

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
INSTITUTO DE CIÊNCIA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Carolina Gonçalves Leite

Iany Barbosa Neumann

Rodolfo Alverne Lemos

Vitor Noronha Aguiar

**ESTUDO DE DOSAGEM E AVALIAÇÃO DE CONCRETO CELULAR ESPUMOSO
COM ADIÇÃO DE CERÂMICA E CINZA DA BIOMASSA DE EUCALIPTO COM
FINS ESTRUTURAIS**

Teófilo Otoni

2019

Carolina Gonçalves Leite
Iany Barbosa Neumann
Rodolfo Alverne Lemos
Vitor Noronha Aguiar

**ESTUDO DE DOSAGEM E AVALIAÇÃO DE CONCRETO CELULAR ESPUMOSO
COM ADIÇÃO DE CERÂMICA E CINZA DA BIOMASSA DE EUCALIPTO COM
FINS ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, como parte dos
requisitos exigidos para conclusão do curso.

Orientador: Prof. M.Sc. Flávio Alchaar Barbosa

Teófilo Otoni
2019

Carolina Gonçalves Leite

Iany Barbosa Neumann

Rodolfo Alverne Lemos

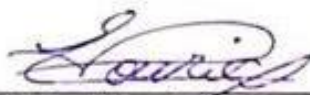
Vitor Noronha Aguiar

**ESTUDO DE DOSAGEM E AVALIAÇÃO DE CONCRETO CELULAR ESPUMOSO
COM ADIÇÃO DE CERÂMICA E CINZA DA BIOMASSA DE EUCALIPTO COM
FINS ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, como parte dos
requisitos exigidos para conclusão do curso.

Orientador: Prof. M.Sc. Flávio Alchaar Barbosa

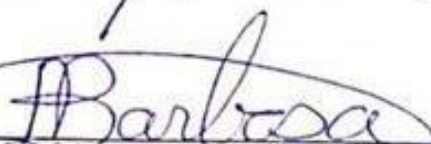
Data de aprovação 05/02/2019



Prof. M.Sc. Eduardo Lourenço Pinto
Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia – UFVJM



Prof. D.Sc. Stênio Cavalier Cabral
Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia – UFVJM



Prof. M.Sc. Flávio Alchaar Barbosa
Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia – UFVJM

Teófilo Otoni

2019

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos dado força e coragem para podermos persistir nos momentos difíceis e assim alcançarmos os nossos objetivos.

Aos nossos familiares e amigos por sempre estarem nos apoiando, incentivando e acreditando no nosso potencial.

Aos funcionários da limpeza, aos técnicos do laboratório e à universidade em geral, por ter nos proporcionado o local limpo e organizado para o desenvolvimento das atividades.

E por fim, agradecemos ao nosso orientador Flávio por compartilhar seus conhecimentos e nos ajudar na realização deste trabalho.

RESUMO

O setor da construção civil é um polo gerador constante de resíduos, dos quais ainda se depara com uma destinação inadequada ou mesmo inexistente, agravando os impactos ao meio ambiente. No presente trabalho investiga-se a viabilidade de utilizar a cinza da biomassa de eucalipto, um material designado como refugo, associada à cerâmica vermelha moída, incorporando-as a fabricação de concreto celular espumoso e analisando o efeito da adição no comportamento mecânico. À vista disso, foram testadas três misturas: dentre elas o traço definido como padrão, de cimento, areia, água e espuma; as subsequentes preparações contaram com um teor pré-estabelecido de cerâmica de 6% e variados teores de cinza da biomassa de eucalipto, em detrimento de verificar o comportamento da mesma como agente estabilizador da areia de rio. Foram adotados os seguintes valores para a cinza: 10 e 17,5%, todos os percentuais citados estão relacionados ao peso da areia seca. Procederam-se os ensaios de resistência à compressão axial nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias com pretensão de haver rompimento no período de 60 dias. A mistura contendo 10% de cinza demonstrou o melhor desempenho de resistência mecânica ao aproximar-se de 11,26 MPa aos 28 dias. Adicionalmente, foram realizados os ensaios de densidade de massa aparente e absorção de água. Os experimentos, em sua totalidade, foram realizados na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, localizada na cidade de Teófilo Otoni – Minas Gerais.

Palavras chave: Concreto Celular. Cerâmica. Cinza da Biomassa de Eucalipto. Resistência à Compressão.

ABSTRACT

The construction industry is a constant generator of waste, which still faces an inadequate or non-existent destination, aggravating the impacts on the environment. The present work investigates the viability of using eucalyptus biomass ash, a material designated as scrap, associated with ground red ceramics, incorporating them in the manufacture of foamed cellular concrete and analyzing the effect of these additions on the mechanical behavior. Therefore, three mixtures were tested: among them, the trait defined as standard, using cement, sand, water and foam; the subsequent preparations had a pre-established ceramic content of 6% and varied ash content of eucalyptus biomass, to verify the behavior of the ash as the stabilizing agent of the river sand. The following values used for ash were: 10 and 17.5%, all percentages cited are related to the weight of the dry sand. Axial compression strength tests were performed at the ages of 7, 14, 21 and 28 days, with the intention of rupturing within 60 days. The mixture containing 10% of ash showed the best mechanical resistance performance when approaching 11.26 MPa at 28 days. In addition, the bulk density and water absorption tests were performed. The experiments, in their entirety, were carried out at the Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys, located in the city of Teófilo Otoni - Minas Gerais.

Keywords: Cellular Concrete. Ceramics. Eucalyptus Biomass Ash. Compression Strength.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Tipos de concreto leve | 15 |
| Figura 2 - Biomassa de eucalipto | 18 |
| Figura 3 - Preparação da areia e secagem na estufa | 23 |
| Figura 4 - Fração de cinza passante na peneira 350 µm | 24 |
| Figura 5 - Britador de mandíbula | 25 |
| Figura 6 - Fração de cerâmica vermelha passante na peneira 350 µm | 25 |
| Figura 7 - Preenchimento das formas cilíndricas | 31 |
| Figura 8 - Desmolde dos corpos de prova após 24 horas da execução do traço | 31 |
| Figura 9 - Imersão dos corpos de prova em solução de água e cal..... | 32 |
| Figura 10 - Armazenamento dos corpos de prova simulando ambiente de cura..... | 32 |
| Figura 11 - Betoneira em uso | 33 |
| Figura 12 - Preparação da espuma por intermédio de um agitador mecânico..... | 34 |
| Figura 13 - Ensaio de resistência à compressão | 35 |
| Figura 14 - Estrutura instalada no corpo de prova precedendo o ensaio de compressão | 36 |
| Figura 15 - Tipos de ruptura..... | 36 |
| Figura 16 - Dessecador | 37 |
| | |
| Gráfico 1 - Comparação dos traços por meio da resistência à compressão..... | 38 |
| Gráfico 2 - Comparativo com o limite estabelecido pela NBR 12646..... | 41 |
| Gráfico 3 - Comparativo com os limites estabelecidos pelo projeto de norma ABNT/CEE 185:000.01-001-1 | 42 |
| Gráfico 4 - Argamassa convencional X Concreto celular | 43 |
| Gráfico 5 - Teor de ar incorporado na mistura | 43 |
| Gráfico 6 - Absorção de água..... | 44 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Porcentagem dos agregados por traço | 27 |
| Tabela 2 - Propostas para dosagem de 1m ³ de concreto celular (materiais em estado seco) ... | 29 |
| Tabela 3 - Quantitativos do traço padrão..... | 29 |
| Tabela 4 - Dosagem das misturas | 32 |
| Tabela 5 - Média das resistências à compressão (MPa) | 39 |
| Tabela 6 - Variação das resistências pela idade de 7 dias | 40 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C. - Antes de Cristo

cm - Centímetros

g - Grama

°C - Grau Celsius

L - Litro

MPa - Megapascal

m³ - Metro cúbico

µm - Micrômetro

ml - Mililitros

N/mm² - Newton por milímetro quadrado

kg - Quilograma

kg/m³ - Quilograma por metro cúbico

kN/m³ - Quilonewton por metro cúbico

km - Quilômetros

W/m.K - Watt por metro por kelvin

ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

CEE - Comissão de Estudo Especial

CME - Cinza Da Madeira De Eucalipto

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CP V - ARI - Cimento Portland De Alta Resistência Inicial

ET - Estudo Técnico

E.U.A. - Estados Unidos da América

MG - Minas Gerais

NBR - Norma Brasileira

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

UFVJM - Universidade Federal Dos Vales Do Jequitinhonha E Mucuri

LISTA DE SÍMBOLOS

M_s - Massa seca

M_u - Massa úmida após cada pesagem da amostra

U - Percentual de umidade da amostra

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 OBJETIVO | 12 |
| 2.1 Objetivos Gerais | 12 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 13 |
| 4 REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 4.1 Concreto Leve | 14 |
| 4.2 Cerâmica Vermelha | 16 |
| 4.3 Cinza da Biomassa de Eucalipto | 17 |
| 4.4 Cimento | 20 |
| 4.5 Espuma | 21 |
| 5 MATERIAL E MÉTODO | 22 |
| 5.1 Materiais Empregados na Elaboração do Concreto Leve | 22 |
| 5.1.1 Areia | 22 |
| 5.1.2 Cimento | 23 |
| 5.1.3 Cinza da Biomassa de Eucalipto | 23 |
| 5.1.4 Cerâmica Vermelha | 24 |
| 5.1.5 Água de Amassamento | 26 |
| 5.1.6 Aditivo Espumante | 26 |
| 5.2 Métodos Adotados | 26 |
| 5.2.1 Proporção das Misturas | 26 |
| 5.2.2 Moldagem dos Corpos de Prova | 28 |
| 5.2.3 Preparação | 29 |
| 5.2.4 Execução | 32 |
| 5.3 Ensaio | 34 |
| 5.3.1 Densidade de Massa Aparente | 34 |
| 5.3.2 Ensaio de Compressão | 34 |
| 5.3.3 Absorção de Água | 37 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 38 |
| 6.1 Análise da Resistência Mecânica à Compressão | 38 |
| 6.2 Análise do Peso Específico | 42 |
| 6.3 Análise da Umidade | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 7 CONCLUSÃO..... | 45 |
| 8 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS | 46 |
| REFERÊNCIAS | 47 |

1 INTRODUÇÃO

O concreto se destaca por sua eminência no setor construtivo, todavia, em consequência das numerosas reformas tecnológicas e da urgência de adaptação, a propensão de seu emprego, de modo contínuo, advém das novas especificidades relacionadas a ele.

Tornando-se uma realidade do mundo contemporâneo, os concretos especiais, ou seja, aqueles com diferentes propriedades físicas, químicas e biológicas, surgem no cenário atual de maneira a suprir os impasses do concreto convencional.

Analisando dentre os vários ramos desta classe não convencional de concretos, optou-se explorar os concretos leves, cuja principal característica está no seu reduzido peso específico. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) ET-86 (1996), há apenas uma maneira de produzir concreto leve, que é incorporando ar além do normal à sua composição. Diante do exposto, a inserção de um agente espumígeno, no momento da execução do traço, foi a solução para se alcançar isso. O alto índice de porosidade garantido por esse elemento, trás, além do já mencionado, vantagens referentes ao isolamento térmico e acústico.

Ademais, na tentativa de aplicar novas técnicas e aproveitar resíduos na construção civil, é justificável o estudo de matérias-primas alternativas, tais como o material cerâmico moído e a cinza da biomassa de eucalipto, por conseguinte, isso insere valor aos subprodutos industriais e o emprego desses agregados reciclados gera benefícios para algumas questões ambientais.

Este trabalho experimental aborda a substituição de uma porcentagem do agregado miúdo por partes de cerâmica vermelha e cinza da biomassa de eucalipto, além da incorporação do aditivo espumante caracterizando o concreto leve, como base de estudo de comportamento do elemento confeccionado (corpo de prova) em meio às suas propriedades: massa específica, resistência mecânica à compressão e absorção de água. Destarte, a avaliação da viabilidade do uso deste concreto em paredes para fins estruturais.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivos Gerais

Analisar o desempenho do concreto celular espumoso com aditivos minerais via ensaio de resistência mecânica à compressão com base na NBR 5738/2015, e averiguar sua compatibilidade para fins em paredes estruturais utilizando como premissa as NBR 12644, 12645 e 12646 e o projeto de norma ABNT/CEE 185:000.01-001-1 . O trabalho também traz a oportunidade de estimar uma destinação adequada aos materiais que podem ser considerados como rejeitos agroindustriais e da construção civil, sendo eles a cinza da biomassa de eucalipto e a cerâmica vermelha.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar tanto a densidade de massa aparente quanto o grau de absorção de água representativo de cada arranjo.
- Verificar o comportamento da resistência do concreto leve, variando os teores de cinza da biomassa de eucalipto, por meio de ensaio de compressão.
- Avaliar a viabilidade do concreto em estudo para elementos de paredes estruturais.

3 JUSTIFICATIVA

Estudos de materiais caracterizados como refugo industrial vêm sendo cada vez mais abordados na medida em que o seu índice de geração aumenta; a maior parte não apresenta destinação específica, o que intensifica alguns problemas ambientais, tornando-se justificável a pesquisa sobre a possível reutilização dos mesmos na construção civil.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Concreto Leve

A datar da aparição do concreto convencional, até a década de 1980, o concreto convencional era apenas uma mistura de cimento, água e agregados, sem maiores mudanças que alterassem as suas propriedades, desempenho e funcionalidades. (ANGELIN, 2014).

Contudo, o estudo do concreto passou a evoluir com o uso de novas tecnologias e de diversos pesquisadores, como Rossignolo (2009), Díaz *et al.* (2010), Bektas *et al.* (2012) e Ibrahim *et al.* (2013) que tiveram papéis importantes para o estudo dos concretos, através de novas técnicas, equipamentos e agregados, que levaram a melhorias nas propriedades desse material. (NEVILLE *et al.*, 2013).

Em conformidade com Maycá, Recena e Cremonini (2009) o concreto leve tem diversas funções na Engenharia Civil, como vedação e enchimento e uma das suas grandes vantagens é a diminuição do peso das estruturas, além da melhora no conforto térmico das edificações.

Scobar (2016) escreve que o concreto leve possui menor resistência à compressão ao compará-lo com o concreto convencional, mas o que o destaca é a sua baixa massa específica, o que possibilita a diminuição do peso das estruturas, e garante uma menor despesa na construção.

Holm e Bremner (2000), afirmam que as estruturas com concreto leve são cerca de 5 a 10% mais baratas, chegando a uma redução de até 15% na construção de pontes. Angelin (2014) diz que em peças pré-moldadas essa economia pode dobrar, devido ao transporte e outros fatores.

De acordo com Sacht, Rossignolo e Santos (2010), os concretos leves são caracterizados por ter uma massa específica inferior a 2000 kg/m³ e por possuírem as propriedades térmicas alteradas devido ao ar encontrado na estrutura do agregado, que faz com que ocorra uma diminuição na troca e absorção do calor em comparação com os agregados convencionais.

Rossignolo (2003) afirma que se pode diferenciar o concreto leve do concreto convencional pela diminuição da sua massa específica além de mudanças nas propriedades térmicas. Além disso, outras importantes alterações nas propriedades do concreto podem ser notadas, como resistência mecânica, fluência, trabalhabilidade e retração.

O mesmo autor também destaca que o concreto leve vem sendo usado em diversos tipos de obras, como: “plataformas marítimas, recuperação estrutural e edifícios de múltiplos andares”. O autor também menciona o uso deste concreto em situações agressivas.

Segundo Scobar (2016) os concretos leves podem ser produzidos de três formas (Figura 1):

1) Com a introdução de ar a massa cimentícia, através de espumas, fazendo com que aconteça uma reação que gera bolhas de ar, e desta forma é produzido o concreto aerado ou celular;

2) Concreto produzido apenas com aglomerante, água e agregados graúdos. Desta forma se produz vazios entre os agregados graúdos e a argamassa, esse concreto é conhecido como concreto sem finos;

3) Com o uso de agregados porosos, como a argila expandida. Esse é a única forma de se produzir concreto leve para uso estrutural.

Figura 1 – Tipos de concreto leve



1) Concreto celular

2) Concreto sem finos

3) Concreto leve estrutural

Fonte: Rossignolo (2009).

Pereira (2018) afirma que a principal característica do concreto celular em comparação ao concreto convencional é a sua eficiência em controlar a densidade pela adição de espuma a mistura de água e cimento. Essa peculiaridade faz com o que o concreto celular seja a melhor alternativa para a vedação de vãos e preenchimento de lajes nervuradas.

O mesmo autor apresenta também as vantagens e desvantagens do uso do concreto celular. Entre as vantagens é possível destacar leveza, redução de custos totais,

melhor desempenho acústico e térmico, além da resistência ao fogo. No entanto, o concreto celular também está associado a algumas desvantagens, como maior custo de produção, módulo de elasticidade baixo, e perda de desempenho mecânico.

4.2 Cerâmica Vermelha

O homem utiliza a matéria prima para transformá-la em produtos úteis à sua sobrevivência desde a pré-história. Os materiais cerâmicos são utilizados desde 4000 anos a.C. devido a sua extensa abundância de matéria prima, que é a argila, além disso possui propriedades importantes para a construção civil como a boa resistência à compressão e ao cisalhamento, baixa condutividade e alta estabilidade térmica.

Conforme a ABCERAM - Associação Brasileira de Cerâmica (2019), o processo de fabricação da cerâmica vermelha baseia-se na preparação da matéria prima que consiste na extração e desagregação da argila, o próximo passo é a preparação da massa que envolve as dosagens adequadas e a homogeneização, seguindo da formação das peças e o tratamento térmico para que assim a cerâmica obtenha suas propriedades necessárias.

A cerâmica vermelha compreende inúmeros materiais utilizados na construção civil, entre eles: tijolos, telhas, blocos, elementos vazados, tubos e entre outros. Em sua maioria possuem coloração avermelhada.

De acordo com a ABCERAM, estima-se que há cerca de 6000 indústrias cerâmicas e olarias espalhadas pelo Brasil, sendo elas de micro, pequeno e médio porte, de diferentes níveis tecnológicos. Pela grande quantidade de matéria prima, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias, as indústrias cerâmicas alcançaram um patamar de qualidade mundial, exportando para outros países.

As regiões Sul e Sudeste foram as que obtiveram maior sucesso devido à sua densidade demográfica, infraestrutura, além das boas condições de matéria-prima, energia e tecnologia, resultando numa maior concentração das indústrias nessas regiões.

Segundo Martins *et al.* (2004), as indústrias de cerâmica vermelha mobilizam em torno de 60 milhões de toneladas de matéria prima por ano, considerando que há uma perda de 10% desse material, devido a presença de elementos que se decompõem como os carbonatos e a matéria orgânica, o produto gerado totaliza-se em 54 milhões de toneladas.

Durante o ciclo de produção da cerâmica Martins *et al.* (2004) diz que pode ocorrer uma perda média de 3 a 5% do material devido a presença de defeitos que não se

enquadram nos padrões normatizados como trincas, baixa resistência, empenamento, o que provoca uma quantidade significativa de resíduos, atingindo até 2,7 milhões de toneladas por ano. Considerando essa perda, é de suma importância ambiental o reaproveitamento desses resíduos, visto que possuem boas propriedades relacionadas à resistência à compressão, estão sendo estudados e incorporados como agregado nos traços de concreto.

4.3 Cinza da Biomassa de Eucalipto

A cinza pode ser obtida como resíduo de diversos processos de geração de energia, dentre eles a combustão de carvão mineral dentro de refinarias e a queima de materiais constituintes de biomassa vegetal, como exemplo o bagaço da cana ou a lenha do eucalipto, a qual é utilizada neste trabalho. Atualmente, é o principal resíduo industrial no mundo, estima-se que é gerado por ano cerca de 500 milhões de toneladas e os principais países contribuintes para esse fornecimento são: China, Índia, Estados Unidos, Rússia, Alemanha, África do Sul, e Reino Unido. E sua adição é adequada para a matriz do cimento Portland (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Um material pozolânico é caracterizado pela NBR 12653/1993 pela presença de sílica ou alumínio em sua constituição química, sendo de origem natural ou artificial e que estes proporcionem reatividade com hidróxido de cálcio. A reatividade de uma pozolana é influenciada pelo teor de vidro, apresentando materiais cristalinos, como quartzo, mulita, hematita e magnetita (ISAIA, 2017).

As cinzas foram um dos primeiros aglomerantes a serem usados para a fabricação de cimento, há relatos de uso dentre históricas construções do Egito Antigo, Grécia e Roma, onde se usavam cinzas de origem vulcânica em suas obras, juntamente com a adição de compostos de areia e cal. Algumas grandes construções onde pode ser observado o uso desse composto aglomerante são: as ruínas romanas, as pirâmides egípcias e as muralhas da China.

Uma das primeiras aplicações da cinza no concreto foi por volta da década de 30, nos Estados Unidos, sendo utilizada na construção de uma parede de retenção no Lago Michigan. Posteriormente, na década de 60, foram realizados estudos mais aprofundados sobre seu emprego na fabricação de blocos de alvenaria. Os resultados obtidos foram satisfatórios e até mesmo superaram os valores com tijolos cerâmicos convencionais.

No Brasil, os estudos relacionados à cinza, juntamente com a adição de cal, são recentes e em menor quantidade, sendo sua aplicação realizada em estabilização de solos na

construção de estradas e rodovias. Também se passou a estudar o uso da cinza para a produção de tijolos, obtendo resultados de resistência adequados, mas com absorção acima do determinado pelas normas (ANDRADE, 1991).

A produção de cinzas no Brasil também passou a ser feita a partir da queima de biomassa vegetal. Sendo as agroindústrias responsáveis pelo armazenamento desse resíduo, oriundo da queima de lenha utilizada como fonte de energia e outros processos. O tipo de madeira mais utilizada nesse processo é a de eucalipto, a qual é provinda de reflorestamentos (AFONSO *et al.*, 2006).

O crescimento da atividade agroindustrial faz com que aumente o volume de resíduos derivados desses processos. Estudos propõem uma destinação econômica e ecologicamente viável para o resíduo denominado Cinza da Madeira de Eucalipto (CME).

De acordo com Borges *et al.* (2017), a CME pode ser definida como cinza residual de indústrias que utilizam a queima de biomassa (Figura 2), por exemplo, a madeira de eucalipto (em casca, cavaco, pó de serra, dentre outros) como fonte de energia tanto para a geração de calor como para outros processos.

Figura 2 - Biomassa de eucalipto



Fonte: Arquivo pessoal.

A madeira e a casca dos eucaliptos queimadas possuem certo teor de minerais em sua composição química, que pode caracterizar as cinzas como pozolanas. Esse teor de minerais presente nas cinzas da madeira é bastante baixo (entre 0,3 a 0,6% com base em seu peso seco), entretanto, as cinzas da casca das árvores dos eucaliptos possuem teores consideravelmente maiores (entre 3 a 8% com base em seu peso seco) (GLUITZ & MARAFÃO, 2013).

No geral, as cinzas geradas a partir das caldeiras de biomassa consistem em uma mistura de minerais oxidados, areia e carbono orgânico parcialmente queimado (FOELKEL, 2011).

Como previamente relatado, os primeiros registros da utilização da cinza em construções ocorreu na antiguidade, presente em grandes monumentos do Egito antigo, Grécia, Roma e entre outros, tendo como exemplo as pirâmides do Egito e a Grande Muralha da China. Sua aplicação era feita junto à pasta aglomerante com a adição de areia e cal, formando a mistura utilizada naquela época.

Nos tempos modernos, passou-se a estudar a sua utilização em combinações com o cimento Portland, resultando no cimento Portland pozolânico. Sendo utilizado em paredes de retenção, substituindo cimento em obras de pavimentação e na produção de blocos de alvenaria.

No Brasil, a aplicação é mais restrita e em menor escala, por conta da menor quantidade de estudos na área e na recente inserção de seu uso, principalmente em obras de estabilização de solos para a agricultura e também para a pavimentação.

O uso das cinzas também está expandindo para a produção de tijolos de cerâmica, sendo parte do componente da massa da cerâmica vermelha. Estudos mostram que a cinza pode contribuir para reduzir a porosidade por conta da formação da fase líquida. Esse estudo ainda tem a finalidade de diminuir o impacto ambiental, criando uma nova alternativa de matéria-prima e tornando o problema ambiental em uma solução tecnológica.

As cinzas provenientes de processos de geração de energia e fornecimento de calor nas agroindustriais também contêm características pozolânicas, possuindo a capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos de características aglomerantes, podendo ser empregadas como adição mineral em substituição parcial do cimento Portland em argamassas e concretos (NBR 5752/1992).

4.4 Cimento

O cimento é o principal material de construção usado como aglomerante para a fabricação de concreto, em contato com a água produz uma reação exotérmica de cristalização, fazendo com que os produtos ganhem resistência mecânica (NICOLA, 2010). No Brasil, o uso de cimentos é feito com base nas normas técnicas da ABNT, por exemplo, a NBR 5732/91, que diz sobre o uso do cimento Portland.

Presente em todo o tipo de construção, o cimento possui variedade limitada de tipos e com especificações bem similares em todo o mundo. Dependendo dos diferentes tipos de cimento, a quantidade de água varia para cada tipo para a obtenção do abatimento desejado, além das diferenças no traço e na dosagem dos materiais. Existem registros históricos sobre o uso do concreto de milhares de anos antes de Cristo, na Idade Antiga, a produção e a composição da mistura eram bastante diferentes da que possuímos hoje, sendo usados materiais como argila, calcário, cinzas vulcânicas, e agregados rochosos.

Apenas em 1824 foi introduzido o uso do cimento Portland, com composição ainda diferente da que usamos atualmente, contudo com sua matéria-prima base feita de argila e calcário. Na década de 1920 começou-se a utilizar o concreto pré-misturado, melhorando a o seu controle de qualidade. Posteriormente começou a ser feitos estudos e testes com a finalidade de aumentar a resistência adquirida no concreto, desenvolvendo concretos de alta resistência e com a presença de outros aditivos.

Segundo a ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, o cimento CP V-ARI é o tipo mais adequado para aplicações onde se deseja elevada resistência nos primeiros estágios de cura, sendo amplamente aplicado na indústria de pré-moldados e, especialmente, na aplicação de peças com protensão. No entanto, apesar de garantir um crescimento acelerado de resistência já nos primeiros dias, há um decréscimo na velocidade desse crescimento.

O elevado valor inicial de resistência é conseguido devido à utilização de uma dosagem de calcário e argila na produção do clínquer, e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água o CP V-ARI adquire elevadas resistências, com maior velocidade (ABCP).

O concreto é um dos materiais mais versáteis atualmente, com a crescente expansão da área de construção civil no mundo, o concreto é cada vez mais utilizado, diversos

estudos são feitos para de se obter um concreto com excelentes características, tais como: melhor resistência à compressão e tração, maior durabilidade e menor custo.

Sua utilização é feita em praticamente todas as áreas da engenharia e construção civil, como edifícios, residências, obras de contenção, obras de abastecimento, obras de transporte e entre outros diversos projetos de infraestrutura.

4.5 Espuma

A espuma é formada na superfície de um líquido, causada por sua agitação ou movimentação no interior de um recipiente. A adição no concreto diminui o peso específico, podendo ser produzido em condições operacionais comuns, ou seja, sem a necessidade de mão de obra especializada ou equipamentos específicos.

Nos últimos anos, o concreto leve com adição de espuma vem sendo utilizado no Brasil na produção de vedações verticais, como alternativa para reduzir a geração de entulho e desperdício de material. Dentre os diferentes processos construtivos, o que emprega a concretagem das paredes in loco tem se mostrado muito competitivo com relação à otimização do sistema construtivo, de acordo com dados do fornecedor do aditivo.

Segundo o site do fabricante, o aditivo utilizado para a produção da espuma pode ser destinado para a produção de concretos e argamassas com características isolantes, capazes de substituir o uso de materiais a base de resinas plásticas. A espuma produzida possui diversas características como: alta estabilidade dos poros, boa densidade, plasticidade em concretos celulares, bom isolamento termoacústico e também é compatível com a maioria dos cimentos Portland.

Por recomendação do fabricante, sua aplicação pode ser feita tanto para fins estruturais, como na produção de blocos, placas de alvenaria, peças pré-moldadas como para revestimento de pisos e lajes, isolamentos acústicos e térmicos, paredes corta-fogo, envelopamento de tubulações, entre outras aplicações.

5 MATERIAL E MÉTODO

No presente trabalho, procurou-se verificar o comportamento de um material apontado como refugo, que é a cinza da biomassa de eucalipto. Para averiguação do comportamento do aditivo, este foi incorporado ao concreto leve, em virtude de sua fabricação concebida de cimento, água e espuma, podendo-se acrescentar areia ou não. Em razão disso, ter-se-ia uma melhor influência do comportamento mecânico do aditivo na confecção do elemento (corpo de prova). A adição de aditivos baratos, disponíveis e até mesmo de refugo em concreto seja tradicional ou leve, tem sido a atenção de pesquisadores nacionais e estrangeiros. Neste segmento, procurou-se enarrar a obtenção e preparação do material, empregado na manufatura dos corpos-de-concreto, elucidar os estágios de confecção do traço, incluindo moldagem e cura, e relatar os ensaios e análises realizadas, com o escopo de corroborar com os objetivos propostos. O trabalho foi integralmente realizado no laboratório do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus Mucuri, localizada na cidade de Teófilo Otoni – Minas Gerais.

5.1 Materiais Empregados na Elaboração do Concreto Leve

5.1.1 Areia

Areia de rio oriunda da cidade de Frei Inocência, esta fica a 97 km de Teófilo Otoni na região leste do Estado de Minas Gerais. Antes de mais nada, se esclarece que não lavou a areia de rio, pois, pressupõe-se que já se encontra lavada. Após a obtenção da areia, a mesma foi arrumada em bandejas e colocada na estufa a uma temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, durante um período de 48 horas. A Figura 3 refere-se à preparação da areia e sua secagem na estufa.

Figura 3 - Preparação da areia e secagem na estufa



Fonte: Arquivo pessoal.

5.1.2 Cimento

O cimento utilizado para a dosagem foi adquirido na cidade de Teófilo Otoni por meio de uma distribuidora em sacos de 40 kg, sendo ele do tipo CP V–ARI, que garante um melhor resultado da resistência nos primeiros dias de cura. Essa característica ocorre devido à presença de calcário e argila na produção do clínquer. Apesar das resistências mais elevadas nas primeiras fases da cura, a velocidade de crescimento é consideravelmente menor nos estágios finais.

Segundo a NBR 5733/91 o cimento Portland de alta resistência inicial é composto em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos, sendo adicionada posteriormente em sua produção certa quantidade de sulfatos de cálcio.

5.1.3 Cinza da Biomassa de Eucalipto

A cinza foi coletada em uma indústria de cerâmica que se encontra localizada na região de Itambacuri. Esta é resultado da queima da biomassa de eucalipto proveniente da região da Bahia e Espírito Santo. O resíduo resultante da queima foi coletado através de sacos plásticos e trazido à Universidade onde foi peneirado até ter sua granulometria passante na granulometria de 350 μm (Figura 4).

Figura 4 - Fração de cinza passante na peneira 350 μ m



Fonte: Arquivo pessoal.

5.1.4 Cerâmica Vermelha

O refugo de cerâmica vermelha foi procedente de uma indústria de cerâmica que se encontra localizada na região de Itambacuri. É uma fábrica de artefatos em cerâmica, o qual forneceu o refugo, que é composto por peças quebradas devido ao manuseio e transporte e peças defeituosas, geralmente descartadas no controle de qualidade. A reciclagem de refugos provenientes das indústrias geradoras de resíduos sólidos parece uma solução viável para a construção civil, visto que contempla a conservação e prolonga a vida útil dos recursos naturais. Desde 2010 vigora a Lei 12.305 conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que prevê a prevenção e a redução de geração de resíduos sólidos, bem como um conjunto de instrumentos que oportuniza o aumento da reciclagem e da reutilização de resíduos sólidos, estabelecidos com base na resolução CONAMA 307/02.

Resíduos da construção civil são aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solo, rocha, madeira, forro, argamassa, gesso, telha, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulho de obra ou calça. (CONAMA 307, 2002, p.1)

A princípio o refugo encontra-se em pedaços de tamanho variados, fragmentos de blocos cerâmicos. O resíduo cerâmico foi coletado através de sacos plásticos e trazido à

Universidade onde foram quebrados manualmente com martelo, moídas e britadas no britador de mandíbula e após todas estas etapas foi peneirado até terem sua granulometria passante na granulometria de 350 μm . A Figura 5 mostra o britador de mandíbula utilizado neste trabalho. A Figura 6 concerne à fração de cerâmica vermelha passante na peneira 350 μm .

Figura 5 - Britador de mandíbula



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 6 - Fração de cerâmica vermelha passante na peneira 350 μm



Fonte: Arquivo pessoal.

5.1.5 Água de Amassamento

A água utilizada na confecção dos traços de concreto leve, em conformidade com a NBR 15900-1, é potável e proveniente da rede de abastecimento público da COPASA – MG da cidade de Teófilo Otoni.

5.1.6 Aditivo Espumante

De acordo com informações do fabricante, o produto utilizado na mistura é um aditivo concentrado líquido de base sintética, isento de cloretos, biodegradáveis, que pode ser utilizado em geradores de espuma, gerando uma espuma durável de alta densidade, produzindo Concreto Celular e Concreto Leve nas mais variadas densidades.

5.2 Métodos Adotados

5.2.1 Proporção das Misturas

Ressalta-se que este trabalho de pesquisa se baseou em dois trabalhos, um de origem internacional onde Mateos (1961), através do centro de pesquisa da Universidade Estadual de IOWA nos E.U.A., estudou a estabilização química de uma areia contendo argila adicionando refugo oriundo de centrais elétricas daquela região dos E.U.A e o outro trabalho de origem nacional onde Pinto (1971), através de sua dissertação de mestrado, estudou a estabilização de uma areia uniforme adicionando refugo da queima de carvão oriundo de Usina Termelétrica com cal dolomítica.

O principal escopo deste trabalho ou a pergunta que se poderia fazer seria qual a quantidade de cinza da biomassa de eucalipto a ser adicionada com a cerâmica no concreto leve para produzir um concreto que tivesse características mecânicas para ser utilizado na construção civil.

Sendo assim, a cinza é um resíduo industrial da queima da biomassa de eucalipto, onde geralmente é descartado em valas com restos de cerâmicas que foram quebrados seja por manuseio, transporte ou até mesmo por uma questão de qualidade das peças fabricadas, fossem estudadas a composição química tanto das cinzas quanto das cerâmicas para obtenção de novos materiais a serem utilizados pela construção civil, evitando com isso o descarte

destes materiais no meio ambiente. Com isso estaríamos transformando um problema ambiental usando tecnologias que minimizem os impactos ambientais oriundos da liberação indiscriminada de resíduos.

Em conformidade com Silvério e Horn (2013), a queima da madeira de eucalipto, tem como principal componente o cálcio presente na forma de cal viva, que aos poucos passa a carbonato e ao adicionar água à cal, tem como produto final o hidróxido de cálcio, que é conhecida como cal extinta.

De acordo com Silva (2005), grande parte das argilas, aos quais os blocos cerâmicos são fabricados, possui baixa atividade pozolânica, quando estes blocos são sintetizados em uma temperatura entre 700 a 900°C, tornam-se reativas. Segundo Silva (2005) o tratamento térmico pelo qual estes blocos cerâmicos são submetidos é suficiente para mudar a estrutura cristalina da argila transformando em uma estrutura sílico-aluminosa amorfa. Conforme Silva (2005), este material quando triturado em partículas muito finas, apresentam composição físico-química dentro das especificações da ASTM 618 (ASTM,1992), sendo este material usado como adição mineral em misturas com o cimento Portland.

No presente trabalho, procurou-se estabelecer o teor limite de cerâmica de 6% (em peso), dado que o objetivo principal era de verificar o comportamento da cinza da biomassa de eucalipto como agente estabilizador da areia de rio.

Os teores de cinza da biomassa de eucalipto foram tomados em trabalhos desenvolvidos por Mateos (1961) e por Pinto (1971) o qual foi adotado os seguintes teores: 10 e 17,5% (em peso).

Todos os percentuais ao qual foram feitos referências, são em relação ao peso da areia seca.

As misturas estão representadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Porcentagem dos agregados por traço

| Mistura | Areia (%) | Cerâmica (%) | Cinza da Biomassa de Eucalipto (%) |
|---------|-----------|--------------|------------------------------------|
| Padrão | 100 | - | - |
| I | 84 | 6 | 10 |
| II | 76,5 | 6 | 17,5 |

Fonte: Arquivo pessoal.

5.2.2 Moldagem dos Corpos de Prova

Neste escopo serão narrados à execução do traço de concreto celular, bem como o procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova e absorção de água, os materiais empregados na execução foram:

- Aditivo espumante;
- Agitador mecânico portátil;
- Agregado miúdo (areia de rio);
- Água;
- Balança;
- Baldes;
- Betoneira;
- Caixa d'água;
- Cerâmica vermelha;
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI);
- Cinza de Eucalipto;
- Colher de pedreiro;
- Dessecador;
- Estufa;
- Formas retangulares;
- Haste de adensamento;
- Máquina britador de mandíbula;
- Máquina de ensaio de compressão;
- Molde corpo de prova;
- Óleo queimado;
- Peneiras;
- Proveta de vidro graduada 1000 ml.

Como a produção do concreto foi realizada nas dependências da própria universidade, UFVJM - campus Mucuri, todos os utensílios e equipamentos utilizados encontravam-se disponíveis nas dependências do laboratório. Já os resíduos industriais, como a cinza de eucalipto e a cerâmica vermelha, foram cedidos por uma fábrica de cerâmica localizada na região de Itambacuri/MG.

5.2.3 Preparação

A princípio foi confeccionado o traço padrão utilizado de referência para o presente trabalho. O traço padrão conforme a Tabela 1 - Porcentagem dos agregados por traço, não houve adição de nenhum aditivo. O traço de concreto leve foi o indicado por uma empresa conforme Tabela 2, a partir desta definiu-se o traço padrão. Diante da Tabela 3, é conhecida a quantidade dos materiais constituintes da mistura.

Tabela 2 - Propostas para dosagem de 1m³ de concreto celular (materiais em estado seco)

| Tipo de uso | Não Estrutural | | | | Estrutural | | | Normal |
|--------------------------------------|----------------|------|------|------|------------|---------|--------|--------|
| Densidade seca (kg/m ³) | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 2350 |
| Areia (kg) | - | 210 | 400 | 560 | 750 | 950 | 1100 | 1950 |
| Cimento (kg) +/- | 300 | 310 | 320 | 350 | 360 | 380 | 400 | 320 |
| Água na massa (L) =/- | 110 | 110 | 120 | 120 | 140 | 150 | 160 | 180 |
| Espuma (L) +/- | 800 | 715 | 630 | 560 | 460 | 370 | 290 | - |
| Água na espuma (L) +/- | 58 | 52 | 46 | 41 | 33 | 27 | 21 | - |
| Densidade úmida (kg/m ³) | 474 | 687 | 890 | 1075 | 1287 | 1510 | 1683 | 2400 |
| Resistência (N/mm ²) | ~1 | ~2 | ~3 | ~4 | 6 - 8 | 10 - 12 | 16 - 1 | > |
| Lambda Média (W/m.K) | 0,096 | 1,18 | 0,21 | 0,32 | 0,405 | 0,45 | 0,55 | 2,1 |

Fonte: Empresa consultada. Adaptado.

Tabela 3 - Quantitativos do traço padrão

| Material | Quantidade |
|------------------------|------------|
| Areia (kg) | 43,0 |
| Cimento (kg) +/- | 15,6 |
| Água na massa (L) =/- | 6,3 |
| Água na espuma (L) +/- | 0,82 |
| Aditivo espumante (L) | 0,021 |

Fonte: Arquivo pessoal.

Foram pesados 43 kg de areia seca com precisão de 0,1 g em seguida colocados na betoneira. Após colocar a areia na betoneira, foi adscrito, inicialmente, até uma porcentagem de 80% da água de amassamento, com o desígnio de homogeneizar a areia com a água, logo após foi adicionado aos poucos o cimento, sempre verificando a possibilidade de pelotização da mistura, tão logo esta fosse identificada adicionava mais água, para a não ocorrência da indesejada pelotização. Após a completa homogeneização da mistura foi adicionado à espuma, onde foi observada uma melhora na trabalhabilidade do compósito. Foi usado como parâmetro de referência para o término de fabricação do compósito até que o material se desprendesse totalmente das laterais internas da betoneira. Por esse motivo, a quantidade total de água adicionada no decorrer do processo tornou-se superior ao previamente proposto, entretanto, pode-se dizer que esse aumento foi causado pelo não uso de superplastificantes, fato contrário ao adotado pela empresa consultada. A moldagem e cura dos corpos de prova foram realizadas em conformidade com a NBR 5738:2015.

Para cada traço de concreto produzido neste trabalho, foram moldados 21 corpos de prova em moldes cilíndricos com dimensões básicas de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, conforme as recomendações normativas.

O preenchimento das formas cilíndricas (Figura 7) com a mistura do compósito foi realizado em 2 (duas) camadas, após cada camada dava-se em média 10 batidas leves nas paredes laterais, tal finalidade era de evitar o rompimento das bolhas de ar devido ao processo de adensamento.

Segundo Silva (2015), tal procedimento deve ser adotado com o propósito de mitigar problemas relacionados com a heterogeneidade entre os corpos de prova, é sabido que devido à existência de bolhas de ar no interior do compósito é esperada a ocorrência desta heterogeneidade.

Figura 7 - Preenchimento das formas cilíndricas



Fonte: Arquivo pessoal.

Depois de vinte quatro horas eram desmoldados (Figura 8), identificados e imersos na caixa com água saturada de cal para a cura (Figura 9), conforme a NBR 5738:2015 no sétimo dia os corpos de prova foram retirados da câmara de cura e mantidos dentro de sacos plásticos com um vasilhame de água para se criar um ambiente úmido (Figura 10). Para rompimento do corpo de prova no sétimo dia era retirado da câmara de cura um dia antes três corpos de prova, ficando estes nos sacos plásticos simulando este ambiente de cura.

Figura 8 - Desmolde dos corpos de prova após 24 horas da execução do traço



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 9 - Imersão dos corpos de prova em solução de água e cal



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 10 - Armazenamento dos corpos de prova simulando ambiente de cura



Fonte: Arquivo pessoal

5.2.4 Execução

O início da produção do concreto celular, após as preparações de alguns dos materiais descritas em tópicos anteriores, tem como primeiro passo a pesagem de todas as matérias-primas, incluindo o cimento, a areia de rio, a cerâmica vermelha e a cinza. Para isso, consulta-se a Tabela 4, na qual estão descritos os materiais e suas respectivas quantidades.

Tabela 4 - Dosagem das misturas

| Traço | Cimento (kg) | Areia (kg) | Cerâmica (kg) | Cinza (kg) | Água (L) |
|--------|--------------|------------|---------------|------------|----------|
| Padrão | 15,60 | 43,00 | - | - | 9,70 |
| I | 15,60 | 36,12 | 2,58 | 4,30 | 14,00 |
| II | 15,60 | 32,90 | 2,58 | 7,52 | 15,00 |

Fonte: Arquivo pessoal

Para que esses componham uma mistura melhor distribuída contou-se com o reforço da betoneira (Figura 11). A princípio colocou-se certa quantidade de areia e aos poucos se acrescentou água, até o ponto em que toda ela fosse umidificada.

Dando continuidade ao processo, adicionou-se gradualmente a cerâmica e por sua vez a cinza da biomassa de eucalipto, quando o traço solicitasse tais elementos. Sempre acionando a betoneira para atingir a homogeneidade na mistura. Em seguida cresceu o cimento.

Figura 11 - Betoneira em uso



Fonte: Arquivo pessoal

Visto que a cerâmica e a cinza da biomassa de eucalipto dispõem de atividade pozolânica, em seu contato com o composto, foi nítida a absorção imediata de água por tais materiais, logo, no andamento do método foi adicionada mais água, à medida que se julgasse necessário, ou seja, houve a compensação de água na mistura, para evitar a pelotização. Por fim, preparou-se a espuma através da aeração do aditivo espumante diluído em água por intermédio de um agitador mecânico (Figura 12), e a incorporou junto ao concreto, garantindo que este concreto tornasse mais leve.

Figura 12 - Preparação da espuma por intermédio de um agitador mecânico



Fonte: Arquivo pessoal.

O procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova seguiram os mesmos critérios adotados para manufatura do traço padrão.

5.3 Ensaios

5.3.1 Densidade de Massa Aparente

A análise aplicada no concreto ainda em seu estado fresco foi à determinação da densidade de massa aparente. Portanto, esta propriedade foi definida pesando-se uma amostra de concreto celular imediatamente ao final da sua produção, foram colocadas duas camadas de concreto leve em uma proveta graduada de 1000 ml e em seguida através de uma haste de aço em torno de cinco pequenos golpes, só para acomodar o concreto, em seguida pesava-se para obter a sua densidade.

5.3.2 Ensaio de Compressão

A ruptura dos corpos de prova foi realizada aos 7, 14, 21 e 28 dias com pretensão de haver rompimento no período de 60 dias. Para cada idade foram ensaiados três exemplares e a resistência à compressão representativa para cada caso foi gerada a partir da média aritmética entre os resultados, com seu valor já expresso em MPa.

Os ensaios contaram com o apoio de uma máquina de compressão e seguiram as recomendações das NBR 5738 e NBR 5739, Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova e Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, respectivamente. O ensaio de compressão é exemplificado na Figura 13.

Figura 13 - Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Arquivo pessoal.

Reiterando o fato dos trabalhos serem produzidos integralmente na própria universidade não houve a retificação dos corpos de prova previamente ao ensaio de compressão devido à falta do equipamento na mesma. Entretanto para amenizar este cenário desfavorável e buscando a obtenção de uma resposta mais compatível com as especificações normatizadas, utilizou-se um par de discos de aço contendo no seu interior discos de Neoprene, tal estrutura era instalada uma na parte superior outra na parte inferior do corpo de prova (Figura 14), com o propósito de corrigir imperfeições decorrentes da etapa de confecção do mesmo, garantindo uma superfície plana e perpendicular ao eixo longitudinal do corpo de prova, não prejudicando os resultados do rompimento.

Figura 14 - Estrutura instalada no corpo de prova precedendo o ensaio de compressão



Fonte: Arquivo pessoal.

Na Figura 15 são apresentadas as formas de rupturas de maior ocorrência nos processos de rompimento dos corpos de prova, sendo elas do tipo: cônica, colunar e cônica e bipartida, respectivamente.

Figura 15 - Tipos de ruptura



1) Cônica

2) Colunar

3) Cônica e bipartida

Fonte: Arquivo pessoal.

5.3.3 Absorção de Água

Depois de 28 dias de cura, começaram os ensaios de absorção de água. Os seis últimos corpos de prova foram inicialmente pesados, em seguida levados para a estufa à temperatura $105 \pm 5^\circ\text{C}$, num período de 24 horas. Após o término de um dia na estufa foram colocados em dessecador para diminuir a temperatura (Figura 16), em seguida todos foram mergulhados em um tanque contendo água. Foram realizadas as seguintes estratégias dos seis corpos de prova imersos em água, três eram pesados a cada hora completa durante um período de tempo de 12 horas, seguida de uma pausa de 12 horas. No dia seguinte, recomeçava a pesagem de hora em hora, até totalizar um novo ciclo de 12 horas. Depois de um intervalo sem medição de mesma duração, a pesagem decorreu de 2 horas em 2 horas até estabilizar, os demais só foram pesados após um período de 24 horas. Com isso obteve-se o cálculo de porcentagem de umidade (Equação 1) em função do tempo.

$$\%U = \frac{M_s - M_u}{M_s} * 100 \quad (1)$$

Onde: %U = Percentual de umidade da amostra (%); M_s = Massa seca (g); M_u = Massa úmida após cada pesagem da amostra (g).

Figura 16 - Dessecador



Fonte: Arquivo pessoal.

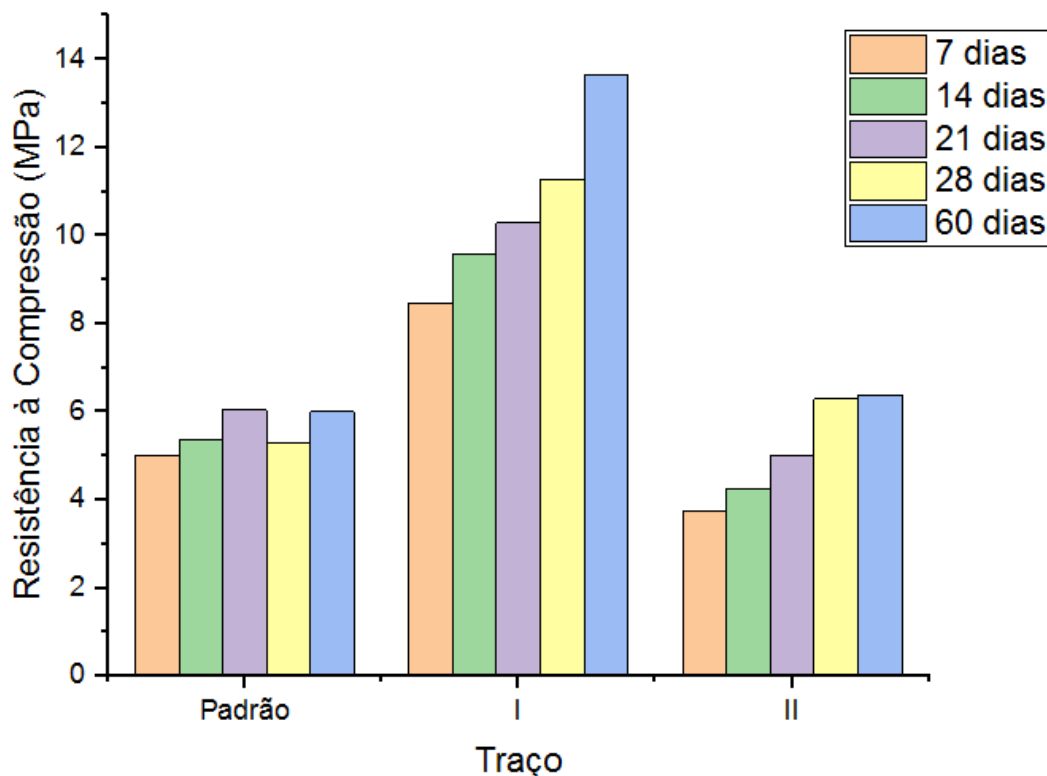
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise da Resistência Mecânica à Compressão

Finalizado o processo de cura dos corpos de prova mediu-se a resistência mecânica à compressão de cada amostra. O procedimento para coleta dos valores de cada corpo de prova foi feito com base na NBR 5739/2003. Planejou-se realizar o levantamento dos dados dos ensaios nos períodos de 7, 14, 21 e 28 dias, com pretensão de testar algumas amostras até 60 dias. Possuindo os resultados dos testes, é necessário analisar os valores de resistência à compressão obtidos, de forma que atenda os devidos critérios.

No Gráfico 1, a resistência do concreto aparece em função da idade. O traço padrão apresentou um comportamento particular, houve um aumento da resistência nas primeiras idades, porém, ao completar 28 dias, ocorreu uma queda nesse valor, e após isso retomou o crescimento; até o dado momento, os demais traços apresentaram um comportamento totalmente crescente com o tempo de cura.

Gráfico 1 - Comparação dos traços por meio da resistência à compressão



Fonte: Arquivo pessoal.

Através da Tabela 5 fica exposto os valores finais médios de resistência à compressão dos três traços avaliados no trabalho, em todas as idades de rompimento. Ao final da medição, tanto os traços I e II, com algum tipo de adição mineral alcançaram resultado final maior que o sem aditivo. Para o traço I, na idade de 60 dias, esse valor encontra-se maior que o dobro da resistência do traço padrão na mesma idade, já correlacionando o II ao padrão, esse valor foi levemente superior.

Tabela 5 - Média das resistências à compressão (MPa)

| Idade | Padrão | I | II |
|---------|--------|-------|------|
| 7 dias | 4,99 | 8,47 | 3,75 |
| 14 dias | 5,36 | 9,58 | 4,26 |
| 21 dias | 6,04 | 10,28 | 5 |
| 28 dias | 5,29 | 11,26 | 6,29 |
| 60 dias | 6 | 13,65 | 6,38 |

Fonte: Arquivo pessoal.

Com os resultados coletados observa-se que o traço I (6% de cerâmica e 10% de cinza) foi o de melhor desempenho no quesito resistência, atingindo 11,26 MPa em 28 dias e um valor máximo de 13,65 MPa em 60 dias.

A Tabela 6 representa a respectiva variação das resistências pela idade de 7 dias através da proporção “resistência à compressão n dias/ resistência à compressão 7 dias”. Nota-se que o traço II foi o que atingiu maior crescimento em relação a seu resultado inicial, chegando a um aumento de 70%. Além disso, aos 14 dias, todas as misturas exibiram valores nas proximidades de 1,1, isto é, ganharam 10% de elevação em comparativo a primeira medição.

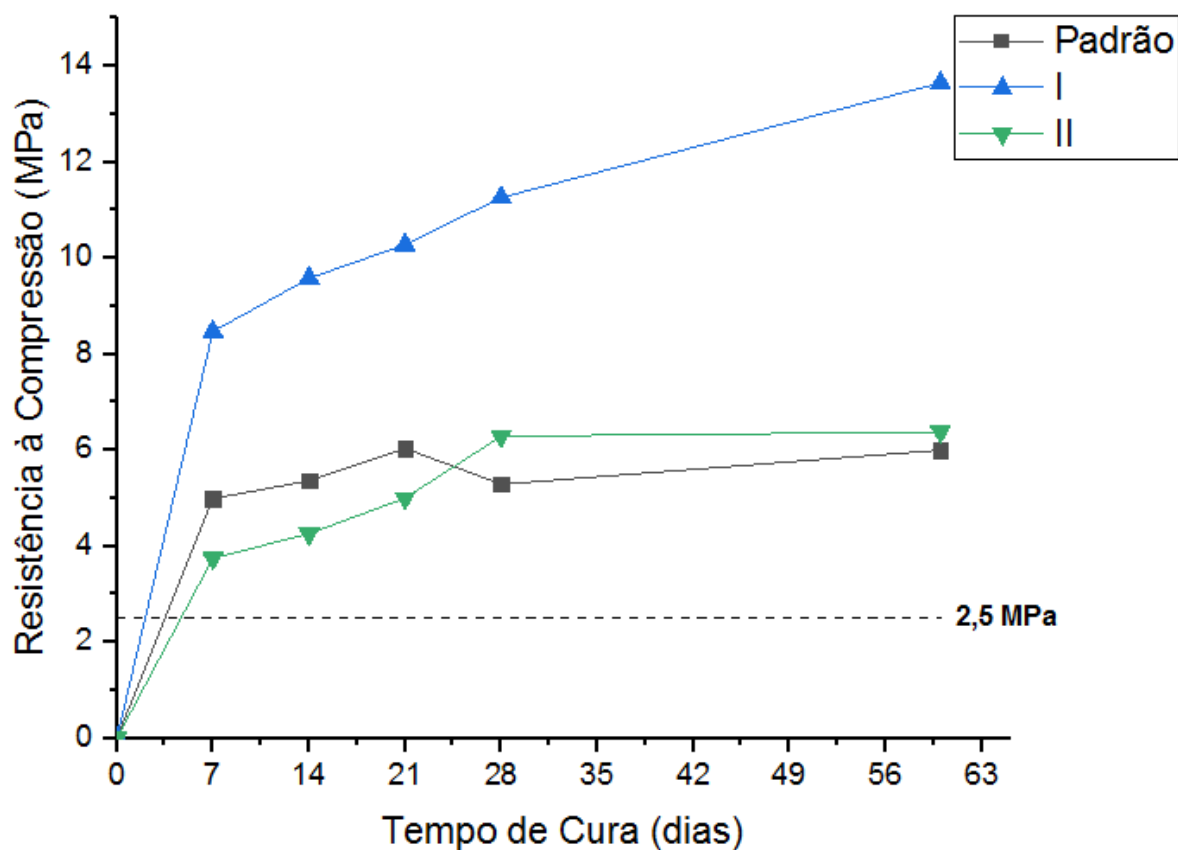
Tabela 6 - Variação das resistências pela idade de 7 dias

| resistência à compressão n dias/ resistência à compressão 7 dias | Padrão | I | II |
|--|--------|--------|--------|
| 7 dias | 1 | 1 | 1 |
| 14 dias | 1,0742 | 1,1311 | 1,1360 |
| 21 dias | 1,2104 | 1,2137 | 1,3333 |
| 28 dias | 1,0601 | 1,3294 | 1,6773 |
| 60 dias | 1,2024 | 1,6116 | 1,7013 |

Fonte: Arquivo pessoal.

Atualmente existem apenas três normas brasileiras que regulamentam o uso de concreto celular em paredes de edificações, NBR 12644:2014, NBR 12645:1992 e NBR 12646:1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, 2014), no entanto, nenhuma dessas normas trata sobre projeto. Para suprir esta etapa existe o projeto de norma ABNT/CEE 185:000.01-001-1 em elaboração que trata sobre projeto, controle e execução de paredes de concreto celular moldadas no local (SILVA, 2015).

Fundamentado na NBR 12646, as amostras ensaiadas devem atingir 2,5 MPa na idade de 28 dias, diante do Gráfico 2, todas as misturas obtiveram êxito, podendo ser destinadas em paredes de edificações térreas com 1 pavimento.

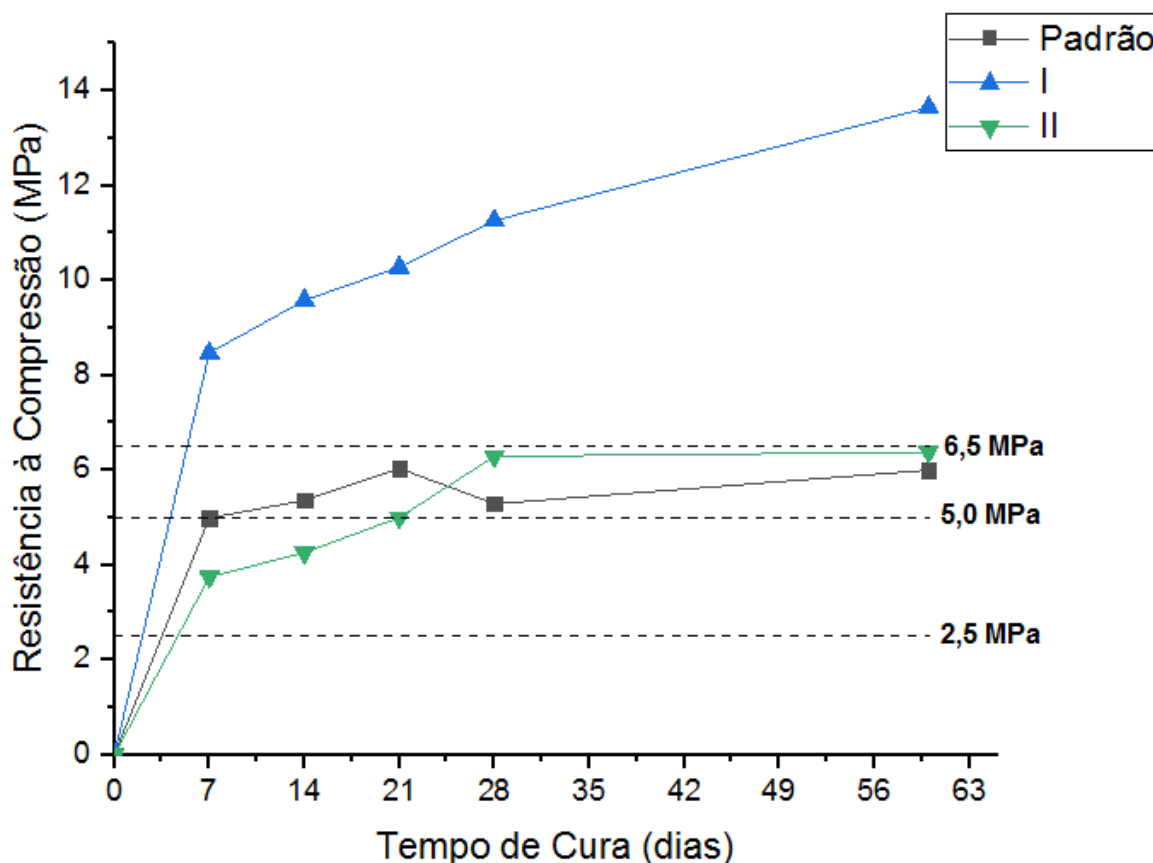
Gráfico 2 - Comparativo com o limite estabelecido pela NBR 12646

Fonte: Arquivo pessoal.

Baseado no projeto de norma ABNT/CEE 185:000.01-001-1, e os dados atuais, novamente todos os traços tiveram sucesso ao serem contemplados com resistências maiores que 5,0 MPa (Gráfico 3), sendo admissível o uso em paredes de edificações moldadas in loco.

Entretanto, segundo mesmo projeto de norma, os traços padrão e II não poderiam ser utilizados em elementos estruturais como paredes de edificações de até 2 pavimentos, pois as resistências médias aos 28 dias foram menores que 6,5 MPa (Gráfico 3).

**Gráfico 3 - Comparativo com os limites estabelecidos pelo projeto de norma ABNT/CEE
185:000.01-001-1**



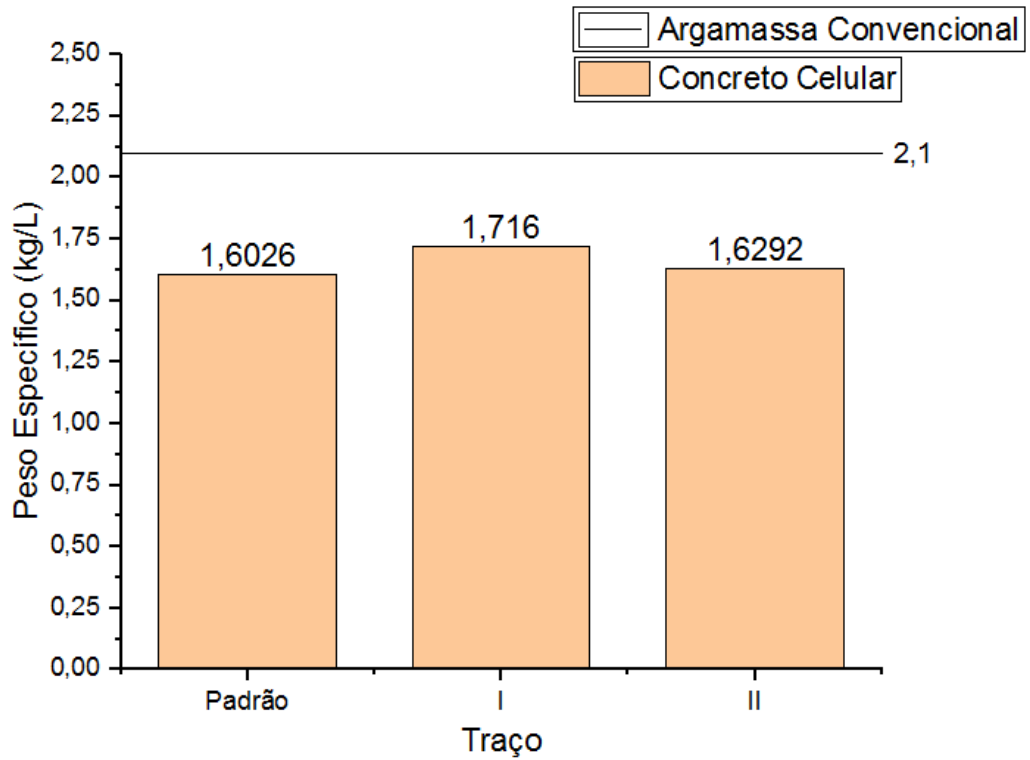
Fonte: Arquivo pessoal.

6.2 Análise do Peso Específico

Em conformidade com a NBR 12646, para se enquadrar na categoria de concreto celular espumoso, dentre algumas características, é definido que seu peso específico enquanto estado fresco deve estar incluso no intervalo de 1300 a 1900 kg/m³, o que é confirmado no Gráfico 4, conjuntamente expõe um comparativo com a argamassa convencional (cimento e areia), cujo valor especificado na NBR 6120 é 21 kN/m³.

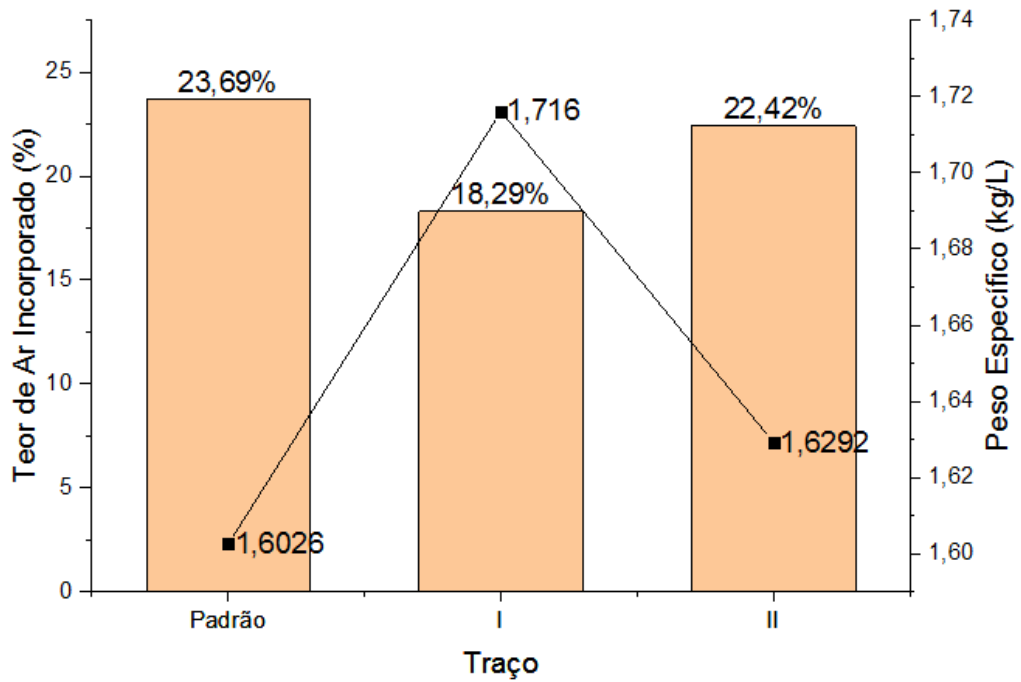
É sabido que a inserção de bolhas de ar no momento de confecção dos traços cause efeito de queda no valor da densidade de massa aparente (Gráfico 5).

Gráfico 4 - Argamassa convencional X Concreto celular



Fonte: Arquivo pessoal.

Gráfico 5 - Teor de ar incorporado na mistura

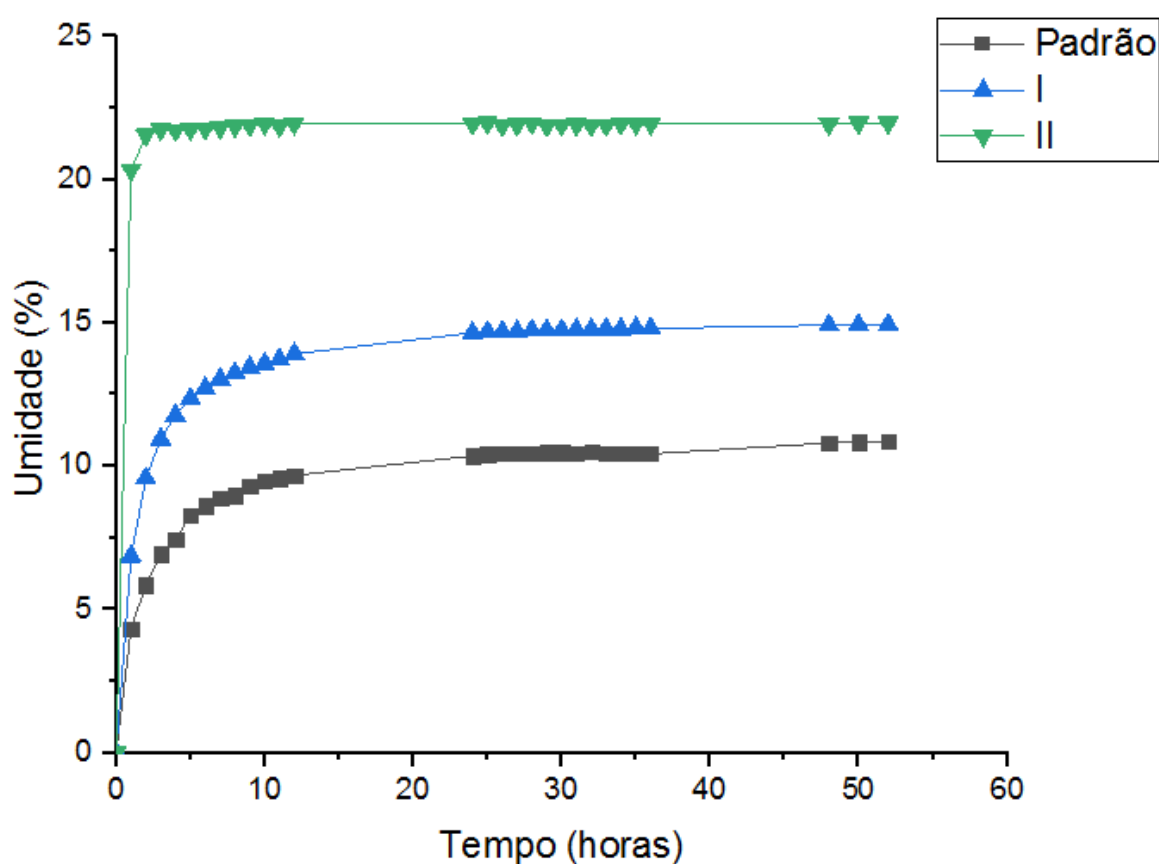


Fonte: Arquivo pessoal.

6.3 Análise da Umidade

Apesar de um crescimento nítido de umidade nas primeiras horas de ensaio, é perceptível, a partir do Gráfico 6, que todas as curvas apresentadas, no segundo dia de medição (24 horas após o início do teste) passaram a ter um comportamento similar, tendendo a um valor constante, este define o limite de absorção de água representativo de cada amostra.

Gráfico 6 - Absorção de água



Fonte: Arquivo pessoal.

Ainda, é possível identificar, por meio dos resultados existentes, que a cinza é porosa, e na medida em que se eleva a quantidade, maior a tendência de absorver água, comprovando o salto na porcentagem da umidade entre os traços I e II.

Além disso, a respeito das medições referentes aos corpos de prova mergulhados durante 24 horas ininterruptas, obtiveram-se valores médios de umidade de 10,12, 13,85 e 20,69%, para os traços padrão, I e II, respectivamente. Ao comparar esses resultados aos obtidos no gráfico, tem-se que ambos não divergem tanto entre si.

7 CONCLUSÃO

Ao equiparar o concreto convencional com os concretos leves é evidente que o primeiro apresenta melhores resultados no tópico resistência mecânica. Todavia, existem pesquisas, como esta, na qual os valores finais obtidos comprovam a possibilidade de utilização do concreto celular em paredes para fins estruturais.

Em conclusão, o traço composto por 6% de cerâmica vermelha e 10% de cinza da biomassa de eucalipto, contemplou os melhores resultados, com rendimento acima do limite estabelecido por normas, com certa folga, permitindo o uso desse concreto celular espumoso tanto em paredes de edificações moldadas in loco quanto em paredes de edificação térrea de 1 ou 2 pavimentos (classe de agressividade I).

Este trabalho tem a oportunidade de apresentar uma solução viável para dois tipos de produtos que, em certos ambientes, são considerados como rejeitos. Sendo assim, possível reutilizá-los para a produção do concreto celular, dado às devidas proporções.

8 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

- Elaboração de gráficos que envolvam a relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total (conforme item 3.2.1. da NBR 9778);
- Estudo mais detalhado envolvendo o traço que alcançou maior resistência, variando a porcentagem de cinza da biomassa de eucalipto num intervalo de ± 1 ou $\pm 2\%$;
- Aumento da porcentagem de cerâmica variando a cinza da biomassa de eucalipto nos valores de 10, 17,5 e 25%;
- Estudo do traço padrão variando as porcentagens de cerâmica de 0 a 90%;
- Influência da resistência do traço padrão variando a porcentagem de aditivo espumante;
- Refazer os traços estudados utilizando superplastificantes.

REFERÊNCIAS

AFONSO, P. C.; OLIVEIRA, D. F.; COSTA, D. R. Viabilidade econômica de Produção de Lenha de Eucalipto para Secagem de Produtos Agrícolas. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal** – São Paulo, v. 26, n. 1, p. 28-35, jan/abr 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: **ASTM C618–17a**: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, 1992.

ANDRADE, A. C. F. de. **Tijolos de Cinza Volante e Cal** - Estudo do Desempenho Quanto a Resistência, Absorção, Durabilidade e Aderência. Escola de Engenharia, Dissertação (Mestre em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – Rio Grande do Sul, julho - 1991.

ANGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural** – Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Campinas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. **Cerâmica Vermelha**. Disponível em: < <https://abceram.org.br/ceramica-vermelha/>>. Acessado em: 17 de Janeiro de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Cimento Portland CPV – ARI**. Disponível em: < <https://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/cimento-portland-cp-v-ari-alta-resistencia-inicial-nbr-5733/>>. Acessado em: 17 de Janeiro de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Concretos leves**. Tipos e comportamento estrutural. São Paulo-SP, Abcp, Estudo Técnico n.º 86, 68p. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 5732**: Cimento Portland comum, Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**. Cimento Portland com alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento. Rio de Janeiro: 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, Rio de Janeiro, 2017.

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, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 12644**: Concreto leve celular estrutural – Determinação da densidade de massa aparente no estado fresco. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 12645**: Execução de parede de concreto celular. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 12646**: Paredes de concreto celular espumoso moldadas no local. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 15900-1**: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos, Rio de Janeiro, 2009.

BEKTAS, F.; WANG, K. **Performance of ground clay brick in ASR-affected concrete: Effects on expansion, mechanical properties and ASR gel chemistry.** Cement & Concrete Composites, p.273-278, 2012.

BORGES, D.; VALVERDE, D.; BIANCHI, G.; AKASAKI, J. L.; TRENTIN, T. F. S. **Uso da cinza de madeira de eucalipto em compostos cimentícios, uma alternativa sustentável.** Periódico Técnico e Científico – ANAP, Cidades Verdes, 2017, p. 89-103. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/cidades_verdes/article/download/1678/1665>. Acessado em 14 de Janeiro de 2019.

BRASILEIRO; L. L., MATOS; J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. Centro de Tecnologia - CT, 2 Centro de Ciências da Natureza - CCN, Departamento de Química, LIMAv, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, abril de 2015.

CONAMA Resolução n. 307 do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, de 05 de julho de 2002. Diário Oficial da União, n. 136, de 17 de julho de 2002 – Seção 1.

DÍAZ, J.J.C.; García Nieto, P.J.; Hernández, J.D.; Rabanal, F.P.A. A FEM comparative analysis of the thermal efficiency among floors made up of clay, concrete and lightweight concrete hollow blocks. Applied Thermal Engineering, p.2822-2826, 2010.

FOELKEL, C. Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto: Resíduos Minerais. **Eucalyptus Online Book. São Paulo**, v. 25, n. 5, out. 2011.

GLUITZ, A. C.; MARAFÃO, D. **Utilização da Cinza da Madeira de Eucalipto na Substituição Parcial do Cimento Portland em Argamassa.** Departamento de Química – COQUI, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Pato Branco, Pato Branco – Paraná, 2013.

HOLM, T. A.; BREMNER, T. W. **State of the art report on high strength, high durability structural, low density concrete for applications in severe marine environments**. US Army Corps of Engineers – Engineer Research in Development Center, ERDC/SL TR00-3, 2000.

IBRAHIM, N.M.; SALEHUDDIN, S.; AMAT, R.C.; RAHIM, N.L.; IZHAR, T.N.T. **Performance of lightweight foamed concrete with waste Clay brick as coarse aggregate**. ICESD, v. 5, p.497-501, Dubai, 2013. Disponível em: <<https://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>>. Acesso em: 18 jan. 2019.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2017. Disponível em: <http://ibracon.org.br/eventos/59cbc/Paginas_Iniciais_Rev6R.pdf>. Acessado em: 20 de Janeiro de 2019.

MARTINS; C. A., BALDO; J. B., SORDI; V. L., COSTA; J. S. da. **Desenvolvimento de Concreto Utilizando Agregados Alternativos Obtidos na Indústria de Cerâmica vermelha**. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar – DEMa, São Carlos – São Paulo. 2004. Disponível em: <<https://www.dropbox.com/sh/152618tjp69zqml/AAC8I7b0rM4DFIVSugNmEIN6a/48cbc-19-06.pdf?dl=0>>. Acessado em: 18 de Janeiro de 2019.

MATEOS, M. **Physical and Mineralogical factors in stabilization of Iowa soils**. Ph.D Thesis, Iowa State University, 1961. Disponível em: <<https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3441&context=rtd>> Acessado em: 12/01/2019

MAYCA, J.; RECENA, F.A.P; CREMONINI, R.A. **Estudo da resistência à compressão de concretos leves produzidos com argila expandida nacional**, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo. Editora IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre. Editora Brookman, 2013.

NICOLA, A. **Blocos de concreto**. Curso de Engenharia Florestal – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2010.

PEREIRA, C. **O que é Concreto Celular?** Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-celular/>. Acesso em: 16 de janeiro de 2019.

PINTO, S. **Estabilização de Areia com Adição de Cal e Cinza Volante**. Dissertação (Mestrado em Ciência), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1971.

PROJETO ABNT/CEE 185.000.01-001-1: Parede de concreto celular estrutural moldada no local para a construções de edificações: projeto, execução e controle: procedimento. São Paulo, 2014. Não tem valor normativo.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve de Alto Desempenho Modificado Com SB Para Pré-Fabricados Esbeltos**: dosagem, produção, propriedades e microestrutura. São Carlos, 2003. 211 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve Estrutural**: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 119-127, out./dez. 2009.

SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J. A.; SANTOS, W. N. **Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida**, 2010.

SCOBAR, R. L. **Concreto leve estrutural**: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida. 2016. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

SILVA, C. A. O. **Estudo de Dosagem e Avaliação de Concreto Celular com Fins Estruturais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Alagoas, 2015.

SILVA, G. J. B. **Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato**. Universidade Federal de Minas Gerais, Dissertação de Mestrado, 2005.

SILVERIO, J., HORN, P. A. **Determinação da composição química e aproveitamento de cinzas da queima da lenha de eucalipto para produção de água sanitária ecológica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial do presente trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Carolina Gonçalves Leite

Carolina Gonçalves Leite
carol.gleite@hotmail.com

Iany Barbosa Neumann

Iany Barbosa Neumann
ianyneumann21@gmail.com

Rodolfo Alverne Lemos

Rodolfo Alverne Lemos
rodolfoalverne@hotmail.com

Vitor Noronha Aguiar

Vitor Noronha Aguiar
vitnoronha@gmail.com

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Campus do Mucuri - Teófilo Otoni/MG
Rua do Cruzeiro, nº 01 - Jardim São Paulo - CEP 39803-371