniente da etapa de prensagem da massa de mandioca ralada (Figura 4a), de consistência leitosa e de cor amarelada, como é possível visualizar na Figura 4b, e que, devido a elevada concentração de matéria orgânica e do glicosídeo cianogênico Linamarina, exala gases de odores fétidos e fortes e é tóxica (Barana e Cereda, 2000; Marini e Marinho, 2011; Araujo et al., 2012b; Silva Júnior, et al., 2012).



Figura 4 – (a) Prensa para mandioca ralada e (b) manipueira recém coletada.

Dois glicosídeos cianogênicos são encontrados na composição química da manipueira: a linamarina (93%) e a lotaustralina (7%), geralmente nessas porcentagens, com moléculas apresentadas na Figura 5, sendo a proporção dependente da espécie de mandioca precursora e sendo estas substâncias as fontes dos cianetos liberados (Gomes, 2010).

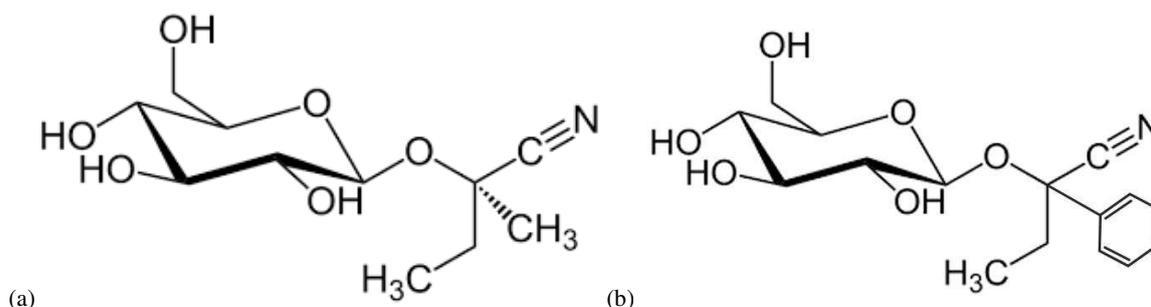


Figura 5 – Moléculas da (a) linamarina e (b) lotaustralina (Simeonova e Fishbein, 2004).

Em cada tonelada de raiz de mandioca são retirados 600 litros de manipueira, $\frac{1}{4}$ dessa na etapa de prensagem (Fioretto, 2001). Pode-se estimar que houve uma geração de 14.642.400 m³ de manipueira no Brasil em 2009, já que nesse ano foram produzidas 24.404.000 toneladas de mandioca (FAO, 2009). Entre 2016 e 2017 foram produzidas 22.632.000 toneladas de mandioca no Brasil, sendo 5.509.000 toneladas na região Nordeste (24,4%, aproximadamente), estimando-se, então, uma geração de 13.579.200 e 3.305.400 m³ de manipueira, respectivamente (Groxko, 2015).

A manipueira tem característica poluente, conforme afirmaram Takahashi (1987) e Santos et al. (2018), e o potencial de diversas aplicações na produção de adubo, pesticida, vinagre, sabão e tijolos (SEBRAE, 2015). Melo et al. (2006), Menegetti e Domingues (2008) e Barreto et al. (2014) afirmaram que a manipueira deve ser utilizada na agricultura, desde que criteriosamente controlada a sua aplicação, enquanto Borghetti (2009) afirmou que a manipueira pode ser usada no cultivo de microalgas com vistas a redução da carga poluidora para posterior lançamento, haja vista que, segundo Araújo et al. (2012a), a má gestão desse efluente pode gerar diversos impactos ambientais. Outros usos são praticados e pesquisas são constantemente realizadas no intuito de sugerir novas formas de utilização e/ou tratamento da manipueira.

Baldin et al. (2012) afirmaram que a manipueira em composição com outros extratos é eficaz no combate de nematoide das galhas em cenoura, enquanto Santos et al. (2010) asseguraram que a manipueira pode ser usada como fonte de potássio no cultivo de alface, como exemplos de usos na agricultura. Kuczman et al. (2011) garantem que é possível gerar, captar e aproveitar biogás a partir de reatores com manipueira, sugerindo a instalação desses nas próprias indústrias de processamento de mandioca. Kummer et al. (2011) estudaram e obtiveram resultados positivos no tratamento de efluentes de abatedouro de tilápia usando manipueira como fonte de carbono e agente da desnitrificação. Frente a diversas possibilidades de usos, problemas ambientais, como os citados por Araújo (2014), causados pela manipueira,

próximos as casas de farinha são potencialmente extinguíveis ou podem, no mínimo, ser reduzidos.

De acordo com Barreto et al. (2014), a manipueira oferece potencial de uso para fertilização de plantas em produção orgânica, por ser rica em matéria orgânica e nutrientes. Por ser efluente rico em micro e macronutrientes como, entre outros, potássio, nitrogênio, magnésio, fósforo, cálcio, enxofre e ferro, a manipueira deve ser usada como um bom fertilizante, desviando esse composto do meio ambiente (Fioretto, 2001; Pantaroto e Cereda, 2001).

Estudos foram realizados e tiveram resultados considerados satisfatórios em relação ao uso de manipueira como agente plastificante em massa cerâmica, em substituição da água, em massa com solo argiloso que foi prensada hidraulicamente (Queiroz et al., 2015; Ramos et al., 2015).

Com todo o potencial citado de utilização da manipueira em diversas finalidades, são destacadas as pesquisas mais recentes e relevantes encontradas sobre este resíduo, que se caracterizam por:

- Avaliar qualitativa e quantitativamente, em termos exergéticos e econômicos, a produção de energia elétrica com uso de biogás gerado e coletado em estação de tratamento de águas residuárias de casas de farinha, observando a possibilidade de redução de potenciais impactos ambientais causados pelo lançamento de manipueira no meio ambiente (Madeira et al., 2017a);
- Analisar a viabilidade técnica e econômica, com base na eficiência energética e nos custos, da produção de hidrogênio a partir de manipueira em sistema de tratamento de efluentes (Madeira et al., 2017b);
- Estudar os impactos causados pelo lançamento da manipueira no solo na concentração de carbono orgânico, na comunidade microbiana e nas atividades enzimáticas (Moura et al., 2018);
- Produzir biogás (H_2 e CH_4) em Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) com processo de três estágios, com enfoque na produção de metano (Jiraprasertwong et al., 2019).

2.3 Tijolos ecológicos

São caracterizados como tijolos ecológicos (Figura 6) os blocos cerâmicos desenvolvidos de forma a não necessitarem de queima, porém esta definição é considerada incompleta por já haver uma extensão para a produção sem a utilização de água ou incorporação de resíduos à composição da massa cerâmica (Mota, 2010; Fiais e Souza, 2017). Diversos estudos e aplicações já foram desenvolvidos nessa perspectiva (Zhang, 2013; Velasco et al., 2014). Além das vantagens ambientais, dependendo da composição, os tijolos ecológicos podem apresentar características de isolamento térmico, baixa densidade, boa resistência e baixo custo.



Figura 6 – Forma de tijolos ecológicos (Zamo, 2015).

No Brasil, a definição técnica existente é de “tijolos solo-cimento”, ou seja, peças produzidas pela prensagem de uma massa misturada, em adequada composição, de solo, cimento e água que, como exigências, devem ter resistência a compressão individual igual ou superior a 1,7 MPa e absorção de água de no máximo 22%, quando no lote de peças as médias de valores dessas propriedades, respectivamente, devem ser de no mínimo 2 MPa e de no máximo 20%, de acordo com a NBR 8491/2012 (ABNT, 2012).

Dominguez e Ullmann (1996) estudaram a aplicação de resíduos de aço, o pó contendo zinco, chumbo, cádmio, cromo e níquel junto a argila para produção de tijolos ecológicos, supondo que com essa composição não seria necessária a queima a elevadas temperaturas e obtiveram resultados satisfatórios.

Ahmari e Zhang (2012) desenvolveram tijolos ecológicos com a utilização de rejeitos de minas de cobre pela tecnologia de geopolimerização que satisfizeram as exigências de normas internacionais.

Velasco et al. (2014) examinaram a adição de resíduos como aditivos para tijolos ecológicos em substituição aos definidos por “tijolos de argila queimada”, semelhante ao que estudou Bories et al. (2014), que considerou eficaz a incorporação de resíduos aos tijolos em termos de melhoramento de suas propriedades, mas ressaltou a importância da avaliação do impacto ambiental dessa prática. Por sua vez, Yang et al. (2014) estudou a utilização de rejeitos de ferrosilício e obteve sucesso com melhorias de propriedades tecnológicas como o aumento de resistência mecânica.

Adazabra et al. (2016) estudaram a incorporação de resíduos alimentícios, no caso específico trabalharam com uma massa derivada de umbu, como aditivos para tijolos ecológicos e o resultado foi satisfatório, classificando este como excelente biocombustível com boa formação de poros nas peças, mostrando que o objetivo de fabricação mais eficiente (com economia e qualidade) foi satisfeito.

Mymrin et al. (2014) estudaram o desenvolvimento de um material cerâmico formado por argila, areia e lama de esgoto contendo resíduos da galvanização de vidros, contendo, nessa, níquel, zinco, chumbo, estanho, cromo e cobre, como metais, e resíduos orgânicos, chegando à conclusão de que é viável a produção em termos de atendimento às exigências de características físico-mecânicas, destacando que reduz custos produtivos e impactos ambientais negativos pela redução da extração de matéria-prima e de descarte de resíduos industriais.

A incorporação de biomassas, especificamente farinha de caroço de azeitona e resíduos de palha de trigo, foi estudada por Aouba et al. (2016), visando melhorias de características térmicas e o atendimento aos parâmetros de resistência e porosidade atrelados à destinação adequada de resíduos, concluindo que esses dois resíduos podem sim ser utilizados para o fim proposto. Nessa perspectiva de melhoramento de características térmicas dos tijolos foi estudada por Santos et al. (2015) a adição de lodo de alumínio industrial nano-cristalino e o resultado foi também positivo.

Observando o leque de estudos mais recentes que vem sendo desenvolvidos na perspectiva de fabricação de tijolos ecológicos ou peças cerâmicas com produção mais limpa, sobretudo com a incorporação de resíduos, destacam-se:

- Touré et al. (2017) pesquisaram propriedades mecânicas e higrotérmicas de tijolos de solo com compressão estabilizada, observando a relação entre a densidade e a resistência, e obtiveram resultados de resistência a compressão simples entre 1,3 e 3,3 MPa, percebendo a proporcionalidade desta com a densidade;
- Bodian et al. (2018) estudaram tijolos constituídos de argila e laterita e conseguiram, como resultados, de 4,98 a 22,93 MPa de resistência a compressão,

respectivamente, para tijolos sem queima e com queima, sendo esses para massa com 30% de laterita;

- Kizinievič et al. (2018) estudaram o efeito de lodo de papel nas propriedades, microestrutura e resistência a baixas temperaturas de tijolos de argila, sendo esses com queima, e encontraram resultados de compressão, absorção de água e porosidade aparente de, respectivamente, 12 a 22 MPa, 1,65 a 1,86 g/m³ e 11,2 a 15,3%;
- Quesada et al. (2018) pesquisaram o uso de cinzas de carvão em tijolos de argila produzidos por prensagem a 10 MPa, sendo parte destes cozida a 1000 °C e outra não cozida, apenas com secagem a 110 °C, tendo obtidos resultados satisfatórios com resistências a compressão em níveis para utilização estrutural, pois, para algumas composições, a resistência foi de 45 MPa.
- Palanisamy e Kumar (2018) estudaram o efeito da inserção de resíduos de fibra de coco em tijolo com solo arenoso e pó de pedreira e obtiveram resultados sobre as propriedades tecnológicas que consideraram satisfatórios, em termos de resistência a compressão, absorção de água, entre outros.

Vê-se claramente, então, que há uma diversidade de pesquisas e até mesmo aplicações de tecnologias de aproveitamento de resíduos, dos mais diversos tipos e naturezas, na produção de materiais de construção e, especificamente, de tijolos ecológicos (Madurwar et al., 2015a). Murmu e Patel (2018) fizeram um levantamento aprofundado sobre o que chamaram de “tijolos sustentáveis”, considerando, neste enquadramento, todos aqueles produzidos com massas que possuem em suas constituições resíduos sólidos industriais, urbanos e/ou agroindustriais ou agrícolas, e os fabricados com tecnologias com queima ou sem queima das peças.

O reuso de resíduos na produção de tijolos é uma tendência nas pesquisas das engenharias ambiental e de materiais, na perspectiva de sustentabilidade, pois o crescimento das demandas e a necessidade de eficiência na exploração de recursos são evidentes, se mostrando tão quanto ou mais importante que o desenvolvimento de tecnologias que utilizam matérias virgens (Miqueleiz et al., 2013; Waziri et al., 2013; Madurwar et al., 2015b; Fgaier et al., 2016a; Fgaier et al., 2016b; Espuelas et al., 2017; Seco et al., 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em sete etapas, cada uma com suas atividades (Figura 7). Exceto a coleta das matérias-primas e o tratamento dos resultados e a análise química da manipueira, que foi realizada em laboratório da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), todas as atividades foram realizadas em laboratórios da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

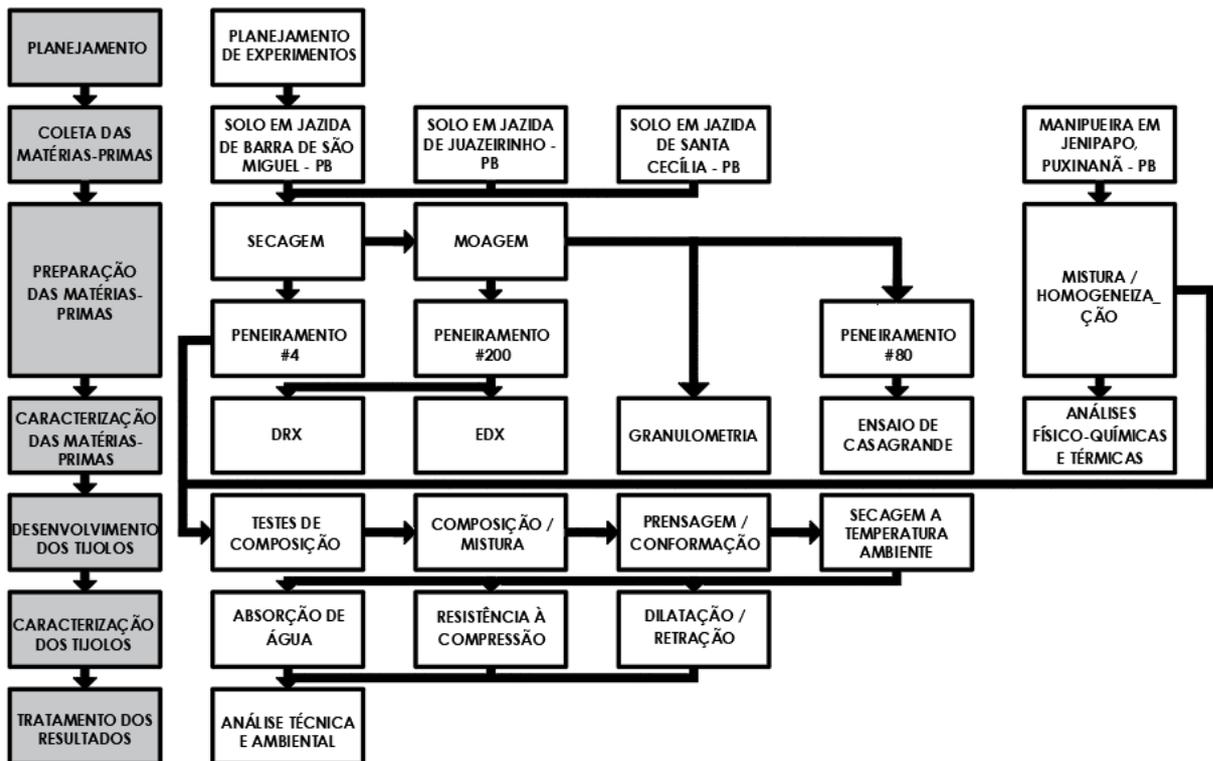


Figura 7 – Fluxograma da pesquisa.

3.1 Materiais

Na Tabela 2 são apresentados os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho, a nomenclatura adotada e a procedência destes.

Tabela 1 – Materiais utilizados na pesquisa.

Elemento	Nomenclatura adotada	Procedência
Solos argilosos	Solo A	Jazida localizada nas coordenadas 07°46'02,45"S e 36°21'54,6"O, a 501 m de altitude, em leito de barragem no Sítio Angicos, Município de Barra de São Miguel, PB,
	Solo B	Indústria cerâmica nas coordenadas 07°04'10,60"S e 36°35'39,36"O, a 569 m de altitude, no Distrito Barra, Município de Juazeirinho, PB
	Solo C	Jazida localizada nas coordenadas 07°44'57,05"S e 35°53'34,53"O, a 560 m de altitude, em área de mineração no Sítio Zé de Moura, Município de Santa Cecília, PB
Solo arenoso	Areia	Jazida localizada nas coordenadas 07°44'52,97"S e 36°18'42,59"O, a 491 m de altitude, no Açude Riacho do Bichinho, Município de Barra de São Miguel, PB
Manipueira	Manipueira	Casa de Farinha localizada nas coordenadas 07°09'45,41"S e 35°54'49,26"O, a 665 m de altitude, no Distrito Jenipapo, Município de Puxinanã, PB

A definição destes solos para uso na produção dos tijolos se deu pelo prévio conhecimento de que estes são utilizados na produção de tijolos convencionais em indústrias cerâmicas localizadas nestes municípios. A areia, por sua vez, teve sua escolha baseada por ser este ponto fonte de areia para utilização na construção civil local. Por fim, a manipueira foi escolhida pela proximidade dos locais onde foi utilizada na pesquisa ao empreendimento precursor, o que garantiu a condição de trabalho proposta com este efluente *in natura*.

3.2 Planejamento de experimentos

A tecnologia social de produção dos tijolos ecológicos constituídos de solo e manipueira, enquanto tecnologia social, foi desenvolvida utilizando a técnica de produção de tijolos ecológicos de solo-cimento, referenciada normativamente pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como base, por ser esta consolidada e tecnicamente aceita, testando níveis ideais para os fatores que influenciam nas propriedades tecnológicas dos tijolos.

A definição de variáveis e níveis testados foi feita com base nos valores informados na literatura sobre tijolos solo-cimento, como indicou Silva et al. (2010), com umidade ótima média de 14,85% e mais baixa de 12,8%, e confirmadas em ensaios com pequenos corpos de prova produzidos com solo e manipueira– fase 1.

Os experimentos foram planejados, inicialmente, para serem realizados com massas exclusivamente constituídas de solo e manipueira, porém os testes iniciais apontaram, para

condição de produção de tijolos com utilização de prensa manual (fase 2), não houve reprodução dos resultados encontrados na fase 1 quando a resistência, considerando estes insatisfatórios. Logo, testes foram feitos com adição de areia.

Baseando-se nos resultados da fase 2, foi adquirida uma prensa hidráulica para produção de tijolos ecológicos, sendo esta – fase 3 – mais uma alteração do planejamento inicial, e sendo fixada a concentração de manipeira utilizada em 12% devido a esta ter sido a condição de melhor trabalhabilidade da massa, ejeção das peças da câmara de prensagem – já que com 9% não se conseguiu trabalhar pois as peças ficaram quebradiças e com 15% houve maior dificuldade de homogeneização da massa e não foram obtidos bons resultados.

As condições em que os experimentos foram planejados para realização são apresentadas na Tabela 2, apresentando equipamentos utilizados, as composições utilizadas, com percentuais em massa de solo, areia e manipeira, e tempo de cura dos tijolos.

Tabela 2 – Condições dos ensaios realizados.

Fase	Prensa	Composição	Condições de entrada			Cura (dias)
			Solo argiloso (%)	Areia (%)	Manipeira (%)	
1	Hidráulica Servitech CT 335	A1	100	--	9	7 28
		B1	100	--	12	7 28
		C1	100	--	15	7 28
2	Manual Sahara	A2	90	10	12	7 28
		B2	80	20	12	7 28
		C2	70	30	12	7 28
		D2	50	50	12	7 28
		E2	50	50	15	7 28
3	Hidráulica Hayabusa	A3	90	10	12	7 --
		B3	80	20	12	7 --
		C3	70	30	12	7 --
		D3	50	50	12	7 --

3.3 Coleta e preparação das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas nesta pesquisa que necessitaram de coleta e preparação foram os solos argilosos, a manipeira e, complementarmente, a areia, todas de locais acessados livremente e sem restrições.

3.3.1 Coleta e beneficiamento dos solos

Foram coletados solos de três jazidas utilizadas como fonte de matéria-prima para indústrias de tijolos cerâmicos, sendo estas em cidades paraibanas, especificamente em áreas pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Paraíba, bem como areia utilizada na construção civil, nos pontos apresentados na Figura 8.



Figura 8 – (a) Pontos de extração do solo em (a) Barra de São Miguel, (b) Juazeirinho e (c) Santa Cecília e (d) da areia em Barra de São Miguel (Google Earth, 2018).

A coleta foi feita manualmente, seguindo metodologia utilizada pelas pequenas indústrias cerâmicas, pois os tijolos produzidos deverão partir desta, utilizando picarete (Figura 9a), enxada (Figura 9b) e pá (Figura 9c), para extração, e saco plástico (Figura 9d) para armazenamento e transporte em carro de mão e no veículo até os laboratórios.



Figura 9 – (a) Picarete, (b) enxada, (c) pá e (d) saco plástico para transporte e armazenamento.

Devido ao fato dos tijolos ecológicos trabalharem com massa cerâmica tratada de forma simplificada, bastante diferente do tratamento dado para os tijolos convencionais, os solos trabalhados receberam apenas a remoção de materiais mais grosseiros presentes como raízes e pedras (Figura 10a), a moagem de aglomerados maiores e trituração em liquidificador convencional (Figura 10b), para refinamento e melhor aproveitamento do material para análises laboratoriais, e o peneiramento em malha nº 4, que possui abertura equivalente de 4,75 mm (Figura 10c) para atendimento aos requisitos postos pelas normas técnicas brasileiras NBR 8491/12 e 10834/12 da ABNT.



Figura 10 – (a) Material coletado, (b) trituração em liquidificador, (c) peneiramento.

O material já peneirado em malha nº 4 foi submetido a um novo peneiramento em malha nº 80 – que tem abertura equivalente de 177 μm – para direcionamento aos ensaios de plasticidade e em malha nº 200 – que possui abertura equivalente de 74 μm – para utilização em ensaios de granulometria, análises térmicas e demais técnicas de caracterização físico-química, e para verificação do atendimento a mais um requisito imposto pela NBR 10833/12 da ABNT que exige que de 10 a 50% do solo passe em abertura de 75 μm .

As peneiras supracitadas foram montadas para esta pesquisa no próprio laboratório (Figura 11).



Figura 11 – Montagem das peneiras utilizadas na pesquisa.

3.3.2 Coleta e preparação da manipueira

A manipueira foi coletada na casa de farinha instalada no Distrito Jenipapo, no Município de Puxinanã – PB (Figura 12a), sempre previamente a alguma etapa da pesquisa, e destinada diretamente ao laboratório, preservando suas características de *in natura* para estudo e utilização como elemento plastificante do material cerâmico.



Figura 12 – (a) Casa de farinha, (b) moinho e (c) prensa.

O armazenamento da manipueira foi realizado em 2 tambores plásticos com capacidade para 30 L (Figura 13), fechados após coleta para transporte sem vazamento, mas abertos no laboratório para liberação dos gases provenientes de sua constante fermentação e decomposição, evitando problemas posteriormente caso estes fossem acumulados nos recipientes.



Figura 13 – Tambores de armazenamento da manipueira.

O tratamento dado à manipueira após a coleta foi a constante homogeneização para evitar formação de uma crosta nos fundos dos recipientes pela sedimentação dos sólidos insolúveis presentes.

A preparação da manipueira foi, então, caracterizada pela mistura em Becker para homogeneização do líquido com distribuição dos sólidos insolúveis presentes por todo volume (Figura 14).



Figura 14 – Becker com manipueira misturada.

3.4 Caracterização das matérias-primas

3.4.1 Caracterização do solo

3.4.1.1 Difração de Raios-X (DRX)

A técnica de difração de raios-X foi utilizada para determinação das fases cristalinas das amostras dos solos estudados.

Os difratogramas das amostras foram obtidos com uso do equipamento Shimadzu XDR-6000, tendo como condições analíticas a varredura “2theta-theta” ou “ $2\theta-\theta$ ” de 5° a 30° , velocidade do goniômetro de $2^\circ/\text{min}$, passo 0,02, pelo método “fixed time”, com radiação de $\text{CuK}\alpha - 40\text{kV}/30\text{mA}$ – e em porta amostra de alumínio. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização dos Materiais (LCM), da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais (UAEMA), na UFCG.

3.4.1.2 Fluorescência de raios-X (EDX)

A técnica de fluorescência de raios-X foi utilizada para determinação da composição química das amostras de solos.

O equipamento utilizado foi da marca Shimadzu, modelo EDX-720, o qual possui tubo de ródio (Rh), tendo sido feitas leituras a alta tensão (50 kV) e baixa tensão (15 kV), e permite a detecção de elementos entre a faixa de sódio e urânio, tendo sido vistas entre titânio e urânio (Ti-U) e sódio e escândio (Na-Sc), e identificação pelos picos de energia liberada pelos elementos.

Foram determinadas, pelo software específico do equipamento, as quantidades percentuais dos óxidos: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MgO, CaO, TiO₂, BaO, SO₃, MnO, P₂O₅, SrO, Rb₂O e C.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCG.

3.4.1.3 Granulometria

A determinação da composição granulométrica ou granulometria dos solos foi feita com a utilização do equipamento denominado “Analisador de tamanho de partículas Cilas 1064”. As análises foram realizadas em meio líquido (água destilada), com faixa de análise de 0,04 a 500 µm. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Materiais (LTM) da UFCG.

Foram realizados os ensaios para determinação dos diâmetros característicos das partículas das amostras: diâmetro médio (d_m) e diâmetros a 10% (d_{10}), a 50% (d_{50}) e a 90% (d_{90}).

3.4.1.4 Limites de Atterberg

As características de plasticidade – limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP) – das amostras de solos foram determinadas com a realização de ensaios pelo método de Casagrande, sendo este mostrado detalhadamente na NBR 7180/84 da ABNT, tendo em vista nos resultados o atendimento aos valores especificados pela NBR 10833/12 da ABNT.

3.4.1.5 Análises térmicas

Foram feitos ensaios referentes à estabilidade e à degradação térmica das amostras de solos, utilizando os seguintes métodos termoanalíticos: Termogravimetria (TG) e Análise Térmica Diferencial (DTA).

As análises foram realizadas no Laboratório de Termoanálises, também da UAEMA, da Universidade Federal de Campina Grande.

O equipamento utilizado foi do modelo DTG-60 Simultaneous da marca Shimadzu, o qual possibilitou ensaios simultâneos pelas técnicas TG e DTA.

Os experimentos foram realizados com massas das amostras de $10,217 \pm 0,0745$ mg, colocadas em cadinho de alumina, partindo da temperatura ambiente – $23,5$ °C – até 1000 °C, com razão de aquecimento de 10 °C/min, em atmosfera dinâmica de nitrogênio (N_2) em fluxo de 100 mL/min.

Foram analisadas, separadamente, as curvas resultantes da TG e da DTA, no aplicativo “TA60 versão 2.11”, tendo sido utilizada a derivada da curva TG (DTG) para melhor identificação dos eventos.

As quantidades de massa no início e no fim de cada etapa de perda, bem como dos elementos eliminados das amostras, foram determinadas através de cálculos com base nos dados das análises realizadas no software.

Os eventos térmicos acontecidos durante o aquecimento das amostras foram verificados nas curvas resultantes da DTA, assim como as quantidades de energia envolvidas em cada uma destas.

Com base na composição identificada nas análises dos difratogramas de raios-X e do resultado da EDX e apresentadas por autores que estudaram materiais similares, foi determinada a estabilidade térmica das amostras de solo.

Finalizando, o comportamento do material ao longo da faixa que se iniciou na temperatura ambiente – $23,5$ °C – e foi até 1000 °C também foi analisado, como um todo e em suas etapas de perdas definidas empiricamente.

3.4.2 Caracterização da manipueira

Mesmo sendo realizadas coletas de manipueira previamente a cada etapa de prensagem, esta foi submetida apenas uma vez quanto às análises químicas e térmicas descritas

nos subitens, devido ao fato de sempre ser coletada e utilizada nas mesmas condições, tendo sido quantificadas, após cada coleta, as variáveis que exigem apenas leitura.

3.4.2.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

O método utilizado para medição do pH da manípueira estudada foi Potenciometria. Foi utilizado um pHmetro de bancada modelo mPA 210 da marca TECNOPON no Laboratório de Saneamento I da UFCG.

3.4.2.2 Condutividade elétrica (CE)

Para medição da condutividade elétrica da manípueira estudada foi utilizado um Condutivímetro de Bancada modelo ION307 da marca QUIMIS no Laboratório de Saneamento I da UFCG.

3.4.2.3 Peso específico (PE)

Para medição do peso específico foi utilizada uma proveta de 1000 mL e uma balança analítica no Laboratório de Síntese e Materiais Vítreos (LASMAV).

3.4.2.4 Sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos fixos (SSF)

Para determinação dos teores de sólidos suspensos da manípueira foi seguido o que propõe o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW), pelo método 2540 E, e o ensaio foi realizado no Laboratório de Saneamento I da UFCG.

3.4.2.5 Demanda química de oxigênio (DQO)

A determinação da demanda química de oxigênio da manípueira foi seguido o que propõe o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, pelo método 5220 B, e o ensaio foi realizado no Laboratório de Saneamento I da UFCG.

3.4.2.6 Cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), nitrogênio (N), potássio (K) e sódio (Na)

Para determinação dos teores de elementos apresentados por alguns autores como componentes químicos da manipeira, foi seguido o que propõe o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, pelos métodos 3030 E, para Ca, Mg, K e Na, 4500 B, para P, e 4500 C, para N, e o ensaio foi realizado no Laboratório de Física e Química do Solo da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

3.4.2.7 Análises térmicas

A amostra de manipeira também foi submetida às análises térmicas por TG e DTA, seguindo a metodologia utilizada para as amostras de solos, diferindo apenas no aquecimento, que foi da temperatura ambiente até 600 °C, procedimento devido à esta ser de natureza orgânica.

3.5 Produção e testes com corpos de prova pequenos

Pequenos corpos de prova foram confeccionados no LTM, na UFCG, em prensa hidráulica SERVITECH CT 335 (Figura 15a). Foram desenvolvidos corpos com massa constituída de solo e manipeira com comprimento de 5 cm, largura de 1,5 cm e altura de 0,65 cm (Figura 15b) com pré-prensagem de 10 segundos a 15 MPa e prensagem de 20 segundos a 20 MPa.

Confeccionados, os corpos passaram pela cura durante 7 dias e, em seguida, foram testadas a absorção de água e a resistência na máquina de ensaios de compressão e flexão EMIC modelo DL500, no LCM da UFCG.

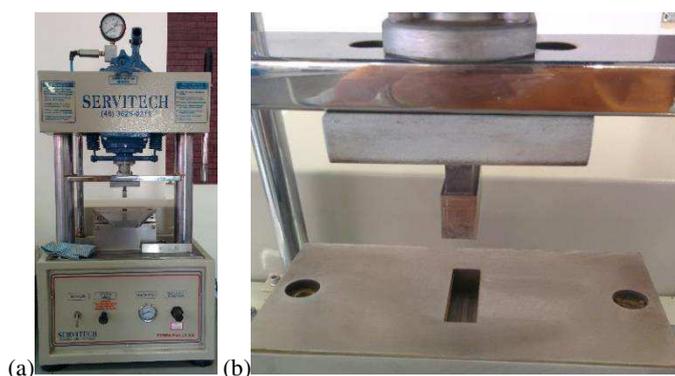


Figura 15 – (a) Prensa Servitech CT 335 e (b) câmara de prensagem.

3.6 Produção dos tijolos ecológicos

3.6.1 Produção em prensa mecânica

Foram pesadas (Figura 16a) as quantidades de matéria-prima necessárias para cada composição dos tijolos ecológicos e posteriormente misturados manualmente (Figura 16b). Os percentuais seguiram os postos na Tabela 1.

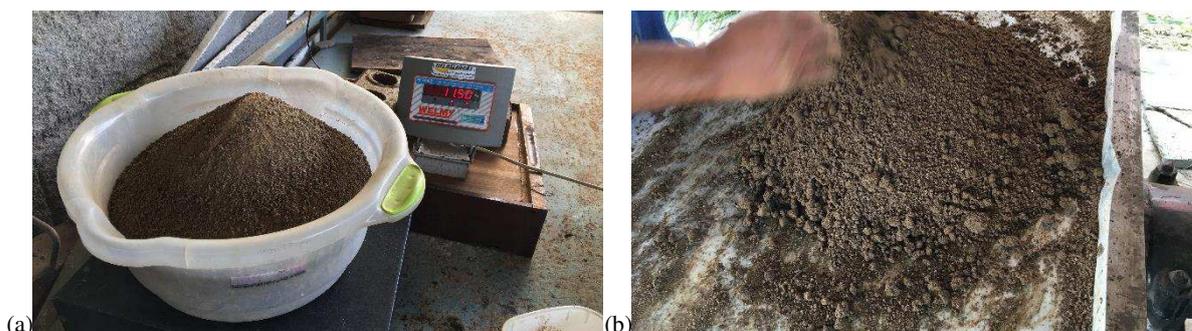


Figura 16 – (a) Pesagem; (b) mistura da massa.

Os tijolos ecológicos foram produzidos por prensagem seguindo composições do planejamento experimental, em Prensa Manual Sahara (Figura 17a), que tem capacidade de produção de um tijolo (Figura 17b) com dois furos de 5 cm (cada) de 4 cm x 10 cm x 20 cm (altura x largura x comprimento), que é o tamanho da câmara (Figura 17c), por seção, no Laboratório de Construções Rurais e Ambientância (LACRA) da UFCG. Cada prensagem teve de 15 segundos de duração com a força utilizada sendo manual.



Figura 17 – (a) Prensa Sahara para tijolos ecológicos, (b) tijolo sendo ejetado após a prensagem e (c) câmara de prensagem.

Após produção, cada corpo de prova a verde foi identificado e passou por medições de largura, comprimento e altura, com régua milimétrica, bem como foi verificado seu peso em balança digital semi-analítica com capacidade de 6,2 kg e precisão de até 0,001 g.

Os tijolos foram levados à secagem a temperatura ambiente seguindo, nesse sentido, a metodologia para solo-cimento – 7 e 28 dias. Realizaram-se as mesmas medições feitas pós-prensagem após cada período de cura.

Essa etapa foi constituída, então, de duas fases de produção:

- Tijolos constituídos de solo argiloso – em mistura proporcional das massas dos solos A, B e C, por terem estes apresentado características semelhantes no que diz respeito às exigências para utilização em tijolos solo-cimento, e manipueira; e
- Tijolos constituídos de solo argiloso, areia e manipueira.

3.6.2 Produção em prensa hidráulica

As massas da matéria-prima necessárias para cada composição dos tijolos ecológicos foram pesadas (Figura 18a) e, em seguida, misturadas manualmente (Figura 18b). As percentagens adotadas foram as colocadas na Tabela 1.



Figura 18 – (a) Pesagem e (b) mistura manual da massa.

Os tijolos ecológicos foram produzidos por prensagem seguindo composições do planejamento, em Prensa Hidráulica Hayabusa (Figura 19a), que tem capacidade de produção de um tijolo com dois furos de 6 cm (cada) de 6 x 12,5 x 25 cm (altura x largura x comprimento), que é o tamanho da câmara, porém com câmara dividida no meio (Figura 19b), para que não houvessem interferências na resistência dos tijolos quando fossem submetidos a serragem, previamente aos testes de resistência, que oferece muita vibração, no Laboratório de Síntese e Materiais Vítreos (LASMAV) da UFCG. Cada prensagem teve de 25 s de duração, com a compressão sendo feita pela operação de um macaco hidráulico com capacidade para 6 toneladas (Figura 19c), seguida de 7 s para ejetar o tijolo (Figura 19d).



Figura 19 – (a) Prensa Hayabusa para tijolos ecológicos, (b) câmara de prensagem dividida no meio, (c) macaco hidráulico de 6 toneladas e (d) tijolo sendo ejetado após a prensagem.

Posteriormente a produção, cada tijolo a verde foi identificado e passou por medições de largura, comprimento e altura, com régua milimétrica, bem como foi verificado seu peso em balança digital semi-analítica com capacidade de 6,2 kg e precisão de até 0,001 g.

As peças produzidas foram dispostas para cura durante 7 dias. Realizaram-se as mesmas medições feitas pós-prensagem a cada 24 h desse período de cura.

Essa fase de produção teve as composições com solo argiloso, areia e manipueira, apenas, devido aos resultados obtidos com outras formulações usadas na prensa mecânica.

3.7 Caracterização dos tijolos e definição de composição e cura ideais

A NBR 10834/12 da ABNT trata de bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural e coloca como testes para esses tijolos a resistência à compressão e a absorção de água.

Complementarmente, com base no usual em pesquisas com materiais cerâmicos e na NBR 8492/12 da ABNT que trata de forma e dimensões, também foi feito um estudo das variações nas dimensões, e na massa dos tijolos após a cura.

3.7.1 Resistência mecânica

Os tijolos ecológicos foram, pós-cura, submetidos aos testes resistência mecânica à compressão em máquina de ensaios à compressão e flexão SOLDTEST. Seis peças de cada composição e de cada condição de prensagem foram testadas em cada fase. Para realização dos testes foram necessários os procedimentos de marcação da linha central de cada peça e

regularização de faces (Figura 20a), serragem com serra elétrica (Figura 20b), colagem com argamassa (Figura 20c) e regularização das faces externas com argamassa e folhas de jornais (Figura 20d).



Figura 20 – (a) Marcação do corte central, (b) corte com serra elétrica, (c) colagem e (d) regularização de faces.

3.7.2 *Absorção de água*

O estudo da absorção de água, em percentual, seguiu o método descrito NBR 8492/12 da ABNT.

3.7.3 *Estudo da dilatação linear e variação de peso*

Esta etapa ocorreu com base nas medições e pesagens prévias e posteriores a cada etapa como prensagem e cura, onde foram calculadas as variações das três dimensões que compreendem o volume dos tijolos, variações no diâmetro dos furos, bem como no peso destes.

3.8 Síntese da análise dos resultados

Para sintetizar a discussão dos resultados, foram utilizados como parâmetros as características e exigências apresentadas em normas técnicas para tijolos solo-cimento, tijolos convencionais de argila e água e de outros tipos de tijolos ecológicos.

Esta última etapa consistiu na análise da viabilidade técnica, destacando em termos comerciais e ambientais, para utilização da manipeira em substituição a água na produção de tijolos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das matérias-primas

4.1.1 Solos

4.1.1.1 Análise mineralógica

Os resultados dos ensaios por EDX – composição química – são mostrados na Tabela 3, para as amostras de solo de jazidas de Barra de São Miguel, Juazeirinho e Santa Cecília, com os devidos percentuais em massa de cada um dos óxidos identificados e calculados pelo próprio equipamento.

Tabela 3 – Composição química das amostras de solos A, B e C.

Óxido	Massa (%)		
	Solo A	Solo B	Solo C
SiO ₂	56,994	51,430	48,000
Al ₂ O ₃	23,133	24,334	26,000
Fe ₂ O ₃	9,358	13,134	12,000
K ₂ O	2,985	4,020	2,000
CaO	2,950	2,037	5,000
MgO	2,281	2,553	5,000
TiO ₂	1,124	1,745	1,000
Outros óxidos	1,175	0,747	1,000

Verifica-se que as composições dos solos ensaiados têm, em comum, a predominância de sílica (SiO₂ ou dióxido de silício), alumina (Al₂O₃ ou óxido de alumínio) e hematita (Fe₂O₃ ou óxido de ferro), que totalizam, em valores percentuais aproximados, 89,5%, 89% e 86%, respectivamente para os solos A, B e C, enquadrando estes como solos característicos de fontes de matérias-primas da indústria cerâmica vermelha. Foram identificadas, também, as presenças de óxido de potássio (K₂O), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) e dióxido de titânio (TiO₂), em concentrações entre 1 a 5%, enquanto outros óxidos, como sulfúrico (SO₃ ou trióxido de enxofre), óxido de manganês II (MnO), óxido de estrôncio (SrO), óxido de rubídio (Rb₂O) e carbono (C), apareceram em concentrações baixíssimas.

Não comum a todos, os DRX das amostras apresentaram, ainda, para Solo A, óxido de bário (BaO) e pentóxido de fósforo (P₂O₅), para Solo B, P₂O₅, zircônio (ZrO₂ ou dióxido de

zircônio), anidrido vanádico (V_2O_5 ou pentóxido de vanádio), óxido de cromo (III) (Cr_2O_3) e ítria Y_2O_3 (óxido de ítrio (III)) e, para solo C, ZrO_2 , V_2O_5 , Cr_2O_3 , óxido de zinco (ZnO) e Y_2O_3 .

Os resultados dos ensaios por DRX são mostrados nas Figuras de 21 a 23, respectivamente, para as amostras de solo de Barra de São Miguel, Juazeirinho e Santa Cecília, com a indicação dos picos característicos de fases de elementos presentes na amostra, e detalhados na Tabela 3.

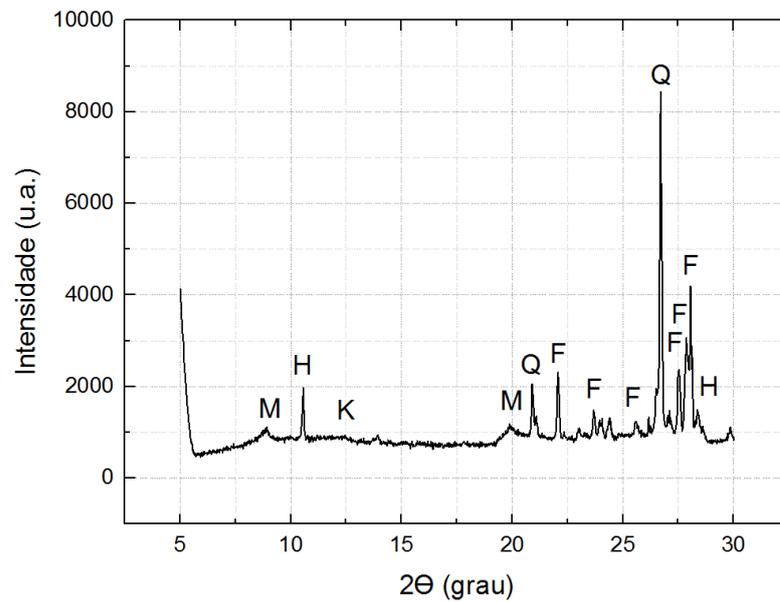


Figura 21 – Difratograma da amostra Solo A.

Legenda: M → mica; H → hematita; K → caulinita; Q → quartzo; F → feldspato.

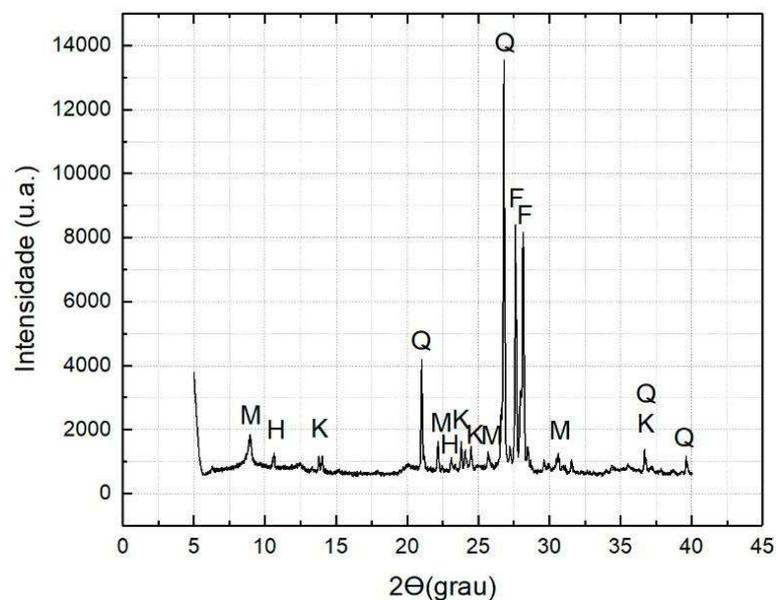


Figura 22 – Difratograma da amostra Solo B.

Legenda: M → mica; H → hematita; K → caulinita; Q → quartzo; F → feldspato.

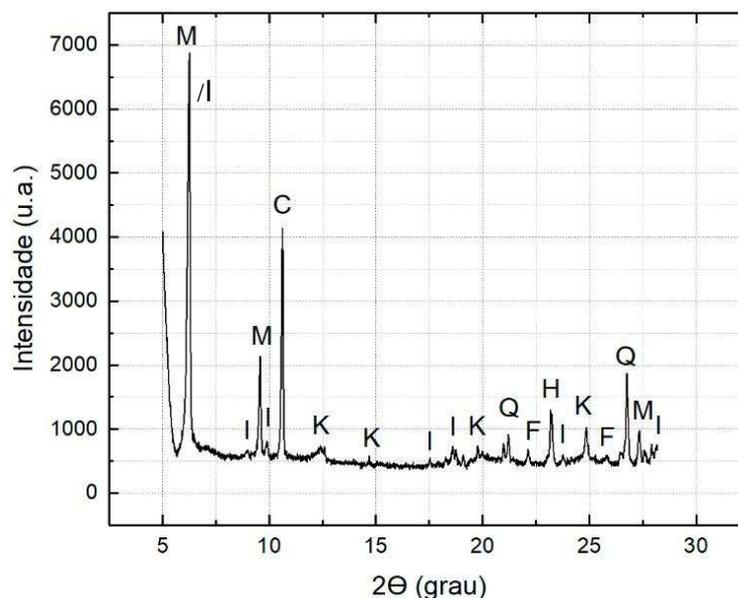


Figura 23 – Difratograma da amostra Solo C.

Legenda: M → mica; I → ilita; H → hematita; K → caulinita; Q → quartzo; F → feldspato.

Com a análise do difratograma da amostra Solo A (Figura 21), foram identificadas as fases cristalinas de: quartzo (SiO_2) ou “Q”, com picos em $2\theta \approx 20,92^\circ$ e $2\theta \approx 26,67^\circ$, sendo este último o pico de maior intensidade relativa, confirmando a maior porcentagem na composição química deste solo; feldspatos ou “F”, com picos em $2\theta \approx 22,09^\circ$, $2\theta \approx 23,72^\circ$, $2\theta \approx 25,65^\circ$, $2\theta \approx 27,42^\circ$, $2\theta \approx 27,93^\circ$ e $2\theta \approx 28,06^\circ$; caulinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) ou “K”, com picos em $2\theta \approx 13,88^\circ$ e $2\theta \approx 24,40^\circ$; mica ou “M”, com picos em $2\theta \approx 8,89^\circ$, $2\theta \approx 17,88^\circ$ e $2\theta \approx 19,85^\circ$; e hidróxido sílico-aluminoso ($\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}_4\text{Al})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_2(\text{OH})_2$) ou “H” com picos em $2\theta \approx 10,62^\circ$ e $2\theta \approx 28,47^\circ$.

Feita a análise da amostra Solo B (Figura 22), as fases cristalinas identificadas foram as de: quartzo (SiO_2) ou “Q”, com picos em $2\theta \approx 21,03^\circ$ e $2\theta \approx 26,81^\circ$, sendo este último o pico de maior intensidade relativa, confirmando a maior porcentagem na composição química deste solo também; feldspatos ou “F”, com picos em $2\theta \approx 27,63^\circ$ e $2\theta \approx 27,99^\circ$; caulinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) ou “K”, com picos em $2\theta \approx 13,82^\circ$, $2\theta \approx 13,88^\circ$, $2\theta \approx 13,88^\circ$ e $2\theta \approx 24,40^\circ$; mica ou “M”, com picos em $2\theta \approx 8,89^\circ$, $2\theta \approx 17,88^\circ$ e $2\theta \approx 19,85^\circ$; e hidróxido sílico-aluminoso ($\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}_4\text{Al})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_2(\text{OH})_2$) ou “H” com picos em $2\theta \approx 10,62^\circ$ e $2\theta \approx 28,47^\circ$.

Analisando o difratograma da amostra Solo C (Figura 23) foram identificadas as fases cristalinas de: quartzo (SiO_2) ou “Q”, com picos em $2\theta \approx 20,92^\circ$ e $2\theta \approx 26,67^\circ$, sendo este último o pico de maior intensidade relativa, confirmando a maior porcentagem na composição química deste solo; feldspatos ou “F”, com picos em $2\theta \approx 22,09^\circ$, $2\theta \approx 23,72^\circ$, $2\theta \approx 25,65^\circ$, $2\theta \approx 27,42^\circ$, $2\theta \approx 27,93^\circ$ e $2\theta \approx 28,06^\circ$; caulinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) ou “K”, com picos em $2\theta \approx 13,88^\circ$ e $2\theta \approx$

24,40°; mica ou “M”, com picos em $2\theta \approx 8,89^\circ$ (este coincidindo com a illita), $2\theta \approx 17,88^\circ$ e $2\theta \approx 19,85^\circ$; e hidróxido sílico-aluminoso ($\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}_4\text{Al})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_2(\text{OH})_2$) ou “H” com picos em $2\theta \approx 10,62^\circ$ e $2\theta \approx 28,47^\circ$.

A caulinita, fase encontrada em todas as amostras estudadas, é, segundo Santos (2016), responsável, em massas de cerâmica vermelha, por oferecer plasticidade da massa e resistência mecânica aos corpos conformados. A fase quartzo na massa cerâmica, por sua vez, oferece, entre outras, as características de estabilidade química e dureza, provavelmente pelo ordenamento dos cristais, às peças produzidas (Mason e Thompson, 2010). Deste modo, os solos A, B e C apresentam características essenciais para produção de peças cerâmicas: plasticidade e estabilidade.

4.1.1.2 Limites de Atterberg

Os resultados dos ensaios de Casagrande referentes aos limites de Atterberg – limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) – são mostrados, detalhadamente, no Apêndice D, e de forma resumida na Tabela 5, com os resultados do índice de plasticidade das amostras Solo A, Solo B e Solo C.

Tabela 4 – Resultados de Plasticidade.

Amostra	Limite de liquidez (LL)	Limite de Plasticidade (LP)	Índice de Plasticidade (IP)
Solo A	36,17±4,25%	25,00±8,33%	11,17±8,49%
Solo B	40,01±1,86%	29,19±4,84%	10,82±3,93%
Solo C	32,45±7,88%	19,33±8,94%	11,43±4,48%
Média	36,21%	24,51%	11,70%

De acordo com as faixas de classificação para solos a partir do índice de plasticidade (que informa o quão argiloso é um solo), apresentadas por Caputo e Caputo (1974), as amostras dos solos estudados, portanto, são todas enquadradas na faixa “mediamente plástico”, pois se mostram com valores de IP entre 7% e 15%.

Com base em classificação dada por CRATerre (1979), os solos se enquadram na classificação de “solo siltoso”, pois tem IP entre 5% e 25% e LL entre 20% e 50%.

No Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), estes solos são classificados como argilas inorgânicas de plasticidade média, código “CL”, pois os valores de LL estão entre 30 e 50%.

Outra classificação é dada pela Highway Research Board (HRB) e nesta os resultados obtidos para as amostras de solos das jazidas de Barra de São Miguel e de Santa Cecília fazem o enquadramento na classificação “A-6”, sendo solos argilosos, enquanto os resultados com a amostra de solo da jazida de Juazeirinho só enquadra este em caso de arredondamento dos resultados, pois todas as classificações dão $LL = 40\%$, como valor máximo, e 41% , como valor mínimo, e $IP = 10\%$, como valor máximo, e 11% , como valor mínimo. Logo, com aproximações, todos os solos se classificam como argilosos, definindo a semelhança física destes.

Destaca-se, ainda, acerca dos dados de plasticidade, com base na NBR 8491/12, que todos os solos trabalhados nesta pesquisa, após a preparação, atendem às exigências para produção de tijolos solo-cimento em prensa manual ou hidráulica, por possuírem $LL \leq 45\%$ e $IP \leq 18\%$ (ABNT, 2012).

4.1.1.3 Granulometria

Acerca da granulometria, os resultados da análise granulométrica com a curva característica são apresentados na Figura 24, para amostra de jazida de Barra de São Miguel, na Figura 25 para a de Juazeirinho e na Figura 26 para a de Santa Cecília, e na Tabela 5 são apresentados os diâmetros característicos de partículas destes solos.

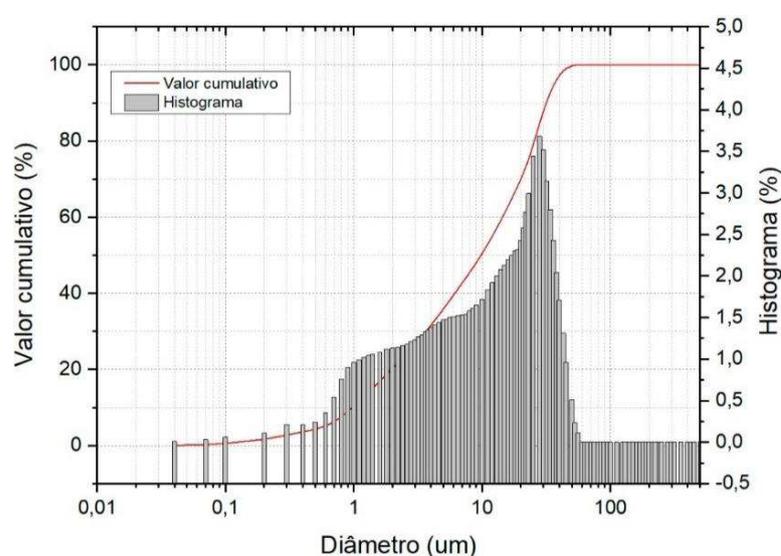


Figura 24 – Distribuição granulométrica de amostra Solo A.

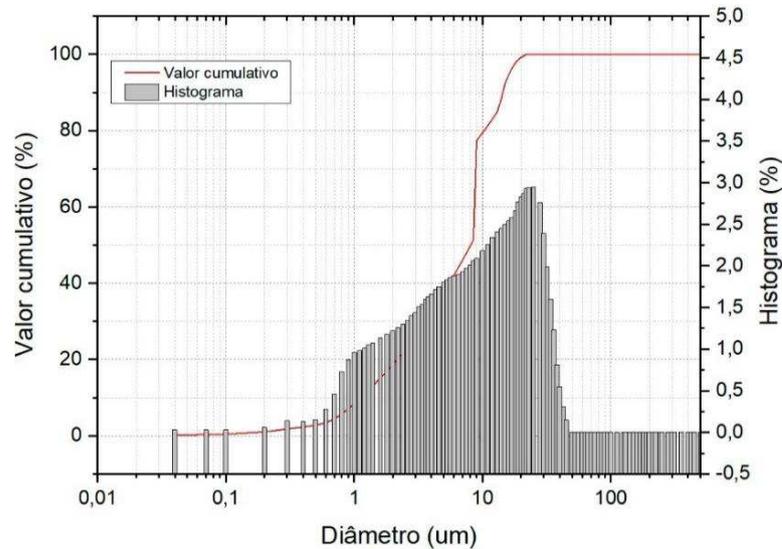


Figura 25 – Distribuição granulométrica de amostra Solo B.

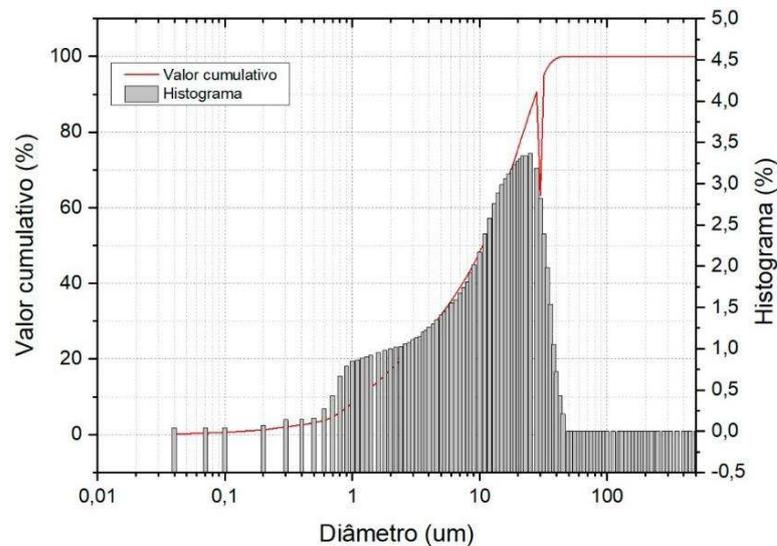


Figura 26 – Distribuição granulométrica de amostra Solo C.

Tabela 5 – Diâmetros característicos das amostras de solos.

Amostra	d_{10} (μm)	d_{50} (μm)	d_{90} (μm)	d_m (μm)
Solo A	0,97	9,80	31,67	13,57
Solo B	1,12	8,10	26,23	11,17
Solo C	1,15	10,52	27,61	12,56

Pelos resultados referentes à granulometria das amostras de solo estudadas, é possível afirmar em relação ao diâmetro médio das partículas os valores de 13,57, 11,17 e 12,56 μm , respectivamente, para amostras Solo A, Solo B e Solo C, tendo, nestas, 10% do volume diâmetro menor ou igual a 0,97, 1,12 e 1,15 μm , 50% das partículas diâmetro inferior ou igual a 9,80, 8,10 e 10,52 μm e 90% com diâmetro de até 31,67, 26,23 e 27,61 μm .

Sendo a fração com grãos até 2 μm definida como argila, esta corresponde a 20,23% do volume total da amostra Solo A, 18,73% da amostra Solo B e 17,15% da amostra Solo C, enquanto, nesta mesma ordem, a fração com tamanhos de partículas entre 2 e 60 μm de diâmetro, definida como silte, caracteriza 79,77%, 81,27% e 82,85% (Santos, 1992; ABNT, 2012).

Os resultados das análises granulométricas corroboram com o que apontam os limites de Atterberg: solos silto-argilosos.

4.1.1.4 Comportamento térmico

As Figuras 27, 28 e 29 exibem, respectivamente, as curvas TG e DTA das amostras Solo A, Solo B e Solo C.

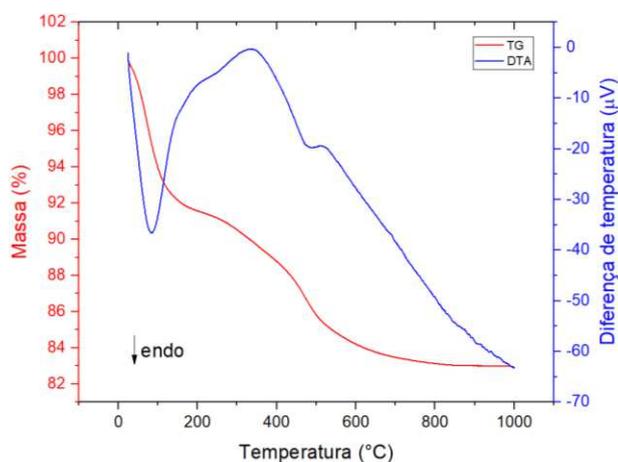


Figura 27 – Curvas TG e DTA da amostra Solo A obtidas sob aquecimento de 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ em atmosfera dinâmica de 100 mL/min de N_2 .

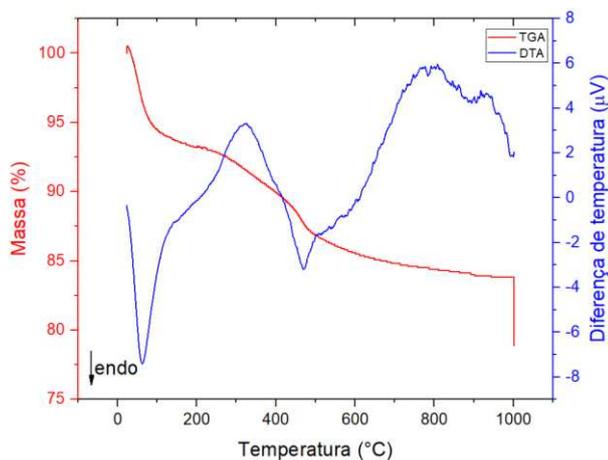


Figura 28 – Curvas TG e DTA da amostra Solo B obtidas sob aquecimento de 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ em atmosfera dinâmica de 100 mL/min de N_2 .

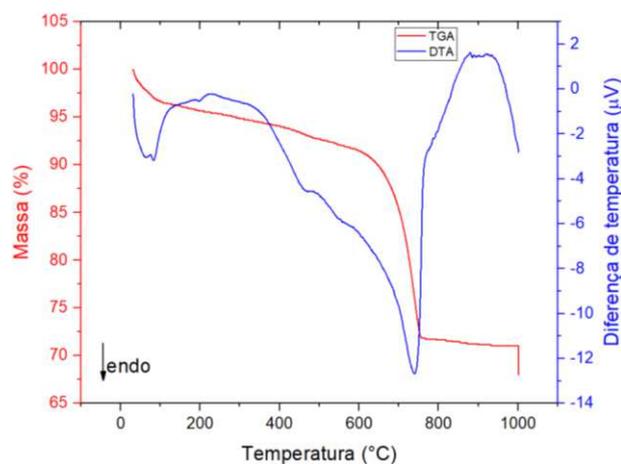


Figura 29 – Curvas TG e DTA da amostra Solo C obtidas sob aquecimento de 10 °C/min em atmosfera dinâmica de 100 mL/min de N₂.

Analisando as curvas TG com o aplicativo computacional, foram identificadas três etapas principais de perda de massa durante o aquecimento, estando estas exibidas, detalhadamente na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados de decomposição térmica das amostras Solo A, Solo B e Solo C com base na análise das curvas TG obtidas sob aquecimento de 10 °C/min em atmosfera dinâmica de 100 mL/min de N₂.

Amostra	Etapa de perda	m _i (mg)	T _i (°C)	T _p (°C)	T _f (°C)	m _f (mg)	Perda de massa	
							(%)	(mg)
Solo A	1	10,178	26	73	169	7,946	7,946	0,809
	2	9,369	169	480	629	7,932	7,932	0,807
	3	8,562	629	750	995	0,843	0,843	0,086
						Σ=	16,721	1,702
Solo B	1	10,143	24	62	126	9,483	6,507	0,660
	2	9,483	126	323	415	9,038	4,387	0,445
	3	9,038	415	470	949	8,454	5,758	0,584
						Σ=	16,652	1,689
Solo C	1	10,292	33	83	115	9,939	3,428	0,353
	2	9,939	115	226	526	9,520	4,069	0,419
	3	9,520	526	740	951	7,321	21,356	2,199
						Σ=	28,853	2,971

Legenda: Σ → somatório das perdas.

A análise dos dados apresentados na Tabela 6 demonstra uma semelhança no comportamento das amostras submetidas ao aquecimento quanto ao número de perdas de massa mais definidas, apresentando, todas estas, então, três etapas de perda.

A título comparativo, foi calculada uma média entre os valores observados das temperaturas inicial, de pico e final das etapas de perda, analisando, de um modo geral, a degradação térmica das amostras dos solos estudados, e pôde-se inferir que: a primeira perda nos ensaios com os solos trabalhados ocorreu entre 28 °C e 137 °C, com pico em 73 °C; a segunda em sequência de temperatura e em massa aconteceu na faixa de 137 °C a 523 °C, sendo o pico em 343 °C; e a terceira e última perda compreendida entre 523 °C e 965 °C, com pico em 735 °C.

Facilmente se verifica que as temperaturas definidas como picos das etapas de perda de massa das amostras de solo encontraram-se em faixas de temperatura relativamente próximas, tendo diferido os valores das perdas de massa de cada etapa e global, com, respectivamente, sido perdidos 16,721, 16,652 e 28,853%, respectivamente, das massas das amostras, com uma média de perda de 20,742%, conseqüentemente com resíduo médio, ou seja, massa final, de 79,258%.

Pela faixa da perda de massa inicial e respectivo pico, os 7,946, 6,507 e 3,428% perdidos pelas amostras, respectivamente, são atribuídos à volatilização de água, confirmando afirmação de Silveira (2013), que a vaporização pode ocorrer a temperaturas diferentes de 100 °C, dependendo das condições do meio e, complementarmente, de solventes orgânicos naturalmente existentes em substâncias com teores de água e matéria orgânica como o solo (Bodian et al., 2018). Infere-se, desta forma, que esse valor corresponde à umidade dos solos trabalhados.

A segunda perda de massa (7,932, 4,387 e 4,069%) pode ser associada à queima do material orgânico, pois a faixa em que ocorre é a mesma onde se encaixam temperaturas de ignição ou de degradação térmica de componentes orgânicos que são encontrados em solos, corroborando com informação dada por ABNT (1996), que indica testes de teores de matéria orgânica no solo por queima em mufla a 440 °C, o que fizeram Silva et al. (1999), Dias e Lima (2004), que testaram teores de matéria orgânica com aquecimentos na faixa de temperatura que enquadra esta perda de massa, e Potes et al. (2010), que afirmaram que grupos de cadeias alifáticas são queimados nessa faixa (Soares et al., 2014).

A última perda de massa, de 0,843% para amostra Solo A, significativamente a menor deste, 5,758% para amostra Solo B e 21,356% para amostra Solo C, exorbitantemente a maior para este e entre todos, pode ser associada à degradação térmica de elementos orgânicos mais estáveis, bem como ao término da queima de substâncias que tiveram esta iniciada em faixas de temperatura inferiores.

As curvas DTA apresentaram faixa de temperatura semelhante para primeira reação, mas variaram em seguida até o final do aquecimento. A Tabela 7 mostra os resultados da análise das curvas DTA.

Tabela 7 – Dados obtidos com a análise das curvas DTA das amostras de Barra de São Miguel, Juazeirinho e Santa Cecília obtidas sob aquecimento de 10 °C/min em atmosfera dinâmica de 100 mL/min de N₂.

Amostra	Picos característicos de reações					
	1		2		3	
	T _p (°C)	Energia (μV)	T _p (°C)	Energia (μV)	T _p (°C)	Energia (μV)
Solo A	84↓	-36,58	492↓	-19,82	509↓	-19,82
Solo B	62↓	-7,40	323↑	3,32	470↓	-3,19
Solo C	82↓	-3,18	226↓	-0,22	740↓	-112,68

Legenda: ↓ → endotérmico; ↑ → exotérmico.

A análise das curvas DTA mostra o primeiro pico endotérmico dentro da faixa de temperatura da perda de massa ligada à volatilização de água e, com as temperaturas de pico de 84, 62 e 82 °C, respectivamente para as amostras Solo A, Solo B e Solo C, o evento térmico fica definido como desidratação dos solos, sendo, este, um fenômeno comum para quase todos materiais provenientes da natureza que não passam por processos de desidratação antes da submissão às análises térmicas.

O segundo pico aparece como endotérmico para as amostras Solo A e Solo C (T_p = 492 °C e T_p = 226 °C) e como exotérmico para a amostra Solo B (T_p = 323 °C), e o terceiro como endotérmico em todas, T_p = 509 °C, 470°C e 740 °C. Os picos se enquadram numa faixa de temperatura característica da decomposição térmica de matéria orgânica, tendo essa a particularidade de acontecer, especificamente a depender da quantidade de energia, uma reação endotérmica seguida de uma exotérmica, caracterizando, estes, como eventos de degradação oxidativa.

4.1.2 Manipueira

4.1.2.1 Características físicas e químicas

A caracterização da amostra de manipueira da Casa de Farinha do Distrito Jenipapo, Puxinanã, PB, observou 13 variáveis físico-químicas resultando nos valores apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Características físico-químicas da amostra de manipueira.

Variáveis	Valores
Potencial hidrogeniônico (pH)	5,36 ± 0,61
Condutividade elétrica (CE)	8,79 ± 0,33 mS/cm
Peso específico (PE)	1022 ± 52 kg/m ³
Sólidos suspensos voláteis (SSV)	77,840 g/L
Sólidos suspensos fixos (SSF)	11,81333 g/L
Sólidos suspensos totais (SST)	89,65333 g/L
Demanda química de oxigênio (DQO)	98511,3 mg/L
Cálcio (Ca)	301,20 mg/L
Fósforo (P)	298,10 mg/L
Magnésio (Mg)	2132,80 mg/L
Nitrogênio (N)	837,00 mg/L
Potássio (K)	3894,30 mg/L
Sódio (Na)	520,70 mg/L

Verificou-se que a manipueira utilizada na pesquisa tem um pH de acidez considerável, se apresentando com pH bem abaixo que o da água distribuída pela concessionária local, parâmetro importante por se tratar de elemento utilizado em substituição na massa do tijolo ecológico. Do ponto de vista ambiental, este pH confere a este efluente a característica de causar, se lançado sem tratamento, a degradação da qualidade dos corpos hídricos receptores, bem como de acidificar outro meio como o solo, comprometendo a existência de vida, sobretudo de microrganismos.

Em termos de condutividade elétrica, esta amostra de manipueira se apresentou com valor pouco abaixo do nicromo (9,09 mS/cm), que é uma liga empregada para fabricação de fios, e do mercúrio (10,044 mS/cm), porém se mostrando com condutividade próxima a de condutores elétricos. Este dado é importante no que diz respeito às interações do líquido com a massa de solo, já que, segundo DNIT (2018), a estabilização do solo numa massa de tijolo tem influência do valor de condutividade apresentado pelos demais elementos da mistura.

Previamente a utilização na mistura da massa cerâmica, foi aferido o peso específico da manipueira que apresentou 1.022 kg/m³ como resultado, valor levemente superior ao da

água. Mesmo já afirmado que a manipueira tem a água como seu principal e predominante constituinte, este valor de peso específico acima do que a água tem naturalmente se deve aos demais constituintes do efluente, sobretudo da matéria orgânica sólida residual da filtração pós-prensagem, já que a massa não é finamente filtrada e, assim, é certa a passagem de sólidos.

Em relação aos teores de sólidos presentes em amostra de manipueira, os resultados foram: SST de 89,65333 g/L, SSV de 77,84 g/L e SSF de 11,813 g/L. Estes valores corroboram com a afirmação supracitada de que a filtração da massa de mandioca prensada é um processo não tão minucioso em termos de eficiência na retenção de sólidos, pois, na maioria dos casos, por ser o empreendimento agroindustrial de pequeno porte, muitas de suas operações são consideradas artesanais.

A demanda química de oxigênio, por sua vez, foi determinada no valor de 98.511,3 mg/L, valor considerado elevado e que se deve à carga orgânica e concentração de sólidos na amostra deste efluente. Efluentes com estes teores de DQO são causadores de impactos ambientais negativos significativos, sobretudo, em corpos de água, pois elevam a carga orgânica a ponto de rebaixar os níveis de oxigênio drasticamente, causando a morte de seres aeróbios.

Por fim, quanto a caracterização química trabalhada, conforme a Tabela 9, os elementos Ca, P, Mg, N, K e Na encontraram-se, respectivamente, na amostra de manipueira trabalhada, em concentrações de 301,20 mg/L, 298,10 mg/L, 2.132,80 mg/L, 837,00 mg/L, 3.894,30 mg/L e 520,70 mg/L. Nutrientes, como fósforo, nitrogênio e potássio são elementos que, quando colocados no meio ambiente em concentrações acima da demanda apresentada pela biota afetada, causam problemas e, se tratando de um efluente, resíduo em fase que normalmente se destina a lançamento para corpos aquáticos, causa eutrofização, principalmente decorrente da quantidade de fósforo.

As características químicas aqui apresentadas garantem a afirmação de que a manipueira *in natura*, quando da natureza da amostra trabalhada, é um resíduo líquido de elevado potencial de degradação ambiental.

4.1.2.2 Comportamento térmico

Na Figura 30 são apresentadas, simultaneamente, as curvas TG e DTA da amostra de manipueira coletada na Casa de Farinha de Jenipapo que foi submetida a um aquecimento até 650 °C.

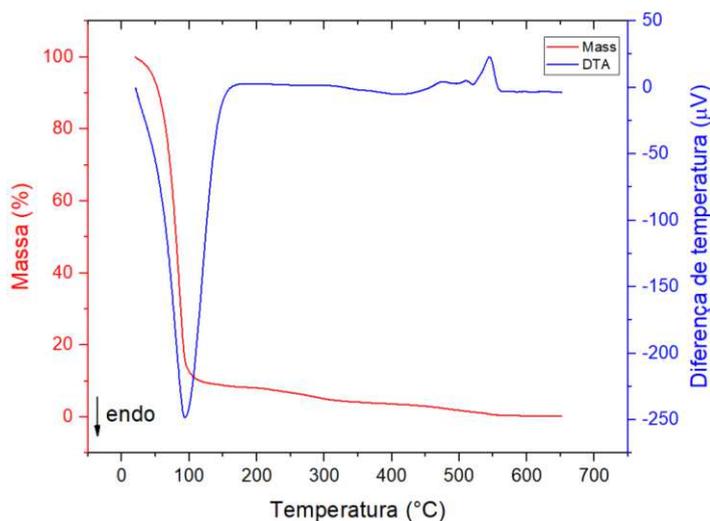


Figura 30 – Curvas TG e DTA da amostra de manipueira da Casa de Farinha de Jenipapo obtidas a taxa de aquecimento de 10 °C/min, em cadinho de alumina, com fluxo de 100 mL/min de N₂.

Analisando a curva TG com o aplicativo computacional, foram identificadas duas etapas principais de perda de massa ao longo do ensaio simultâneo, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados de decomposição térmica da amostra de manipueira da Casa de Farinha de Jenipapo com base na análise da curva TG obtida sob atmosfera dinâmica de N₂ a 100 mL/min a taxa de aquecimento de 10 °C/min.

Etapa de perda	m _i (mg)	T _i (°C)	T _p (°C)	T _f (°C)	m _f (mg)	Perda de massa	
						(%)	(mg)
1 ^a	10,931	21	92	138	0,996	90,888	9,935
2 ^a	0,996	138	569	651	0,020	8,929	0,976
					Σ=	99,817	10,911

Legenda: Σ → somatório das perdas.

A análise dos dados apresentados na Tabela 9 demonstra um comportamento comum de amostras de materiais de natureza orgânica submetidos ao aquecimento, apresentando, estes, geralmente, duas perdas de massa mais definidas.

Os valores notados das temperaturas inicial, de pico e final das etapas de perda, analisando, de um modo geral, a degradação térmica da amostra de manipueira da Casa de Farinha de Jenipapo, permitem entender: a primeira e predominantemente maior perda no experimento com a manipueira utilizada ocorreu entre 22 e 138 °C, com pico em 91,66 °C; a segunda e última perda em sequência de temperatura e em massa aconteceu na faixa de 138 a 651 °C, sendo o pico em 569 °C.

Prontamente se constata, a partir da faixa da perda de massa inicial e seu respectivo pico, que os 90,888% perdidos pela amostra são atribuídos à volatilização de água, corroborando com a afirmação de Silveira (2013) e de Moura et al. (2018) sobre o alto teor de água na manipueira, que afirmaram que a manipueira tem 98,20% de umidade em sua composição. Aponta-se, desta forma, que esse valor corresponde ao teor de água presente na amostra de manipueira submetida ao ensaio.

O segundo e último evento de perda de massa (8,929%) pode ser associado à queima do material orgânico, porque na faixa em que acontece se encaixam as temperaturas de ignição ou de degradação térmica de elementos de natureza orgânica, o que é sabidamente encontrado, conforme comprovado nas análises, no efluente da prensagem da mandioca, correspondendo aos sólidos presentes na amostra.

A curva DTA apresentou comportamento distinto nas faixas de temperatura de cada perda de massa identificada na TG. A Tabela 10 exhibe resumidamente os resultados da apreciação da curva DTA.

Tabela 10 – Dados obtidos com a análise da curva DTA da amostra de manipueira da Casa de Farinha de Jenipapo obtida sob atmosfera dinâmica de N₂ a 100 mL/min a taxa de aquecimento de 10 °C/min.

Amostra	Picos característicos de reações			
	1		2	
	T _p (°C)	Energia (μV)	T _p (°C)	Energia (μV)
Manipueira	94↓	-223,30	545↑	34,21

Legenda: ↓ → endotérmico; ↑ → exotérmico.

A análise da curva DTA mostra o primeiro pico endotérmico no intervalo de temperatura da perda de massa ligada à volatilização de solventes e, com a temperatura de pico em um média de 94 °C, o evento térmico fica definido como desidratação da amostra de manipueira, confirmando, este, como um fenômeno caracteristicamente endotérmico. Silva (2011) afirmou com propriedade que a água é a base da manipueira.

O segundo e último pico, a 545 °C, é exotérmico e se enquadra em um intervalo de temperatura característico da decomposição térmica de matéria orgânica, caracterizando evento chamado de “degradação oxidativa”, corroborando com resultados de Silva (2011) e Beninca et al. (2013).

4.2 Corpos de prova pequenos

Corpos de provas menores, apresentados na Figura 31, foram confeccionados para prévia avaliação, com base nas propriedades tecnológicas, da viabilidade de desenvolvimento dos tijolos ecológicos constituídos de solo e manipueira.



Figura 31 – Pequenos corpos de prova.

É válido destacar que a qualidade das peças pode não ser reproduzida em tijolos de tamanho usual, já que a variação de tamanho e geometria pode, claramente, afetar nas propriedades das peças (Morel et al., 2007).

4.2.1 Variações dimensionais e mássicas

Os corpos de prova pequenos foram analisados, inicialmente, quanto às variações dimensional e mássica.

A Tabela 11 apresenta os resultados das pesagens e medições dimensionais realizadas com os corpos de prova, com os valores resultantes de área e as porcentagens das variações após 7 dias.

Tabela 11 – Variações dimensionais e mássicas de pequenos corpos de prova de solo e manipueira.

Idade (dias)	Massa (g)	Dimensões (mm)			Área total (mm ²)
		L	b	h	
0	10,19±0,77	49,985±0,085	15,12±0,05	6,45±0,53	755,82±3,03
7	9,836±1,48	49,720±0,085	15,069±0,05	6,436±0,529	749,26±3,75

Verificando os dados da Tabela 12, é possível identificar uma variação de 6,81% na massa, sendo negativa (perda), o que é um fenômeno comum quando se trata da cura de materiais cerâmicos.

No tocante às dimensões dos corpos de prova, as variações também são negativas, ou seja, de pequena retração, pois em, comprimento, largura e altura, respectivamente, se diminuiu, em média, 0,053, 0,04 e 0,021%, sendo a área diminuída em 0,092%. Os valores de retração se devem as condições de boa homogeneidade da massa e de granulometria adequada, que favorecem maior o empacotamento das partículas.

4.2.2 Absorção de água

Os corpos de prova não apresentaram resistência à água para possível medição da porosidade aparente a partir da massa de água absorvida.

A constatação supracitada não era tão imprevisível por conta da natureza dos componentes da massa: o solo que, naturalmente, tem seu teor de matéria orgânica, e a manipueira que é de natureza orgânica, permitindo então que estes interajam de forma química e/ou física com a água em contato. É claro que esta característica, isoladamente, não inviabiliza o uso da peça, mas exige estudos sobre aplicações que não tenham contato com umidade ou tratamento com algum aditivo impermeabilizante.

4.2.3 Resistência mecânica

A resistência dos corpos de prova prensados a 20 MPa (pressão de prensagem) foi experimentada pelo método de flexão de três pontos e os resultados foram satisfatórios, pois foram obtidos valores de $3,41 \pm 0,73$ MPa, bem superiores ao que exige a norma técnica de ABNT (2012). Este resultado dá suporte a afirmação de que peças cerâmicas podem ser fabricadas com a incorporação da manipueira, quando a utilização destas apresentar como exigência isolada a resistência mecânica em torno da mínima exigida para tijolos convencionais e solo-cimento.

4.3 Tijolos ecológicos conformados em prensa mecânica

Os tijolos ecológicos foram fabricados na prensa mecânica em várias composições foram estudados, em termos de suas propriedades tecnológicas, como exige a NBR 10.833/12 da ABNT.

Inicialmente, foram conformadas peças nas mesmas composições utilizadas nos pequenos corpos de prova na tentativa de reprodução das características que estas apresentaram, porém, o resultado foi insatisfatório, já que, com a massa constituída apenas com o solo argiloso e a manipueira, fissuras apareceram durante a cura/secagem das peças (Figura 32), que se entende como o caminho da eliminação da umidade.



Figura 32 – Tijolos constituídos solo argiloso e manipueira conformados em prensa mecânica.

Continuamente, foram produzidos tijolos com adição de areia para estabilização da massa constituída de solo argiloso e manipueira e as peças apresentaram bom comportamento durante a cura, baixa retração, bem como bom acabamento, conforme mostradas na Figura 33.



Figura 33 – Tijolos produzidos na prensa mecânica com a composição A2.

4.3.1 Variações dimensionais e mássicas

Foram avaliadas as variações das quantidades de massa e das dimensões características dos tijolos ecológicos pós-prensagem, com 7 dias e com 28 dias de cura. A variação de composições foi fundamental para definição da melhor entre as inúmeras possibilidades colocadas para pesquisa.

A Tabela 12 apresenta resultados obtidos para tijolos constituídos solo, areia e manipueira e conformados na prensa mecânica, com detalhamento dos dados registrado no Apêndice.

Tabela 12 – Variações dimensionais e mássicas de tijolos de solo e manipueira produzidos com prensa mecânica.

Cura (dias)	Massa (kg)	Dimensões (m)				Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h	furo		
A2 - 90% de solo e 10% de areia + 12% de manipueira							
0	1,354±0,051	0,196	0,099±0,001	0,034	0,050	0,019	76,895±0,49
7	1,232±0,042	0,195	0,099±0,001	0,033	0,050±0,001	0,019	75,816±0,099
28	1,221±0,041	0,195±0,001	0,099±0,001	0,034	0,050	0,019	75,475±0,243
B2 - 80% de solo e 20% de areia + 12% de manipueira							
0	1,422±0,043	0,196	0,099±0,001	0,034	0,050	0,019	76,895±0,49
7	1,308±0,038	0,195±0,001	0,099±0,001	0,037±0,001	0,049±0,001	0,019	77,316±0,352
28	1,289±0,038	0,194	0,099±0,001	0,036	0,049±0,001	0,019	77,069±0,104
C2 - 70% de solo e 30% de areia + 12% de manipueira							
0	1,366±0,099	0,196	0,099±0,001	0,034±0,001	0,050	0,019	76,895±0,49
7	1,234±0,091	0,195	0,097	0,035	0,050±0,001	0,019	75,329±0,389
28	1,224±0,088	0,195±0,001	0,097±0,001	0,035±0,001	0,049	0,019	74,990±0,727
C2 - 50% de solo e 50% de areia + 12% de manipueira							
0	1,347±0,013	0,198	0,100	0,031±0,001	0,050	0,020	79,365
7	1,237±0,011	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
28	1,228±0,010	0,197±0,001	0,100±0,001	0,030	0,050	0,020	78,125
E2 - 50% de solo e 50% de areia + 15% de manipueira							
0	1,300±0,044	0,196	0,100±0,001	0,032±0,001	0,050	0,020	77,875±0,49
7	1,171±0,043	0,195	0,099±0,001	0,031±0,001	0,050±0,001	0,019	76,791±0,099
28	1,162±0,041	0,195	0,099±0,001	0,030	0,049	0,019	77,180±0,488

Os tijolos com a composição A2 tiveram uma perda de massa de 9,135% após 7 dias de cura e de 1,167% ao completarem os 28 dias, somando um total de 10,302% de redução de peso, em média. Em termos dimensionais as maiores variações, em geral, foram na altura dos

tijolos, média de 2,941%, seguidas por variações na largura e no comprimento, respectivamente, de 1,275% e 0,638%. A área útil dos tijolos variou, então, 1,377%.

A composição B2 resultou em tijolos que tiveram uma perda de massa de 7,993% após 7 dias de cura e de 1,251% ao completarem os 28 dias, somando um total de 9,244% de redução de peso, em média. Em aspectos dimensionais as maiores variações, em geral, foram na altura dos tijolos, média de 5,928%, seguidas por variações no comprimento e na largura, respectivamente, de 1,022% e 0,001%. A área útil dos tijolos variou, então, 0,231%.

Para a composição C2 os tijolos tiveram uma perda de massa de 9,785% após 7 dias de cura e de 0,787% ao passarem os 28 dias, somando um total de 10,572% de redução de peso, em média. Em termos dimensionais as maiores variações, em geral, foram na altura dos tijolos, média de 2,227%, seguidas por variações na largura e no comprimento, respectivamente, de 1,530% e 0,638%. A área útil dos tijolos variou, então, 1,696%.

Os tijolos confeccionados com a composição D2 tiveram uma perda de massa de 8,163% após 7 dias de cura e de 0,707% ao passarem os 28 dias, somando um total de 8,870% de redução de peso, em média. Em termos dimensionais as maiores variações, em geral, foram na altura dos tijolos, média de 3,226%, seguidas por variações no comprimento e na largura, respectivamente, de 0,632% e 0,250%. A área útil dos tijolos variou, desta forma, 1,101%.

Os tijolos com massa na composição E2 tiveram uma perda de massa de 10,042% após 7 dias de cura e de 0,723% ao passarem os 28 dias, somando um total de 10,765% de redução de peso, em média. Em termos dimensionais as maiores variações, em geral, foram na altura dos tijolos, média de 4,026%, seguidas por variações na largura e no comprimento, respectivamente, de 1,259% e 0,510%. A área útil dos tijolos nessa composição variou, assim, 1,206%.

A Figura 34, então, mostra o gráfico da evolução da cura e respectivas variações no peso e na área dos tijolos nas diferentes composições com solo, areia e manipueira utilizadas nesta fase da pesquisa.

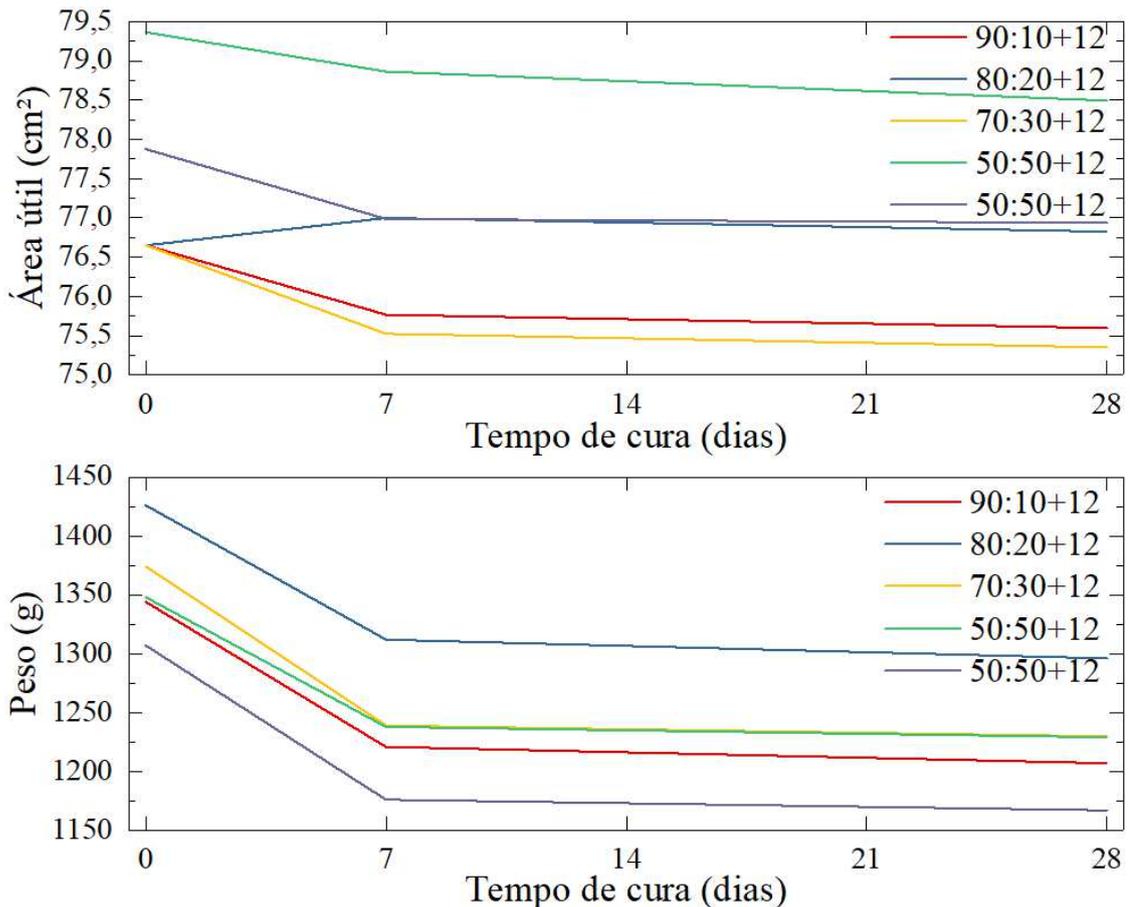


Figura 34 – Variações mássicas e dimensionais de tijolos produzidos com prensa mecânica.

Para o conjunto de tijolos produzidos a diferentes composições, a variação do peso foi de 9,95%, sendo a maior para o tijolo com maiores teores de areia e manípueira, da composição 5, e a menor para o tijolo também com 50% de areia, mas com 12% de manípueira. A perda de massa dos tijolos foi maior durante os 7 primeiros dias de cura, com uma média de 90,68% nesse período.

Em relação à área útil, vista como retraída após a cura, esta variou, numa média entre todas as composições, 1,122%, sendo a maior retração visualizada na composição com 80% de solo, 20% de areia e 12% de manípueira, e a menor com 50% de solo, 50% de areia e 12% de manípueira, aquela de maior perda de massa, porém essa condição de menor retração deve ser associada ao maior teor de areia e maiores forças exercidas pelas partículas conformadas.

Portanto, as variações negativas dos valores da massa e da área permitem a afirmação de que essas se deram pela perda de umidade do material, sendo, essa, natural do solo e da manípueira que é, predominantemente, constituída de água, bem como de outros solventes orgânicos.

4.3.2 Absorção de água

Nenhum tijolo entre os corpos produzidos com as diferentes composições e curados em diferentes períodos apresentou resistência a água, sendo desmanchado nos recipientes. O não atendimento dessa condição imposta pela NBR 10834/12 para utilização de tijolos ecológicos em alvenarias, na construção civil, mostrou a necessidade de alterações na fabricação ou de indicação de outra finalidade para os blocos produzidos (ABNT, 2012).

A característica de não resistência ao contato com água para os tijolos produzidos é de fácil entendimento pelos fatos de serem peças não sinterizadas e com elevado teor de matéria orgânica na composição da massa, sendo essa característica corroborada pelos resultados e conclusões de pesquisas de Ukwatta e Mohajerani (2017), que quando estudaram a produção de tijolos com incorporação de biossólidos – resíduos com carga orgânica – na massa destes, porém com queima, obtiveram a melhoria das propriedades tecnológicas, e de Masuka et al. (2018), que indica a utilização de estabilizantes que provocam efeito positivo no que diz respeito à absorção de água, como cal e/ou cimento, o que já haviam dito Nagaraj et al. (2014), Maskell et al. (2015) e Alam et al. (2015), com reforço de que o cimento é o melhor estabilizante, afirmação garantida por Fadele e Ata (2018).

No sentido da absorção de água, a inserção de área na massa, que favorece o aparecimento de vazios e aumenta a porosidade das peças pelo menor empacotamento, portanto, é um agravante da irresistência à água. Indica-se, por esta condição, a utilização de elementos estabilizantes e que ofereçam resistência a água às peças.

4.3.3 Resistência à compressão

Os tijolos ecológicos de solo e manipueira, produzidos por prensagem mecanizada, foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão simples, tendo sido os resultados obtidos em termos de carga suportada até o rompimento, expressos em quilograma-força (kgf), e, desse modo, com base na área útil dos tijolos (aquela em que a carga foi aplicada), calculada a resistência em MPa.

A Tabela 13 sintetiza os resultados dos testes de resistência feitos com tijolos constituídos de solo e manipueira em diferentes composições, com diferentes tempos de cura (7 e com 28 dias).

Tabela 13 – Resistência a compressão simples de tijolos de solo e manipueira.

Cura (dias)	Área útil (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
A2 - 90% de solo e 10% de areia + 12% de manipueira			
7	75,767	737,502±42,497	0,955±0,055
28	75,596	885,793±50,675	1,149±0,066
B2 - 80% de solo e 20% de areia + 12% de manipueira			
7	77,001	415,254±65,566	0,529±0,083
28	76,826	566,057±34,968	0,722±0,045
C2 - 70% de solo e 30% de areia + 12% de manipueira			
7	75,523	663,314±18,577	0,861±0,024
28	75,353	748,551±38,247	0,974±0,049
D2 - 50% de solo e 50% de areia + 12% de manipueira			
7	78,865	649,108±150,803	0,807±0,187
28	78,494	781,334±27,319	0,976±0,034
E2 - 50% de solo e 50% de areia + 15% de manipueira			
7	76,986	524,532±21,855	0,668±0,028
28	76,936	576,985±13,113	0,735±0,017

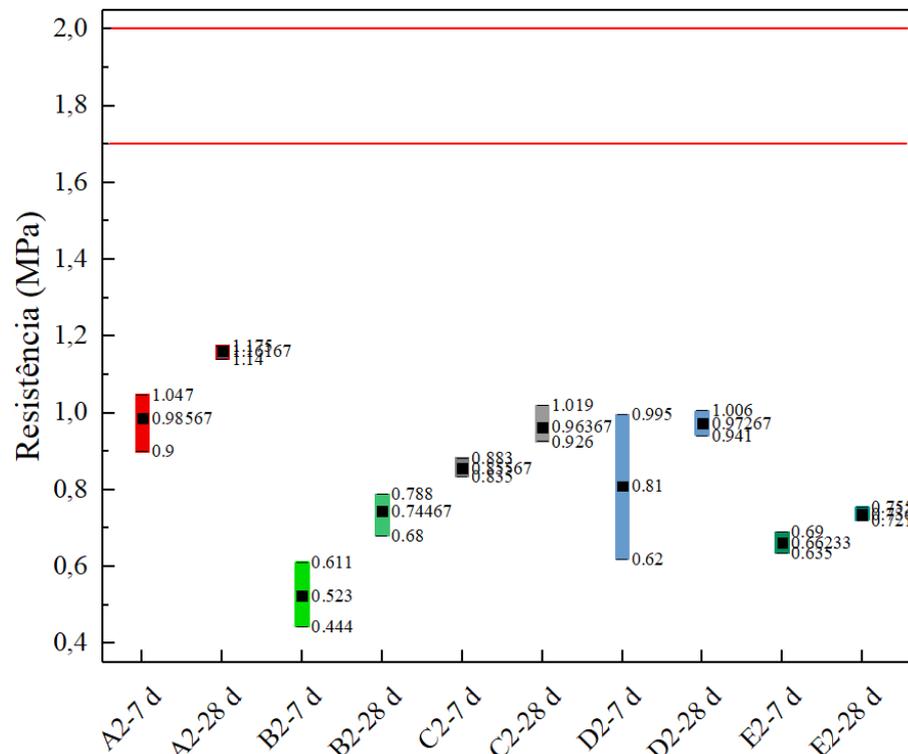


Figura 35 – Dados de resistência de tijolos ecológicos prensados mecanicamente.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 14 e resumidos na Figura 35, em nenhuma das composições os tijolos apresentaram a resistência à compressão exigida na NBR 10.834/12, tendo as resistências variando, em média, na faixa de 0,446 a 1,215 MPa, quando o mínimo deveria ser 1,7 MPa, para uma peça isoladamente, e 2,0 MPa, em média, para o lote

em questão. Diversos trabalhos realizados para fabricação de tijolos ecológicos propriamente ditos, ou seja, sem queima e/ou com a incorporação de resíduos, tiveram resultados semelhantes, no caso, insatisfatórios quanto as propriedades tecnológicas exigidas pelas normas técnicas, não sendo isto uma regra, já que vários também conseguiram valores de resistência consideravelmente altos, com tecnologias dessa linha (Monteiro e Vieira, 2014; Murmu e Patel, 2018).

Observando criticamente os resultados ainda da Figura 30, verifica-se que para todas as composições a resistência aumentou com o tempo de cura, em uma porcentagem média de 20,76%, sendo, para as 5 composições, os aumentos de 17,75%, 42,26%, 12,62%, 20% e 11,18%, na ordem em que foram apresentadas.

A maior resistência a compressão obtida foi para a composição A2, com 90% de solo, 10% de areia e 12% de manipueira, tendo o rompimento a 7 dias superado todas as resistências obtidas para as demais composições com a cura a 28 dias. A menor, por sua vez, após 7 dias foi para composição B2 (80% de solo, 20% de areia e 12% de manipueira) e após 28 dias foi para composição E2 (50% de solo, 50% de areia e 15% de manipueira).

Estes resultados acima apresentados mostram que o teor de areia utilizado permitiu estabilizar a massa quanto a retração e o aparecimento de fissuras, como ocorrido para massas sem areia, porém esta fração de areia tem, certamente, influência na resistência mecânica, já que suas partículas influenciam na compactação e favorecem o aumento da porosidade das peças.

4.4 Tijolos ecológicos conformados em prensa hidráulica

Os tijolos ecológicos fabricados em várias composições foram estudados, em termos de suas propriedades tecnológicas, como exige a NBR 10.833/12 da ABNT.

Foram estudadas as mesmas composições testadas com a prensa mecânica, exceto a que teve a incorporação de 15% de manipueira na mistura da massa, nomeadas nessa fase de A3, B3, C3 e D3, conforme tabela com planejamento de experimentos. As peças apresentaram bom comportamento durante a cura, bem como bom acabamento (Figura 35).



Figura 36 – Tijolos produzidos na prensa hidráulica, com câmara dividida no centro, com massa constituída de solo argiloso, areia e manipueira.

É válido o destaque para o surgimento de fungos durante a secagem da peça cerâmica a temperatura ambiente e em local coberto, conforme vê-se na Figura 37, já que esta pode ter influência no ambiente de uso das peças.



Figura 37 – Tijolos em cura com camada de fungos de cor esbranquiçada.

A condição apresentada na Figura 37, certamente decorrente da umidade e da carga orgânica da manipueira, mostra que esses tijolos ecológicos devem receber tratamento, após sua produção, com vistas a eliminação destes e de outros eventuais seres não visíveis a olho nu que se encontrem nas peças.

4.4.1 Variações dimensionais e mássicas

Foram analisadas as diferenças dos tijolos ecológicos em termos de massa e das dimensões características pós-prensagem e até o 7º dia de cura. A diferença de composições foi fundamental para indicação da melhor entre as inúmeras possibilidades.

A Tabela 14 apresenta resultados obtidos para tijolos constituídos solo, areia e manipueira conformados na prensa hidráulica.

Tabela 14 – Variações de físicas em tijolos de solo e manipueira conformados na prensa hidráulica.

Cura (dias)	Massa (kg)	Dimensões (m)				Área (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h	furo		
A3 - 90 % de solo e 10 % de areia + 12 % de manipueira							
0	2,686±0,036	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
7	2,490±0,041	0,244	0,123	0,058	0,060	0,030	122,708±0,308
B3 - 80 % de solo e 20 % de areia + 12 % de manipueira							
0	2,744±0,048	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
7	2,540±0,047	0,246	0,122	0,058	0,060	0,030	122,401±0,615
C3 - 70 % de solo e 30 % de areia + 12 % de manipueira							
0	2,622±0,013	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
7	2,420±0,012	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,708±0,308
D3 - 50 % de solo e 50 % de areia + 12 % de manipueira							
0	2,637±0,036	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
7	2,431±0,039	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,708±0,308

Para a primeira composição estudada (A3), os tijolos tiveram uma perda de massa de 5,240% após 4 dias de cura e de 2,036% ao completarem os 7 dias, somando um total de 7,276% de redução de peso, em média. Em termos dimensionais as maiores variações, em geral, foram na altura dos tijolos, média de 3,372%, seguidas por variações no comprimento e na largura, respectivamente, de 1,914% e 1,610%. A área útil dos tijolos variou, então, 4,311%.

Os tijolos resultantes da prensagem da massa com a segunda composição estudada (80% de solo + 20% de areia e 12% de manipueira) tiveram uma perda de massa de 5,136% após 4 dias de cura e de 1,997% ao completarem os 7 dias, somando um total de 7,133% de redução de peso, em média. Em aspectos dimensionais as maiores variações, em geral, foram na altura dos tijolos, média de 3,378%, seguidas por variações no comprimento e na largura, respectivamente, de 1,610% e 1,609%. A área útil dos tijolos variou, dessa forma, em até 3,934%.

Os tijolos confeccionados com a terceira composição avaliada (70% de solo + 30% de areia e 12% de manipueira) os tijolos tiveram uma perda de massa de 5,85% após 4 dias de cura e de 2,11% ao passarem os 7 dias, somando um total de 7,96% de redução de peso, em média. Em termos dimensionais as maiores variações, em geral, foram na altura dos tijolos, média de 3,372%, seguidas por variações no comprimento e na largura, respectivamente, de 1,914% e 1,61%. A área útil dos tijolos variou, assim, 4,31%.

Para a quarta composição estudada (50% de solo + 50% de areia e 12% de manipueira) os tijolos tiveram uma perda de massa de 5,44% após 4 dias de cura e de 2,315% ao passarem os 7 dias, somando um total de 7,754% de redução de peso, em média. Em termos dimensionais as maiores variações, em geral, foram na altura dos tijolos, média de 3,371%, seguidas por variações no comprimento e na largura, respectivamente, de 1,914% e 1,609%. A área útil dos tijolos variou, desta forma, 4,309%.

A Figura 38 mostra o gráfico da evolução da cura e respectivas variações no peso e na área dos tijolos nas diferentes composições utilizadas.

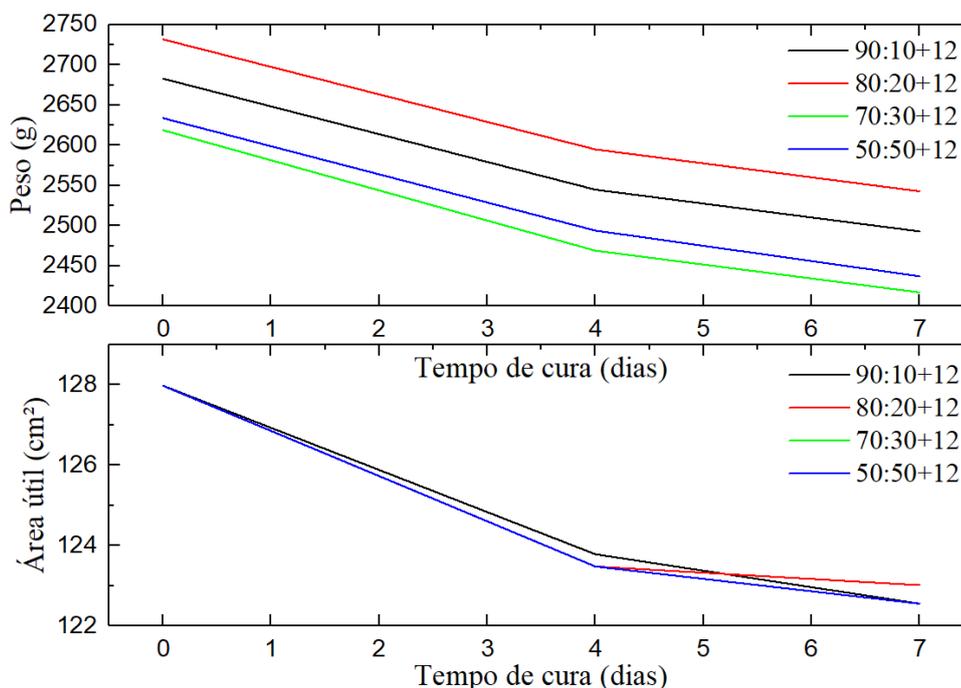


Figura 38 – Variações mássicas e dimensionais de tijolos de solo e manipueira.

Para o conjunto de tijolos produzidos a diferentes composições na prensa hidráulica, a variação do peso foi de 7,531%, sendo a maior para o tijolo com 70% de solo argiloso e 30% de areia mais 12% de manipueira, da composição 3, e a menor para o tijolo com a composição 2, onde a proporção é de 80% de solo e 20% de areia, com a mesma quantidade de manipueira

das demais composições. A perda de massa dos tijolos foi, predominantemente, durante os 7 primeiros dias de cura, com uma média de 90,68% nessa fase.

Em relação à área útil, vista como retraída após a cura, esta variou, numa média entre todas as composições, 1,122%, sendo a maior retração visualizada na composição com 80% de solo, 20% de areia e 12% de manipueira, e a menor com 50% de solo, 50% de areia e 12% de manipueira, aquela de maior perda de massa, porém essa condição de menor retração deve ser associada ao maior teor de areia na massa e, assim, às maiores forças exercidas pelas partículas conformadas.

Portanto, as variações negativas dos valores da massa e da área permitem a afirmação de que estas se deram pela perda de umidade do material, sendo, essa, natural do solo e da manipueira que é, predominantemente, constituída de água, bem como de outros solventes orgânicos.

4.4.2 Absorção de água

Os corpos produzidos na prensa hidráulica com as diferentes composições e curados em diferentes tempos não apresentaram resistência a água, tendo se desmanchado nos recipientes, assim como os prensados na prensa mecânica. Desse modo, estas peças não atendem a uma das condições impostas pela ABNT para utilização de tijolos solo-cimento, parâmetro para estas peças, em alvenarias, na construção civil.

Peças cerâmicas sem queima e constituídas apenas de solo e algum líquido predominantemente orgânico, como é este caso, não deverá, sem que haja algum tratamento específico na massa, como a estabilização química, ou na peça, como um tratamento mecânico, apresentar resistência quando imersa em água (Ukwatta e Mohajerani, 2017; Masuka et al., 2018; Fadele e Ata, 2018).

4.4.3 Resistência à compressão

Os tijolos produzidos por prensagem em forma de tijolos ecológicos aplicando cargas manualmente foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão, tendo sido os resultados obtidos em termos de carga suportada até o rompimento, expressos em quilograma-força (kgf), e, desse modo, com base na área útil dos tijolos, calculada a resistência em MPa.

A Tabela 15 apresenta todos os resultados dos testes de resistência feitos com tijolos produzidos com solo e manipueira em diferentes composições e com diferentes tempos de cura.

Tabela 15 – Resistências a compressão de tijolos de solo e manipueira fabricados em prensa hidráulica.

Cura (dias)	Teste de 7 dias		
	Área útil (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
A3 - 90% de solo e 10% de areia + 12% de manipueira			
7	120,566	1142,11±223,21	0,929±0,182
B3 - 80% de solo e 20% de areia + 12% de manipueira			
7	121,786	897,690±180,950	0,723±0,146
C3 - 70% de solo e 30% de areia + 12% de manipueira			
7	120,566	646,038±21,187	0,525±0,017
D3 - 50% de solo e 50% de areia + 12% de manipueira			
7	120,566	585,373±40,645	0,471±0,033

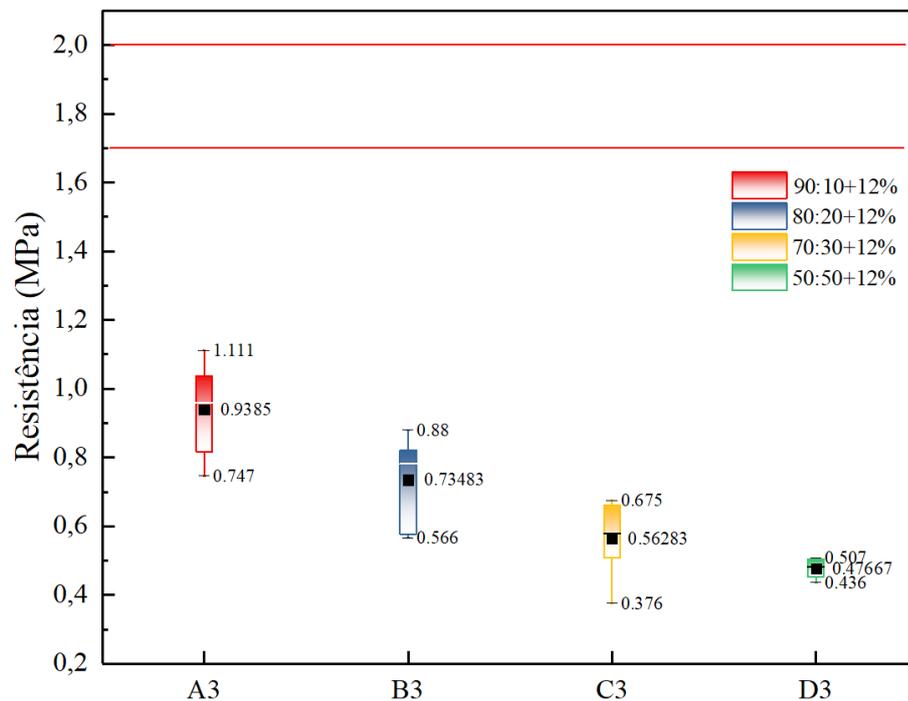


Figura 39 – Resistências de tijolos ecológicos de solo e manipueira fabricados em prensa hidráulica.

Com a análise dos resultados apresentados na Tabela 15 e resumidos na Figura 39, em nenhuma das composições os tijolos apresentaram a resistência à compressão exigida na NBR 10.834/82, tendo as resistências variando, em média, na faixa de 0,523 a 1,111 MPa, quando o mínimo deveria ser 1,7 MPa individualmente e 2,0 MPa em média.

Observando criticamente os resultados ainda da Figura 30, verifica-se que para todas as composições a resistência aumentou com o tempo de cura, em uma porcentagem média de 20,76%, sendo, para as 5 composições, os aumentos de 17,75, 42,26, 12,62, 20 e 11,18, na ordem em que foram apresentadas.

A maior resistência obtida foi para a composição com 90% de solo, 10% de areia e 12% de manipueira, tendo o rompimento a 7 dias superado todas as resistências obtidas para as demais composições com a cura a 28 dias. A menor, por sua vez, após 7 dias foi para composição 2 (80% de solo, 20% de areia e 12% de manipueira) e após 28 dias foi para composição 5 (50% de solo, 50% de areia e 15% de manipueira).

4.5 Síntese da tecnologia

A confecção de tijolos ecológicos constituídos de solos provenientes de jazidas sedimentares e efluente de um processo agroindustrial é uma proposta que pode ser entendida como simples, porém há que se discutir, em termos técnicos, diversas variáveis tecnológicas, ambientais, econômicas

Não existiam, até então, pesquisas com resultados publicados acerca da temática levantada por este trabalho e, do ponto de vista tecnológico, esta surgiu com vários desafios, a partir da necessidade do desenvolvimento de uma tecnologia de produção de um material para uso da engenharia civil que, por ser novo, logicamente, teve que adaptar-se a exigências firmadas em normas técnicas para aqueles materiais que mais se aproximam destes. A ABNT dá, em uma série de normas, com muitas destas possuindo versões já atualizadas, as especificações técnicas para as matérias primas, o processo produtivo e o produto denominado “tijolos solo-cimento”. Foram seguidas as orientações normativas nesta pesquisa, adaptando, claro, para uma situação onde o solo foi a base da massa, o cimento não foi usado e a água foi substituída pela manipueira, tendo sido utilizados todos os equipamentos necessários para produção de um tijolo solo-cimento. Desse modo, destaca-se que os três solos coletados e trabalhados na pesquisa atenderam a todos requisitos postos para uso na confecção de um tijolo solo-cimento, porém o produto final não. Há que se refletir, então, sobre o parâmetro ser uma peça com uso de cimento, produto que em qualquer situação oferecerá aumento na resistência mecânica e resistência à água, apresentando capacidade de absorção por parte das peças produzidas.

O solo será sempre e inevitavelmente explorado como fonte de matéria-prima da indústria cerâmica. Logo, o fator ambiental determinante nesse seguimento é a possibilidade de

substituição da água, insumo que se caracteriza como gargalo, principalmente em regiões semiáridas e em países como o Brasil, onde a gestão de recursos hídricos é tratada com certo desprezo, na massa constituinte das peças cerâmicas. A manipueira, que pode ser definida na forma de efluente agroindustrial, resíduo líquido ou águas residuárias, é comumente descartada no meio ambiente, sobre o solo ou em corpos aquáticos, sem a observação de sua característica poluente, já que é ácida, tóxica, tem elevada concentração de sólidos e, na natureza, emite gases durante a decomposição, vide detalhada caracterização físico-química realizada, foi posta como substituta da água e os resultados apontaram para a viabilidade, trazendo, então, benefícios ambientais como: dispensa do uso da água, gerando economia desse recurso escasso e desvio de poluentes do meio ambiente.

Dependendo da escala produtiva, da finalidade e da fonte, a variável econômica para a produção de elementos cerâmicos é caracterizada pelos custos de extração e logística, tanto da matéria-prima e dos insumos, quanto dos produtos, e pelos gastos com energia e mão de obra para operacionalização do processo. Os tijolos de solo e manipueira são propostos para uso em construções de pequeno porte, utilizando solo e a manipueira das fontes mais próximas possíveis, principalmente o solo, por ser a base da massa, e produzindo as peças in loco, assim, economizando pela dispensa da logística, da água e da energia.

A pesquisa, então, partiu de uma proposta que, por tudo que se discutiu, resultaria, inevitavelmente, em benefícios sociais, pois visou preservar o meio ambiente, dar possibilidade a pessoas com menor poder aquisitivo e desenvolver nova tecnologia na engenharia de materiais.

Foi desenvolvida a tecnologia social de produção de tijolos ecológicos de solo e manipueira, uma a mais em um vasto leque que se tem conhecimento, com afirmação de que deve ser aprimorada em relação à preparação da massa, da utilização dos tipos de prensa disponíveis para produção e do tratamento das peças produzidas, assim, certamente, se produzirá o tijolo com as características exigidas.

Os tijolos produzidos tem propriedades físico-mecânicas melhores que muitas peças comercializadas em grande escala no mercado brasileiro e utilizadas em grandes obras país afora.

5 CONCLUSÃO

Foram realizados estudos para caracterização das matérias primas coletadas e utilizadas, dos corpos de prova em escala reduzida e dos tijolos ecológicos produzidos.

As amostras de solos das jazidas de Barra de São Miguel, Juazeirinho e Santa Cecília apresentaram, em comum, suas composições, com a predominância de sílica, alumina e hematita, perfazendo cerca de 90% de cada, a plasticidade, como mediamente plásticos, e a granulometria, na faixa de “siltos-argilosos”, com variações no comportamento térmico. Estas atenderam aos requisitos da norma que trata de solos para produção de tijolos por prensagem.

A manipueira da casa de farinha de Jenipapo é ácida, tem condutividade elétrica na mesma faixa que alguns condutores elétricos, peso específico próximo ao da água, alta concentração de sólidos e DBO alta, porém é predominantemente constituída de água.

A viabilidade de produção dos tijolos ecológicos se baseou na produção de pequenos corpos de prova que, testados, apresentaram média de resistência superior à mínima exigida pela norma técnica, baixíssima retração linear, falhando apenas na resistência à água, quando imersos para os testes de absorção.

Os tijolos produzidos na prensa mecânica apresentaram baixa retração quando adicionada areia, tendo sido proporcional à perda de massa durante a cura, e resistência mecânica em torno de 1 MPa, bem abaixo da mínima exigida pela NBR 10834/12, tendo sido a maior para o maior teor do solo argiloso, e fragilidade em contato com água.

Os tijolos fabricados na prensa hidráulica não apresentaram propriedades tecnológicas tão diferentes dos que resultaram da prensagem mecânica, pois também não resistiram à imersão em água e não atingiram a resistência mínima exigida pela NBR 10834/12.

Os resultados obtidos mostraram que as matérias-primas atenderam às especificações técnicas exigidas para utilização em tijolos do tipo “tijolo solo-cimento”, enquanto as peças produzidas não atenderam, contudo, por si só, este fator não é capaz de oferecer suporte para condenação dos tijolos ecológicos constituídos de solo e manipueira como “sem aplicabilidade”, pois deve-se considerar: a aplicação de revestimentos ou impermeabilizantes, para proteção contra a umidade, a utilização de aditivos à massa para conferir maior resistência e a utilização para fins que exijam menores resistências.

De cunho socioambiental, a pesquisa provou a viabilidade do uso da manipueira em substituição a água na produção de peças cerâmicas sem queima, oferecendo destinação adequada para este resíduo líquido, bem como a possibilidade de implantação de uma tecnologia social que beneficie comunidades existentes em territórios do semiárido brasileiro.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Avaliar as eventuais diferenças nas propriedades tecnológicas de tijolos ecológicos de solo e manipueira produzidos com diferentes cargas de prensagem;
- Analisar a viabilidade técnica de incorporação de resíduos sólidos gerados nas casas de farinha de mandioca, como as cinzas dos fornos e a casca da mandioca, na massa de tijolos ecológicos;
- Realizar estudo de produção de tijolos ecológicos com solo, manipueira e estabilizantes industrializados como cal e/ou cimento
- Investigar o efeito da granulometria da massa nas propriedades tecnológicas do tijolo de solo e manipueira;
- Pesquisar a influência da idade da manipueira nas propriedades tecnológicas do tijolo de solo e manipueira;
- Examinar as interações químicas ocorridas na mistura solo e manipueira; e
- Estudar a viabilidade técnica de produção de outras peças cerâmicas com a massa constituída de solo e manipueira.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 10832 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual**. 2012.
- ABNT. **NBR 10833 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento**. 2012.
- ABNT. **NBR 10834 – Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos**. 2012.
- ABNT. **NBR 10835 – Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões**. 2012.
- ABNT. **NBR 10836 – Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água**. 2012.
- ABNT. **NBR 13600 – Solo – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440 °C**. 1996.
- ABNT. **NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento**. 2012.
- ABNT. **NBR 8492 – Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio**. 2012.
- ABRACEM. Cerâmica no Brasil - considerações gerais. 2015. Disponível em <<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=2>>.
- ADAZABRA, A. N.; VIRUTHAGIRI, G.; RAVISANKAR, R. Cleaner production in the Shea industry via the recovery of Spent Shea Waste for reuse in the construction sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 122, p. 335-344, 2016.
- AHMARI, S.; ZHANG, L. Production of eco-friendly bricks from copper mine tailings through geopolymerization. **Construction and Building Materials**, Arizona, n. 29, p. 323 - 331, 2012.
- ALAM, I.; NASEER, A.; SHAH, A. A. Economical stabilization of clay for earth buildings construction in rainy and flood prone áreas. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 154-159, 2015.
- ALONSO-SANTURDE, R.; COZ, A.; VIGURI, J. R.; ANDRÉS, A. Recycling of foundry by-products in the ceramic industry: Green and core sand in clay bricks. **Construction and Building Materials**, Arizona, n. 27, p. 97 - 106, 2012.
- ANDRÉ, T. B.; SANTOS, A. C. Uso de produtos da cultura da mandioca (Manihot) na produção animal. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.8, n.15, p. 1622-1647, 2012.

AOUBA, L.; BORIES, C.; COUTAND, M.; PERRIN, B.; LEMERCIER, H. Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: Cases of Olive Stone Flour and Wheat Straw residues. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 7-13, 2016.

ARAUJO, N. C. de. **Uso de urina humana como fonte alternativa de nutrientes para a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivado em sistema hidropônico**. 2014. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande-Paraíba.

ARAÚJO, N. C. GUIMARÃES, P. L. F.; DUARTE, K. L. de S.; OGATA, I. S.; PAULA, L. G. A. de. Problemática dos resíduos líquidos das agroindústrias processadoras de raízes de mandioca no Estado da Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 258-262, 2012a.

ARAÚJO, N. C.; FERREIRA, T. C.; OLIVEIRA, S. J. C.; GONÇALVES, C. P.; ARAÚJO, F. A. C. Avaliação do uso de efluente de casas de farinha como fertilizante foliar na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Engenharia na Agricultura**, v.20, n.4, p. 340-349, 2012b.

AYATI, B.; FERRÁNDIZ-MAS, V.; NEWPORT, D.; CHEESEMAN, C. Use of clay in the manufacture of lightweight aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 162, p. 124-134, 2018.

BALDIN, E. L. L.; WILCKEN, S. R. S.; PANNUTI, L. E. da R.; SCHLICK-SOUZA, E. R. Use of botanical extracts, cassava wastewater and nematicide for the control of root-knot nematode on carrot. **Summa Phytopathologica**, v.38, n.1, p. 36-41, 2012.

BARANA, A. C.; Cereda, M. P. Cassava wastewater (manipueira) treatment using a two-phase anaerobic biodigestor. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 20, n. 2, p. 183-186, 2000.

BARRETO, M. T. L.; MAGALHAES, A. G.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; DUARTE, A. de S.; TAVARES, U. E. Desenvolvimento e acúmulo de macronutrientes em plantas de milho biofertilizadas com manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 487-494, 2014.

BERNATEK-JAKIEL, A.; KACPRZAK, A.; STOLARCZYK, M. Impact of soil characteristics on piping activity in a mountainous area under a temperate climate (Bieszczady Mts., Eastern Carpathians). **Catena**, v. 141, p. 117-129, 2016.

BODIAN, S.; FAYE, M.; SENE, N. A.; SAMBOU, V.; LIMAM, O.; THIAM, A. Thermo-mechanical behavior of unfired bricks and fired bricks made from a mixture of clay soil and laterite. **Journal of Building Engineering**, v. 18, p. 172-179, 2018.

BORGHETTI, I. A. **Avaliação do Crescimento da Microalga *Chlorella minutíssima* em Meio de Cultura com Diferentes Concentrações de Manipueira**. 2009. 103f. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos). Programa de Pós-Graduação em Processos Biotecnológicos, Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba – PR.

BORIES, C.; BORREDON, M. E.; VEDRENNE, E.; VILAREM, G. Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 143, p. 186-196, 2014.

BYRE, K. R.; MCMULLEN, R. L.; SILVEIRA, M. L.; MOTSCHENBACHER, J. M. D.; SMITH, S. F.; GBUR, E. E.; HELTON, M. L. Environmental controls on soil respiration across a southern US climate gradient: a meta-analysis. **Geoderma Regional**, v. 7, p. 110-119, 2016.

CABRAL JUNIOR, M.; MOTTA, J. F. M.; ALMEIDA, A. dos S.; TANNO, L. C. Argilas para Cerâmica Vermelha. In: **Rochas e Minerais Industriais**. São Paulo: A. B. da Luz e F. F. Lins, 2005. p. 583-605.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 3. ed. LTC, 1974.

CARTER, L. J.; RYAN, J. J.; BOXALL, A. B. A. Effects of soil properties on the uptake of pharmaceuticals into earthworms. **Environmental Pollution**, v. 213, p. 922-931, 2016.

CHENG, Y.; WANG, S.; LI, J.; HUANG, X.; LI, C.; WU, J. Engineering and mineralogical properties of stabilized expansive soil compositing lime and natural pozzolans. **Construction and Building Materials**, v. 187, p. 1031-1038, 2018.

COSTA, V. A. F. Improving the thermal performance of red clay holed bricks. **Energy and Buildings**, v. 70, p. 352-364, 2014.

CRATERRE. **Construire en terre**. 1979.

DIAS, J. C.; LIMA, W. N. de. Comparação de métodos para a determinação de matéria orgânica em amostras ambientais. **Revista Científica da UFPA**, v. 4, 2004.

DOMINGUEZ, E. A.; ULLMANN, R. 'Ecological bricks' made with clays and steel dust pollutants. **Applied Clay Science**, v. 11, p. 237-249, 1996.

ESPUELAS, S.; OMER, J.; MARCELINO, S.; ECHEVERRIA, A. M.; SECO, A. Magnesium oxide as alternative binder for unfired clay bricks manufacturing. **Applied Clay Science**, v. 146, p. 23-26, 2017.

FADELE, O. A.; ATA, O. Water absorption properties of sawdust lignin stabilised compressed laterite bricks. **Case Studies in Construction and Materials**, v. 9, 2018.

FAO. Faostat. 2009. Disponível em <<http://faostat.fao.org/>>.

FARIA, K.C.P.; GURGEL, R.F.; HOLANDA, J.N.F. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. **J. Environ. Manage**, v. 101, p. 7-12, 2012.

FGAIER, F. E.; LAFHAJ, Z.; ANTCZAK, E.; CHAPISEAU, C. Dynamic thermal performance of three types of unfired earth bricks. **Applied Thermal Engineering**, v. 93 p. 377-383, 2016a.

FGAIER, F. E.; LAFHAJ, Z.; CHAPISEAU, C.; ANTCZAK, E. Effect of sorption capacity on thermo-mechanical properties of unfired clay bricks. **Journal of Building Engineering**, v. 6, p. 86-92, 2016b.

FIAIS, B. B.; SOUZA, D. S. de. Construção sustentável com tijolo ecológico. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v. 2, n.1, p. 94-108, 2017.

FIEMG; FEAM. **GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA**. Belo Horizonte, 2013.

FIORETTO, R. A. Uso Direto da Manipueira em Fertirrigação. In: Cereda, M. P (Coord.): **Manejo, Uso e Tratamento de Subprodutos da Industrialização da Mandioca**. Fundação Cargill, São Paulo, v.4, p.67-79, 2001.

FRANCO-ANDREU, L.; GÓMEZ, I.; PARRADO, J.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; TEJADA, M. Behavior of two pesticides in a soil subjected to severe drought. Effects on soil biology. **Applied Soil Ecology**, v. 105, p. 17-24, 2016.

GOMES, P. C. G. **Avaliação de características nutricionais da mandioca e de seus híbridos interespecíficos**. 2010. 85f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana). Programa de Pós-graduação em Nutrição Humana, Universidade de Brasília (UB), Brasília-Distrito Federal.

Google Earth. 7°46'2,45" S; 36°21'54,6" W. 2016.

Google Imagens. Cores de argilas. 2018. Disponível em: <https://www.google.com.br/search?q=colora%C3%A7%C3%B5es+t%C3%ADpicas+de+argilasebiw=1242ebih=545esource=lnmsetbm=ischesa=Xeved=0ahUKEwiWqfWcpc3MAhVGhZAKHefAAmwQ_AUIBigB#tbm=ischeq=colora%C3%A7%C3%B5es+de+argilas>.

GROXKO, M. Análise da conjuntura agropecuária - mandioca safra 2014/2015. 2015. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/mandioca_2014_15.pdf>.

GUGGENHEIM, S.; MARTIN, R. T. Definition of clay and clay mineral: joint report of the aipea nomenclature and CMS nomenclature committees. **Clay and Clay Minerals**, v. 43, n. 2, p. 255-256, 1995.

HAJJAJI, W.; PULLAR, R. C.; LABRINCHA, J. A.; ROCHA, F. Aqueous acid Orange 7 dye removal by clay and red mud mixes. **Applied Clay Science**, v. 126, p. 197-206, 2016.

HARTEMINK, A. E. Chapter Two – The definition of soil since the early 1800s. **Advances in Agronomy**, v. 137, p. 73-126, 2016.

JIRAPRASERTWONG, A.; MAITRIWONG, K.; CHAVADEJ, S. Production of biogas from cassava wastewater using a three-stage upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Renewable Energy**, v. 130, p. 191-205, 2019.

KERN, J.; GIANI, L.; TEIXEIRA, W.; LANZA, G.; GLASES, B. What can we learn from ancient fertile anthropic soil (Amazonian Dark Earths, shell mounds, Plaggen soil) for soil carbon sequestration?. **Catena**, v. 172, p. 104-112, 2019.

KIZINIEVIČ, O.; KIZINIEVIČ, V.; MALAIŠKIENĖ, J. Analysis of the effect of paper sludge on the properties, microstructure and frost resistance of clay bricks. **Construction and Building Materials**, v. 169, p. 689-696, 2018.

KUCZMAN, O.; GOMES, S. D.; TAVARES, M. H. F.; TORRES, D. G. B.; ALCÂNTARA, M. S. Produção específica de biogás a partir de manipueira em reator de fase única. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 143-149, 2011.

KUMMER, A. C. et al. Tratamento de efluente de abatedouro de tilápia com adição de manipueira na fase anóxica. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.1, p. 150-157, 2011.

KUNKEL, V.; WELLS, T.; HANCOCK, G. R. Soil temperature dynamics at the catchment scale. **Geoderma**, v. 273, p. 32-44, 2016.

LESSOVAIA, S. N.; DULTZ, S.; PLÖTZE, M.; ANDREEVA, N.; POLEKHOVSKY, Y.; FILIMONOV, A.; MOMOTOVA, OLESYA, M. Soil development on basic and ultrabasic rocks in cold environments of Russia traced by mineralogical composition and pore space characteristics. **Catena**, v. 137, p. 596-604, 2016.

LI, N.; PAN, F.; HAN, X.; ZHANG, B. Development of soil food web of microbes and nematodes under different agricultural practices during the early stage of pedogenesis of a Mollisol. **Soil Biology e Biochemistry**, v. 98, p. 208-216, 2016.

LIU, D.; WANG, C.; MEI, X.; ZHANG, C. Environmental performance, mechanical and microstructure analysis of non-fired bricks containing water-based drilling cuttings of shale gas. **Construction and Building Materials**, v. 183, p. 215-225, 2018.

LIU, T.; LI, X.; GUAN, L.; LIU, P.; WU, T.; LI, Z.; LU, A. Low-cost and environment-friendly ceramic foams made from lead-zinc mine tailing sand red mud: Foaming mechanism, physical, mechanical and chemical properties. **Ceramics International**, v. 42, p. 1733-1739, 2016.

MACEDO, R. S.; MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 54, p. 411-417, 2008.

MADEIRA, J. G. F.; BOLOY, R. A. M.; DELGADO, A. R. S.; LIMA, F. R.; COUTINHO, E. R.; PEREIRA FILHO, R. de C. Ecological analysis of hydrogen production via biogas steam reforming from cassava flour processing wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 709-716, 2017a.

MADEIRA, J. G. F.; DELGADO, A. R. S.; BOLOY, R. A. M.; LIMA, F. R.; COUTINHO, E. R.; PEREIRA FILHO, R. de C. LOURES, C. C. A. Exergetic and economic evaluation of incorporation of hydrogen production in a cassava wastewater plant. **Applied Thermal Engineering**, v. 123, p. 1072-1078, 2017b.

MADURWAR, M.V.; MANDAVGANE, S.A.; RALEGAONKAR, R.V. Development and feasibility analysis of bagasse ash bricks. **J. Energy Eng**, v. 141, n. 3, 2015a.

MADURWAR, M.; SAKHARE, V.; RALEGAONKAR, R. Multi Objective Optimization of Mix Proportion for a Sustainable Construction Material. **Procedia Engineering**, v. 118, p. 276-283, 2015b.

MAO, P.; MU, H.; CAO, B.; QIN, Y.; SHAO, H.; WANG, S.; TAI, X. Dynamic characteristics of soil properties in a Robinia pseudoacacia vegetation and coastal eco-restoration. **Ecological Engineering**, v. 92, p. 132-137, 2016.

MARINI, F. S.; MARINHO, C. S. Adubação Complementar para a Mexeriqueira ‘Rio’ em Sistema de Cultivo Orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 562-568, 2011.

MASKELL, D.; HEATH, A.; WALKER, P. Use of metakaolin with stabilised extruded earth masonry units. **Construction and Building Materials**, v. 78, n. 1, p. 172-180, 2015.

MASON, E.; THOMPSON, S. K. A brief overview of crystalline silica. **Journal of Chemical Health and Safety**, v. 17, n. 2, p. 6-8, 2010.

MASUKA, S.; GWENZI, W.; RUKUNI, T. Development, engineering properties and potential applications of unfired earth bricks reinforced by coal fly ash, lime and wood aggregates. **Journal of Building Engineering**, v. 18, p. 312-320, 2018.

MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A.T.; RUIZ, H. A.; OLIVEIRA, L. B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 456–465, 2006.

MENEGHETTI, C. D. C.; DOMINGUES, J. L. Características nutricionais e uso de subprodutos da agroindústria na alimentação de bovinos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.5, p.512-536, 2008.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Map of clays of Paraíba State. **Cerâmica**, v. 47, n. 302. São Paulo: 2001.

MILLIOLI, V. S. **Avaliação da potencialidade da utilização de surfactantes na biorremediação de solo contaminado com hidrocarbonetos de petróleo**. 2009. 200f. Tese (Doutorado Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro – RJ.

MIQUELEIZ, L.; RAMIREZ, F.; OTI, J. E.; SECO, A.; KINUTHIA, J. M.; OREJA, I.; URMENETA, P. Alumina filler waste as clay replacement material for unfired brick production. **Engineering Geology**, v. 163, p. 68-74, 2013.

MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 599-610, 2014.

MOREL, J. C.; PKLA, A.; WALKER, P. Compressive strength testing of compressed earth blocks. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 2, p. 303-309, 2007.

MOTA J. D., OLIVEIRA D. F., DE SOUSA A. A. P., LARANJEIRA E., MONTEIRO M. R. S. Utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na confecção de tijolos ecológicos de solocimento. In: 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólido, 2010. João Pessoa (Brasil), 2010.

MOURA, A. dos S.; MEDEIROS, E. V. de.; OLIVEIRA, J. E. da S.; FRANCA, R. F. da.; LIRA, A. D.; MARTINS FILHO, A. P.; BADJI, C. A. Does cassava wastewater with a short

incubation time affect soil organic carbon, microbial community and enzymatic activities?. **Catena**, v. 163, p. 354-360, 2018.

MURMU, A. L.; PATEL, A. Towards sustainable bricks production: An overview. **Construction and Building Materials**, v. 165, p. 112-125, 2018.

MYMRIN, V. A.; ALEKSEEV, K. P.; ZELINSKAYA, E. V.; TOLMACHEVA, N. A.; CATAI, R. E. Industrial sewage slurry utilization for red ceramics production. **Construction and Building Materials**, v. 66, p. 368-374, 2014.

MYMRIN, V.; ALEKSEEV, K.; CATAI, R. E.; NAGALLI, A.; AIBULDINOV, Y. K.; BEKTURGANOV, N. S.; ROSE, J. L.; IZZO, R. L. S. Red ceramics from composites of hazardous sludge with foundry sand, glass waste and acid neutralization salts. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, p. 753-761, 2016.

NAGARAJ, H. B.; SARAVAN, M. V.; ARUN, T. G.; JAGADISH, K. S. Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, p. 54-61, 2014.

PALANISAMY, P.; KUMAR, P. S. Effect of molarity in geo polymer earth brick reinforced with fibrous coir wastes using sandy soil and quarry dust as fine aggregate. (Case study). **Case Studies in Construction Materials**, v. 8, p. 347-358, 2018.

PALUDO, D. **Impactos ambientais da indústria de cerâmica vermelha**. In: 11º Simpósio Internacional de Iniciação Científica (SIICUSP). São Paulo - SP, 2003.

PAN, Y.; SHI, G.; LIU, Y.; LEE, F. Effect of spatial variability on performance of cement-treated soil slab during deep excavation. **Construction and Building Materials**, v. 188, p. 505-519, 2018.

PANTAROTO, S.; CEREDA, M. P. Linamarina e sua Decomposição no Ambiente. In: Cereda, M.P (coord.): **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. Fundação Cargill, v. 4, p. 38-47. São Paulo, SP, 2001.

PARELHO, C.; RODRIGUES, A. S.; BARRETO, M. C.; FERREIRA, N. G. C.; GARCIA, P. Assessing microbial activities in metal contaminated agricultural volcanic soils – An integrative approach. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 129, p. 242-249, 2016.

PENA, R. F. A. Solo. 2016. Disponível em: <<http://brasilescola.uol.com.br/geografia/o-solo.htm>>.

PONTE, J. J. **Cartilha da manipueira: uso do composto como insumo agrícola**. 3.ed. Banco do Nordeste, Fortaleza – CE, 2006.

POTES, M. da L.; DICK, D. P.; DALMOLIN, R. S. D.; KNICKER, H.; ROSA, A. S. da. Matéria orgânica em neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 23-32, 2010.

QUEIROZ, A. J. P.; ARAUJO, N. C.; RAMOS, A. P.; SANTOS, R. C. dos; BURITI, J. da S. Análise da degradação térmica de tijolo ecológico fabricado com solo e manipueira. In: 59º Congresso Brasileiro de Cerâmica (CBC). Barra dos Coqueiros - SE, 2015.

QUESADA, D. E.; PÉREZ, J. A. S.; MARTÍNEZ, S. M.; VILLAREJO, L. P.; SOTO, P. J. S. Investigation of use of coal fly ash in eco-friendly construction materials: fired clay bricks and silica-calcareous non fired bricks. **Ceramics International**, v. 44, p. 4400-4412, 2018.

RAMOS, A. P.; QUEIROZ, A. J. P.; SANTOS, R. C. dos; ARAUJO, N. C.; BURITI, J. da S. Avaliação das propriedades mecânicas de tijolos ecológicos fabricados com solo e manipueira. In: 59º Congresso Brasileiro de Cerâmica (CBC). Barra dos Coqueiros - SE, 2015.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2 ed. Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2009. ISBN 85-98389-03-X.

SALEIRO, G. T. Processamento de cerâmica vermelha usando um ciclo rápido de queima. **Tempo Técnico**, ed. 6, 16-28, 2010.

SANTOS, G. de M. **Estudo das variáveis de processamento das matérias-primas da região do Crato – CE na fabricação de produtos cerâmicos por extrusão e por prensagem**. 2009. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN.

SANTOS, J. D. dos.; VEIT, M. T.; JUCHEN, P. T.; GONÇALVES, G. da C.; PALÁCIO, S. M.; FAGUNDES-KLEN, M. Use of different coagulants for cassava processing wastewater treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 1821-1827, 2018.

SANTOS, M. H. V. dos et al. Uso da manipueira como fonte de potássio na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em casa-de-vegetação. **Acta Scientiarum. Agronomy Maringá**, v. 32, n. 4, p. 729-733, 2010.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**. (3. Ed.). São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

SANTOS, P.; MARTINS, C.; JÚLIO, E. Enhancement of the thermal performance of perforated clay brick walls through the addition of industrial nano-crystalline aluminium sludge. **Construction and Building Materials**, v. 101, p. 227-238, 2015.

SEBRAE. **Como usar corretamente a manipueira**. 2015. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/Como-usar-corretamente-a-manipueira>>.

SECO, A.; OMER, J.; MARCELINO, S.; ESPUELAS, S.; PRIETO, E. Sustainable unfired bricks manufacturing from construction and demolition wastes. **Construction and Building Materials**, v. 167, p. 154-165, 2018.

SILVA, C. Z. DA; KOLLING, E. M. ; SHIMOSAKA, T. J ; TABALIPA, N. L. ; LUZ, C. A. UMIDADE ÓTIMA DE COMPACTAÇÃO PARA DIFERENTES TRAÇOS. In: ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela/ RS. XIII ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.

SILVA, J. de O. CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DO LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO

DMAE- URBELÂNDIA - MG. Dissertação (para obtenção de título de Mestre em Química)Uberlândia: 2011.

SILVA JÚNIOR, J. J.; COELHO, E. F.; SANT'ANA, J. A. do V.; SANTANA JÚNIOR, E. B. S.; PAMPONET, A. J. M. Uso da manipueira na bananeira 'terra maranhão' e seus efeitos no solo e na produtividade. **Irriga**, v. 17, n. 3, p. 353-363, 2012.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JUNIOR, J. de S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista Universidade Alfenas**, v. 5, p. 21-26, 1999.

SILVEIRA, F. L. da. **Termodinâmica: vaporização da água**. Porto Alegre: 2013.

SIMEONOVA, F. P.; FISHBEIN, L. **HYDROGEN CYANIDE AND CYANIDES: HUMAN HEALTH ASPECTS**. In: Concise International Chemical Assessment Document 61. Geneva (SUI), 2004.

SOARES, R. A. L.; NASCIMENTO, R. M. do.; PASKOCIMAS, C. A.; CASTRO, R. J. S. Avaliação da adição de dolomita em massa cerâmica de revestimento de queima vermelha. **Cerâmica**, v. 60, p. 516-523, 2014.

STEVENS, M. T.; MCKINLEY, G. B.; VAHEDIFARD, F. A comparison of ground vehicle mobility analysis based on soil moisture time series datasets from WindSat, LIS, and in situ sensors. **Journal of Terramechanics**, v. 65, p. 49-59, 2016.

TAKAHASHI, M. Aproveitamento da Manipueira e de Resíduos do Processamento da Mandioca. **Informe Agropecuário**, ano 13, n. 145, p. 83-87, 1987.

TOURÉ, P. M.; SAMBOU, V.; FAYE, M. THIAM, A.; ADJ, M.; AZILINON, D. Mechanical and hygrothermal properties of compressed stabilized earth bricks (CSEB). **Journal of Building Engineering**, v. 13, p. 266-271, 2017.

TRAN, K. Q.; SATOMI, T.; TAKAHASHI, H. Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers. **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 204-210, 2018.

UKWATTA, A.; MOHAJERANI, A. Characterisation of fired-clay bricks incorporating biosolids and the effect of heating rate on properties of bricks. **Construction and Building Materials**, v. 142, p. 11-22, 2017.

VAEZI, A. R.; HASANZADEH, H.; CERDÀ, A. Developing an erodibility triangle for soil textures in semi-arid regions, NW Iran. **Catena**, v. 142, p. 221-232, 2016.

VELASCO, P. M.; ORTIZ, M. P. M.; GIRÓ, M. A. M.; VELASCO, L. M. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. **Construction and Building Materials**, v. 63, p. 97-107, 2014.

VELDE, B. B.; MEUNIER, A. Fundamentals of Clay Mineral Crystal Structure and Physicochemical Properties. **The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks**. Berlin: Springer, 2008. p. 3-73.

VIEIRA, C. M. F.; PINHEIRO, R. M. Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 57, N. 2, 2013.

WAZIRI, B. S.; LAWAN, Z. A.; MA'AJI MALA, M. Properties of Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEB) For Low-Cost Housing Construction: A Preliminary Investigation. **International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology**, v. 4, p. 80-90, 2016.

WEISSERT, L. F.; SALMOND, J. A.; SCHEWENDENMANN, L. Variability of soil organic carbon stocks and soil CO₂ efflux across urban land use and soil cover types. **Geoderma**, v. 271, p. 80-90, 2016.

WOSIACKI, G.; CEREDA, M. P. Valorização de resíduos de processamento da mandioca. **Publicatio UEPG**, v. 8, p. 27-43, 2002.

XIA, J.; ZHANG, S.; ZHAO, X.; LIU, J.; CHEN, Y. Effects of different groundwater depths on the distribution characteristics of soil-Tamarix water contents and salinity under saline mineralization conditions. **Catena**, v. 142, p. 166-176, 2016.

YANG, C.; CUI, C.; QIN, J.; CUI, X. Characteristics of the fired bricks with low-silicon iron tailings. **Construction and Building Materials**, v. 70, p. 36-42, 2014.

ZAMO, A. **Tijolo Ecológico**. 2015. Disponível em: <<http://pro.casa.abril.com.br/group/tijoloecologico>>.

APENDICES

Apêndice A – Jazida de solo localizada no Sítio Angicos, Barra de São Miguel, PB.



Apêndice B – Indústria cerâmica localizada no Distrito Barra, Juazeirinho, PB.



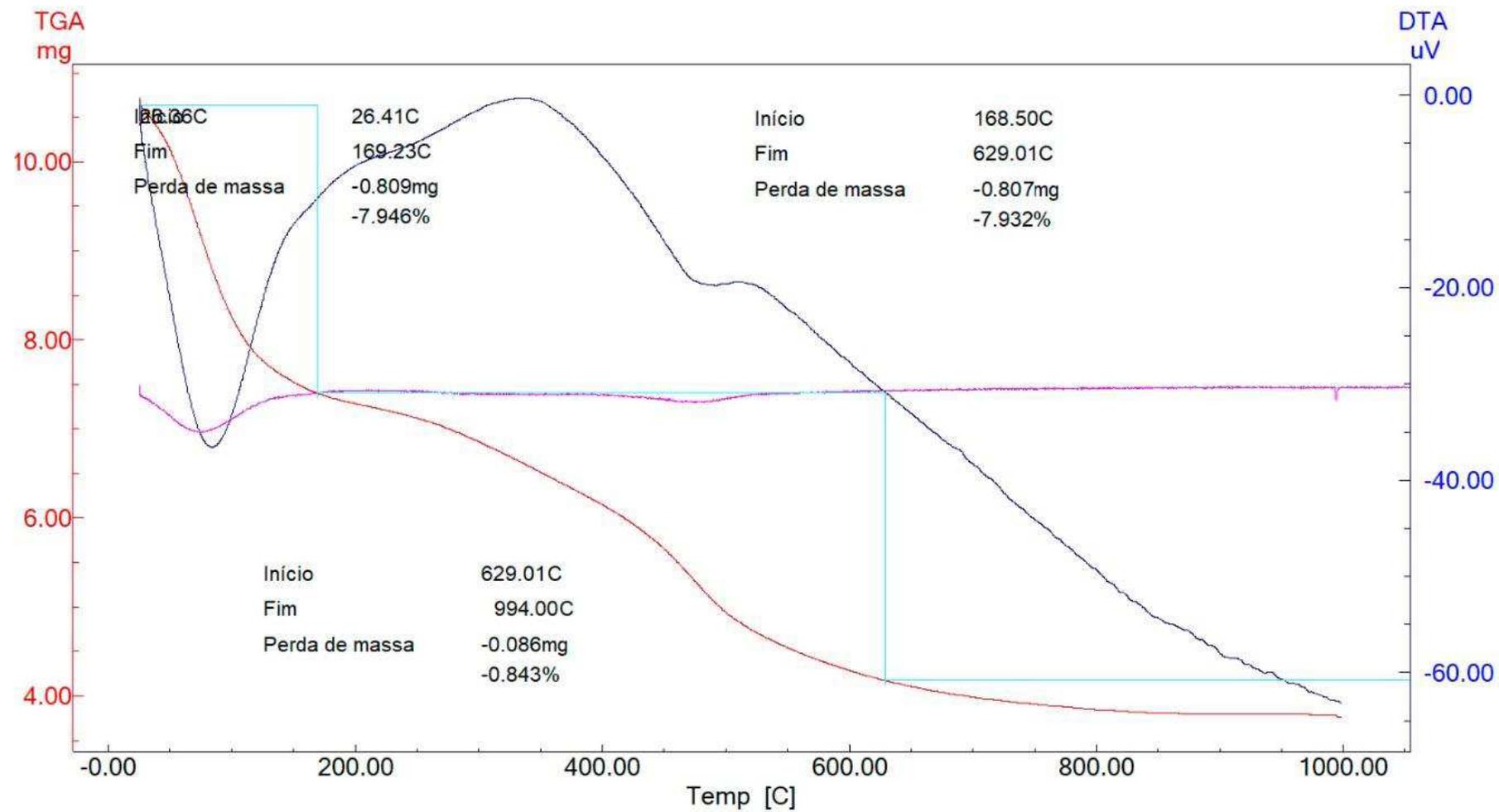
Apêndice C – Jazida de solo localizada no Sítio Zé de Moura, Santa Cecília, PB.



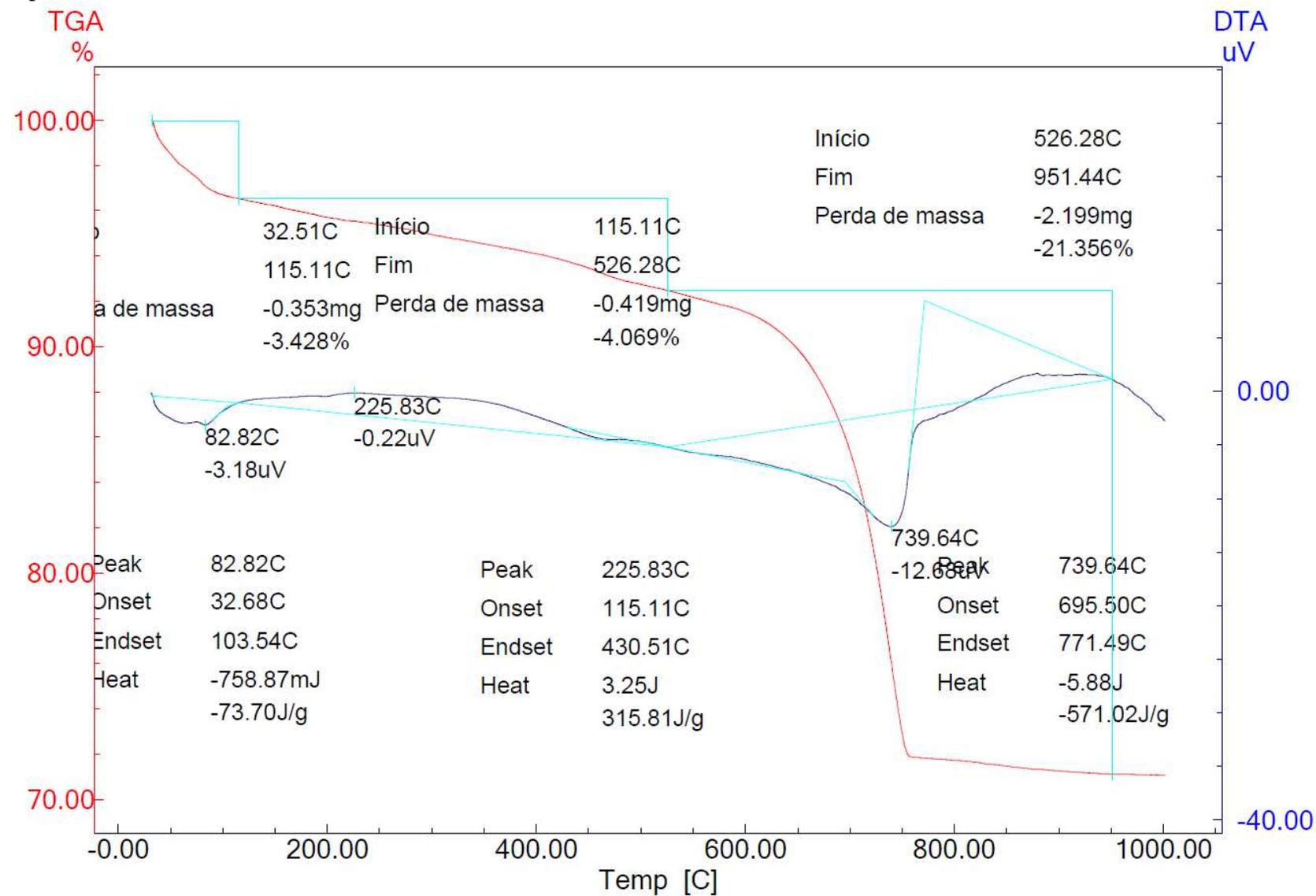
Apêndice D – Jazida de solo localizada no Açude Riacho do Bichinho, Barra de São Miguel, PB.



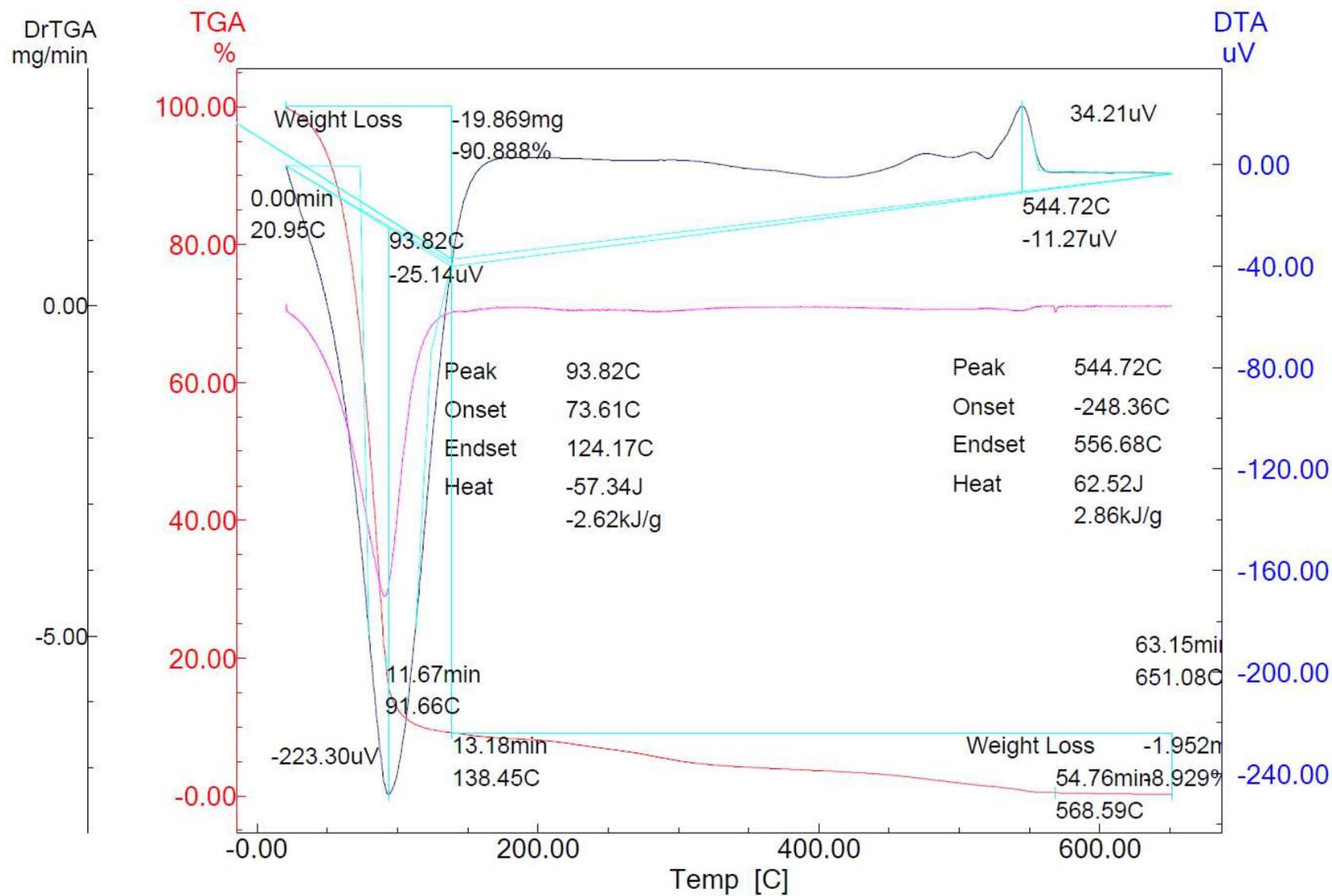
Apêndice E – Análises das curvas TG e DTA do solo de Barra de São Miguel.



Apêndice G – Análises das curvas TG e DTA do solo de Santa Cecília.



Apêndice H – Análises das curvas TG e DTA da manipueira



Apêndice I – Dados dos difratogramas de raios-X das amostras de solos.

Amostra	Picos	Identificação	2θ (°)	I/I1	Cristalinidade
Solo de jazida de Barra de São Miguel	1	M	8,93	132,52	alta
	2	H	10,56	233,66	
	3	K	12,44	111,12	
	4	M	19,87	139,74	
	5	Q	20,90	243,98	
	6	F	22,06	273,07	
	7	F	23,68	175,93	
	8	F	25,62	147,24	
	9	Q	26,70	1000,00	
	10	F	27,53	281,48	
	11	F	27,87	363,87	
	12	F	28,05	497,10	
	13	H	28,37	177,28	
Solo de jazida de Juazeirinho	1	M	8,95	142,86	alta
	2	H	10,60	92,59	
	3	K	13,82	86,89	
	4	Q	14,05	309,12	
	5	M	22,15	119,66	
	6	H	23,80	119,66	
	7	K	24,09	99,72	
	8	K	24,49	108,26	
	9	M	25,69	94,02	
	10	Q	26,81	1000,00	
	11	F	27,63	618,23	
	12	F	28,16	611,11	
	13	M	30,63	91,17	
	14	K, Q	36,71	101,14	
	15	Q	39,63	86,89	
Solo de jazida de Santa Cecília	1	Mo	6,24	1000,00	alta
	2	I	9,57	311,32	
	3	M	9,88	118,60	
	4	I	10,60	599,73	
	5	K	12,40	106,47	
	6	K	14,67	83,56	
	7	K	17,53	80,86	
	8	I	18,59	106,47	
	9	I	19,09	87,60	
	10	K	19,75	106,47	
	11	Q	20,96	111,86	
	12	F	21,19	132,08	
	13	H	22,12	98,38	
	14	I	23,18	188,68	
	15	K	23,75	86,25	
	16	F	24,86	148,25	
	17	F	26,44	91,64	
	18	Q	26,74	270,89	
	19	M	27,35	140,16	
	20	I	27,92	109,16	

Apêndice J – Resultados dos ensaios pelo método de Casagrande.

Amostra	Limite de Liquidez					
Solo da jazida de Barra de São Miguel	Nº da Cápsula	1	2	3	4	5
	Tara da Cápsula (g)	17,60	16,80	17,60	17,60	17,00
	Nº de Golpes	10	18	27	35	57
	Peso Úmido Bruto (g)	23,80	22,60	24,40	24,60	24,40
	Peso Seco Bruto (g)	22,00	21,20	22,60	22,60	22,60
	Umidade (%)	40,91	31,82	36,00	40,00	32,14
	Limite de Liquidez =	36,17%				
	Limite de Plasticidade					
	Nº da Cápsula	6	7	8	9	10
	Tara da Cápsula (g)	17,60	17,80	17,80	18,00	17,20
Peso Úmido Bruto (g)	19,60	19,40	19,20	19,60	18,60	
Peso Seco Bruto (g)	19,20	19,00	19,00	19,20	18,40	
Umidade (%)	25,00	33,33	16,67	33,33	16,67	
Limite de Plasticidade =	25,00%					
Solo da jazida de Juazeirinho	Limite de Liquidez					
	Nº da Cápsula	1	2	3	4	5
	Tara da Cápsula (g)	17,60	16,80	17,60	17,60	17,00
	Nº de Golpes	10	21	30	43	54
	Peso Úmido Bruto (g)	25,40	26,80	25,80	16,00	18,00
	Peso Seco Bruto (g)	23,20	24,20	23,40	13,60	15,40
	Umidade (%)	42,30	40,62	40,00	40,00	37,14
	Limite de Liquidez =	40,01%				
	Limite de Plasticidade					
	Nº da Cápsula	6	7	8	9	10
Tara da Cápsula (g)	7,40	9,00	7,60	8,60	7,80	
Peso Úmido Bruto (g)	10,60	13,20	10,00	11,80	10,80	
Peso Seco Bruto (g)	9,80	12,20	9,40	11,20	10,20	
Umidade (%)	33,33	31,25	33,33	23,07	25,00	
Limite de Plasticidade =	29,19%					
Solo da jazida de Santa Cecília	Limite de Liquidez					
	Nº da Cápsula	1	2	3	4	5
	Tara da Cápsula (g)	16,80	17,60	16,80	17,60	17,40
	Nº de Golpes	9	12	25	39	50
	Peso Úmido Bruto (g)	23,00	24,60	25,80	26,40	27,00
	Peso Seco Bruto (g)	22,00	22,60	23,40	24,20	24,60
	Umidade (%)	19,23	40,0	36,36	33,33	33,33
	Limite de Liquidez =	32,45%				
	Limite de Plasticidade					
	Nº da Cápsula	6	7	8	9	10
Tara da Cápsula (g)	17,60	17,80	17,80	18,00	17,20	
Peso Úmido Bruto (g)	19,20	19,40	19,00	19,20	18,60	
Peso Seco Bruto (g)	18,80	19,00	18,80	19,00	18,20	
Umidade (%)	33,33	33,33	20,00	20,00	40,00	
Limite de Plasticidade =	19,33%					

Apêndice K – Variações dimensionais e mássicas de pequenos corpos de prova.

Corpo de prova	Idade (dias)	Massa (g)	Dimensões (mm)			Área total (mm ²)
			L	b	h	
1	0	10,28	49,92	15,08	6,37	752,79
2	0	9,42	49,93	15,10	5,92	753,94
3	0	10,59	49,90	15,09	6,60	752,99
4	0	10,82	49,92	15,09	6,78	753,29
5	0	10,81	49,93	15,10	6,85	753,94
6	0	10,52	49,92	15,11	6,59	754,29
7	0	10,60	49,92	15,09	6,61	753,29
8	0	10,48	49,95	15,08	6,60	753,25
9	0	10,48	49,96	15,15	6,65	756,89
10	0	10,31	49,96	15,11	6,66	754,90
11	0	10,62	49,92	15,08	6,66	752,79
12	0	10,12	49,98	15,10	6,43	754,70
13	0	10,53	49,99	15,18	6,65	758,85
14	0	10,10	49,97	15,09	6,49	754,05
15	0	10,80	50,07	15,14	6,92	758,06
16	0	10,96	50,00	15,12	6,98	756,00
17	0	10,39	50,02	15,16	6,69	758,30
18	0	10,50	50,02	15,16	6,79	758,30
19	0	9,55	50,03	15,16	6,72	758,45
Média	0	10,41	49,96	15,12	6,63	755,22
1	7	9,95	49,64	15,02	5,91	745,51
2	7	8,36	49,66	15,02	6,36	745,81
3	7	10,56	49,66	15,02	6,42	745,81
4	7	11,03	49,66	15,03	6,48	746,30
5	7	11,01	49,66	15,03	6,58	746,30
6	7	10,42	49,66	15,03	6,59	746,30
7	7	10,58	49,67	15,03	6,59	746,45
8	7	10,34	49,67	15,04	6,60	746,95
9	7	10,34	49,69	15,04	6,64	747,25
10	7	10,01	49,70	15,04	6,64	747,40
11	7	10,62	49,70	15,05	6,65	747,89
12	7	9,65	49,71	15,05	6,65	748,04
13	7	10,44	49,72	15,06	6,68	748,69
14	7	9,61	49,73	15,08	6,71	749,83
15	7	10,99	49,74	15,09	6,77	750,47
16	7	11,31	49,75	15,10	6,78	751,27
17	7	10,17	49,75	15,10	6,84	751,27
18	7	10,38	49,76	15,10	6,91	751,42
19	7	8,59	49,80	15,12	6,97	753,01
Média	7	10,23	49,70	15,05	6,62	748,21

Apêndice L – Variações dimensionais e mássicas de tijolos com 90% de solo, 10% de areia e 12% de manupeira produzidos com prensa mecânica.

Corpo de prova	Massa (g)	Dimensões (m)				Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h	furo		
Pós-prensagem							
1	1,328	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
2	1,303	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
3	1,316	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
4	1,340	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
5	1,404	0,196	0,099	0,034	0,050	0,019	77,385
6	1,372	0,196	0,099	0,034	0,050	0,019	76,895
Média	1,344	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,650
7 dias							
1	1,204	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,718
2	1,190	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,718
3	1,197	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,718
4	1,217	0,195	0,097	0,033	0,050	0,019	74,940
5	1,273	0,195	0,098	0,033	0,049	0,019	76,693
6	1,245	0,195	0,098	0,033	0,050	0,019	75,816
Média	1,221	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,767
Variação	-9,135%	-0,510%	-1,018%	-2,941%	-1,500%	-1,523%	-1,152%
28 dias							
1	1,194	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,718
2	1,179	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,718
3	1,187	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,718
4	1,192	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,718
5	1,262	0,194	0,097	0,033	0,049	0,019	75,233
6	1,227	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,475
	1,207	0,195	0,097	0,033	0,049	0,019	75,596
Variação	-1,167%	-0,128%	-0,257%	0,000%	-0,508%	-0,385%	-0,225%
Soma	-10,302%	-0,638%	-1,275%	-2,941%	-2,008%	-1,908%	-1,377%

Apêndice M – Variações dimensionais e mássicas de tijolos com 80% de solo, 20% de areia e 12% de manipueira produzidos com prensa mecânica.

Corpo de prova	Massa (g)	Dimensões (m)				Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h	furo		
Pós-prensagem							
1	1,447	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
2	1,415	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
3	1,431	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
4	1,379	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
5	1,464	0,196	0,099	0,034	0,050	0,019	77,385
6	1,422	0,196	0,099	0,034	0,050	0,019	76,895
Média	1,426	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,650
7 dias							
1	1,331	0,194	0,099	0,036	0,049	0,019	77,173
2	1,302	0,194	0,099	0,036	0,049	0,019	77,173
3	1,317	0,194	0,099	0,036	0,049	0,019	77,173
4	1,270	0,194	0,098	0,036	0,048	0,019	76,964
5	1,346	0,195	0,098	0,037	0,049	0,019	76,693
6	1,308	0,195	0,098	0,037	0,049	0,019	76,829
Média	1,312	0,194	0,099	0,036	0,049	0,019	77,001
Variação	-7,993%	-0,893%	0,254%	6,618%	-2,500%	-0,641%	0,457%
28 dias							
1	1,318	0,194	0,098	0,036	0,048	0,019	76,964
2	1,289	0,194	0,099	0,036	0,049	0,019	77,173
3	1,303	0,194	0,099	0,036	0,049	0,019	77,069
4	1,251	0,194	0,098	0,036	0,048	0,019	76,964
5	1,326	0,194	0,098	0,036	0,049	0,019	76,203
6	1,288	0,194	0,098	0,036	0,049	0,019	76,584
	1,296	0,194	0,098	0,036	0,049	0,019	76,826
Variação	-1,251%	-0,129%	-0,254%	-0,690%	-0,513%	-0,382%	-0,227%
Soma	-9,244%	-1,022%	0,001%	5,928%	-3,013%	-1,023%	0,231%

Apêndice N – Variações dimensionais e mássicas de tijolos com 70% de solo, 30% de areia e 12% de manipueira produzidos com prensa mecânica.

Corpo de prova	Massa (g)	Dimensões (m)				Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h	furo		
Pós-prensagem							
1	1,267	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
2	1,358	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
3	1,464	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
4	1,397	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,405
5	1,461	0,196	0,099	0,034	0,050	0,019	77,385
6	1,295	0,196	0,099	0,034	0,050	0,019	76,895
Média	1,374	0,196	0,098	0,034	0,050	0,019	76,650
7 dias							
1	1,143	0,195	0,097	0,035	0,049	0,019	75,718
2	1,229	0,195	0,097	0,035	0,049	0,019	75,718
3	1,186	0,195	0,097	0,035	0,049	0,019	75,718
4	1,261	0,195	0,097	0,035	0,050	0,019	74,940
5	1,324	0,195	0,097	0,035	0,049	0,019	75,718
6	1,293	0,195	0,097	0,035	0,050	0,019	75,329
Média	1,239	0,195	0,097	0,035	0,049	0,019	75,523
Variação	-9,785%	-0,510%	-1,272%	2,941%	-1,500%	-1,776%	-1,470%
28 dias							
1	1,136	0,195	0,097	0,035	0,049	0,019	75,718
2	1,220	0,194	0,097	0,035	0,049	0,019	75,233
3	1,178	0,195	0,097	0,035	0,049	0,019	75,475
4	1,250	0,195	0,096	0,035	0,049	0,019	74,743
5	1,312	0,195	0,097	0,034	0,049	0,019	75,718
6	1,281	0,195	0,097	0,035	0,049	0,019	75,230
Média	1,230	0,195	0,097	0,035	0,049	0,019	75,353
Variação	-0,787%	-0,128%	-0,258%	-0,714%	-0,508%	-0,386%	-0,226%
Soma	-10,572%	-0,638%	-1,530%	2,227%	-2,008%	-2,162%	-1,696%

Apêndice O – Variações dimensionais e mássicas de tijolos com 50% de solo, 50% de areia e 12% de manipueira produzidos com prensa mecânica.

Corpo de prova	Massa (g)	Dimensões (m)				Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h	furo		
Pós-prensagem							
1	1,360	0,198	0,100	0,031	0,050	0,020	79,365
2	1,344	0,198	0,100	0,031	0,050	0,020	79,365
3	1,342	0,198	0,100	0,031	0,050	0,020	79,365
4	1,359	0,198	0,100	0,031	0,050	0,020	79,365
5	1,334	0,198	0,100	0,031	0,050	0,020	79,365
6	1,347	0,198	0,100	0,031	0,050	0,020	79,365
Média	1,348	0,198	0,100	0,031	0,050	0,020	79,365
7 dias							
1	1,246	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
2	1,237	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
3	1,248	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
4	1,226	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
5	1,237	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
6	1,232	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
Média	1,238	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
Variação	-8,163%	-0,505%	0,000%	-3,226%	0,000%	-0,505%	-0,630%
28 dias							
1	1,235	0,197	0,099	0,030	0,050	0,020	77,880
2	1,228	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
3	1,238	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,373
4	1,218	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,865
5	1,230	0,196	0,100	0,030	0,050	0,020	78,365
6	1,224	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,615
	1,229	0,197	0,100	0,030	0,050	0,020	78,494
Variação	-0,707%	-0,127%	-0,250%	0,000%	0,000%	-0,377%	-0,471%
Soma	-8,870%	-0,632%	-0,250%	-3,226%	0,000%	-0,882%	-1,101%

Apêndice P – Variações dimensionais e mássicas de tijolos com 50% de solo, 50% de areia e 15% de manupeira produzidos com prensa mecânica.

Corpo de prova	Massa (g)	Dimensões (m)				Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h	furo		
Pós-prensagem							
1	1,256	0,196	0,100	0,031	0,050	0,020	78,365
2	1,344	0,196	0,100	0,032	0,050	0,020	78,365
3	1,300	0,196	0,100	0,032	0,050	0,020	78,365
4	1,315	0,196	0,099	0,031	0,050	0,019	77,385
5	1,313	0,196	0,099	0,031	0,050	0,019	77,385
6	1,314	0,196	0,099	0,031	0,050	0,019	77,385
Média	1,307	0,196	0,100	0,031	0,050	0,020	77,875
7 dias							
1	1,128	0,195	0,099	0,030	0,049	0,019	77,668
2	1,213	0,195	0,099	0,031	0,049	0,019	77,668
3	1,171	0,195	0,099	0,031	0,049	0,019	77,668
4	1,180	0,195	0,098	0,030	0,050	0,019	75,915
5	1,182	0,195	0,098	0,030	0,049	0,019	76,693
6	1,181	0,195	0,098	0,030	0,050	0,019	76,304
Média	1,176	0,195	0,099	0,030	0,049	0,019	76,986
Variação	-10,042%	-0,510%	-1,005%	-3,200%	-1,500%	-1,510%	-1,142%
28 dias							
1	1,121	0,195	0,099	0,030	0,049	0,019	77,668
2	1,203	0,195	0,098	0,030	0,049	0,019	76,693
3	1,162	0,195	0,099	0,030	0,049	0,019	77,180
4	1,172	0,195	0,098	0,030	0,049	0,019	76,693
5	1,173	0,195	0,098	0,030	0,049	0,019	76,693
6	1,173	0,195	0,098	0,030	0,049	0,019	76,693
	1,167	0,195	0,098	0,030	0,049	0,019	76,936
Variação	-0,723%	0,000%	-0,254%	-0,826%	-0,508%	-0,254%	-0,064%
Soma	-10,765%	-0,510%	-1,259%	-4,026%	-2,008%	-1,764%	-1,206%

Apêndice Q – Resistência a compressão simples de tijolos de solo e manipueira.

Composição	Corpo de prova	Teste de 7 dias			Corpo de prova	Teste de 28 dias		
		Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)		Área (cm ²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
Solo : areia 90 : 10 +	1	75,767	780,000	1,010	4	75,718	415,000	1,175
	2	75,767	695,005	0,900	5	75,233	400,000	1,140
	3	75,767	737,502	1,047	6	75,475	412,000	1,170
12% de manipueira	Média	75,767	761,219	0,986	Média	75,475	409,000	1,161
Solo : areia 80 : 20 +	1	77,001	480,821	0,611	4	76,964	601,026	0,766
	2	77,001	349,688	0,444	5	76,203	611,954	0,788
	3	77,001	404,327	0,514	6	76,584	531,089	0,680
12% de manipueira	Média	77,001	411,612	0,523	Média	76,583	581,356	0,744
Solo : areia 70 : 30 +	1	75,523	681,892	0,883	4	74,743	721,232	0,946
	2	75,523	655,665	0,849	5	75,718	786,798	1,019
	3	75,523	644,737	0,835	6	75,230	710,304	0,926
12% de manipueira	Média	75,523	660,765	0,856	Média	75,230	739,444	0,964
Solo : areia 50 : 50 +	1	78,865	498,305	0,620	4	78,865	808,654	1,006
	2	78,865	799,911	0,995	5	78,365	775,870	0,971
	3	78,865	655,665	0,815	6	78,615	754,015	0,941
12% de manipueira	Média	78,865	651,294	0,810	Média	78,615	779,513	0,972
Solo : areia 50 : 50 +	1	77,986	502,677	0,635	4	76,693	563,872	0,721
	2	77,986	524,532	0,662	5	76,693	572,614	0,732
	3	77,986	546,388	0,690	6	76,693	590,099	0,755
15% de manipueira	Média	76,986	524,532	0,662	Média	76,693	575,523	0,736

Apêndice R – Variações de dimensões e de massa de tijolos com 90% de solo, 10% de areia e 12% de manipeira conformados na prensa hidráulica.

Corpo de prova	Massa (g)	Dimensões (m)				Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h	furo		
Pós-prensagem							
1	2,649	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
2	2,683	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
3	2,666	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
4	2,677	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
5	2,722	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
6	2,700	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
Média	2,683	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
4 dias							
1	2,507	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016
2	2,552	0,246	0,124	0,059	0,060	0,031	124,246
3	2,530	0,246	0,124	0,059	0,060	0,030	123,631
4	2,548	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016
5	2,572	0,247	0,124	0,059	0,060	0,031	124,866
6	2,560	0,247	0,124	0,059	0,060	0,030	123,941
Média	2,545	0,246	0,124	0,059	0,060	0,030	123,786
Variação	-5,240%	-1,508%	-1,205%	-2,516%	0,000%	-2,709%	-3,315%
7 dias							
1	2,449	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401
2	2,499	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401
3	2,474	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401
4	2,495	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401
5	2,530	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016
6	2,513	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	122,708
Média	2,493	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,554
Variação	-2,036%	-0,406%	-0,405%	-0,857%	0,000%	-0,811%	-0,997%
Soma	-7,276%	-1,914%	-1,610%	-3,372%	0,000%	-3,520%	-4,311%

Apêndice S – Variações de dimensões e de massa de tijolos com 80% de solo, 20% de areia e 12% de manupeira conformados na prensa hidráulica.

Corpo de prova	Massa (g)	Dimensões (m)				furo	Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h				
Pós-prensagem								
1	2,695	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
2	2,710	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
3	2,703	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
4	2,732	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
5	2,792	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
6	2,762	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
Média	2,732	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
4 dias								
1	2,533	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
2	2,577	0,246	0,123	0,059	0,060	0,030	123,016	
3	2,555	0,246	0,123	0,059	0,060	0,030	123,016	
4	2,611	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
5	2,657	0,247	0,124	0,059	0,060	0,031	124,866	
6	2,634	0,247	0,124	0,059	0,060	0,030	123,941	
Média	2,595	0,246	0,123	0,059	0,060	0,030	123,478	
Varição	-5,136%	-1,508%	-1,406%	-2,521%	0,000%	-2,909%	-3,560%	
7 dias								
1	2,493	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
2	2,531	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
3	2,512	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
4	2,561	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
5	2,587	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
6	2,574	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
Média	2,543	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
Varição	-1,997%	-0,102%	-0,203%	-0,857%	0,000%	-0,305%	-0,375%	
Soma	-7,133%	-1,610%	-1,609%	-3,378%	0,000%	-3,214%	-3,934%	

Apêndice T – Variações de dimensões e de massa de tijolos com 70% de solo, 30% de areia e 12% de manípua conformados na prensa hidráulica.

Corpo de prova	Massa (g)	Dimensões (m)				Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h	furo		
Pós-prensagem							
1	2,609	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
2	2,611	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
3	2,610	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
4	2,634	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
5	2,620	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
6	2,627	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
Média	2,619	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976
4 dias							
1	2,462	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016
2	2,474	0,246	0,123	0,059	0,060	0,030	123,016
3	2,468	0,246	0,123	0,059	0,060	0,030	123,016
4	2,477	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016
5	2,461	0,247	0,124	0,059	0,060	0,031	124,866
6	2,469	0,247	0,124	0,059	0,060	0,030	123,941
Média	2,469	0,246	0,123	0,059	0,060	0,030	123,478
Varição	-5,850%	-1,508%	-1,407%	-2,516%	0,000%	-2,910%	-3,561%
7 dias							
1	2,408	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401
2	2,420	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401
3	2,414	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401
4	2,431	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401
5	2,408	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016
6	2,420	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	122,708
Média	2,417	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,554
Varição	-2,110%	-0,406%	-0,203%	-0,857%	0,000%	-0,610%	-0,749%
Soma	-7,960%	-1,914%	-1,610%	-3,372%	0,000%	-3,519%	-4,310%

Apêndice U – Variações de dimensões e de massa de tijolos com 50% de solo, 50% de areia e 12% de manupeira conformados na prensa hidráulica.

Corpo de prova	Massa (g)	Dimensões (m)				furo	Área total (m ²)	Área útil (cm ²)
		L	b	h				
Pós-prensagem								
1	2,601	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
2	2,635	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
3	2,618	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
4	2,629	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
5	2,673	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
6	2,651	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
Média	2,634	0,250	0,125	0,060	0,060	0,031	127,976	
4 dias								
1	2,454	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
2	2,501	0,246	0,123	0,059	0,060	0,030	123,016	
3	2,478	0,246	0,123	0,059	0,060	0,030	123,016	
4	2,492	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
5	2,528	0,247	0,124	0,059	0,060	0,031	124,866	
6	2,510	0,247	0,124	0,059	0,060	0,030	123,941	
Média	2,494	0,246	0,123	0,059	0,060	0,030	123,478	
Varição	-5,440%	-1,508%	-1,407%	-2,516%	0,000%	-2,910%	-3,561%	
7 dias								
1	2,391	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401	
2	2,435	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401	
3	2,413	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401	
4	2,450	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,401	
5	2,470	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	123,016	
6	2,460	0,246	0,123	0,058	0,060	0,030	122,708	
Média	2,437	0,245	0,123	0,058	0,060	0,030	122,554	
Varição	-2,315%	-0,406%	-0,203%	-0,857%	0,000%	-0,610%	-0,749%	
Soma	-7,754%	-1,914%	-1,609%	-3,371%	0,000%	-3,518%	-4,309%	

Apêndice V – Resistência a compressão de tijolos de solo e manipueira fabricados com a prensa hidráulica.

Composição	Corpo de prova	Área (cm²)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)
Solo : areia 90 : 10 + 12% de manipueira	1	120,566	1117,112	0,909
	2	120,566	1365,325	1,111
	3	120,566	1241,218	1,010
	4	120,566	1274,827	1,037
	5	120,566	918,898	0,747
	6	120,566	1004,459	0,817
	Média	120,566	1153,640	0,938
Solo : areia 80 : 20 + 12% de manipueira	1	121,786	949,545	0,765
	2	121,786	1092,260	0,880
	3	121,786	992,975	0,800
	4	121,786	1019,861	0,821
	5	121,786	716,740	0,577
	6	121,786	703,121	0,566
	Média	121,786	912,417	0,735
Solo : areia 70 : 30 + 12% de manipueira	1	120,566	637,901	0,519
	2	120,566	829,272	0,675
	3	120,566	462,804	0,376
	4	120,566	813,957	0,662
	5	120,566	624,851	0,508
	6	120,566	783,478	0,637
	Média	120,566	692,044	0,563
Solo : areia 50 : 50 + 12% de manipueira	1	120,566	624,154	0,503
	2	120,566	541,599	0,436
	3	120,566	561,739	0,452
	4	120,566	569,107	0,458
	5	120,566	626,018	0,504
	6	120,566	629,148	0,507
	Média	120,566	591,961	0,477