

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

EDNA CRISTINA DE AGUIAR SILVEIRA

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSA DE
ASSENTAMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR LODO
TÊXTIL

Joinville

2020

EDNA CRISTINA DE AGUIAR SILVEIRA

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSA DE
ASSENTAMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR LODO
TÊXTIL

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso de
Graduação em Engenharia Civil de
Infraestrutura do Centro Tecnológico de
Joinville da Universidade Federal de Santa
Catarina.

Orientadora: MSc. Valéria Bennack

Joinville

2020

EDNA CRISTINA DE AGUIAR SILVEIRA

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSA DE
ASSENTAMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR LODO
TÊXTIL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Banca Examinadora:

MSc. Valéria Bennack
Orientadora
Presidente

Dra. Viviane Lilian Soethe
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

MSc. Juliana Frankowiack
Membro
Universidade do Estado de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me dá forças todos os dias, me dando condições de enfrentar cada obstáculo e me amando do jeito que sou, a Ele agradeço.

A minha família, especialmente aos meus pais Edson e Margareth por todo apoio e suporte, e meu irmão Edson Jr. que está sempre ao meu lado, minha gratidão.

À professora Valéria Bennack pelo apoio, conhecimento transmitido e orientação.

À Viviane Soethe por toda ajuda, agradeço.

Ao Breno Burgueira pela parceria, dando total apoio e auxílio em diversos momentos.

À Gabriela Andrade pela parceria, muitas horas de estudo e atividades no laboratório.

Ao Murilo F. M. dos Santos pelas dicas e correções.

À lavanderia têxtil Soeth que disponibilizou o resíduo que tornou possível esse estudo, agradeço.

À empresa Perville que disponibilizou equipamento para ensaio de compressão axial, e Vinicius pela disponibilidade de realizar o ensaio, agradeço.

A todas as amigas que fiz durante a graduação.

A todos que ajudaram direta e indiretamente em toda a caminhada na Universidade.

Ao laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Joinville.

À nação brasileira que através de seus impostos possibilitam o acesso em uma universidade pública no país.

RESUMO

O tema sustentabilidade tem estado em evidência, de forma que as empresas busquem formas de gerenciar o descarte de seus resíduos, com o intuito de diminuir dano ao meio. As indústrias têxteis, no setor de lavanderia, geram resíduos conhecidos como lodo têxtil, material resultante da lavagem de tecidos, esses resíduos por terem em sua composição materiais químicos pesados, não podem ser descartados no ambiente, sendo lançados em aterros sanitários industriais. No âmbito mundial, empresas buscam formas alternativas de descarte de resíduos, minimizando os impactos ao meio ambiente e trazendo um apelo sustentável, dentre elas, o uso de resíduo como um insumo na indústria da construção civil. Nesse contexto o objetivo deste trabalho foi avaliar de forma experimental o comportamento mecânico de argamassas de assentamento com substituição de 1%, 1,5% e 2% de agregado miúdo por lodo têxtil, no que diz respeito à resistência a compressão aos 28 dias. Os resultados indicaram que as substituições de lodo geram a queda da resistência mecânica da argamassa, tendo um decréscimo de aproximadamente 63%, 68% e 72% para as respectivas substituições de lodo, porém atingindo os limites mínimos para as classes P4 e P5 de argamassas de assentamento.

Palavras-chave: Lodo têxtil. Argamassa. Resíduo.

ABSTRACT

Recently, sustainability theme has been in evidence and companies has been looking for ways to manage the disposal of their waste, in order to reduce damage to the environment. Textile industries, in the laundry sector, generate residues known as textile sludge, material resulting from the washing of fabrics, these residues, having heavy chemical materials in their composition, cannot be disposed of in the environment, being thrown in industrial landfills. Worldwide, companies are looking for alternative ways to dispose of waste, minimizing impacts on the environment and bringing a sustainable appeal, among them, the construction industry. In this context, the objective of this work was to evaluate, in an experimental way, the mechanical behavior of laying mortars with substitution of 1, 1.5 and 2% of fine aggregate by textile sludge, with respect to compressive strength at 28 days,. The results indicated the sludge substitutions generate a drop in the mechanical strength of the mortar, with a decrease of approximately 63%, 68% and 72% for the respective sludge substitutions, however reaching the minimum limits for grades P4 e P5 of laying mortars.

Keywords: Textile Sludge. Cement Mortar. Mechanical Strenght

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de estação convencional de tratamento de efluentes	20
Figura 2 - Lodo têxtil: a) Lodo pastoso, b) Lodo em torrões após secagem em estufa, c) Lodo moído.	24
Figura 3 - Vibrador mecânico e conjunto de peneiras usados no ensaio de granulometria.....	25
Figura 4 - Ensaio de massa de específica: a) Lodo seco, b) Lodo em banho (1h), c) Lodo saturado.	26
Figura 5 - Lodo têxtil (Saturado e Seco)	27
Figura 6 - Equipamentos para ensaio de Índice de Consistência	29
Figura 7 - Equipamentos para mistura e moldagem da argamassa	31
Figura 8 - Corpos de prova de argamassa moldados em repouso de 24 horas	31
Figura 9 - Corpos de prova identificados e desmoldados	32
Figura 10 - Medição de corpo-de-prova: corpo de prova seco, b) corpo de prova imerso, c) corpo de prova saturado	33
Figura 11 - Distribuição granulométrica (Areia).....	34
Figura 12 - Distribuição granulométrica do lodo moído	35
Figura 13 - Distribuição granulométrica - Areia x Lodo	35
Figura 14 - Espalhamento da argamassa com 2% de adição de lodo.....	36
Figura 15 - Absorção de água (%) aos 28 dias	38
Figura 16 - Porosidade aberta (%) aos 28 dias	38
Figura 17 - Absorção e porosidade aberta	39
Figura 18 - Densidade aparente (g/cm ³) aos 28 dias.....	39
Figura 19 - Resistência à compressão aos 28 dias	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de argamassa	14
Tabela 2 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassa NBR 13282:2001	16
Tabela 3 - Composição química do lodo apresentada em ensaio de fluorescência de raios x ...	23
Tabela 4 - Traço de argamassa	30
Tabela 5 - Resultado do índice de Consistência (IC) da argamassa em estado fresco	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

MF – Módulo de Finura

DMC – Diâmetro Máximo Característico

IC – Índice de Consistência

ONU – Organização das Nações Unidas

GHS – Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

g/cm^3 - grama por centímetro cúbico

g – grama

d_1 – massa específica aparente do agregado seco

m – massa da amostra seca em estufa

V – volume do frasco

V_a – volume de água adicionada

m_1 – massa do conjunto (frasco + agregado), em g

m_2 – massa do conjunto (frasco + agregado + água), em g

ρ_a – massa específica da água, em g/cm^3

d_2 – massa específica do agregado saturado superfície seca

m_s – massa da amostra na condição saturada superfície seca

m_i – massa da amostra imersa

m_{sat} – Massa da amostra saturada

Mt – Mega tonelada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	12
1.1.1 Objetivo Geral.....	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 ARGAMASSA.....	13
2.1.1 Propriedades do estado fresco	14
2.2.2 Propriedades do estado endurecido	15
2.2.3 Sustentabilidade	16
2.3 ADIÇÕES.....	17
2.4 LODO TÊXTIL.....	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 MATERIAIS	22
3.2 MÉTODOS.....	24
3.2.1 Preparação do lodo têxtil.....	24
3.2.2 Distribuição granulométrica	24
3.2.3 Massa específica do lodo	26
3.2.4 Índice de consistência da argamassa.....	28
3.2.5 Argamassa	30
3.2.5 Absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente	32
3.2.6 Resistência mecânica	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA	34
4.1.1 Areia.....	34
4.1.2 Lodo	34
4.2 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	36
4.3 MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS	37
4.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA, POROSIDADE ABERTA E DENSIDADE APARENTE	37
4.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
TRABALHOS FUTUROS	42

REFERÊNCIAS	43
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

Materiais cimentícios são insumos importantes de tal forma que, só em 2013, o mercado do cimento movimentou aproximadamente US\$ 250 bilhões por ano, mostrando-se um produto vital para o crescimento econômico mundial, assim como o petróleo e o aço (CIMENTO.ORG, 2014). A produção mundial, já ultrapassa as 4300 Mt anuais (ANM, 2017), sendo o Brasil responsável pela produção de mais de 50 Mt deste material por ano.

O cimento é considerado um dos materiais mais versáteis e importantes para obras de construção civil, o qual tem sido alvo de diversas pesquisas, que procuram formas de melhorar o comportamento deste material, tornando-se um ponto relevante das engenharias de materiais, civil e de infraestrutura (CIMENTO.ORG, 2014).

Uma estratégia bastante recorrente e interessante na pesquisa de materiais cimentícios é o desenvolvimento de adições. Estas adições, que podem ser incorporadas diretamente nos traços de argamassas e concretos ou então como substituintes para o próprio cimento, mostram-se soluções interessantes para melhorar as propriedades mecânicas destes materiais. Nestes sentidos, destaca-se trabalhos sobre sílica ativa (HOFFMANN, 2001), sobre metacaulim (SOUZA, 2003) e dos materiais provenientes da reciclagem de resíduos (LEITE, 2001). Esses estudos trouxeram benefícios, como aumento da durabilidade e resultados positivos quanto às propriedades mecânicas nos materiais.

Além disso, essas adições são uma oportunidade de tornar os materiais cimentícios mais ecológicos. Atualmente, sabe-se que a indústria de cimento é uma grande poluidora, responsável por mais de 3% de todas as emissões de gases do efeito estufa do planeta, afirma Maury e Blumenschein (2012). Incorporar resíduos de outras indústrias pode ajudar a buscar uma construção mais sustentável. Exemplos interessantes disso são o uso de silicato fundente (MOSER; ZIMMER, 2016), cinza de casca de arroz (MENDES, 2015) e bagaço de cana – de – açúcar que eram problemas ambientais de indústrias específicas e acabaram por se tornar importantes adições para o cimento (FERNANDES et al., 2015) .

Nesse contexto, o lodo têxtil aparece como uma oportunidade de estudo, visto que as indústrias geram uma quantidade expressiva e não podem descartá-los em aterros sanitários comuns por serem materiais potencialmente tóxicos. Este lodo poderia ser aproveitado na fabricação de argamassas e concretos, absorvido pela indústria concreteira local, fator importante na viabilidade de uso do resíduo (SELLITTO, 2013). Alguns trabalhos prévios foram realizados neste sentido, por exemplo, a adição de lodo em blocos cerâmicos de

vedação (DUTRA et al., 2015), o qual aponta que para mistura com 2% de lodo houve pouca variação em relação à massa cerâmica sem lodo, sendo considerável para produção, e o estudo de corrosividade que mostrou a possibilidade de incorporação de lodo têxtil em pasta de cimento (CARVALHO; ALMEIDA, 2010) .

Este trabalho, portanto, tem como ponto central a utilização do lodo têxtil em argamassa, como substituição parcial de agregado miúdo. O lodo será caracterizado e adicionado a traços de argamassa de forma experimental, buscando avaliar o efeito no comportamento mecânico e verificar a viabilidade de uso na construção civil.

1.1 OBJETIVOS

Com o intuito de contribuir com a utilização adequada de resíduos, nesse trabalho, o lodo têxtil, resíduo resultante do tratamento de efluentes de lavanderia têxtil, propõe-se os objetivos apresentados a seguir.

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a resistência mecânica de argamassa de assentamento por meio da substituição parcial de agregado miúdo por lodo têxtil.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização dos agregados;
- Definir o traço de argamassa bem como percentual de adição do resíduo;
- Avaliar o efeito da adição do lodo nas propriedades mecânicas da argamassa no estado fresco e aos 28 dias de cura: resistência à compressão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O capítulo apresenta conceitos de argamassa e suas propriedades, aborda brevemente sobre a sustentabilidade em torno da construção civil e conceitos de adições, como também, sobre o lodo têxtil, resíduo de análise deste trabalho.

2.1 ARGAMASSA

A Norma Brasileira NBR 13281:2005 define a argamassa como sendo uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ou não conter aditivos.

Segundo Ambrozewicz (2012), a argamassa é uma mistura de agregados e aglomerantes com água. Os aglomerantes podem ser cimento e/ou cal, conforme definido pelo responsável técnico da obra e os agregados, areia natural lavada. Aditivos podem ser incorporados trazendo características especiais para a argamassa. A utilização da argamassa pode ser para revestimento, bem como para assentamento (AMBROZEWICZ, 2012).

As argamassas segundo Bezerra (2010), são constituídas de material ativo e inerte, que são a pasta, mistura de aglomerante com água, e o agregado miúdo. O resíduo inerte pode trazer economia no produto final, como também, ajuda a eliminar em parte a retração por secagem. Bezerra (2010), diz que podem ser utilizadas como argamassa de assentamento, impermeabilização, regularização e acabamento nas superfícies.

As argamassas possuem função de proteção aos elementos de vedação da ação de agentes agressivos, auxílio nas vedações no cumprimento de funções como isolamento termoacústico e estanqueidade à água e aos gases, regulariza a superfície dos elementos e vedação, como também, contribui na estética do empreendimento (BAÍÁ; SABBATINI, 2002).

Segundo Ambrozewicz (2012) os tipos mais comuns de argamassa são:

- Argamassa de cal: geralmente usadas em alvenarias não estruturais; muito utilizada quando não se fazia o uso de cimento Portland. Possui propriedade elástica.
- Argamassa de cimento: usadas em chapisco (resistência de curto prazo); revestimentos impermeáveis e em pisos cimentados (resistência ao desgaste).
- Argamassa mista (cimento e cal): usadas em alvenarias estruturais, contrapisos, assentamentos (pisos ou paredes).

- Argamassa de gesso (gesso e água): usadas em revestimento interno, não se indica utilizar em ambientes externos.
- Graute: são microconcretos usados para preencher cavidades dos blocos, servem para solidarizar as ferragens à alvenaria. São compostos de cimento, água e agregado miúdo e graúdo.
- Argamassa de gesso projetada: nova na indústria brasileira substituem sistemas com chapisco, emboço e reboco. É usada na execução de reboco projetado mecanicamente.
- Argamassa industrializada: é preparada em fábrica e com os compostos dosados, necessita apenas de adição de água. Usada em assentamento de azulejos, pisos cerâmicos, reboco e massa fina.

A NBR 13281:2005, define as argamassas de revestimento como sendo o cobrimento de uma superfície por camadas, podendo conter acabamento decorativo ou não. A argamassa de assentamento, conforme NBR 13281:2005, pode ser de alvenaria de vedação e alvenaria estrutural, devendo cumprir os requisitos normatizados.

A NBR 13281:2005 classifica as argamassas destinadas ao assentamento de paredes ou ao revestimento de paredes e tetos, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de argamassa

Classe	Resistência à compressão (MPa)	Método de ensaio
P1	≤2,0	ABNT NRB 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,4 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	≥8,0	

Fonte: NBR 13281(2005).

Os revestimentos de argamassa precisam apresentar propriedades específicas relativas ao estado fresco como também no estado endurecido.

2.1.1 Propriedades do estado fresco

As propriedades do estado fresco são:

- Massa específica: diz respeito à massa da unidade em relação ao volume, no qual não se consideram os vazios existentes no material (AMBROZEWICZ, 2012).

- Teor de ar: diz respeito à quantidade de ar dentro de um volume de material (BAÍÁ; SABBATINI, 2002).

- Massa unitária: considera o índice de vazios, sendo de grande importância na conversão do traço em massa para volume. A massa unitária e o teor de ar interferem diretamente na trabalhabilidade do material (BAÍÁ; SABBATINI, 2002).

- Trabalhabilidade: propriedade qualitativa, que determina a facilidade de trabalho em condição homogênea (BAÍÁ ; SABBATINI, 2002). Segundo Bauer (2014) a trabalhabilidade depende principalmente de fatores como formato de grão e distribuição granulométrica, porque estes fatores estão diretamente relacionados à quantidade de água, sendo necessária maior quantidade de água quanto mais elevada for a superfície específica do grão.

- Retenção de água: capacidade de absorver a água de amassamento, o que afeta o fator água/cimento quando não considerado na dosagem (BAUER, 2014). Essa absorção permite reações de endurecimento mais gradativas, proporcionando a hidratação do cimento e o ganho de resistência (BAÍÁ; SABBATINI, 2012).

- Retração: retração na secagem pode ocasionar fissuras, comprometendo o desempenho da estrutura, devido a evaporação da água de amassamento e pelas reações de hidratação e carbonatação (BAÍÁ; SABBATINI, 2012).

2.2.2 Propriedades do estado endurecido

As propriedades do estado endurecido são:

- Aderência: Segundo Baía e Sabbatini (2012) a aderência é a capacidade do revestimento se manter fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais na interface base e revestimento.

- Absorção de deformação: capacidade de suportar às tensões de solicitação, sem que haja rompimento da estrutura, aparecimento de fissuras e perda da aderência (BAÍÁ; SABBATINI, 2012).

- Resistência: definida como a capacidade de resistir a tensões, ou seja, a tensão máxima que pode ser suportada. Essa resistência aumenta dada a redução de agregado, variando inversamente com a relação água/cimento (BAÍÁ; SABBATINI, 2012). No caso de agregados provenientes de rochas sedimentares, a resistência deverá ser verificada previamente (BAUER, 2014). A norma que estabelece as diretrizes para determinar a tração à flexão e à compressão é a NBR 13279:2005.

- Permeabilidade: está relacionada à passagem de água pelas camadas, sofrendo influência da distribuição granulométrica que interfere na percolação da água em estado líquido e vapor (BAÍÁ; SABBATINI, 2012). Quanto maior a compactação na mistura final dos agregados, menos permeável a mistura será (BAUER, 2014).

- Durabilidade: está relacionada a suportar as condições de ações do meio, deve ser inerte e não reagir com os agentes aos quais for exposto (BAUER, 2014). Em complemento, Baía e Sabbatini (2012) dizem que é a propriedade relacionada ao período de uso, que resulta das propriedades do estado endurecido refletindo às ações do meio externo ao longo do tempo, sendo afetada negativamente por fissuras, proliferação de microrganismos, qualidade do material e falta de manutenção.

A NBR 13282:2001 apresenta uma classificação de resistência de esforços mecânicos para argamassas conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassa NBR 13282:2001

Características	Identificação	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $\leq 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$>8,0$	

Fonte: NBR 13281(2001).

2.2.3 Sustentabilidade

Um dos setores essenciais para atender as necessidades das pessoas é o da construção civil, pois tem o princípio de proporcionar abrigo, conforto e qualidade de vida às pessoas. É responsável por implantar a infraestrutura de geração de energia, saneamento básico, comunicações, transporte e espaços urbanos, como também é responsável pelo consumo de recursos naturais e pela geração de resíduos (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Segundo Agopyan e John (2011) a cadeia produtiva da construção civil engloba diversas etapas, tais como: extração de matéria prima, transformação de bens, transporte de materiais, execução do empreendimento, vida útil, demolição e destinação dos resíduos. Neste sentido o setor é responsável pela alteração do ambiente natural em um ambiente construído que precisa ser atualizado e mantido.

Os processos produtivos nas indústrias acabam gerando resíduos sólidos, líquidos e gasosos de forma que é preciso observar o manejo de descarte desses resíduos para que não haja a contaminação do meio ambiente (PEREIRA, 2002).

Um dos focos da cadeia consiste na redução dos impactos ambientais na produção, no uso, como também em novas funções dos produtos existentes, os chamados materiais multifuncionais, observado em diversas áreas; no caso de materiais cimentícios, inclusive busca-se a otimização do uso do cimento tendo em vista que em seu processo de fabricação há emissões de gases do efeito estufa (DAMINELI, 2010).

Nesse contexto, Nogueira (2013) estudou a utilização de Resíduo da Construção e Demolição (RCD) na confecção de concreto, onde chegou a resultados satisfatórios, viabilizando o uso desses resíduos na produção de concreto.

Pereira, Valentina e Witmiszyn (2014) analisaram a incorporação de resíduo de fundição em argamassas, nesse estudo foram incorporados de 5 a 15% do resíduo na pasta de argamassa, onde os resultados apresentaram os requisitos mínimos para a produção de argamassa de assentamento e revestimentos de paredes e tetos.

2.2 ADIÇÕES

As adições são definidas como materiais que atuam somando ou substituindo parcialmente o cimento, fazendo interferências significativas nas propriedades na pasta cimento (CIMENTO ITAMBÉ, 2007).

Adições minerais segundo Mehta e Monteiro (2008) são materiais insolúveis finamente moídos, provenientes de fonte natural ou industrial.

As adições minerais podem ser usadas como substituição do agregado ou constituinte principal da mistura de concreto (TOKYAY, 2016). Como benefício, as adições podem trazer ganho de trabalhabilidade no estado fresco, e aumento da resistência à fissuração térmica, à expansão vinda da reação álcali-agregado e ao ataque por sulfato, além de benefícios técnicos, econômicos e ecológicos (MEHTA e MONTEIRO, 2008; TOKYAY, 2016).

Os autores Mehta e Monteiro (2008) citam as três classes de adições minerais apresentadas pela norma internacional ASTM C 618, classe N, pozolanas naturais ou calcinadas, classe F, cinzas volantes da queima de carvão mineral antracítico ou betuminoso, classe C, cinzas volantes provenientes de queima de carvão lignítico ou sub-betuminoso.

A importância do uso das adições minerais está relacionada com a heterogeneidade na microestrutura da pasta de cimento hidratada, dada pela existência de grandes poros e cristais na zona de transição, que podem sofrer redução com o uso de partículas finas presentes nas adições minerais, e também pela influência na resistência das pastas de cimentos devido ao

efeito químico das adições minerais quando em contato com hidróxido de cálcio presente no cimento que forma silicato de cálcio hidratado, C-S-H (DA FONSECA, 2010).

Da Fonseca (2010) aponta que grande parte das adições minerais é composta por materiais provenientes de siderúrgicas, usinas termelétricas e indústrias, e quem têm substituído de forma crescente as pozolanas naturais e argilas calcinadas.

De fato, muitos estudos com adições industriais com uso na construção civil são crescentes. Como por exemplo, o estudo de Lampreia e Veiga (2014), que incorporaram resíduos de provenientes da transformação de pedra (mármore e calcário), resíduos da fabricação de papel e cinzas das caldeiras de biomassa, no qual, a argamassa com os resíduos de pedra mostrou bons resultados, diferentemente do resíduo de papel e das cinzas, que resultaram em aditivos desfavoráveis na produção de argamassa.

Campos (2009) estudou o reaproveitamento de isoladores elétricos de porcelana como agregados em argamassas e concretos, substituindo parcialmente o agregado para os traços estudados, o qual apresentou resultados satisfatórios quando substituído por agregado miúdo.

Marques et al. (2014) analisaram o uso de resíduos de celulose (dregs/grits) como agregado em argamassas, obtendo bons resultados no aproveitamento de argamassa de revestimentos de paredes, substituindo até 10% em massa de agregado. Os autores afirmam que com esse aproveitamento de resíduos, há o favorecimento da redução de extração de areia nos leitos dos rios.

Nascimento e Oliveira (2018) por sua vez, estudaram o aproveitamento das cinzas de caroço de açaí na produção de concreto sustentável, nesse estudo, adicionaram de 5% a 10% de resíduo no concreto, concluindo que o uso das cinzas é viável para a produção do concreto no que tange a sua durabilidade.

Dessa maneira, percebe-se o potencial de estudo de resíduos como adição de na produção de argamassas e concretos.

2.3 LODO TÊXTIL

As lavanderias industriais recebem diariamente uniformes industriais, enxovais de hotéis e restaurantes, EPI's e roupas em geral, e dependendo do porte da empresa pode chegar a 45 mil peças por dia (LAVASUL, 2020), onde são utilizados produtos químicos para trazer desinfecção, higienização, maciez, solidez e outros benefícios às peças lavadas (HEREK et al., 2009).

O efluente gerado na lavagem das peças deve passar por uma estação de tratamento de efluentes (ETE) antes de descartado, onde segundo Herek et al. (2009), em ETEs são utilizados produtos como soda ou cal e sulfatos para a correção de PH, coagulação e decantação, formando nesta etapa, o resíduo conhecido como lodo têxtil.

De acordo com Balota (2018), o lodo têxtil é um resíduo resultante de uma atividade industrial têxtil, e sua composição principal, consiste de uma pasta com 95% de água e 5% de sólidos.

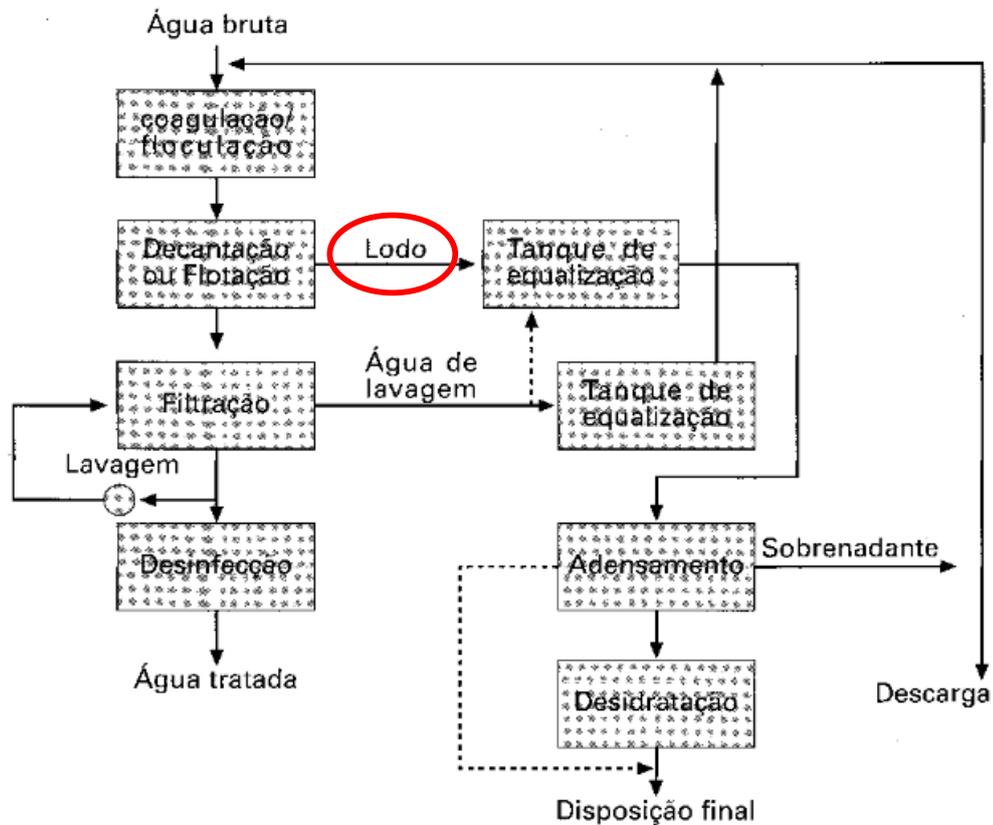
Neste contexto, a norma NBR 10004:2004 estabelece diretrizes para a classificação de resíduos sólidos, na qual define que resíduos sólidos são materiais em estado sólido e semi-sólido provenientes de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e varrição, incluindo ainda os lodos resultantes de estações de tratamento de água, como também líquidos que apresentem particularidades que tornem inviável o descarte na rede pública de esgotos ou corpos de água. A norma classifica os resíduos em classes, Classe I e II, sendo os de Classe I classificados como perigosos, e os de Classe II como não perigosos, podendo ser Classe IIA, inertes e Classe IIB, não inertes.

Em indústrias têxteis, uma variedade de produtos químicos é usada durante a produção dos tecidos, como exemplo, os corantes antraquinona e azo (ALMEIDA, 2004), e elementos como fósforo, cobre, zinco, chumbo, cádmio, molibdênio podem também ser encontrados no lodo têxtil (DE ARAÚJO, 2005), de forma que pela classificação apresentada na norma NBR10004:2004 pode ser enquadrado como Classe IIA, resíduo não perigoso e inerte, podendo possuir propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

O lodo resultante de estações de tratamento de água provenientes de decantadores ou flotadores, filtros rápidos convencionais ou de filtração direta, é composto de água, sólidos suspensos da fonte de água, e produtos reagentes usados no processo, ou seja, o lodo é resultado da coagulação da água bruta (RICHTER, 2001).

A Figura 1 mostra um esquema convencional de tratamento de efluentes, e o local referente ao depósito de lodo que está sendo analisado.

Figura 1 - Esquema de estação convencional de tratamento de efluentes



Fonte: Richter (2001).

Segundo Richter (2001), esse lodo por conter substâncias químicas em sua composição, ter restrições ao meio ambiente e custos elevados de descarte e transporte deve ter sua destinação final previamente analisada. Dessa forma, pode ser um resíduo potencialmente positivo na construção civil.

Santos (2013), estudou o efeito da adição de lodo de lavanderia em material cerâmico, que comprovou a possibilidade da utilização do lodo, com altos teores de materiais oleosos, como matéria prima na produção de cerâmica convencional. Nesse estudo, verificou-se que os valores de resistência a flexão cresceram porém para retração os valores diminuiram. Foram usadas concentrações de 3, 5, 7, 10, 15 e 20% lodo, porém para as composições de 3 e 20% que apresentaram variações significativas, e mostrando que para 20% de incorporação de lodo houve boa interação entre os componentes nas altas temperaturas, que foi evidenciado pelo aumento da resistência mecânica e pela diminuição da retração.

Carvalho e Almeida (2010) estudaram a corrosividade de pastas de cimento com adição de lodo produzido em ETEs da indústria têxtil. No estudo foram produzidos extratos aquosos a partir da moagem das pastas com 10%, 20% e 30% de lodo em relação ao cimento.

Os resultados apontaram a viabilidade de uso das pastas de cimentos em materiais construtivos.

Pietrobon et al. (2004), estudaram a lixiviação de contaminantes de composto de lodo-cimento produzindo corpos de prova de lodo/cimento, nas dosagens de 10%, 20% e 30% de lodo de lavanderia industrial. Os resultados mostraram que a adição de lodo influenciou no tempo de pega, retardando o início, porém mantendo o tempo entre início e final de pega, também mostrou que a lixiviação foi da mesma ordem de grandeza para a pasta sem e com lodo, mostrando que a pasta permite a incorporação segura dos metais contidos no lodo têxtil.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e os métodos para a produção de argamassa experimental, conduzidos nas instalações da UFSC, campus de Joinville, no Laboratório de Materiais de Construção.

3.1 MATERIAIS

Para a produção da argamassa foram utilizados alguns materiais, sendo: água, areia, cimento CP II e lodo têxtil.

A água utilizada na mistura da argamassa foi proveniente da rede pública de abastecimento.

A areia é proveniente da região de Joinville, foi disponibilizada pelo Laboratório de Materiais de Construção da UFSC, e foi submetida a ensaio de granulometria.

O cimento utilizado foi o CP II, cimento VOTORAN Todas as Obras, o qual, segundo o fabricante, Votorantim (2019), é recomendado para uso geral, como chapisco, juntamento de telhas, assentamento de blocos, reboco, calçadas e concreto convencional, possuindo secagem rápida e alta resistência.

O lodo têxtil em estudo foi coletado em uma lavanderia industrial na cidade de Joinville, no estado de Santa Catarina, no mês de setembro de 2019, tendo sido retirado do leito de decantação. O lodo foi armazenado em um tambor de polietileno com capacidade de 50kg e uma parte em outro recipiente de polietileno de 15kg e levado para o Laboratório de Materiais de Construção.

O lodo têxtil é resultado da lavagem dos tecidos, onde no processo na lavanderia é feito uso de alguns produtos químicos considerados perigosos como Hipoclorito de sódio, $NaClO$, Metabisulfito de sódio, $Na_2S_2O_5$ e Peróxido de Hidrogênio, H_2O_2 .

- a) Hipoclorito de sódio: produzido pela Buschle & Lepper é destinado segundo o fabricante para purificação de água, desinfecção industrial, doméstica e hospitalar, alvejante e branqueante. É um produto classificado pela Organização da Nações Unidas (ONU) como corrosivo e pelo Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS) como perigoso, e pode apresentar risco ao meio aquático quando em grandes quantidades.

- b) Metabisulfito de sódio: classificado como um produto perigoso pela GHS, pela ONU, não apresenta perigo e segundo o fabricante pode apresentar nocividade ao meio aquático, e em contato com ácidos pode liberar gases tóxicos.
- c) Peróxido de hidrogênio: classificado pela ONU como um produto oxidante e pelo sistema GHS como corrosivo, no ambiente se decompõe em água e oxigênio, não é um produto combustível, porém favorece a combustão.

Outros produtos usados no processo de lavagem são os detergentes, os quais tem em sua composição tensoativos aniônicos e não iônico, branqueadores, complexantes, sequestrantes, sais de amônia, corantes e essências.

Uma amostra do lodo da lavanderia foi coletada em 2017, no tanque de decantação, processo antes do descarte e submetida à análise química por fluorescência de Raios – X, a qual apontou os elementos encontrados em sua composição, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3– Composição química do lodo apresentada em ensaio de fluorescência de Raios- X

Metal	% na Amostra	Padrão
Al	17,0	Al_2O_3
Ca	63,1	CaO
K	0,4	K_2O
Cl	0,2	Cl
S	4,1	SO_3
P	2,2	P_2O_5
Si	5,1	SiO_2
Na	1,2	Na_2O
Mg	6,3	MgO
Fe	0,3	Fe_2O_3
Sr	0,1	SrO

Fonte: Anjos (2017).

Como pode ser observado, é predominante a presença de cálcio, alumínio, e uma diversidade de elementos que podem influenciar diretamente nas propriedades da argamassa.

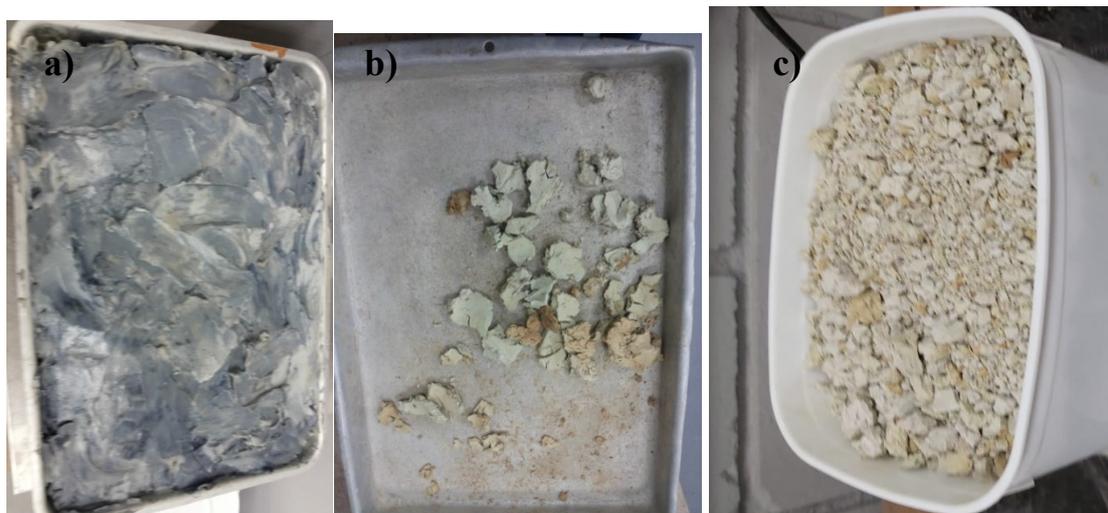
Entre o ano da análise por fluorescência de Raios -X e o ano desse estudo, não houve mudança dos materiais utilizados no procedimento de lavagem e nem nos demais processos até chegar ao tanque de decantação, dessa forma não houve necessidade de uma nova análise da amostra.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Preparação do lodo têxtil

O lodo úmido, na forma pastosa, conforme tirado do tanque de decantação é apresentado na Figura 2a, e foi submetido a secagem em estufa, em temperatura média de 105°C por 24h, e resultou em torrões, como apresentado na Figura 2b, depois de seco à temperatura ambiente. Optou-se por usá-lo com uma distribuição granulométrica similar ao da areia, para obter característica mais homogênea quando substituído na argamassa. Para isso o lodo foi destorroado utilizando-se uma espátula, e devido a falta de equipamento disponível, o lodo foi moído, Figura 2c, num aparelho liquidificador, com porções de 150g, em pulsos de 5 segundos.

Figura 2 - Lodo têxtil: a) Lodo pastoso, b) Lodo em torrões após secagem em estufa, c) Lodo moído.



Fonte: Autora (2019.)

3.2.2 Distribuição granulométrica

Os materiais submetidos a análise de distribuição granulométrica foram o lodo e a areia. Para isso foi utilizado um peneirador vibratório do laboratório de materiais de construção, utilizando-se as peneiras, 4,75mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 μ m, 300 μ m 150 μ m e fundo.

Seguiu-se o seguinte procedimento para ensaio de granulometria do lodo:

- a) Pesagem de 1000g de material;
- b) Verificação das massas das peneiras e montagem em sequência;
- c) Despejo do lodo no conjunto de peneiras, fechamento com a tampa e montagem no peneirador vibratório;
- d) Acionamento do peneirador por 4 minutos, após esse tempo, retirada da peneira de 4,75 mm;
- e) Acionamento novamente do peneirador por 4 minutos, após retirada da peneira 2,36 mm;
- f) Acionamento do peneirador por 11 minutos;
- g) Medição do lodo passante acumulado em cada peneira.

Para a areia, foi realizado o peneiramento durante 15 minutos, sem a retirada das peneiras de 4,75 e 2,36 mm durante o processo. A Figura 3 apresenta o conjunto de peneiras instaladas no peneirador vibratório.

Figura 3 - Vibrador mecânico e conjunto de peneiras usados no ensaio de granulometria



Fonte: Autora (2019).

Com a massa definida, calculou-se conforme a norma NBR7211:2009 o módulo de finura (MF), equação 1, e a dimensão máxima característica (DMC), referente a abertura da malha da peneira, em milímetros, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retida acumulada nas peneiras}}{100} \quad (1)$$

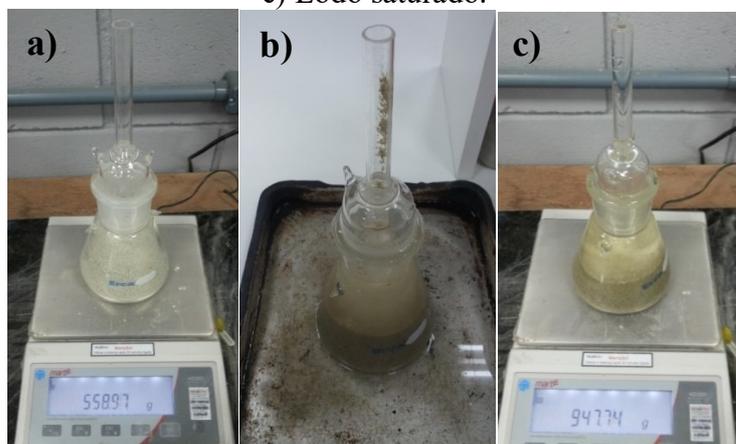
3.2.3 Massa específica do lodo

Para a determinação da massa específica, foi considerada a norma NM 52:2009, no qual foram utilizados os seguintes equipamentos: balança, frasco aferido, estufa e bandeja metálica, seguindo os seguintes procedimentos:

- Pesagem de 125g de lodo;
- Colocação da amostra de lodo no frasco e registro da massa do conjunto (m);
- Enchimento do frasco com água, tomando o cuidado de eliminar as bolhas de ar;
- Após 1 hora, o frasco com o lodo foi completado com água e para determinação da massa do conjunto;
- Retirada do lodo do frasco e levado para estufa em temperatura média de 105°C, após esfriamento do material, foi feita a medição da massa do lodo seco.

A Figura 4 apresenta o conjunto frasco mais lodo durante o procedimento de determinação da massa específica.

Figura 4 - Ensaio de massa de específica: a) Lodo seco, b) Lodo em banho (1h), c) Lodo saturado.



Fonte: Autora (2019).

Após o lodo ter permanecido em banho durante 1 hora, foi retirado e colocado em uma forma metálica para ser seco em estufa, conforme apresenta Figura 5.

Figura 5 – Lodo têxtil (Saturado e Seco)



Fonte: Autora (2019).

A equação 2 foi utilizada para o cálculo da massa específica aparente do agregado seco:

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (2)$$

Onde:

d_1 = massa específica aparente do agregado seco, em g/cm³

m = massa da amostra seca em estufa, em g

V = volume do frasco, em cm³

V_a = volume de água adicionada, de acordo com a seguinte fórmula, em cm³

Para o cálculo do volume de água adicionada foi usada a equação 3.

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (3)$$

Onde:

m_1 = massa o conjunto (frasco + agregado), em g

m_2 = massa total (frasco + agregado + água), em g

ρ_a = massa específica da água em g/cm³

Para a massa específica do agregado saturado superfície seca, calculou-se com a equação 4.

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (4)$$

d_2 = massa específica do agregado saturado superfície seca, em g/cm³

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca, em g

V = volume do frasco, em cm³

V_a = volume de água adicionada, de acordo com a seguinte fórmula, em cm³

Assim, para a massa específica do agregado, tem-se a equação 5:

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (5)$$

De formar similar, areia foi submetida ao mesmo procedimento, com a diferença da quantidade de amostra, sendo de 500g.

3.2.4 Índice de consistência da argamassa

O procedimento para cálculo do índice de consistência foi baseado na norma NBR 13276:2016, para o qual foi feito uso de equipamentos como mesa para índice de consistência, molde troncônico, soquete metálico e régua metálica, conforme apresenta a Figura 6.

Figura 6 - Equipamentos para ensaio de Índice de Consistência



Fonte: Autora (2019).

Para o índice de consistência, foram executados os seguintes procedimentos:

- a) Limpeza da superfície da mesa para índice de consistência e da parede do molde troncônico;
- b) Produção da argamassa;
- c) Enchimento do molde com a argamassa, em três camadas sucessivas, aplicando respectivamente, quinze, dez e cinco golpes com o soquete;
- d) Rasamento da argamassa;
- e) Retirada do molde troncônico e acionamento da manivela da mesa, subindo e caindo 30 vezes de forma uniforme;
- f) Aferição do espalhamento da argamassa. Medindo-se três diâmetros ao longo do perímetro.

3.2.5 Argamassa

Para o preparo da argamassa, utilizou-se o procedimento estabelecido na norma para argamassas de assentamento, NBR16541:2016, e fez-se o uso dos seguintes materiais secos: areia, cimento e o lodo têxtil.

O traço escolhido para a argamassa foi de 1:3, baseado em trabalhos com uso de lodo (ALTIDIS, 2014; ANJOS, 2017). Dessa forma, foi feita a substituição da quantidade de massa da areia pelo lodo em gramas, conforme porcentagens apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Traço de argamassa

Traço	% Lodo	Cimento	Areia		Lodo	a/c
			(g)			
1:3	0	625	1875,00	0	0,64	
	1	625	1856,25	18,5		
	1,5	625	1846,88	28,12		
	2	625	1837,50	37,5		

Fonte: Autora (2019).

Os equipamentos para preparo foram: balança, misturador mecânico, cronômetro, espátula, mesa de adensamento e molde prismático 40x40x160mm, conforme apresenta a Figura 7 e seguindo os seguintes procedimentos:

- a) Medição dos materiais;
- b) Adição dos materiais secos (areia, cimento e lodo), previamente pesados na cuba do misturador mecânico;
- c) Acionamento do misturador na velocidade baixa, adicionando 75% da massa total de água e mantido por 30 segundos;
- d) Desligamento do misturador, limpeza das partes internas da pá, alterando para a velocidade baixa e acréscimo na cuba dos 25% de água restante, para então finalização do preparo por mais 60 segundos;
- e) Moldagem da mistura de argamassa nos moldes previamente untados, acionamento mesa de adensamento com 30 golpes, feito em duas camadas;
- f) Arrasamento da argamassa no molde com auxílio de espátula.

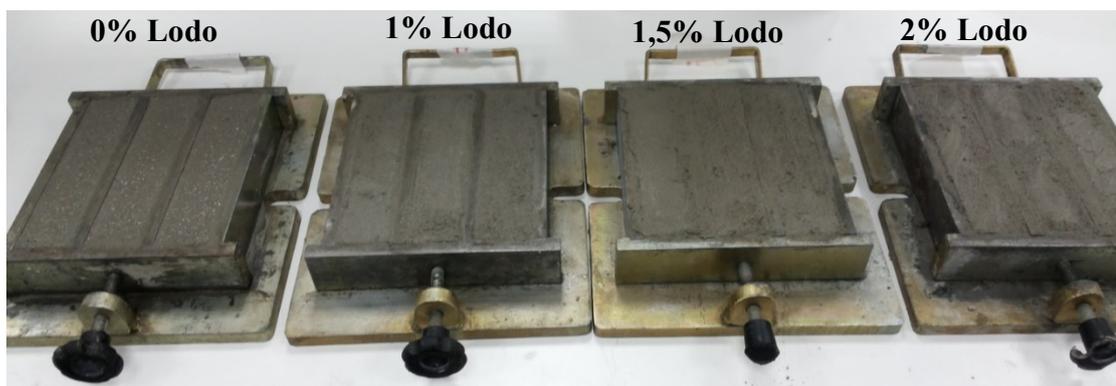
Figura 7 - Equipamentos para mistura e moldagem da argamassa



Fonte: Autora (2019).

Foram produzidos 12 corpos de prova de argamassa, conforme apresenta a Figura 8, os quais permaneceram em temperatura ambiente por 24 horas nos moldes prismáticos, para posteriormente serem desmoldados.

Figura 8 - Corpos de prova de argamassa moldados em repouso de 24 horas



Fonte: Autora (2019).

3.2.6 Resistência mecânica

Para a determinação da resistência mecânica, os corpos de prova foram desmoldados e colocados em repouso, após 28 dias, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão, conforme NBR 13279:2005. A Figura 9 mostra os corpos de prova desmoldados e identificados.

Figura 9 - Corpos de prova identificados e desmoldados



Fonte: Autora (2019).

Para a realização do ensaio, os corpos foram encaminhados para um laboratório de ensaios da empresa Perville – Joinville. O ensaio foi efetuado conforme a norma e utilizou-se um equipamento classe 1, conforme recomenda a norma.

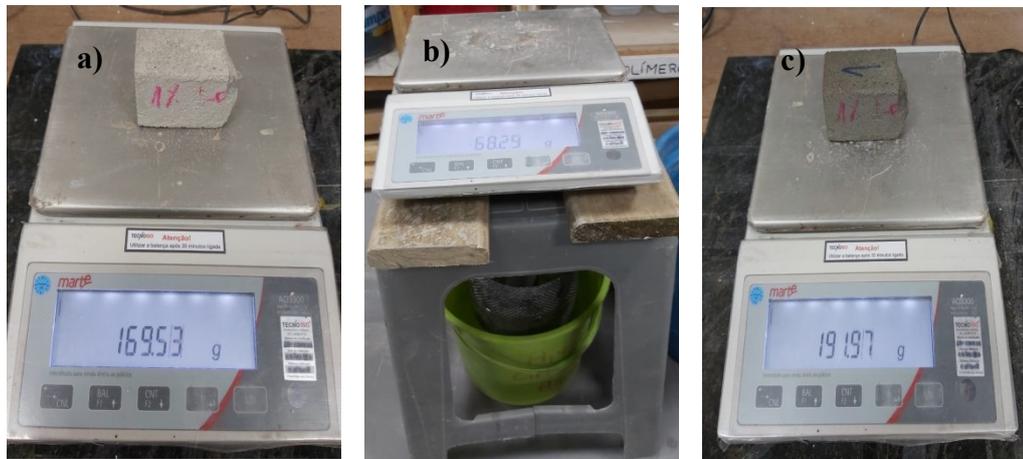
3.2.7 Absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente

Para determinação da absorção de água, porosidade e densidade aparente conforme apresentado na norma NBR 9778:2005, foram utilizados os procedimentos a seguir:

- a) Após 28 dias, secar a amostra em estufa, por 24 horas
- b) Pesagem amostra seca (m_s)
- c) Imersão da amostra em água por 72 horas e medir amostra imersa (m_i)
- d) Secagem da superfície
- e) Pesagem da amostra após secagem da superfície (m_{sat})

A Figura 10 mostra o processo de medição dos corpos de prova.

Figura 10 - Medição de corpo-de-prova: a) corpo de prova seco, b) corpo de prova imerso, c) corpo de prova saturado



Fonte: Autora (2019).

Dessa forma, foi possível calcular a absorção de água, a porosidade e a densidade aparente pelas formulações 6, 7 e 8.

$$\text{absorção de água} = \frac{m_{\text{sat}} - m_{\text{S}}}{m_{\text{S}}} \cdot 100 \quad (6)$$

Onde:

m_{S} = massa da amostra seca

m_{i} = massa da amostra imersa

m_{sat} = massa da amostra saturada

A porosidade aberta, em porcentagem, é calculado pela expressão 7.

$$\text{porosidade aberta} = \frac{m_{\text{sat}} - m_{\text{S}}}{m_{\text{sat}} - m_{\text{i}}} \cdot 100 \quad (7)$$

A densidade aparente é dada pela formulação 8

$$\text{porosidade aberta} = \frac{m_{\text{S}}}{m_{\text{sat}} - m_{\text{i}}} \cdot 100 \quad (8)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

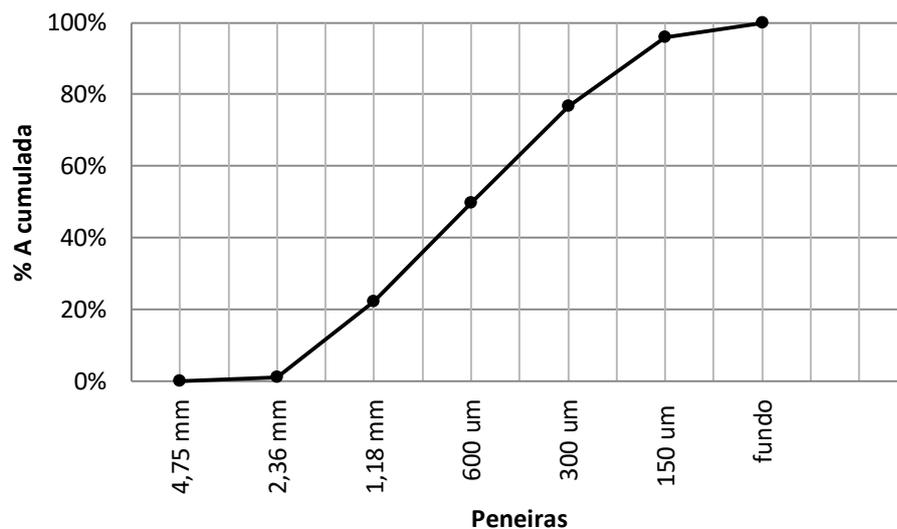
Neste capítulo serão apresentados os resultados dos procedimentos anteriormente apresentados.

4.1 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

4.1.1 Areia

O resultado do ensaio da distribuição granulométrica da areia é dado pela Figura 11.

Figura 11 - Distribuição granulométrica (Areia)



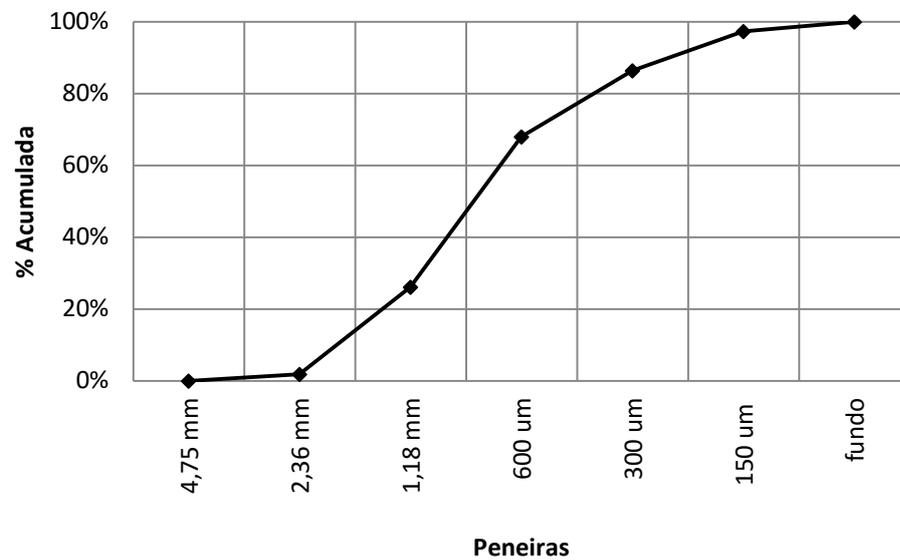
Fonte: Autora (2019).

A dimensão máxima característica (DMC) da areia é 2,36mm e o módulo de finura de 3,46, podendo ser classificada como areia média.

4.1.2 Lodo

O resultado do peneiramento realizado em série normal de peneiras do lodo têxtil coletado em tanque de decantação e submetido à secagem em estufa e moído, pode ser visto na distribuição granulométrica na Figura 12.

Figura 12 - Distribuição granulométrica do lodo moído

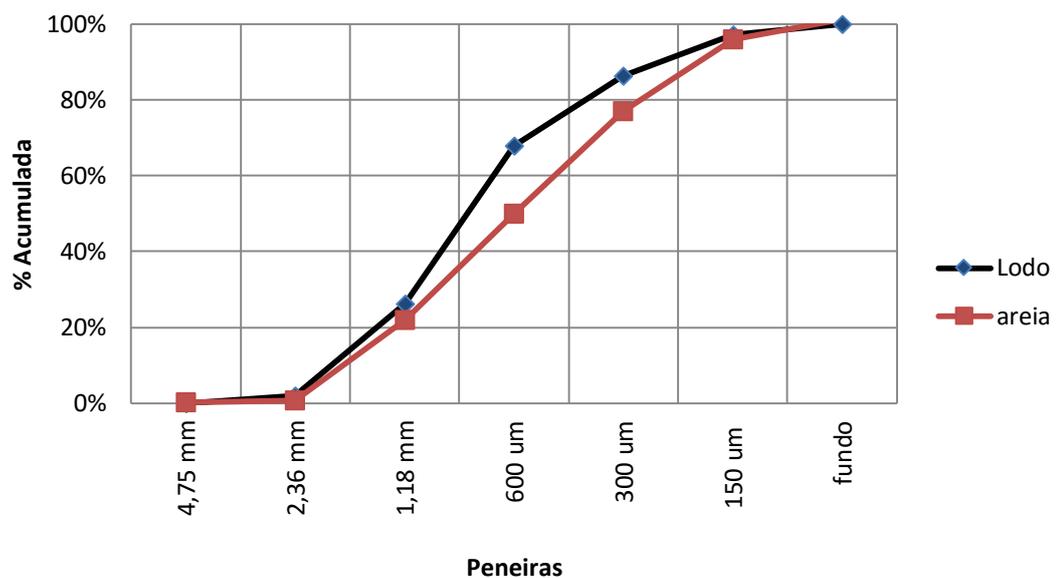


Fonte: Autora (2019).

A dimensão máxima característica (DMC) do lodo é 2,36mm e o módulo de finura de 3,79, que apresentou dimensões similares ao da areia.

A Figura 13 mostra um comparativo da distribuição granulométrica da areia com o lodo, e percebe-se a similaridade entre as curvas.

Figura 13 - Distribuição granulométrica - Areia x Lodo



Fonte: Autora (2019).

4.2 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

O resultado do índice de consistência para cada traço é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultado do índice de Consistência (IC) da argamassa em estado fresco

Traço	% Lodo	IC
		mm
1:3	0	262,73
	1	257,42
	1,5	255,50
	2	248,20

Fonte: Autora (2019).

Para a mistura de argamassa, utilizou-se 415 ml de água, quantidade definida por meio de tentativas de relação água/cimento até chegar ao espalhamento de 262,73mm, dentro do limite de 260+5mm especificado na norma NBR 16541:2016, a relação de água/cimento usada foi de 0,64.

Pode-se perceber que conforme a porcentagem de lodo aumenta, provoca a diminuição do espalhamento, o que afeta na trabalhabilidade da argamassa, para 1% de substituição de areia por lodo o índice de consistência diminui em 2%, e conforme aumento da porcentagem de lodo o índice diminui em 2,7 e 5,5%, para o 1,5 e 2% de lodo, sendo que para 2% não atende ao valor de espalhamento estabelecido em norma. A Figura 14 apresenta o espalhamento para a argamassa com 2% de adição de lodo.

Figura 14 – Espalhamento da argamassa com 2% de adição de lodo



Fonte: Autora (2019).

Dessa forma nota-se que para substituições com maiores porcentagens de lodo, há necessidade do aumento da quantidade de água para obtenção do índice de consistência dentro dos limites, o que pode afetar a resistência da argamassa.

4.3 MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS

Conforme procedimentos já citados, a areia apresentou uma massa específica de $2,55\text{g/cm}^3$, podendo ser classificada com material normal, pois está dentro dos $2,0\text{g/cm}^3$ a $3,0\text{g/cm}^3$, na classificação apresenta por Ambrozewicz (2012).

O lodo apresentou massa específica de $1,93\text{g/cm}^3$, uma redução de 24% em comparação a areia, sendo para o agregado seco igual a $1,60\text{g/cm}^3$, saturado superfície seca de $1,76\text{g/cm}^3$, podendo ser classificada como material leve, pois está abaixo de $2,0\text{g/cm}^3$, conforme classificação apresenta por Ambrozewicz (2012).

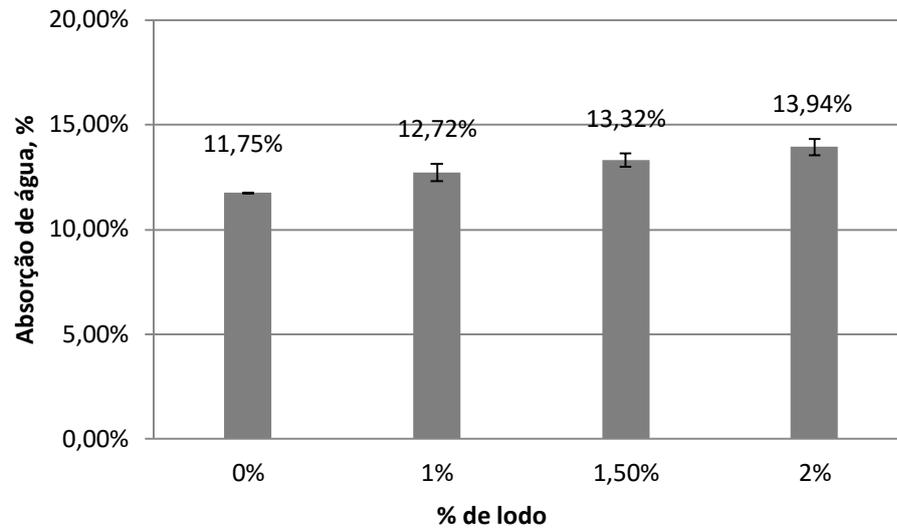
A massa específica do lodo pode variar com o conteúdo de água e quantidade de matéria orgânica, como aponta Richter (2001).

Observou-se no ensaio, que o lodo não voltou a sua consistência original, Figura 2a, percebeu-se que após ser submetido a estufa e exposto a saturação, ele apresentou consistência semelhante ao da areia, conforme observa-se na Figura 5, o que mostra a possibilidade de mudança na estrutura do lodo.

4.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA, POROSIDADE ABERTA E DENSIDADE APARENTE

Para o traço referência (0% de lodo) a absorção de água foi de 11,75%, resultado inferior aos traços com lodo, onde o traço com 1% de substituição resultou em 12,72% , apresentando aumento crescente conforme aumento da porcentagem de lodo, sendo para 1,5 e 2% de lodo, têm-se 13,32 e 13,94% respectivamente, como mostra a Figura 15.

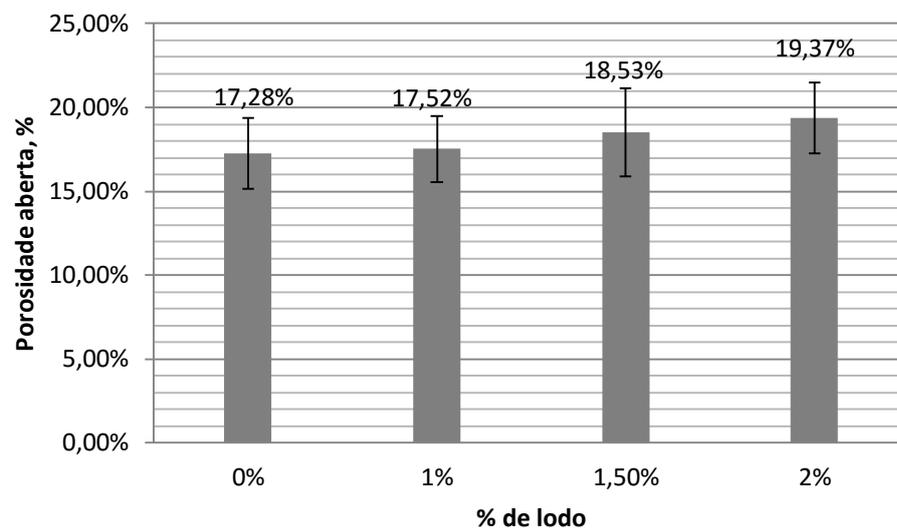
Figura 15 - Absorção de água (%) aos 28 dias



Fonte: Autora (2019).

A porosidade para o traço referência resultou em 14,28%, sendo que o traço com 1% de lodo apresentou um acréscimo de 18% em relação a referência, resultando em um aumento de 26% para o traço com 2% de lodo, como apresenta a Figura 16.

Figura 16 - Porosidade aberta (%) aos 28 dias



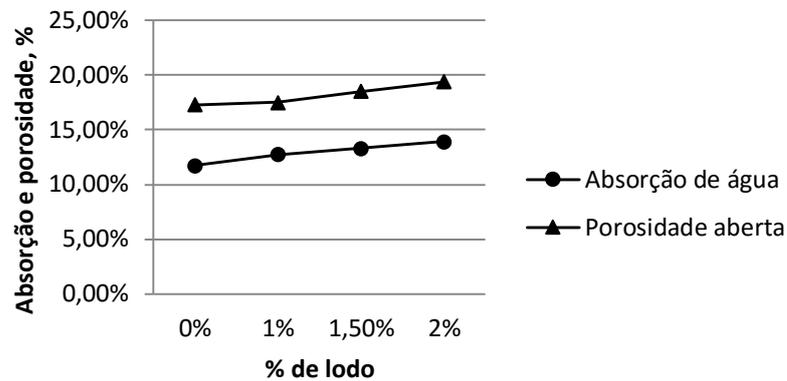
Fonte: Autora (2019).

Pode-se perceber que esse aumento da porosidade pode ter ocorrido devido a relação água/cimento ter sido mantida, como o lodo inicialmente é composto praticamente de água

antes de ser submetido a estufa, pode ter como consequência o aumento da demanda por absorção de água no estado seco, como foi submetido a mistura de argamassa, ocasionando maior quantidade de vazios.

Dessa forma pode-se entender que a quantidade de espaços vazios afeta a absorção de água, ou seja, maior índice de vazios, maior a capacidade de a argamassa absorver água, fatores que afetam a resistência da argamassa, como mostra a Figura 17.

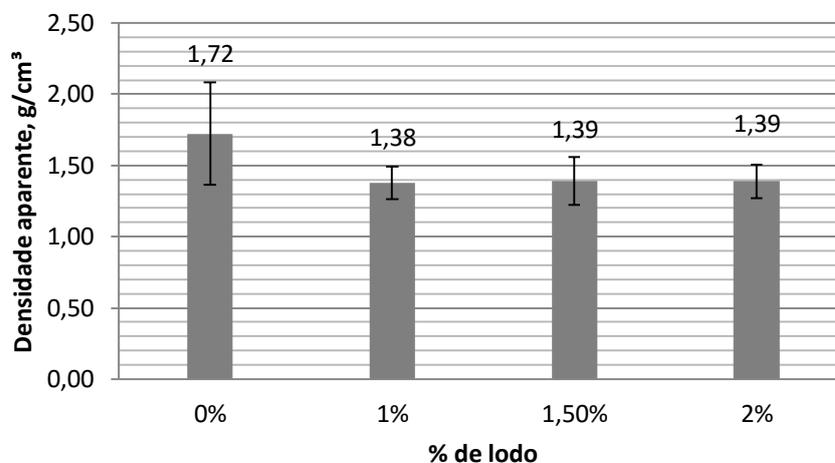
Figura 17 - Absorção e porosidade aberta



Fonte: Autora (2019).

O resultado da densidade aparente é apresentado na Figura 18, na qual se pode observar o decréscimo da densidade aparente com o aumento da porcentagem de lodo.

Figura 18 - Densidade aparente (g/cm^3) aos 28 dias

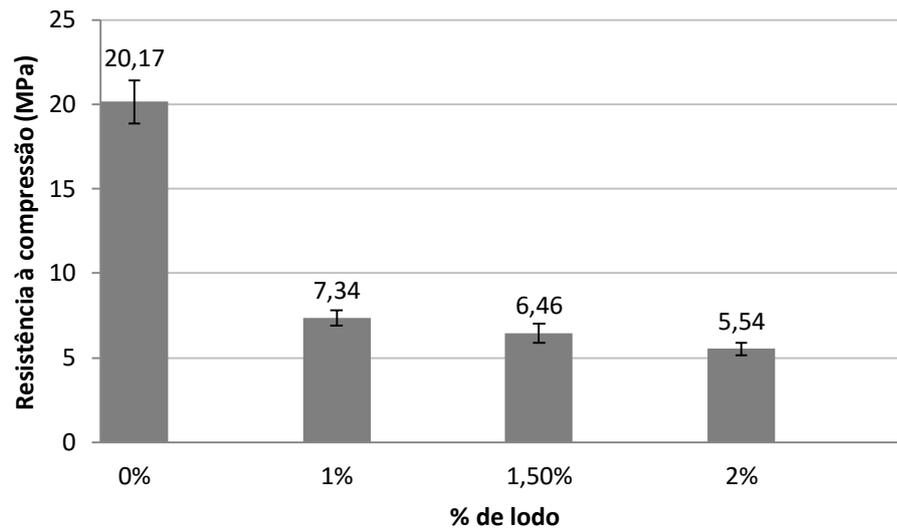


Fonte: Autora (2019).

4.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência mecânica foi avaliada aos 28 dias de idade, pelo ensaio de compressão axial na empresa Perville, e a média dos resultados encontram-se na Figura 19.

Figura 19 - Resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Autora (2019)

Pode ser observado que o traço sem o uso do lodo obteve resistência de 20,17 MPa, em comparação ao traço com 1% de substituição de areia por lodo houve um decréscimo de 63,6% da resistência aos 28 dias, que também pode ser observado nos demais traços, com 68,5 e 72,5% para os traços de 1,50 e 2% de lodo respectivamente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível concluir através dos resultados que o lodo têxtil influenciou significativamente nas propriedades física e mecânica da argamassa, isso pode ser percebido desde os primeiros procedimentos da mistura, tanto no estado fresco como no endurecido.

Em relação ao lodo têxtil, durante o ensaio de massa específica, pode ser observado a mudança em relação a estrutura do lodo, inicialmente apresentando aparência pastosa, não volta a ter a mesma característica após ser seco em estufa e submetido a saturação, resultando em uma nova consistência, semelhante ao de areia saturada.

Em relação à argamassa, em estado fresco, observa-se que usando a mesma relação água/cimento o índice de consistência diminui na proporção que ocorre o aumento da adição de lodo, fazendo com que o traço de 2% não atendesse o limite da norma.

Na mesma direção, percebe-se que com o aumento da quantidade de lodo, há o aumento da absorção, podendo ser justificado pelo fato pela restrição da relação água/cimento, chegando num acréscimo de aproximadamente 12% se tratando do traço de 2%, justificando o aumento do índice de vazios, em 26% da mistura com adição de 2% de lodo em relação ao piloto, mostrando que quanto maior o índice de vazios, maior a absorção de água.

Assim, como consequência pode-se perceber nos resultados de ensaio de compressão axial, que a resistência da argamassa decresceu consideravelmente, reduzindo até 72,5% do traço de referência, isso pode ter ocorrido devido ao consumo de água, tendo em vista que cimento e lodo “disputam” por ela, o afastamento das partículas de lodo e cimento pode ter ocorrido, gerando aumento de vazios dentro da estrutura, conforme citado anteriormente, tornando assim uma zona frágil que pode ter gerado a perda da resistência.

Dessa forma, para o uso em argamassa de assentamento, a adição de lodo mesmo tendo sido observada uma queda brusca na resistência, mostrou-se efetiva nesse estudo, atingindo a resistência mínima descrita em norma, abrangendo as classes de argamassa P4 e P5 em resistência à compressão.

6 TRABALHOS FUTUROS

- Analisar a lixiviação;
- Analisar argamassa com alteração da relação a/c para cada incremento de lodo têxtil;
- Analisar a estabilidade térmica;
- Realizar ensaios de termogravimetria e análise térmica diferencial;
- Realizar ensaios de capilaridade, aderência e estanqueidade.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Volume 5. Blucher, 2011.

ALMEIDA, Edna et al . Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, São Paulo , v. 27, n. 5, p. 818-824, out. 2004. Disponível em < <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000500023> >. Acesso em: 06 maio 2019.

ALTIDIS, Marina Elizabeth Dias. **Desenvolvimento de compósitos utilizando lodo da indústria têxtil na produção de concreto não estrutural**. 2014. 108 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2014. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/251>. Acesso em: 27 mai. 2019.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção**. São Paulo: Pini, 2012.

ANJOS, Daniel Chraim dos. **Estudo sobre a influência do lodo têxtil gerado por uma lavanderia industrial, aplicado em argamassa de Cimento Portland composto de filler**. 2017. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/181766>. Acesso em: 24 abr. 2019.

ANM. **Cimento**. Disponível em: http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumario-brasileiro-mineral-2017/cimento_sm_2017. Acesso em: 10 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação do índice de consistência, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente, 2009.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002.

BALOTA, Mariana Medeiros Martins. **Lodo têxtil: revisão sistemática de métodos de tratamento e potencial uso como insumo combustível de caldeira**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Otimização de Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: http://cassiopea.ipt.br/teses/2018_PI_Mariana_Balota.pdf. Acesso em: 24 abr. 2019.

BAUER, Falcão LA. **Materiais de Construção**. 5ªed revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

BEZERRA, Izabelle Marie Trindade. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2010. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2824>. Acesso em: 10 abr. 2020.

CAMPOS, Marco Antonio. **Estudo do reaproveitamento de isoladores elétricos de porcelana como agregados em argamassas e concretos**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2009. 155p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2009. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257861>. Acesso em: 25abr. 2019.

CARVALHO, Ladimir Jose de; ALMEIDA, Valéria Castro de. Estudo da corrosividade de pastas de cimento com adição de lodo produzido em ETES da indústria têxtil. In: INTERCORR 2010- ABRACO, 2010, Fortaleza, 2010. Disponível em: https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2010/INTERCORR2010_366.pdf. Acesso em: 04 mai. 2020.

CIMENTO. ORG. **Cimento no mundo**: Panorama mundial em 2013. 2014. Disponível em: <https://cimento.org/cimento-no-mundo-2013/>. Acesso em: 04 maio 2020.

CIMENTO ITAMBE. **Aditivo ou adição**. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/aditivo-ou-adicao/>. Acesso em: 17 nov. 2019.

DA FONSECA, Gustavo Celso da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no brasil: uma abordagem epistêmica**. 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-8ALHAQ/1/disserta__o_mestrado_gustavo.pdf. Acesso em: 25 jan. 2019.

DAMINELLI, Bruno L. et al. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 8, p. 555-562, 2010.

DE ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira; MONTEIRO, Regina Teresa Rosim; CARDOSO, Patrícia Felipe. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p. 549-554, 2005.

DUTRA, R. S. et al. Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 10, n. 1, p. 29-35, 2015. Disponível em: <https://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewArticle/448>. Acesso em 10 abr. 2020.

FERNANDES, Sérgio Eduardo. et al. Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em concretos para verificação de sua durabilidade. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 20, n. 4, p. 909-923, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620150004.0096>. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/172362>. Acesso em: 10 abr. 2020.

HEREK et al. Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos. **Cerâmica**, [s.l.], v. 55, n. 335, p. 326-331, set. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132009000300013>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132009000300013&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 17 nov. 2019.

HOFFMANN, Anelise Todeschini. **Influência da adição de sílica ativa, relação água/aglomerante, temperatura e tempo de cura no coeficiente de difusão de cloretos em concretos**. 2001. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2117/000314550.pdf?sequence=1&isAlloved=y>. Acesso em: 19 out. 2019.

LAMPREIA, Nádia; VEIGA, Rosário. Argamassas cimentícias com resíduos industriais incorporados. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2014, Guimarães. **Materiais de Construção Sustentáveis**. Portugal: Universidade do Minho, 2014. p. 211-222. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1014.657&rep=rep1&type=pdf#page=218>. Acesso em: 04 mai. 2020.

LAVASUL. **Higienização têxtil**. 2020. Disponível em: <https://www.lavasul.com.br/servicos/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/21839>. Acesso em: 19 out. 2019.

MARQUES, Maria Lidiane et al. Potencialidades do uso de resíduos de celulose (DREGS/GRITS) como agregado em argamassas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 423-431, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Everton_Silva12/publication/277927578_POTENCIALI

DADES_DO_USO_DE_RESIDUOS_DE_CELULOSE_DREGSGRITS_COMO_AGREGADO_EM_ARGAMASSAS/links/55ac3aac08aea3d08685eb92.pdf. Acesso em: 10 mai. 2020.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, v. 3, p.75-96, 2012. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12110/1/ARTIGO_ProducaoCimentoImpacto.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno; **Concreto, microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDES, Cleiton João. **Concreto autoadensável utilizando cinza de casca de arroz: Estudo das propriedades mecânicas**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/124468>. Acesso em: 10 abr. 2020.

MOSER, Nivaldo José, ZIMMER, André. Incorporação de aditivos inorgânicos em argamassa para aumento da resistência às altas temperaturas. In: **1º Seminário de Pós-graduação**. 2016. Disponível em: <https://eventos.ifrs.edu.br/index.php/Salao/SPG2016/paper/view/1019>. Acesso em: 10 abr. 2020.

NASCIMENTO, Karoline Figueiredo Sarubby do; OLIVEIRA, Thainá Maria da Costa. aproveitamento das cinzas de caroço de açaí na produção de concreto sustentável analisando sua durabilidade. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2018, 2018, Maceió. 2018. Disponível em: https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/civil/49_adcdcdanpdcasas.pdf. Acesso em: 10 mai. 2020.

NOGUEIRA, Luis Gustavo da Silva. **Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável**. 2013. 118 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/6363>. Acesso em: 17 nov. 2019.

PEREIRA, José Almir Rodrigues. Geração de resíduos industriais e controle ambiental. **Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Pará**, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228719448_Geracao_de_residuos_industriais_e_controle_ambiental. Acesso em: 17 mai. 2020.

PEREIRA, Helena Ravache Samy; VALENTINA, Luiz Veriano Olliveira dalla; WITMISZYN, Letícia. Alternativa para Desenvolvimento Sustentável: Incorporação de Resíduo de Fundação em Argamassas. **Espacios**, v. 35, n. 3, p. 5-6, 2014. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a14v35n03/14350305.html>. Acesso em: 17 mai. 2020.

PIETROBON et al. Lixiviação de contaminantes de compostos de lodo-cimento. **Acta Scientiarum. Technology**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 45-52, 31 mar. 2004. Universidade Estadual de Maringa. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v26i1.1552>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/251066946_Lixiviacao_de_contaminantes_de_compostos_de_lodo-cimento. Acesso em: 05 mai. 2020.

RICHTER, Carlos A. **Tratamento de lodos: de estações de tratamento de água**. Edgard Blucher, 2001.

SELLITTO, Miguel Afonso et al. Coprocessamento de cascas de arroz e pneus inservíveis e logística reversa na fabricação de cimento. **Ambiente & Sociedade**, v. 16, n. 1, p. 141-162, 2013.

SANTOS, Camila Fukuda Gomes. **O efeito da adição de lodo de lavanderia industrial em material cerâmico**. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em:
<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/252.pdf>. Acesso em: 02 out. 2019

SOUZA, Paulo Sérgio Lima. **Verificação da influência do uso de metacaulim de alta reatividade nas propriedades mecânicas do concreto de alta resistência**. 2003. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/2747>. Acesso em: 11 jun. 2019.

TOKYAY, Mustafa. **Cement and concrete mineral admixtures**. CRC Press, 2016.

VOTORANTIM. **Cimento**. Disponível em:
<https://www.votorantimcimentos.com.br/produtos/cimentos-votoran/>. Acesso em: 17 nov. 2019.