



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS GURUPI
CURSO SUPERIOR TECNÓLOGO EM PRODUÇÃO DE GRÃOS**

KAIO CESAR LIMA VALE

**AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS DE ADOBE COM ADIÇÃO DE
PALHA DE ARROZ**

**GURUPI - TO
2022**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS GURUPI
CURSO SUPERIOR TECNÓLOGO EM PRODUÇÃO DE GRÃOS**

KAIO CESAR LIMA VALE

**AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS DE ADOBE COM ADIÇÃO DE
PALHA DE ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Produção de Grãos da Unidade Gurupi, do Instituto Federal do Tocantins, como exigência à obtenção do título de Tecnólogo em Produção de Grãos.

Orientador: Me. Rodrigo Araújo Fortes
Coorientador: Dr. Luziano Lopes da Silva

GURUPI - TO
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

- L732a Lima Vale, Kaio Cesar
AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS DE ADOBE
COM ADIÇÃO DE PALHA DE ARROZ / Kaio Cesar Lima Vale. –
Gurupi, TO, 2022.
28 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Produção de
Grãos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Gurupi, Gurupi, TO, 2022.
- Orientador: Me. Rodrigo Araújo Fortes
Coorientador: Dr. Luziano Lopes da Silva
1. Arquitetura Vernacular. 2. Resíduos Sólidos. 3.
Sustentabilidade. I. Araújo Fortes, Rodrigo. II. Lopes da Silva,
Luziano. III. Título.

CDD 633.1

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

KAIO CESAR LIMA VALE

AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS DE ADOBE COM ADIÇÃO DE PALHA DE ARROZ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Produção de Grãos da Unidade Gurupi, do Instituto Federal do Tocantins, como exigência à obtenção do título de Tecnólogo em Produção de Grãos.

Aprovado em: 21/02/2021.

BANCA EXAMINADORA

Me. Rodrigo Araújo Fortes (Orientador)
IFTO – *Campus* Gurupi

Dr. Mauro Luiz Erpen (1º Avaliador)
IFTO – *Campus* Gurupi

Dr. Sabino Pereira da Silva Neto (2º Avaliador)
IFTO – *Campus* Gurupi



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Araujo Fortes, Membro**, em 21/02/2022, às 15:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mauro Luiz Erpen, Coordenador**, em 21/02/2022, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sabino Pereira da Silva Neto, Membro**, em 21/02/2022, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ifto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1536646** e o código CRC **810D230D**.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que sem ele não estaria aqui, aos meus colegas de curso. Dedico este trabalho a todo o curso Superior de Tecnologia em Produção de Grãos da Universidade Instituto Federal do Tocantins, corpo docente e discente.

AGRADECIMENTOS

A Rodolfo, João Paulo, Rodrigo, Adriano, Rayane, Raquel, André Ferreira, André Luiz, Luziano os autores envolvidos pelo empenho e dedicado à elaboração deste trabalho sendo o mesmo sendo publicado como capítulo de livro. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de verificar a viabilidade técnica do aproveitamento de resíduos agrícolas na aplicação da técnica do adobe em construções ecologicamente sustentáveis. A pesquisa foi realizada por meio de ensaios laboratoriais após revisão bibliográfica, tendo como aporte teórico autores que investigam a potencialidade de reutilização de resíduos da construção civil e do agronegócio, neste último caso, mas especificamente, a palha de arroz. A técnica em estudo foi analisada comparando três diferentes composições de insumos com os parâmetros, características e requisitos especificados nas normas técnicas brasileiras. Os resultados encontrados, por meio de testes de correlação de Pearson, demonstram que quanto maior a densidade, maior a resistência à compressão e menor a absorção dos materiais. Entretanto, em nenhum dos tratamentos a resistência a compressão do adobe foi maior ou igual a 1,5 MPa, sendo insatisfatório segundo a norma. Após a realização dos estudos, conclui-se que as características mecânicas do tijolo de terra crua dependem de diversos fatores, sendo o principal deles o teor das adições, processo mecanizado de moldagem e a proporção de água presente no traço.

Palavras-chave: Arquitetura Vernacular. Resíduos Sólidos. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This work aims to verify the technical feasibility of using agricultural waste in the application of the adobe technique in ecological constructions sustainable. The research was carried out through laboratory tests after review bibliographical, having as theoretical support authors who investigate the potential of reuse of civil construction and agribusiness waste, in the latter case, but specifically, rice straw. The technique under study was analyzed comparing three different compositions of inputs with parameters, characteristics and requirements specified in the Brazilian technical standards. The results found, through Pearson's correlation tests demonstrate that the higher the density, the greater the resistance to compression and less absorption of materials. However, in none of the treatments, the compressive strength of adobe was greater than or equal to 1.5 MPa, being unsatisfactory by the norm. After carrying out the studies, it is concluded that the mechanical characteristics of the raw earth brick depend on several factors, the main ones the content of the additions, the mechanized molding process and the proportion of water present in the trace.

Key words: Vernacular Architecture. Solid Waste. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	–	DIMENSÕES DO TIJOLO DE ADOBE.....	17
FIGURA 2	–	DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS.	18
FIGURA 3	–	CORPOS DE PROVA PARA O ENSAIO DE COMPRESSÃO.	18
FIGURA 4	–	LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS.....	19
FIGURA 5	–	ENSAIO DE COMPREENSÃO.	20
FIGURA 6	–	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 CONTEXTO HISTÓRICO DO USO DO ADOBE	11
2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA AGRICULTURA	13
2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	14
3. MÉTODO	15
3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL	16
3.2 DETERMINAÇÃO DOS TRATAMENTOS	16
3.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	17
3.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE	19
3.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO	20
3.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	21
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5. CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26

1. INTRODUÇÃO

Quando o tema trata de sustentabilidade, ele estará reivindicado pela sociedade organizada e com isso o Estado o incluirá como pauta em suas políticas públicas. Com a realização de eventos como a de Estocolmo em 1972, Rio+20 que ocorreu no Brasil em 2012 e a COP-21, realizada no ano de 2015, evidenciou-se a temática, promovendo discussões que culminaram na elaboração de metas para amenizar os impactos ambientais (CONVENÇÃOQUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA, 2015; JACKSON, 2007).

A construção civil e o agronegócio não escapam do cerne dessa discussão. Ambas as áreas geram grande quantidade de resíduos como extraem inúmeras matérias-primas da natureza, com isso aumenta a preocupação com a sustentabilidade em ambas as áreas. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), temos o apontamento de 31 milhões de toneladas de resíduos somente na construção civil anualmente (FERNANDEZ, 2012).

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, na sigla em língua inglesa) estimou uma safra mundial de arroz em 505,8 milhões de toneladas para 2020/21.

Sendo 11 milhões destas produzidas apenas pelo Brasil, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Atualmente, o Brasil ocupa a 10ª posição entre os maiores produtores mundiais de arroz (COÊLHO, 2021; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2021).

Segundo Silva e Ruggero (2014), o Brasil está no cenário como uns dos maiores produtores de produtos agrícolas, como consequência, há alta geração de resíduos, porém, algumas culturas não possuem destinação total para eles, o que ocasiona um grande potencial material deixados de ser aproveitado, dentre estes a casca de arroz.

Com a demanda cada vez maior por arroz, o acúmulo desse resíduo em grandes beneficiadoras vem aumentando, em contrapartida tem crescido o interesse no reaproveitamento deste resíduo. Ochôa e Martins (2015) relatam que o depósito deste resíduo em terreiros a céu aberto, uma prática muito adotada pelas empresas que estocam essa matéria-prima, que se transformam em verdadeiras montanhas esperando por futuros compradores, e muitas vezes, acabam por se decompor no

local, onde esse processo pode liberar o gás metano de forma não controlada, contribuindo com o agravamento dos problemas ambientais, De acordo com o Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (IPCC, 1996), que a prática da queima descontrolada deste resíduo pode levar a prejuízos ambientais devido a liberação de monóxido de carbono e dióxido de carbono.

Nesta perspectiva, este estudo teve como objetivo verificar as características físicas e mecânicas de tijolos de adobe com adição de palha de arroz, promovendo o aproveitamento de resíduos agrícolas em construções ecologicamente sustentáveis no meio rural.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO DO USO DO ADOBE

Desde que o homem parou de ser nômade com a prática da agricultura e a domesticação dos animais e com a necessidade de construir moradias temporárias, o uso do adobe foi difundido em todo planeta e por ser uma técnica milenar adotada por diferentes povos faz que no mundo todo ainda existem construções com o uso de terra crua e adobe e suas variantes em todo o planeta, independentemente do clima, e quase todas as civilizações se utilizaram da técnica de construção de terra crua para edificar (DETHIER, 1985). Experimenta-se que esse método de construção vem sendo moldada por cada tipo de tribo e suas necessidades e materiais disponíveis em seu ambiente assim proporcionando maior proteção contra intempéries e ataques de animais selvagens, alguns pesquisadores apontam para o início do uso no período neolítico, período histórico que ocorre entre os anos de 7 mil a.C. a 2500 a.C., algumas evidências de pelo menos 10.000 anos da primeira domesticação e criação de animais datados na maioria dos sítios arqueológicos e edifícios históricos em todo o mundo (PACHECO-TORGAL E JALALI, 2011).

Juntamente com várias técnicas de construção em terra, a tecnologia adobe destaca-se como uma das mais tradicionais. As muralhas de Jericó na Palestina (OSHIRO, 1990), e suas habitações, uma das primeiras evidências do uso desta técnica, em pré-cerâmica pré-neolítica A, por volta de 9.000 a.C. (VAL, 2003). Segundo Berge (2009), o adobe mais antigo já descoberto está localizado no curso

superior da bacia do rio Tigre, datando em 7.500 a.C. Ao longo da história, as técnicas de construção em adobe sofreram muitas adaptações, pois a cultura e os costumes de cada uma nação variam. Isso levou a uma diminuição de seu uso, principalmente devido à popularização do material mais nobres, um recurso que foi amplamente usado foi o concreto, com as grandes indústrias que foram utilizadas no esforço de guerra convertidas para a pré-fabricação em concreto acabou por assumir, esse importante papel, em pequenas cidades e centros urbanos ao redor do mundo.

Atualmente, não há um consenso específico sobre o período de declínio da construção em adobe ou solo em geral, o que alguns pesquisadores dentre eles o McHenry (1989), atribuem a qualquer período posterior à Revolução Industrial no século XIX. Para McHenry (1989), no período pós-Segunda Guerra Mundial, o investimento em materiais mais modernos levou à redução do uso do solo primitivo como material de construção, à adoção de materiais de construção mais rápidos para acelerar o processo de reconstrução pós-bélica - estruturas destruídas, uso de adobe para reconstruir Bairros mais distantes ou casas de menor poder aquisitivo, sem acesso aos novos métodos de construções que acabam sendo adotados por falta de condições, e à medida que a globalização avança.

Revuelta-Acosta *et. al.* (2010) notaram a esse declínio, no final do século XIX, quando iniciou a maior oferta de materiais manufaturados com valor mais acessível. Também houve um breve renascimento na construção com terra em países como França e Grã-Bretanha neste período, tanto pela escassez de materiais como pela urgente necessidade de relocar populações afetadas pela guerra (DIPASQUALE *et. al.*, 2011). Da Costa (2015) identificou uma dinâmica semelhante ocorrida no mesmo período em Portugal, onde houve um diálogo entre a arquitetura vernácula e a arquitetura clássica.

Os autores concordam que em algum momento da segunda metade do século XX houve um aumento acentuado no interesse pelas técnicas de construção de terra crua; Berge (2009) destaca que a construção com terra crua experimentou um renascimento tanto na Europa quanto na América do Norte desde o início dos anos 1980; Dipasquale *et. al.* (2011) esse interesse foi descoberto já na década de 1960. Paradoxalmente, mesmo nessa ascensão tímida, Moquin (1996) documenta um viés subjacente profundamente arraigado em sua descrição da proibição dos anos 1960. A partir de 1970, edifícios com paredes estruturais de terra foram

construídos pelo governo alemão; na mesma década, Revuelta-Acosta *et. al.* (2010) acredita-se que o surgimento da crise do petróleo seja uma das principais razões para o renovado interesse nas técnicas de construção de terra crua, devido às suas menores necessidades energéticas no processo de fabricação e proporcionar um melhor conforto térmico em comparação com as técnicas convencionais.

Ao longo da última década – início dos anos 2000 – a comunidade científica recebeu atenção crescente, com um aumento de dez vezes no número de artigos de pesquisa publicados em comparação com a década anterior (PACHECOTORGAL; JALALI, 2011). No Brasil, a situação não é exceção. O número de publicações sobre o uso de terra crua como material de construção aumentou substancialmente, juntamente com eventos acadêmicos e técnicos dedicados a esse tema, além do surgimento de escritórios de arquitetura e construtoras especializadas na área, além do surgimento de redes. Os profissionais – PROTERRA e Terra Brasil – concentram-se na discussão, regulamentação e divulgação da construção com terra e têm uma grande adesão no Brasil. Além de relevantes fatores sociais, culturais, técnicos, econômicos e históricos, esse resgate se justifica por diversos fatores, principalmente relacionados às propriedades físicas, químicas, térmicas, acústicas e mecânicas das técnicas construtivas de terra crua.

Ressalta-se que essa tendência não ocorreu mundialmente, outros autores como VEADO (1999), levantaram o fato de que devida busca pelo o uso do solo, principalmente o adobe moderno, para técnicas de resgate, técnicas e posteriores com o desenvolvimento de políticas de desenvolvimento sustentável, devido a esses fatores, as edificações de uso do solo são cada vez mais procuradas pela classe de maior poder aquisitivo, pois esse tipo de edificação possui maior nível de conforto.

2.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA AGRICULTURA

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, e sua produção agrícola se destaca na consolidação da economia brasileira, tendo a multiplicação de complexos agroindustriais e com grande parte no produto interno bruto (PIB), já quando os mesmos possuem grande relevância no controle da inflação e com esse mercado sendo grande responsável da economia do Brasil ou sua região (MARAFON, 1998).

Com a rápida modernização da agricultura, que parte dela foi forçada pela cada vez mais crescente demanda de alimentos gerada pelo crescimento populacional, assim a agricultura teve que migrar cada vez mais para sistemas mais intensivos, com a demanda por alimentos de qualidade cada vez mais exigente foi criado um segmento industrial, que faz o processamento primário de grande parte dos alimentos, alguns desses sendo feitos já na hora da colheita. Segundo Spadotto e Ribeiro (2006), as indústrias voltadas para o mercado agrônomo constitui um segmento de grande importância para a economia brasileira, isso tanto no mercado interno ou em exportações, sendo o Brasil líder em exportações em alguns grãos.

2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O Brasil é um dos maiores produtores de resíduos sólidos urbanos do planeta (SILVA; FUGII; SANTOYO, 2017). Com esse problema surgiu a necessidade de fortalecer o programa de Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010), O PNRS aborda o tema de resíduos de construção civil (RCC), esses são resíduos gerados pela construção civil que abrange trabalhos que vai desde a escavações até pequenas reformas (BRASIL, 2010).

Com o rápido crescimento das cidades acaba por agravar esse problema, com essa rápida expansão reflete em uma demanda excessiva por profissionais aonde muitos não possuem conhecimentos atualizados, assim acarretando em métodos antiquados e ultrapassados de construção civil (SILVA; FERNANDES, 2012), chegando em algumas estimativas aonde esses resíduos podem alcançar cerca de 40% de todo resíduo sólido gerado em um município Brasileiro (SILVA et al., 2018).

O descarte ilegal em locais não apropriados pode gerar alguns impactos ambientais, como proliferação de doenças e animais peçonhentos, poluição do solo e lençol freático e vias fluviais, assim causando o agravamento de casos de enchentes (COSTA; ATHAYDE JÚNIOR; OLIVEIRA, 2014).

Em vista destes problemas a comunidade acadêmica vem crescendo cada vez mais os estudos científicos com o intuito de regularizar os impactos ambientais causados por esses resíduos (TESSARO; SÁ; SCREMIN, 2012).

3. MÉTODO

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal do Tocantins (IFTO) – Campus Gurupi e Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da Universidade Federal do Tocantins (UFT), localizado no Campus Universitário de Gurupi. Entretanto, os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do IFTO – Campus Palmas.

Antes de iniciar os ensaios em laboratório, foi realizado um levantamento bibliográfico de trabalhos correlatos com a temática para auxiliar na condução dos experimentos desenvolvidos no decorrer da pesquisa. Dentre os diversos autores existentes na literatura, utilizou-se como referência os trabalhos de Júnior et al. (2020) e Melo et al. (2011) que, se ocupam em avaliar a produção de blocos de alvenaria utilizando resíduos da construção civil. De forma complementar, recorreu-se aos autores Ochôa e Martins (2015) e Santos, Suzart e Júnior (2014) que realizaram estudo sobre o aproveitamento da casca de arroz como fonte de combustível e da aplicação do compósito à base de solo-cimento de fibra de bananeira para a fabricação de tijolo, respectivamente.

Além dos autores citados anteriormente, recorreu-se as seguintes normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): a NBR 6457:2016 (2016a) que especifica o método para preparação de amostras de solos para ensaios de compactação e ensaios de caracterização; a NBR 7181:2016 (2016b), que estabelece o método para análise granulométrica de solos, a NBR 16814:2020 (2020) que trata dos requisitos para produção de adobe e execução da alvenaria, além dos métodos de ensaio para sua caracterização física e mecânica; a NBR 9778:2005 (2005b) que prescreve o ensaio para determinação da absorção de água, índice de vazios por imersão e fervura, e das massas específicas de argamassa e concretos endurecidos; e, por fim a NBR 15270-1:2005 (2005a) que trata da terminologia e requisitos de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação.

3.1 COLETA E PREPARO DO MATERIAL

Os materiais utilizados na produção dos tijolos de adobe foram a casca de arroz in natura e solo, todos coletados no município de Gurupi, no sul do estado do Tocantins. O solo foi submetido a ensaios de composição granulométrica conforme as NBR 6457:2016 e NBR 7181:2016, para determinação do teor de areia, silte e argila, pois segundo a NBR 16814:2020 considera adequado para a produção de adobe os seguintes parâmetros: Areia: de 45% a 65%; Silte: até 30%; e Argila: de 25% a 35%. O solo utilizado para a confecção do adobe encontra-se dentro dos parâmetros exigidos pela NBR 16814:2020, apresentando 45% de areia, 20% de silte e 35% de argila.

3.2 DETERMINAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Na definição da quantidade de insumos utilizados na produção do adobe, foram realizados pré-testes com adição de 10%, 20% e 30% de casca de arroz em massa. Verificando se que os adobes com adições superiores a 10% não possuem coesão entre as partículas, adotando-se traços com 5% e 10% de adição. A quantidade de água foi determinada, de modo a chegar numa consistência que permitisse o manuseio e a moldagem do adobe. Foram estabelecidas três tipologias de adobe: controle, sem adições, dois com adição de 5% e 10% de casca de arroz em massa, respectivamente. Na Tabela 1 são apresentados os valores de insumos que foram utilizadas para a produção dos tijolos de adobe.

Tabela 1. Insumos utilizados na fabricação dos tijolos de adobe.

Insumos	Tratamentos		
	T0 (kg)	T1 (kg)	T2 (kg)
Solo	60	55,95	49,5
Cascas de Arroz	0	2,75	5,5
Água	15	19	26
Traço	1	1:0,05	1:0,10
Fator a/s¹	0,25	0,34	0,53

Fonte: Elaborada pelos autores, 2021.

¹ Nota: a/s: relação água/solo

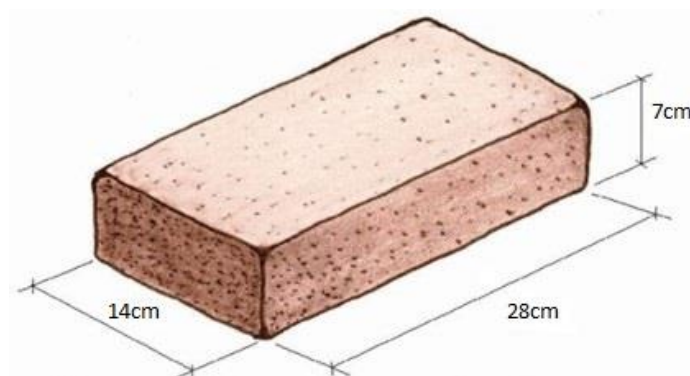
Cada tipologia foi submetida a secagem ao ar livre, gerando três tratamentos distintos, cada um composto por 12 tijolos de adobe:

- T0, sem adições;
- T1, com adição de 5% de casca de arroz;
- T2, com adição de 10% de casca de arroz.

3.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

As dimensões específicas para o tijolo de adobe seguiram as recomendações da NBR 16814:2020, sendo escolhidas as dimensões de 7cm x 14cm x 28cm (H x L x C) tendo uma tolerância de $\pm 5\text{mm}$ (Figura 1).

Figura 1. Dimensões do tijolo de adobe.

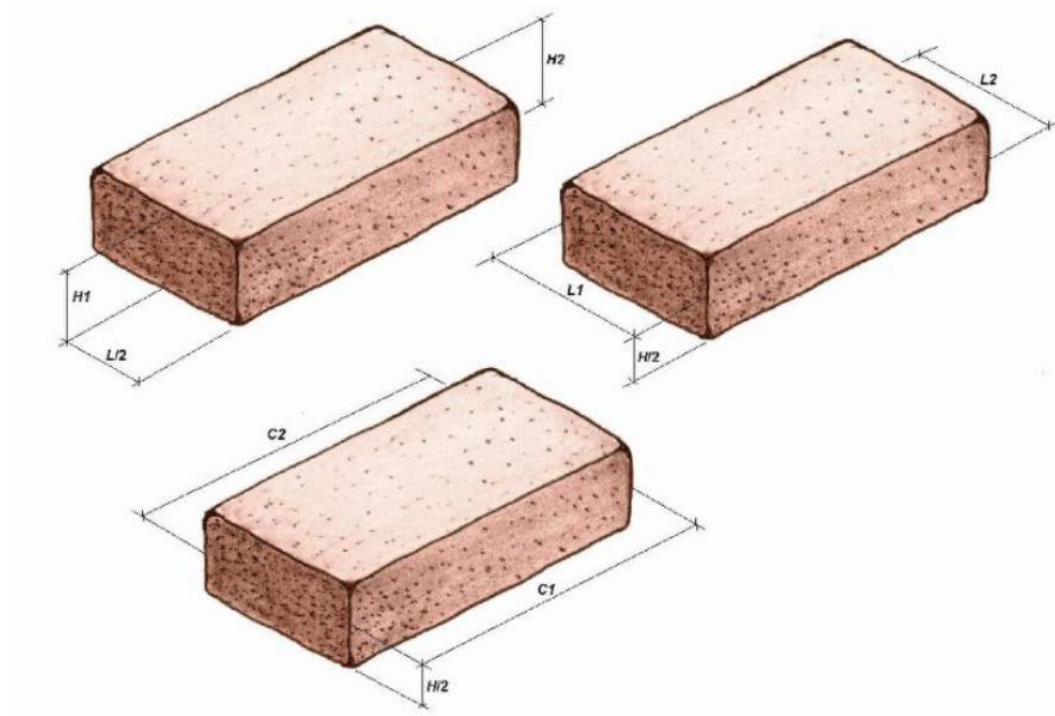


Fonte: Adaptado de NBR 16814 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020).

A homogeneização da mistura seguiu os percentuais definidos na Tabela 1, com acréscimo de água, de modo a chegar numa consistência que permitisse o manuseio e a moldagem. Esse processo ocorreu de forma mecânica, através de uma betoneira de 400 litros. Os tijolos foram moldados de forma manual em fôrmas de madeira, limpas com água, retirando qualquer vestígio de poeira ou outro material indesejado que pudesse interferir no deslizamento durante o processo de moldagem.

Para a determinação da densidade do Adobe, foram utilizados os dados de massa e dimensões médias dos tijolos de adobe com dimensões de 7cm x 14cm x 28cm (H x L x C), coletados conforme o Anexo A da NBR 16814:2020, para determinação das características dimensionais (Figura 2).

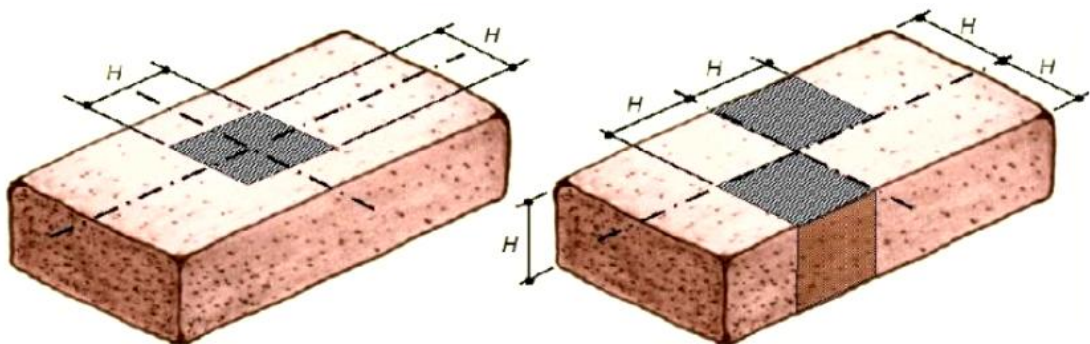
Figura 2. Determinação das características dimensionais.



Fonte: NBR 16814 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020).

Para o ensaio de compressão do adobe (f_{ca}), foram retirados dos tijolos de adobe 12 corpos de prova por tratamento, seguindo as recomendações do Anexo B da NBR 16814:2020 (Figura 3), com dimensões de 7 cm x 7cm x 7cm (H x L x C), posteriormente capeados com argamassa de cimento com espessura máxima de 3mm.

Figura 3. Corpos de prova para o ensaio de compressão.



Fonte: NBR 16814 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020).

Para o ensaio de absorção, foram retirados dos tijolos de adobe 12 corpos de prova por tratamento, com dimensões de 7 cm x 7cm x 14cm (H x L x C),

posteriormente secos em estufa à $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até massa constante, para a obtenção do peso seco.

Neste estudo utilizou-se a secagem ao ar livre em local sem obstáculos à ventilação e com boa drenagem. Os tijolos de adobe foram dispostos sobre chapas de madeira niveladas. A NBR 16814:2020 estabelece que o tempo de secagem dos adobes varia de acordo com as condições climáticas de cada região. Portanto a secagem foi monitorada até massa constante dos tijolos.

3.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE

A densidade foi obtida através da razão entre a massa e o volume dos tijolos de adobe. Para determinar o volume utilizou-se 12 tijolos de cada tratamento com dimensões de 7cm x 14cm x 28cm, e com o uso de um paquímetro digital foram obtidos dados de altura, largura e comprimento de cada tijolo (Figura 4). Para determinar a massa, foi usada uma balança de precisão. A densidade aparente foi obtida por meio da Equação 1.

$$D = \frac{P}{V} \quad (1)$$

Em que: D é densidade em g.cm^{-3} ; P é o peso amostra em g; V é o volume em cm^3 .

Figura 4. Levantamento das características dimensionais.



Fonte: Próprios autores, 2021.

3.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO

Para o ensaio de compressão foi utilizado um total de 12 amostras de cada tratamento com medidas de 7 cm x 7cm x 7cm. Os corpos de prova foram submetidos a uma sobreposição de carga aplicada através de uma máquina universal de ensaios (Figura 5), marca EMIC, modelo DL10000, que possui um sistema computadorizado para o controle das variáveis do ensaio e coleta dos dados de carga e deslocamento até o encurtamento do corpo.

Figura 5. Ensaio de compressão.



Fonte: Próprios autores, 2021.

A resistência à compressão (f_{ca}) foi obtida por meio da Equação 2, enquanto a resistência característica à compressão do adobe (f_{cak}) foi obtida por meio da Equação 3.

$$f_{ca} = \frac{F_{rup}}{A_{rup}} \quad (2)$$

Em que: f_{ca} é a resistência à compressão do corpo de prova em MPa; F_{rup} é a força de ruptura em N; A_{rup} é a área de ruptura em mm².

$$f_{cak} = f_{cam} - 1,645 * S_d \quad (3)$$

Em que: f_{cak} é a resistência característica à compressão do adobe em MPa; f_{cam} é a resistência à compressão média da amostra em MPa; S_d é o desvio-padrão da amostra em MPa.

3.6 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para a determinação da absorção de água adaptamos as recomendações da NBR 9778:2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), foram selecionadas 12 amostras de cada tratamento, com dimensões de aproximadamente, 7 cm x 7cm x 14cm. A princípio identificou-se os corpos de prova, e em seguida obteve-se as medidas das amostras com o uso de paquímetro digital, logo após com o auxílio de uma balança de precisão foram coletadas a massa de cada amostra, este processo ocorreu em dois momentos: antes da imersão em água, após 5 horas de imersão (Figura 6).

Figura 6. Ensaio de absorção de água.



Fonte: Próprios autores, 2021.

O cálculo da absorção foi feito por meio da Equação 4.

$$A_m = \frac{m_1 - m_0}{m_1} * 100 \quad (4)$$

Em que: A_m é a absorção de água, em porcentagem; m_1 é a massa do corpo de prova após imersão, em g; m_0 é a massa do corpo de prova antes da imersão, em g.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística dos dados, foi utilizando um delineamento inteiramente casualizado, em que primeiramente aplicou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Em seguida, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e por fim utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Para a determinação do coeficiente de variação e coeficiente de correlação de Pearson foi utilizada a planilha de Excel®.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios e a comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para os parâmetros densidade, de resistência à compressão e absorção 5 horas, que foram obtidos com 28 dias de secagem.

Tabela 2. Valores médios de densidade, resistência à compressão, resistência característica à compressão, e absorção e seus respectivos coeficientes de variação.

Tratamentos	D (g cm ⁻³)	fca (MPa)	fcak (MPa)	Absorção em 5 horas (%)
T0 – Sem adição	1,48a	0,58a	0,471	25,62a
	(11,18)	(5,46)		(0,58)
T1 – adição de 5%	1,20b	0,23b	0,149	31,18b
	(21,54)	(1,65)		(0,74)
T2 – adição de 10%	1,00c	0,29b	0,194	45,21c
	(19,75)	(2,19)		(1,63)

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (5%). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \geq 0.05$). Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

Fonte: Elaborada pelos autores, 2021.

Densidade

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, em relação à densidade, houve diferença estatística significativa entre todos os tratamentos, onde

pode-se observar que a densidade diminui com a adição da casca de arroz. O tratamento sem adição (T0) apresentou maior densidade, seguido por T1 e T2, respectivamente. Levando em consideração os coeficientes de variação, todos os dados apresentaram baixo coeficiente de variação, indicando que não ocorreu discrepância nas coletas dos dados, tornando as análises mais confiáveis.

A NBR 16814:2020 não define um valor específico para densidade aparente unitário dos tijolos de adobe, o que possibilita a aceitação dos valores obtidos em todos os tratamentos.

Resistência à Compressão

Para o ensaio de resistência à compressão (Tabela 2) houve diferença significativa entre o tratamento sem adição (T0) e os demais tratamentos. Sendo que a maior resistência à compressão foi observada para T0 (0,58 MPa), seguido do T2 (0,29 MPa) e T1 (0,23 MPa) que apresentou a média mais baixa em comparação com os demais. Nenhum dos tratamentos obtiveram o valor mínimo recomendado pela NBR 16814:2020. Levando em consideração os coeficientes de variação, os dados apresentaram baixo coeficiente de variação, isso significa que não ocorreu discrepância nas coletas dos dados, tornando as análises mais confiáveis.

Absorção

Para os valores de absorção em 5 horas é possível observar que houve diferença significativa entre as tipologias, sendo que o tratamento sem adição (T0) apresentou menor valor (25,62%) e o tratamento com adição de 10% de casca de arroz (T2) apresentou o maior valor (45,21). Levando em consideração os coeficientes de variação, os dados apresentaram baixo coeficiente de variação, isso significa que não ocorreu discrepância nas coletas dos dados, tornando as análises mais confiáveis.

A NBR 16814:2020 não estabelece parâmetros de absorção para os tijolos de adobe. A ABNT NBR 15270:2005 (2005a) estabelece parâmetros de absorção para os tijolos de blocos de cerâmica usados tanto para vedar como para alicerce de estruturação não deve ser menor do que 8% e não pode ser maior do que 22%, enquanto a NBR 8.491:2012 (2012) estabelece parâmetros de absorção para os tijolos de solo-cimento não pode ser maior do que 20% em média e nem em valores

individuais superiores de 22%, logo deve-se considerar o uso de um impermeabilizante na mistura, para considerar seu uso aceitável.

Correlação de Pearson

Na Tabela 3 é apresentada a matriz correlação densidade e resistência à compressão. Para tal foi utilizada a correlação de Pearson (r) que é a medida de associação mais utilizada no meio da pesquisa, em que quanto mais próxima de 1 indica uma forte correlação diretamente proporcional e quanto mais próxima de -1 indica uma forte correlação inversamente proporcional.

Tabela 3. Matriz de Correlação entre Densidade, Resistência à Compressão e Absorção.

Parâmetros	fca (MPa)	Densidade (g/cm³)	Absorção (%)
fca (MPa)	1		
Densidade (g/cm ³)	0,836216	1	
Absorção (%)	-0,55536	-0,90423	1

Fonte: Elaborada pelos autores, 2021.

Ao analisar a matriz de correlação, observa-se uma forte correlação diretamente proporcional entre a densidade e a resistência à compressão apresentando coeficiente de 0,836216, ou seja, quanto maior a densidade do adobe, maior será a resistência sua resistência.

Entre densidade e absorção, houve forte correlação negativa, sendo inversamente proporcional, apresentando coeficiente de -0,90423, assim quanto maior for a densidade, indica que menor será a absorção de água pelo adobe. Também apresentou uma correlação moderada negativa a resistência à compressão em relação à absorção, apresentando coeficiente de -0,55536, ou seja, quanto maior a absorção menos resistente será o adobe. Por meio do teste de correlação de Pearson foi possível identificar que quanto maior a densidade, maior foi a resistência à compressão e menor foi a absorção.

5. CONCLUSÃO

A NBR 16814:2020 não define um valor específico para densidade aparente unitário dos tijolos de adobe, o que possibilita a aceitação dos valores obtidos em todos os tratamentos.

Com base nos dados obtidos conclui-se que os tijolos de adobe com adição de 5% e 10% de casca de arroz não apresentaram resultados satisfatórios no quesito resistência, uma vez que não atingiram o valor mínimo proposto pela norma, entretanto tiveram um bom resultado no que diz respeito a densidade, pois os mesmo se apresentaram bem leves, o que pode contribuir para uma estrutura mais leve, e também apresentaram altos valores de absorção de água, o que acaba sendo uma desvantagem para o material.

Os tratamentos com adição de 10% de casca de arroz, foram os que obtiveram os melhores resultados, tanto de resistência, como na densidade, tornando se assim uma referência de traço para o início de novas pesquisas, mediante a utilização de algum impermeabilizante.

Pela NBR 16814:2020 a resistência a compressão do adobe deve ser maior ou igual a 1,5 MPa, o que deixa evidente que os resultados obtidos nesta pesquisa não foram satisfatórios, entretanto fica em aberto a possibilidade de novos estudos utilizando a casca de arroz como adição no adobe, visto que as características mecânicas do tijolo de terra crua depende de diversos fatores, sendo o principal deles o teor das adições, processo mecanizado de moldagem e a proporção de água presente no traço, sendo assim possível adquirir resultados diferentes em estudos futuros.

REFERÊNCIAS

ABIB – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DA BIOMASSA. **Inventário residual Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://pt.calameo.com/read/000200968cc3a949579a0>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16814: Adobe - Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

BERGE B. The ecology of building materials. 2 ed. Architectural Press, **Elsevier Science**. 2009.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, de 3 de agosto de 2010.

COÊLHO, Jackson Dantas. **Arroz: produção e mercado**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2021. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/698>> Acesso em nov 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília: Conab, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria/item/download/38908_7e9804e5a9e69f38adbdb8271f31918> Acesso em nov 2021.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA. **Acordo de Paris**. Paris: [s. n.], 2015.

DA COSTA, A. M. T. A. **Integrated Conservation Strategy of Built Heritage**. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro, Portugal. 2015.

DETHIER, J. A back-to-earth approach to housing. **Unesco**, Courier. 1985. p. 31-33.

DIPASQUALE, L.; CORREIA, M.; MECCA, S.; MILETO, C.; MOROT-SIR, P.; VEGAS, F.; AKERMANN, K.; ANDERSSON, J.; BAVAY, G.; BEI, G.; BENŽA, M.; BERESCU, C.; BERTAŠIUŲTĖ, R.; BLUMS, P.; BRAXÉN-FROMMER, A.; BRONCHART, S.; BUCH, P.; BUZÁS, M.; CASTRO, A.; GUÉRIN, R. **Terra Europae Earthen: Architecture in the European Union**. Pisa: Edizioni ETS. 2011.

ESSARO, A. B.; SÁ, J. S. de & SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 121-130, 2012.

FERNANDEZ, Jaqueline Aparecida Bória. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil**. Brasília: IPEA, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7669>. Acesso em: 21 nov. 2021.

JACKSON, Peter. From Stockholm to Kyoto: A brief history of climate change. **UN Chronicle**, [s. l.], v. 44, n. 2, 2007.

JÚNIOR, Jaldo M. Marinho *et al.* Produção de blocos sustentáveis com adição de resíduos para aplicação em construções civis. **Revista Multidebates**, Palmas, v. 4, n. 6, p. 101–115, 2020. Disponível em: <https://revista.faculdadeitop.edu.br/index.php/revista/article/view/292> Acesso em 21 nov 2021.

MARAFON, Gláucio José. Industrialização da Agricultura e Formação do Complexo Agroindustrial no Brasil. **Geo UERJ**, No 03, Rio de Janeiro, 1998, p. 7-21.

McHenry, P. G.. **Adobe and rammed earth buildings: design and construction**. University of Arizona Press, 1989.

MELO, Aluísio Braz *et al.* Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 111–124, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000200008>.

MOQUIN, M. **Ancient solutions for future sustainability: Building with adobe, rammed earth, and mud**. Earth building and cob revival: A reader, 3, 1996. p. 7-12.

OCHÔA, Ana Lúcia da Silva; MARTINS, Geomar Machado. **Perspectiva do aproveitamento da casca de arroz como fonte de combustível em fornalhas para secagem de grãos**. 2015. Monografia (Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) - Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/1557> Acesso em 21 nov 2021.

OSHIRO, F. **Construcción de vivienda económica en adobe estabilizado**. Predes. Perú, 1990.

PACHECO-TORGAL F, JALALI S. Earth construction: lessons from the past for future

eco-efficient construction. **Construction and Building Materials**. v.29, 512–9, 2011. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054.

REVUELTA-ACOSTA, J. D., GARCIA-DIAZ, A., SOTO-ZARAZUA, G. M.; RICO-GARCIA, E. Adobe as a sustainable material: A thermal performance. **Journal of Applied Sciences**, 10(19), 2211-2216, 2010. doi: 10.3923/jas.2010.2211.2216

SANTOS, Wagna Piler Carvalho dos; SUZART, Vivian Patricia; JÚNIOR, Nelício Ferreira da Silva. Tendências tecnológicas para o processo de preparação de compósito à base de solo-cimento e fibra de bananeira para fabricação de tijolos e tecnologias correlatas através da pesquisa em documentos de patentes. **Cadernos de Prospecção**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 36–44, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/11455>> Acesso em 21 nov 2021.

SILVA, C. L. da; FUGII, G. M. & SANTOYO, A. H. Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 2, p. 276-292, 2017.

SILVA, Marcelo J. Moreira da; RUGGERO, Paulo André. **Gaseificação**. [S. l.], 2014. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/gaseif/gaseif.html>.

SILVA, N. M. da; ISHIDA, H. Y.; LUKIANTCHUKI, J. A.; REIS, J. H. C. dos & SILVA, C. F. da. Quebra do grão em Resíduos de Construção Civil (RCC) induzida pelo processo de compactação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 281-298, 2018.

SILVA, V. A. da & FERNANDES, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 333-344, 2012.

SPADOTTO, C.; RIBEIRO, W. Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria. **FEFAP**, São Paulo, 2006.

VAL, R. **A fisiologia do amor: pequenos ensaios sobre grandes momentos do cristianismo à luz da Verdade**. São Paulo: Reinaldo do Val, 2003.

VEADO, Fernando de Castro. **Resgate das técnicas construtivas e a importância dos materiais remanescentes das argamassas utilizadas nas confecções das paredes de barro e dos revestimentos das edificações históricas – uma abordagem epistêmica**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

, **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Bracknell: IPCC, 1996.