

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

DOUGLAS PIRES CAMARGO

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PINUS SPP. COMO SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2022

DOUGLAS PIRES CAMARGO

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PINUS SPP COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO
AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

**USE OF PINUS SPP RESIDUES FOR PARTIAL SUBSTITUTION TO THE FINE
AGGREGATE IN CONCRETE PRODUCTION**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Adalberto Matoski

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

DOUGLAS PIRES CAMARGO

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PINUS SPP COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO
AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Adalberto Matoski

Data de aprovação: 31/05/2022

Adalberto Matoski
Doutor em Engenharia Florestal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lidiane Fernanda Jochem
Doutora em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

César Augusto Casagrande
Doutor em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2022

RESUMO

O setor da construção civil tem se preocupado cada vez mais em oferecer materiais sustentáveis e de qualidade, buscando aprimorar suas técnicas por meio de ensaios e observação. O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade da utilização de resíduos de Pinus na produção de concreto para estruturas, por meio do compósito cimento-madeira, substituindo parcialmente o agregado miúdo mineral pelo agregado lignocelulósico. Para isso, foram produzidos corpos de prova cilíndricos de concreto com diferentes teores de substituição do agregado, e posteriormente realizados ensaios físico e mecânicos nas amostras, com objetivo de obter parâmetros como a resistência à compressão, índice de vazios, absorção de água e massa específica. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão mostraram que o concreto, com teor de substituição do agregado acima de 10,0 %, não atingiu os requisitos da NBR 8953 (ABNT, 2015), que prevê uma resistência característica à compressão mínima de 20 MPa para concreto com fins estruturais. Nos ensaios de massa específica, índice de vazios e absorção de água, os resultados mostraram que o concreto produzido com resíduo de madeira apresentou uma redução de até 22 % na massa específica, enquanto que o índice de vazios aumentou em 179 % e a absorção de água em 162 %. Os resultados demonstram que, para os ensaios realizados, quanto menor for a adição de madeira maior será a resistência à compressão do concreto. Já a massa específica, apresentou resultado satisfatório, com redução conforme se aumentou o teor de substituição do agregado.

Palavras-chave: compósito; concreto; resíduo de Pinus; resistência à compressão.

ABSTRACT

The civil construction sector has been increasingly concerned with offering sustainable and quality materials, improving its techniques through testing and observation. The main objective of this work was to evaluate the feasibility of using pine residues in the production of concrete for structures, through the cement-wood composite, partially replacing the fine mineral aggregate by lignocellulosic aggregate. For this, cylindrical concrete specimens were produced with different levels of aggregate substitution, and then physical and mechanical tests were carried out on the samples, in order to obtain parameters such as compressive strength, void ratio, water absorption and specific mass. The results of the compressive strength tests showed that the concrete, with an aggregate replacement content above 10.0%, did not meet the requirements of NBR 8953 (ABNT, 2015), which provides for a characteristic compressive strength of at least 20 MPa for concrete for structural purposes. In the tests of specific mass, void index and water absorption, the results showed that the concrete produced with wood residue presented a reduction of up to 22% in the specific mass, while the void index increased by 179% and the absorption of water by 162%. The results show that, for the tests carried out, the smaller the addition of wood, the greater the compressive strength of the concrete. The specific mass, on the other hand, presented a satisfactory result, with a reduction as the replacement content of the aggregate increased.

Keywords: compound; concrete; Pinus residue; compression strength.

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Composição química do Pinus | 18 |
| Tabela 2 - Características do CP II F | 21 |
| Tabela 3 - Propriedades do agregado miúdo | 22 |
| Tabela 4 - Propriedades do agregado graúdo | 23 |
| Tabela 5 - Propriedades do resíduo de Pinus | 24 |
| Tabela 6 - Propriedades do aditivo..... | 25 |
| Tabela 7 - Massa unitária dos agregados | 29 |
| Tabela 8 - Estimativa do consumo de água | 30 |
| Tabela 9 - Traço de dosagem referência | 31 |
| Tabela 10 - Quantitativo de materiais para betonada..... | 32 |
| Tabela 11 - Resultados do ensaio de abatimento pelo tronco de cone..... | 38 |
| Tabela 12 - Resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão | 40 |
| Tabela 13 - ANOVA para resultados de resistência à compressão..... | 41 |
| Tabela 14 – Valores médios obtidos no ensaio de absorção de água | 42 |
| Tabela 15 - ANOVA para resultados de absorção de água | 43 |
| Tabela 16 - Resultados médios obtidos no ensaio de índice de vazios | 43 |
| Tabela 17 - ANOVA para resultados de índice de vazios | 45 |
| Tabela 18 - Valores médios obtidos no ensaio de massa específica | 45 |
| Tabela 19 - ANOVA para resultados de massa específica | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – As fases de um compósito | 16 |
| Figura 2 - Fases do material compósito | 16 |
| Figura 3 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo | 22 |
| Figura 4 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo | 23 |
| Figura 5 - Resíduo de Pinus spp. | 24 |
| Figura 6 - Distribuição granulométrica do resíduo de Pinus spp | 25 |
| Figura 7 - Gráfico para determinação da relação água/cimento em função da resistência à compressão do concreto aos 28 dias. | 30 |
| Figura 8 - Tronco cônico para realização do slump test..... | 33 |
| Figura 9 - Retificação dos corpos de prova cilíndricos | 35 |
| Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão axial | 36 |
| Figura 11 - Resultados do ensaio de trabalhabilidade em função do teor de substituição do agregado | 39 |
| Figura 12 - Resistência à compressão média | 40 |
| Figura 13 - Resultados do ensaio de absorção de água em função do teor de substituição do agregado | 42 |
| Figura 14 - Resultados do ensaio de índice de vazios em função do teor de substituição do agregado | 44 |
| Figura 15 - Resultados do ensaio de massa específica em função do teor de substituição do agregado | 46 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 OBJETIVOS | 11 |
| 1.1.1 Objetivo Geral..... | 11 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 11 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 11 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1 FATORES AMBIENTAIS | 13 |
| 2.1.1 Indústria Madeireira e a geração de resíduos | 13 |
| 2.1.2 Extração de areia..... | 14 |
| 2.2 COMPÓSITOS | 15 |
| 2.2.1 Compósitos Cimento-Madeira | 16 |
| 2.2.2 Madeira Pinus..... | 19 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 21 |
| 3.1 MATERIAIS | 21 |
| 3.1.1 Cimento Portland | 21 |
| 3.1.2 Agregado miúdo | 22 |
| 3.1.3 Agregado graúdo | 22 |
| 3.1.4 Resíduo de Pinus | 23 |
| 3.1.5 Aditivos | 25 |
| 3.1.6 Água de amassamento | 25 |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS | 26 |
| 3.2.1 Distribuição granulométrica | 26 |
| 3.2.2 Massa específica | 27 |
| 3.2.3 Massa unitária solta..... | 28 |
| 3.3 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS | 29 |
| 3.4 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS | 32 |
| 3.5 CURA DO CONCRETO | 33 |
| 3.6 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DO CONCRETO | 33 |
| 3.6.1 Abatimento pelo tronco de cone | 33 |
| 3.7 ENSAIOS NO ESTADO CURADO DO CONCRETO | 34 |
| 3.7.1 Absorção de água, índice de vazios e massa específica | 34 |
| 3.7.2 Regularização das bases dos corpos de prova | 34 |
| 3.7.3 Ensaio de resistência à compressão | 35 |
| 4 DISCUSSÕES E RESULTADOS | 38 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS | 38 |
| 4.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DO CONCRETO | 38 |
| 4.2.1 Abatimento pelo tronco de cone | 38 |
| 4.3 ENSAIOS NO ESTADO CURADO DO CONCRETO | 39 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.3.1 | Resistência à compressão..... | 39 |
| 4.3.2 | Absorção de água, índice de vazios e massa específica | 41 |
| 5 | CONCLUSÕES | 48 |
| | REFERÊNCIAS..... | 50 |

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é hoje o centro das atenções em todo o planeta. No entanto, boa parte da geração de lucros das empresas ainda passa pela exploração de recursos naturais e diversas outras formas de degradação ao meio ambiente. Desta maneira, ao mesmo tempo em que as empresas são importantes na geração de riqueza, também acabam sendo responsáveis por gerar inúmeros problemas ambientais (BURMANN, 2010).

A construção civil e a indústria madeireira são setores com impactos ambientais relevantes. A primeira com problemas como materiais advindos de extração mineral, extração de areia, desperdícios de matéria-prima e geração de resíduos, que na maioria das vezes não são descartados corretamente. Já o setor madeireiro gera resíduos na sua cadeia produtiva, que têm potencial para serem reutilizados com outros fins, e pode também causar desmatamentos em potenciais desastrosos.

Apesar desses impactos, essas atividades são necessárias para o desenvolvimento social, sendo, inclusive, o déficit habitacional um dos grandes problemas a ser enfrentado no Brasil, sendo relacionado diretamente à construção civil. A quantidade de cidadãos sem moradia adequada é de quase 10% dos domicílios particulares do país (FJP, 2018).

Os materiais compósitos são definidos como misturas de dois ou mais elementos diferentes, cujas propriedades se combinam obtendo um produto de melhor qualidade ou semelhante (MOREIRA, 2009). O resíduo de *Pinus* spp. como agregado miúdo se comporta como um material compósito no concreto.

Moslemi (1989) e Semple e Evans (2004) destacaram uma série de vantagens sobre os materiais produzidos com compósitos cimento-madeira, dentre elas: a grande disponibilidade de matéria-prima, a baixa massa-específica e baixa permeabilidade. O grande desafio, segundo Hachmi e Campbell (1989), se encontra na incompatibilidade química entre o cimento e a madeira, que pode afetar as reações de hidratação do Cimento Portland.

Na Europa, Japão e América do Norte, materiais com base em compósitos de cimento-madeira se apresentaram como uma alternativa aos materiais de fibrocimento que ainda utilizam amianto, tendo em vista que esses materiais alternativos não geram

resíduos tóxicos durante sua produção e precisam de menos energia para serem produzidos (MOSLEMI, 1989).

Diante disso, a utilização de resíduos da indústria madeireira na produção de concreto torna o produto mais sustentável, economizando recursos naturais e reduzindo o desperdício. Este agregado também é responsável por um material mais leve e, conseqüentemente, de melhor manuseio no canteiro de obras e melhor produtividade por parte da mão de obra. É necessário determinar o melhor traço do concreto a ser utilizado, determinando as melhores proporções entre os materiais, a fim de alcançar características físicas e mecânicas necessárias ao funcionamento pleno da estrutura.

Nesta pesquisa foram realizados ensaios em corpos de prova cilíndricos de concreto com substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de madeira, avaliando os parâmetros de resistência à compressão, massa específica e consistência, além dos parâmetros de absorção de água e índice de vazios.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de utilização de resíduos de *Pinus* spp. na fabricação de concreto e o comportamento do material final em relação ao atendimento às suas respectivas normas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar as alterações no comportamento do concreto devido à utilização do resíduo de *Pinus* spp. como agregado miúdo.
- Comparar as características físicas e mecânicas do produto final em relação ao concreto com agregado miúdo convencional.

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao mesmo tempo em que a construção civil cresce no Brasil, o setor é responsável por impactos ambientais desde a extração de recursos naturais até o pós-

obra com a destinação incorreta de resíduos. Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 15% do PIB brasileiro vem da área da construção civil. Por outro lado, a construção de edifícios consome cerca de 40% da pedra e areia utilizados no mundo anualmente, além de 25% da extração de madeira (GARDNER, 1998). A busca por materiais alternativos, com menos impacto ambiental, procura trazer maior sustentabilidade para a construção civil.

Entre os princípios adotados por Kibert (1994) para se considerar uma construção sustentável, estão a minimização do consumo de recursos, a utilização de recursos renováveis e a proteção do ambiente natural.

Além disso, a indústria da construção civil busca mais modernidade, mão de obra qualificada, processos simplificados, redução de desperdícios e materiais que fujam do convencional. O concreto com resíduos de *Pinus* spp. busca ser um material mais leve e sustentável, substituindo, parcialmente, um agregado natural por um material alternativo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FATORES AMBIENTAIS

2.1.1 Indústria Madeireira e a geração de resíduos

A quantidade de resíduos sólidos gerados no processo de transformação da madeira é um indicador de sustentabilidade no setor madeireiro, tendo em vista que muitas empresas tentam diminuir essa geração atualmente, buscando mais sustentabilidade. A capacidade de reutilização e reciclagem dos resíduos é um fator positivo no final do processo. Em larga escala, esses resíduos são utilizados em processo de queima para secagem da madeira ou para geração de energia elétrica (FAGUNDES, 2003). Porém, esses materiais também podem ser utilizados de outras formas, usualmente na produção de chapas e painéis de madeira, mas também na geração de novos compósitos.

Os resíduos são gerados em diversas etapas do processamento da madeira, desde a sua retirada da floresta até ao processo de instalação de móveis, por exemplo. As atividades com maior porcentagem de resíduos gerados são as responsáveis pelos resíduos de lâmina e serragens, chegando a cerca de 80% do total do volume gerado (HILLIG et al., 2006).

O setor industrial madeireiro busca, por meio da reutilização de resíduos de madeira, considerados subprodutos, reduzir os impactos ambientais causados pelo processo produtivo do setor (ABRAF, 2011). Em 2012, a indústria de serrados representava 16,4% do consumo de madeira no Brasil, sendo responsável também por grande parte do resíduo gerado (ABRAF, 2013). Apesar do setor estar em crescimento, as tecnologias ainda são obsoletas, impedindo que o número de resíduos diminua (BARBOSA et al., 2014).

Hillig et al. (2006) apresenta o *Pinus* spp., o *Eucalyptus* spp. e a *Araucaria angustifolia* como os principais tipos de florestas existentes nas serrarias do sul do Brasil, sendo os dois primeiros de origem externa ao país, introduzidos como forma de reflorestamento e estimulados por incentivos fiscais.

No Brasil, as principais florestas plantadas de rápido crescimento são de *Pinus* e *Eucalyptus*. O *Pinus* vem sendo cultivado no país a mais de 100 anos, como

forma de controlar o consumo desenfreado de madeira e a escassez de matéria prima (TRIANOSKI, 2012). A relevância desse gênero no país faz com que o consumo seja grande, conseqüentemente gerando grande quantidade de resíduos, que podem vir a serem aproveitados em outros setores.

Fontes (1994) apresentou a carbonização e a combustão da madeira como alternativas para a redução dos resíduos, porém este processo também traria impactos ambientais com a geração de gases poluentes. Portanto, a reutilização dos resíduos em outros materiais se apresenta como uma solução menos impactante ao meio ambiente.

A resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2002), classifica os resíduos de construção civil como: os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras, além dos resultantes da escavação de terrenos e outros movimentos de terra, tais como: tijolos, concreto, solos, rochas, metais, madeiras e compensados, telhas, vidros, entre outros. A madeira pode ser, portanto, tanto um resíduo industrial quanto um resíduo da construção civil.

Os resíduos da indústria de serragem da madeira podem ser classificados como: lenha, com dimensões maiores, de aparas e resíduos de toras; cavacos, com dimensão máxima de 50 x 20 mm; maravalhas, que são inferiores a 2,5 mm; serragem, com dimensões entre 0,5 e 2,5 mm e o pó, com resíduo apresentando dimensões inferior a 0,5 mm (FONTES, 1994).

2.1.2 Extração de areia

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de recursos naturais. Estima-se que até 50% dos recursos naturais consumidos no mundo sejam por esse setor, dentre os quais, aproximadamente, 80% são utilizados apenas no processo de fabricação e transporte de materiais (TICIANI, 2005).

A extração de matéria prima é um dos processos de maior impacto ambiental na construção civil. Com a população global urbana crescendo de 54% para 66% até 2050 (BBC NEWS, 2018), a areia se faz cada vez mais necessária nas construções. Sua utilização, atualmente, ocorre de forma insustentável, ou seja, vem sendo extraída em uma velocidade maior do que sua taxa de renovação é capaz de suportar (BBC NEWS, 2018).

Muitas são as consequências envolvidas na extração da areia. A retirada de vegetação e de camadas do solo provoca diretamente a diminuição de infiltração de água no terreno e causa processos erosivos, além de provocar um aumento na turbidez da água, devido à existência de partículas em suspensão na água, causadas pela extração de areia em leitos de rio (NOGUEIRA, 2016). Além de deixar a região do processo mais susceptível a inundações, a extração descontrolada de areia pode ainda prejudicar a fauna e a flora do ambiente, trazendo inúmeros prejuízos para a economia local (BBC NEWS, 2018).

No concreto, um dos materiais mais utilizados na construção civil, os agregados representam cerca de 70 a 80% do volume total, evidenciando a importância desses materiais (NOGUEIRA, 2016).

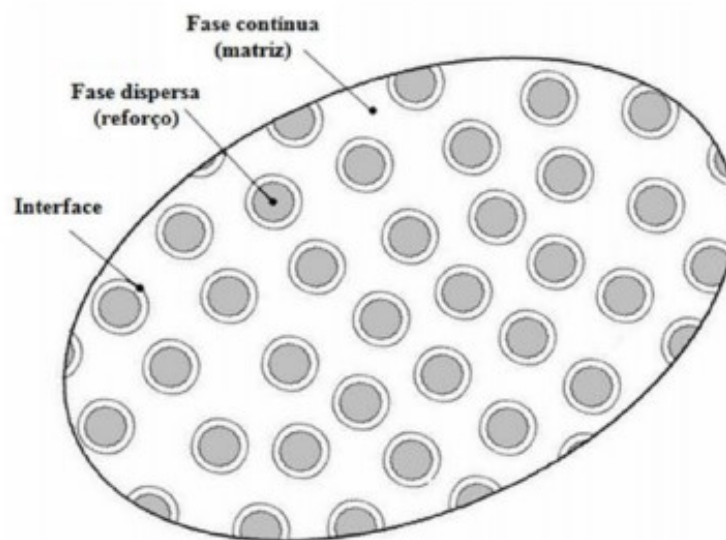
2.2 COMPÓSITOS

Os materiais compósitos surgem de uma crescente necessidade de otimização de produtos, em busca de mais qualidade, mais eficiência e racionalização de recursos. O principal objetivo é buscar atributos melhores para o material levando em consideração os materiais convencionais, podendo ser relacionado ao desempenho mecânico, acústico, térmico, elétrico, entre outros (ABREU JÚNIOR, 2015).

O compósito pode ser definido como um material contendo duas ou mais fases, em escala nano, micro ou macro, as quais apresentam propriedades diferentes entre si, que continuam distintas mesmo após a fabricação do compósito. O projeto do material deve ser feito de acordo com o desempenho final que se deseja obter (ABREU JÚNIOR, 2015).

O material compósito conta com uma matriz, geralmente uma camada mais fraca e contínua, que tem como principal função proteger as outras fases de ataques químicos e umidade. A fase dispersa, composta por fibras, é mais forte e resistente e reforça a matriz para suportar as tensões (ALVES, 2017). Entre as duas fases, existe ainda a região de interface, causada por interações químicas ou outros efeitos do processo. As fases do compósito estão representadas nas Figuras 1 e 2.

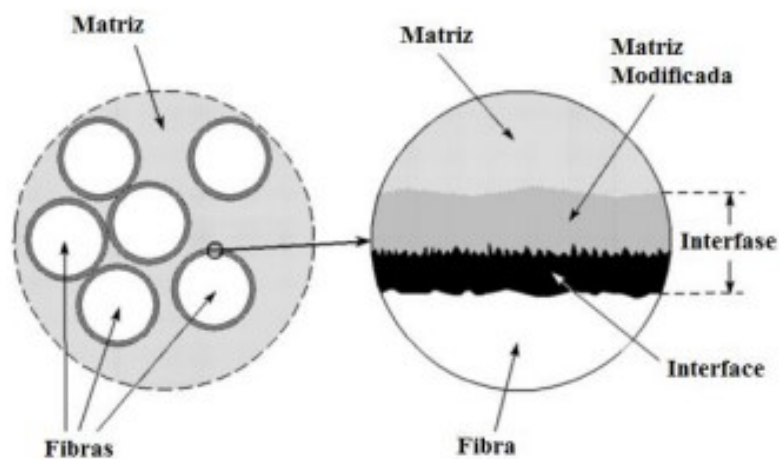
Figura 1 – As fases de um compósito



Fonte: Daniel e Ishai (1994)

A matriz pode ser composta por diversas classes de materiais, tais como cerâmicos, poliméricos e metálicos. Zhang et al. (2014) enfatiza a importância da presença de materiais alternativos em matrizes cimentícias com objetivo de reduzir os impactos ambientais na construção civil.

Figura 2 - Fases do material compósito



Fonte: Cech et al. (2013)

2.2.1 Compósitos Cimento-Madeira

No exterior, os compósitos de cimento-madeira já são utilizados desde o século passado, tendo sua relevância na indústria da construção civil. Países como

Alemanha, Rússia, Canadá e Japão são referências no tema. Alguns dos fatores que levam esses países a buscarem melhorias no desempenho dos materiais do concreto são ligados ao clima do local, relativamente mais frio e, no caso do Japão, a execução de estruturas resistentes à ocorrência de terremotos (PARCHEN, 2012). Existem registros da existência desse método que partem desde 1908, na Áustria, porém vieram a se intensificar no pós guerra, como alternativa à escassez de materiais convencionais (IWAKIRI, 2005).

No Brasil, encontra-se mais registros e estudos dos compósitos de cimento-madeira na região Sul, muito devido à sua colonização, vinda de países que já trabalhavam com aglomerados de cimento e madeira, além da maior necessidade de atingir conforto térmico nas residências dessa região, devido ao clima local (PARCHEN, 2012).

A presença de resíduos de madeira no concreto, pode prejudicar sua resistência mecânica e sua deformabilidade, porém acaba trazendo melhorias em outros fatores, como na redução da massa específica e no melhor desempenho térmico. Esses benefícios também são ambientais, tendo em vista que reutiliza resíduos da indústria madeireira e demanda pouca energia em sua fabricação (OLIVEIRA, 2020).

Hafed (2017) desenvolveu um estudo utilizando de 10 a 30% de serragem em conjunto com o cimento Portland e pôde concluir que o compósito apresentou menor resistência à compressão em relação ao compósito sem serragem, porém apresentou menor massa específica, menor condutividade e maior isolamento térmico, cumprindo com o objetivo de melhorar o desempenho térmico do material em países com climas extremos.

Em comparação ao concreto sem substituição parcial do agregado miúdo, a principal vantagem do compósito cimento-madeira é o fato de ser mais leve e de agregar menores custos de transporte e manuseio. No geral, apesar das propriedades de resistência mecânica não serem tão elevadas quanto as do concreto convencional, esses compósitos apresentam baixa massa específica, melhor desempenho térmico e melhor impermeabilidade, tornando-se adequados para a utilização na construção civil, com blocos de concreto para alvenaria de vedação, por exemplo (PIMENTEL et al., 2006).

O cimento e a madeira são considerados compatíveis quando a presença da madeira não prejudica as reações químicas do cimento, que ocorrem com a adição

da água, resultando no endurecimento e na solidificação da mistura (OLIVEIRA, 2020). A madeira contém substâncias que podem inibir o processo de cura do concreto, como a lignina, a celulose, a hemicelulose, os extrativos, dentre outros. A concentração dessas substâncias varia entre as espécies de madeira. Na Tabela 1, pode-se ver a composição química das madeiras de espécie Pinus.

Tabela 1 - Composição química do Pinus

| Componentes | <i>Pinus spp.</i> |
|--------------------|--------------------------|
| Holocelulose (%) | 62,11 |
| Lignina (%) | 29,62 |
| Extrativos (%) | 7,87 |
| Cinzas (%) | 0,41 |

Fonte: Adaptado de Grubert (2016)

A principal forma de retardação da hidratação do Cimento Portland ocorre devido à reação que ocorre entre o cálcio presente na madeira e os minérios presentes no cimento, causando diminuição na resistência mecânica do concreto. Esses compostos são responsáveis também por inibir a hidratação e o endurecimento do cimento em estágios mais avançados (OLIVEIRA, 2020).

Segundo Brahmia et al. (2020), a presença de madeira na pasta de cimento prejudica as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, afetando o processo químico de endurecimento do cimento.

Quando o processo de endurecimento do cimento é prejudicado, o compósito é considerado incompatível, podendo-se observar perdas nas propriedades físicas do material (JORGE et al., 2004).

Beraldo e Carvalho (2004) levantaram ainda outros parâmetros que podem afetar a compatibilidade entre o cimento e a madeira, tais como: a idade da madeira, o armazenamento da madeira, o tipo de cimento e os tratamentos existentes, que podem melhorar a relação entre os dois materiais.

Para a compatibilização do cimento com a madeira existem pré-tratamentos físico e químicos sendo desenvolvidos, cujo objetivo é otimizar a interação e a adesão entre os materiais do compósito. Estudos variados já foram feitos a fim de aprimorar a qualidade final do compósito (VILLAS-BÔAS et al., 2017; CORRÊA et al., 2006; CASTRO, 2015).

Villas-Bôas et al. (2017) utilizou o pré-tratamento da madeira com suspensão de hidróxido de cálcio e fez uma observação quanto à importância de se ater à quantidade do produto, tendo em vista que a relação água/cal é um fator relevante para a resistência à compressão do compósito. Corrêa et al. (2006) também avaliou a utilização de hidróxido de cálcio no pré-tratamento da madeira, chegando à conclusão que a utilização de um teor de 5% do produto obteve melhor resposta quanto à resistência à compressão do compósito após 28 dias.

Também foram feitos pré-tratamentos utilizando a imersão das partículas em água quente (100 °C) por 1 hora, obtendo resultados ainda melhores do que o pré-tratamento com hidróxido de cálcio (CORRÊA et al., 2006).

Gil et al. (2017) classificou a imersão em água como eficaz para a modificação de fibras lignocelulósicas, evitando a utilização de reagentes químicos e outros processos mais complexos e de maior custo.

Quando a espécie possui altos índices de extrativos que irão inibir a cura do concreto, é indicado o tratamento das partículas da madeira. Porém, a espécie *Pinus* spp. é considerada uma espécie de baixa inibição, descartando a necessidade destes pré-tratamentos (CASTRO, 2015).

2.2.2 Madeira Pinus

O gênero *Pinus* passou a ser plantado no Brasil como alternativa às restrições para a utilização de outras espécies nativas do país. Suas plantações localizam-se, principalmente, no estado do Paraná e de Santa Catarina (ABRAF, 2011).

A região escolhida para as florestas plantadas diz muito respeito ao clima, mas também ao solo. A profundidade efetiva do solo é um importante fator a se levar em conta, para que as raízes possam exercer a função de estruturação e de captação de nutrientes (DEDECEK, 2014).

Brito (2000) definiu a composição da madeira como estável, sendo composta por cerca de 50% de carbono, 44% de hidrogênio, 6% de oxigênio e teores menores de outros elementos. O autor também citou os compostos formados no tecido lenhoso da árvore, sendo os principais a celulose, a hemicelulose e a lignina.

Castro (2015) considerou a espécie de madeira *Pinus* spp. como de baixa inibição quando em contato com o cimento. Apesar de diminuir os limites de resistência mecânica, a presença da madeira no concreto reduz a massa específica,

apresentando, conseqüentemente, um material mais leve e de mais fácil manuseio (GARCEZ et al., 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Devido à viabilidade, a produção do concreto e os ensaios foram realizados de forma externa à universidade, no interior de São Paulo, utilizando materiais da região, exceto pelo resíduo de Pinus, obtido na região metropolitana de Curitiba-PR.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento Portland

Os corpos de prova cilíndricos foram moldados com Cimento Portland CP II F 32, que é o cimento Portland com adição de fíler. Esse tipo de cimento é indicado para uso em geral, como estruturas de concreto armado, pavimentos de concreto, assentamento de blocos, concreto protendido, pré-moldados e artefatos de concreto. Na Tabela 2 estão dispostas as principais propriedades desse cimento.

Tabela 2 - Características do CP II F

| COMPOSIÇÃO | (%) |
|--|------------|
| Clínquer + gesso | 94-90 |
| Calcário | 10-6 |
| PROPRIEDADES MECÂNICAS | |
| Resistência à compressão 3 dias (MPa) | > 10 |
| Resistência à compressão 7 dias (MPa) | > 20 |
| Resistência à compressão 28 dias (MPa) | > 32 |
| PROPRIEDADES FÍSICAS | |
| Massa específica (g/cm ³) | 3,11 |
| Blaine (cm ² /g) | 3398 |
| Tempo de pega - início (h:min) | 03:25 |
| Consistência normal (%) | 26 |
| PROPRIEDADES QUÍMICAS | |
| (%) | |
| Perda ao fogo | 5,12 |
| CaO livre | 1,46 |
| Resíduo insolúvel | 1,48 |
| Al ₂ O ₃ | 4,07 |
| SiO ₂ | 19,19 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,59 |
| CaO | 60,47 |
| MgO | 4,79 |
| SO ₃ | 2,62 |

Fonte: Adaptado do fabricante

3.1.2 Agregado miúdo

Como agregado miúdo, foi utilizado areia natural, fornecida por uma loja de materiais para construção no interior de São Paulo, classificada como areia grossa, escolhida por ser a areia mais convencional na fabricação de concreto. O material apresentou massa específica de $2,51 \text{ g/cm}^3$, obtida em ensaio conforme determina a NBR 52 (ABNT, 2009).

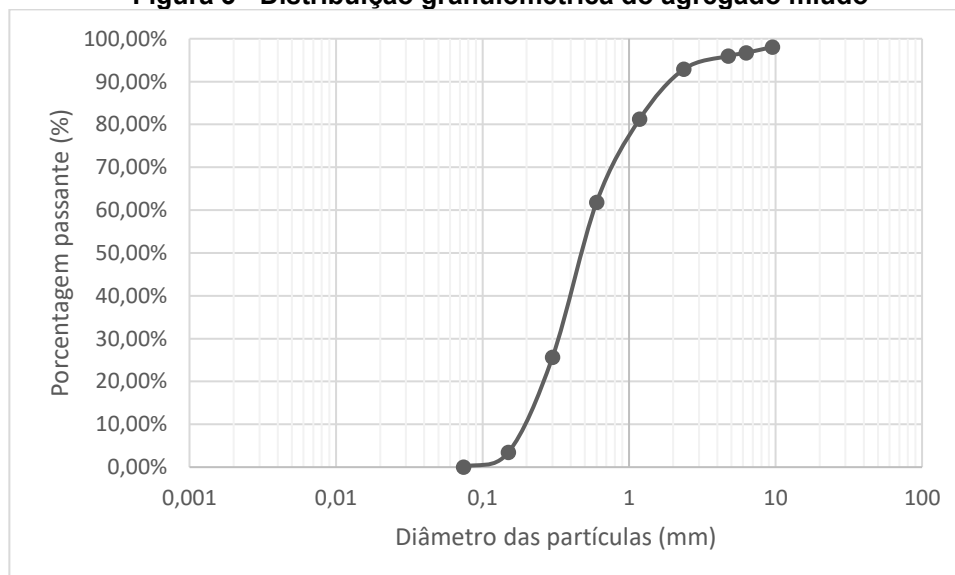
As principais características do agregado miúdo e sua curva granulométrica estão representados na Tabela 3 e na Figura 3, respectivamente.

Tabela 3 - Propriedades do agregado miúdo

| Característica | Resultado |
|--------------------------------------|----------------------|
| Massa específica (g/cm^3) | 2,61 |
| Massa Unitária (g/cm^3) | 1,53 |
| Dimensão Máxima (mm) | 4,8 |
| Módulo de finura | 2,39 |
| Classificação NBR 7211 (ABNT, 2009) | Areia média - Zona 3 |

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 3 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autoria própria (2022)

3.1.3 Agregado graúdo

Como agregado graúdo, foi utilizada brita 1, fornecida por distribuidora de materiais do interior do estado de São Paulo, com dimensões entre 4,75 mm e 12 mm.

O agregado, nesta faixa granulométrica, foi escolhido por ser o mais utilizado para fabricação de concreto na construção civil, principalmente em vigas, colunas e lajes.

O material apresentou massa específica de 2,82 g/cm³, obtida em ensaio conforme determina a NBR 53 (ABNT, 2009).

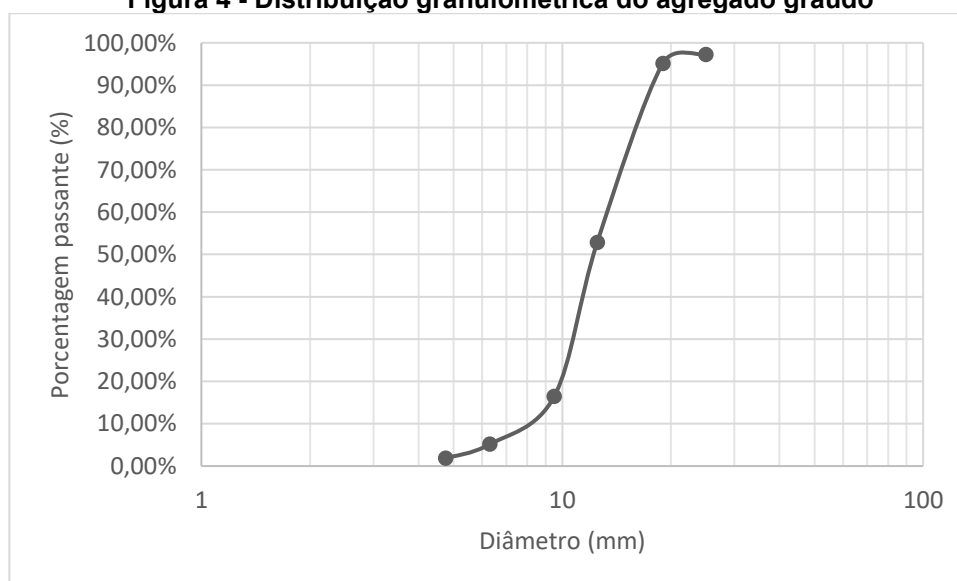
As principais características do agregado graúdo e sua curva granulométrica estão representados na Tabela 4 e na Figura 4, respectivamente.

Tabela 4 - Propriedades do agregado graúdo

| Característica | Resultado |
|---------------------------------------|------------------|
| Massa específica (g/cm ³) | 2,82 |
| Massa Unitária (g/cm ³) | 1,51 |
| Dimensão Máxima (mm) | 19 |
| Módulo de finura | 6,97 |
| Classificação NBR 7211 (ABNT, 2009) | Brita 1 |

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 4 - Distribuição granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autoria própria (2022)

3.1.4 Resíduo de Pinus

O resíduo de madeira utilizado na produção dos corpos de prova cilíndricos, também chamado de farinha de madeira, foi fornecido pela INBRASFAMA® - Indústria Brasileira de Farinha de Madeira, localizada na região metropolitana de Curitiba-PR. O material é obtido por meio do processamento de resíduos de madeira, advindos de processos da indústria madeireira.

O material foi utilizado conforme fornecido pela empresa, com massa específica de $0,53 \text{ g/cm}^3$ e dimensão máxima de 0,6 mm. Na Tabela 5 estão as principais características físicas do resíduo de *Pinus Spp.* Nas Figuras 5 e 6 estão dispostos o resíduo e sua curva granulométrica, respectivamente.

Tabela 5 - Propriedades do resíduo de Pinus

| Característica | Resultado |
|--------------------------------------|------------------|
| Massa específica (g/cm^3) | 0,53 |
| Massa Unitária (g/cm^3) | 0,28 |
| Dimensão Máxima (mm) | 0,6 |
| Módulo de finura | 2,14 |
| Classificação NBR 7211 (ABNT, 2009) | Zona 3 |

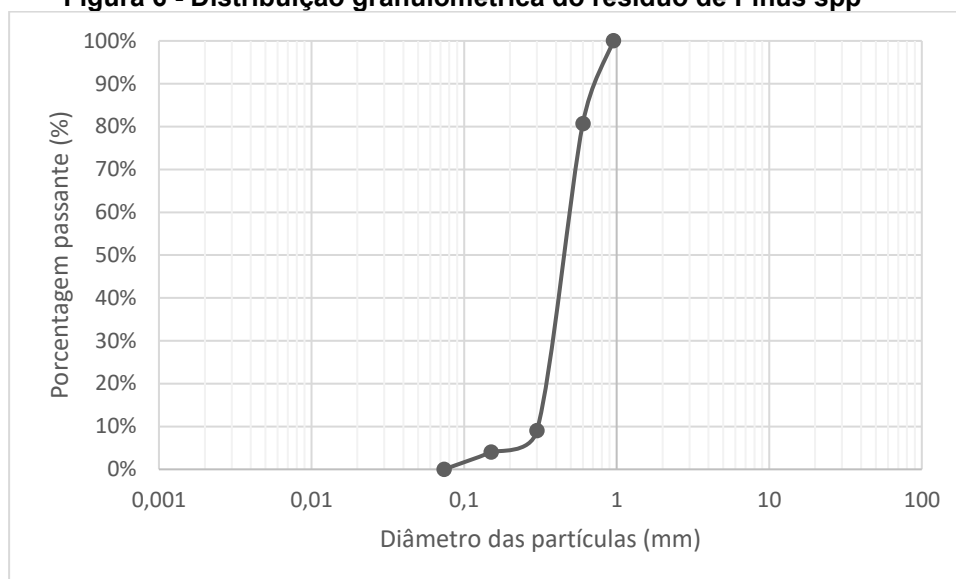
Fonte: Aatoria própria (2022)

O resíduo é obtido sem distinção entre as espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Figura 5 - Resíduo de Pinus spp.



Fonte: Aatoria própria (2022)

Figura 6 - Distribuição granulométrica do resíduo de Pinus spp

Fonte: Autoria própria (2022)

3.1.5 Aditivos

Foi utilizado aditivo plastificante, na proporção de 0,6% da massa de cimento. O aditivo permite a menor utilização de água no concreto, proporcionando um concreto mais homogêneo, coeso e com menor permeabilidade. A redução de água também se faz importante pela alta taxa de absorção de água do resíduo de madeira.

Na Tabela 6 estão representadas as características do produto utilizado, conforme informado pelo fabricante.

Tabela 6 - Propriedades do aditivo

| | |
|--------------------------|------------------------|
| Densidade | 1,22 g/cm ³ |
| Aparência | Marrom escuro |
| Composição básica | lignosulfonatos |
| Estado | líquido |

Fonte: Autoria própria (2022)

3.1.6 Água de amassamento

Foi utilizada água potável, fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, para realizar a mistura entre o cimento, os agregados e os aditivos. A água deve ser de qualidade para não influenciar nos resultados da

produção. A NBR 15900 (ABNT, 2009) avalia a água de abastecimento público como adequada para a produção de concreto, sem necessidade de ensaio.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 Distribuição granulométrica

3.2.1.1 Agregado graúdo e miúdo

A composição granulométrica da brita e da areia natural foi determinada por meio de ensaios seguindo os métodos prescritos nas normas NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR 7211 (ABNT, 2009).

A distribuição granulométrica do agregado graúdo mostrou que o material se trata de uma brita 1, com dimensão máxima de 19 mm, sendo este um dos agregados mais utilizados na produção de concretos para obras em geral.

O agregado miúdo trata-se de areia comercialmente conhecida como grossa, com dimensão máxima de 4,8 mm e módulo de finura de 2,39.

Para os ensaios foram utilizadas as peneiras de série normal, além das peneiras com abertura de 6,3 e 12,5 mm, da série intermediária. Para o cálculo do módulo de finura, leva-se em conta apenas a porcentagem de massa retida nas peneiras da série normal.

3.2.1.2 Resíduo de *Pinus* spp.

A composição granulométrica do resíduo de madeira também foi determinada com ensaio seguindo as prescrições da NBR NM 248 (ABNT, 2003), porém suas características fizeram com que fossem necessárias algumas alterações. A fragilidade do material com relação a altas temperaturas e o fato de estar armazenado em recipiente seco, permitiram que fosse descartada a secagem do material em estufa.

O resíduo de pinus, utilizado na pesquisa como agregado miúdo, apresentou dimensão máxima de 0,6 mm e módulo de finura de 2,14. Por ser um material processado industrialmente, sua granulometria se apresentou bastante uniforme.

Levando em conta a classificação da NBR 7211 (ANBT, 2009), o material pode ser classificado como agregado miúdo de granulometria média, pertencente a Zona 3.

3.2.2 Massa específica

3.2.2.1 Agregado miúdo

Para determinar a massa específica do agregado miúdo, foi realizado ensaio seguindo as prescrições da NBR NM 52 (ABNT, 2009). A amostragem utilizada no ensaio foi determinada seguindo os critérios da NBR NM 26 (ABNT, 2001).

Após a secagem do material em estufa a 105°C, foi utilizado um Frasco de Chapman para se obter o restante dos valores necessários para o cálculo da massa específica pela Equação 1.

$$d = \frac{m}{(V - Va)} \quad (1)$$

d: massa específica do agregado, em g/cm³;

m: massa da amostra seca, em g;

V: volume total do frasco, em cm³;

Va: volume de água adicionado ao frasco, em cm³.

3.2.2.2 Agregado graúdo

Para determinar a massa específica do agregado graúdo, foi realizado ensaio seguindo as prescrições da NBR NM 53 (ABNT, 2009). A amostragem utilizada no ensaio foi determinada seguindo os critérios da NBR NM 26 (ABNT, 2001).

O material foi levado à estufa a 105°C, de forma a obter 2,0kg de amostra seca, necessária para a realização do ensaio.

Posteriormente, foi utilizada balança hidrostática para obtenção da massa do material submerso em água. Por fim, o material foi retirado da água e retirou-se toda a água visível, de forma a obter a massa do agregado saturado com superfície seca.

Após a obtenção de todos os valores, utilizou-se da Equação 2 para obter a massa específica do agregado graúdo.

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (2)$$

Onde:

d: massa específica do agregado, em g/cm³;

m: massa da amostra seca, em gramas;

m_s: massa da amostra saturada superfície seca, em gramas;

m_a: massa em água da amostra, em gramas.

3.2.2.3 Resíduo de *Pinus* spp.

A massa específica do resíduo de *Pinus* fornecida pelo fabricante foi de 0,53 g/cm³.

3.2.3 Massa unitária solta

O ensaio de determinação da massa unitária é um procedimento importante para permitir a substituição em volume de parte da areia pelo resíduo de *Pinus* spp. A massa unitária é comumente utilizada na conversão de traços de concreto, de massa para volume.

O ensaio foi realizado seguindo as prescrições da NBR NM 45 (ABNT, 2006) e utilizando o Método C, que é empregado para determinar a massa unitária do material no estado solto.

A amostragem dos agregados foi realizada de acordo com as normas NBR NM 26 (ABNT, 2001) e NBR NM 27 (ABNT, 2001).

O procedimento foi igual para os três agregados. Primeiramente foi determinada a massa do recipiente vazio. Em seguida o recipiente foi completamente preenchido com o agregado seco, e por fim nivelou-se a camada superficial do agregado e determinou-se a massa do recipiente e seu conteúdo. Com isso, pôde-se obter os parâmetros necessários para o cálculo da massa unitária dos agregados, com auxílio da Equação 3.

$$\rho = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (3)$$

Onde:

ρ: massa unitária do agregado, em kg/m³;

m_{ar} : massa do recipiente mais o agregado, em kg;

m_r : massa do recipiente vazio, em kg;

V : volume do recipiente, em m^3 .

O volume do recipiente foi calculado com auxílio da Equação 4:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (4)$$

Onde:

V : volume do recipiente, em m^3 ;

r : raio do recipiente, em metros;

h : altura do recipiente, em metros.

As massas unitárias obtidas para cada agregado estão representadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Massa unitária dos agregados

| Material | g/cm³ |
|------------------------------|-------------------------|
| agregado miúdo | 1,53 |
| agregado graúdo | 1,51 |
| resíduo de <i>Pinus</i> spp. | 0,28 |

Fonte: Autoria própria (2022)

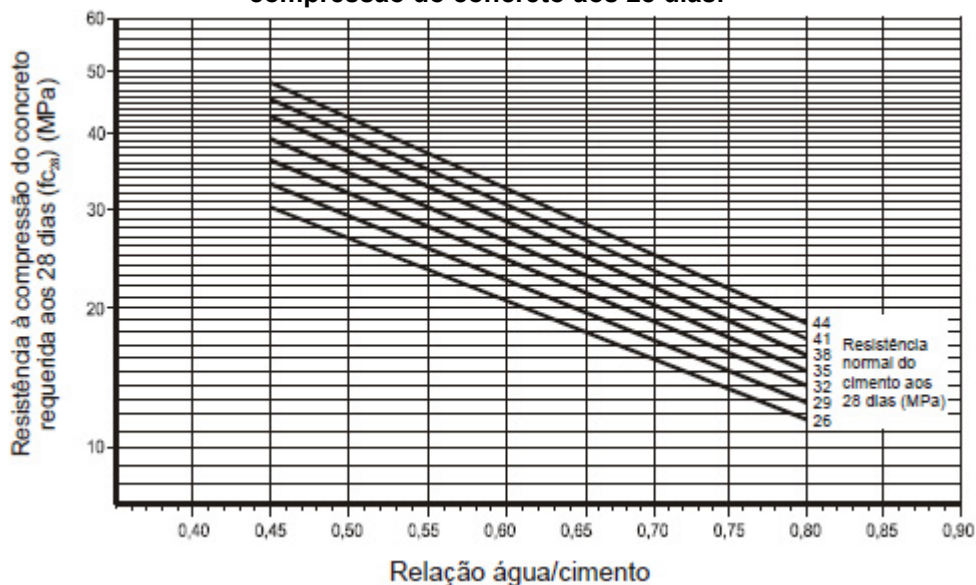
3.3 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS

O método escolhido para a definição do traço foi o ABCP, devido ao fato deste método se aprofundar mais na caracterização dos agregados, fator importante deste estudo. Para determinar o traço, são feitas as seguintes etapas:

1º - Determinar a relação água/cimento.

Para isso, utiliza-se o gráfico da resistência à compressão do concreto em relação ao teor de água/cimento, contendo a curva de Walz, representado na Figura 7.

Figura 7 - Gráfico para determinação da relação água/cimento em função da resistência à compressão do concreto aos 28 dias.



Fonte: Rodrigues (1998)

2º - Determinar o consumo de água.

A determinação do consumo de água leva em conta o diâmetro máximo do agregado graúdo e a consistência desejada na mistura, conforme Tabela 8:

Tabela 8 - Estimativa do consumo de água

| ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE | DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO | | | | |
|------------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 9,5mm | 19mm | 25mm | 32mm | 38mm |
| 40 a 60mm | 220 l/m ³ | 195 l/m ³ | 190 l/m ³ | 185 l/m ³ | 180 l/m ³ |
| 60 a 80mm | 225 l/m ³ | 200 l/m ³ | 195 l/m ³ | 190 l/m ³ | 185 l/m ³ |
| 80 a 100mm | 230 l/m ³ | 205 l/m ³ | 200 l/m ³ | 200 l/m ³ | 190 l/m ³ |

Fonte: Rodrigues (1998)

3º - Determinar o consumo de cimento.

O consumo de cimento leva em conta o consumo de água e a relação água/cimento, por meio da Equação 5:

$$C = \frac{C_{ag}}{\left(\frac{a}{c}\right)} \quad (5)$$

Onde:

C_{ag} : consumo de água, em L/m³;

(a/c): relação água/cimento.

4º - Determinar o consumo de agregados.

O consumo do agregado graúdo é determinado multiplicando o volume compactado e a massa unitária do agregado, conforme indicado na Equação 6:

$$Cb = Vc * \delta b \quad (6)$$

Já o consumo em massa do agregado miúdo é determinado multiplicando o volume do agregado encontrado primeiramente, através da Equação 7, pela sua massa específica, conforme indica a Equação 8.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C}{\gamma_c} + \frac{Cb}{\gamma_b} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} \right) \quad (7)$$

$$Cm = \gamma_m \times V_m \quad (8)$$

5º - Obtém-se o traço dividindo as massas obtidas pela massa do cimento, e o traço é representado conforme a Equação 9:

$$1,0 : \frac{C_m}{C} : \frac{C_b}{C} : \left(\frac{a}{c} \right) \quad (9)$$

Na Tabela 9 está disposto o traço em massa encontrado (referência – sem substituição do agregado).

Tabela 9 - Traço de dosagem referência

| Materiais | Cimento | Agregado Miúdo | Agregado Graúdo | Relação a/c |
|------------------|----------------|-----------------------|------------------------|--------------------|
| Traço | 1 | 2,27 | 2,77 | 0,53 |

Fonte: Autoria própria (2022)

A quantidade de material necessária para a produção dos corpos de prova, em cada teor de substituição de areia por resíduo, está representada na Tabela 10.

Tabela 10 - Quantitativo de materiais para betonada

| Teor de substituição | Cimento (g) | Areia (g) | Brita (g) | Resíduo de madeira (g) | Água (g) |
|-----------------------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|
| 0% | 5310,59 | 10996,04 | 14180,33 | 0,00 | 4053,04 |
| 10% | 5310,59 | 10446,24 | 14180,33 | 179,67 | 4053,04 |
| 15% | 5310,59 | 10171,34 | 14180,33 | 269,51 | 4053,04 |
| 20% | 5310,59 | 9896,44 | 14180,33 | 359,35 | 4053,04 |
| 25% | 5310,59 | 9621,54 | 14180,33 | 449,18 | 4053,04 |

Fonte: Autoria própria (2022)

O teor de agregado graúdo, cimento e água não foram alterados, visando obter diferenças nos resultados somente com relação à substituição parcial da areia pelo resíduo de madeira.

As substituições do agregado miúdo foram feitas em volume, utilizando-se da massa unitária de ambos.

3.4 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com as prescrições da NBR 5738 (ABNT, 1994). Os moldes foram alocados em base nivelada e livre de vibrações, onde os corpos de prova passaram por adensamento manual, respeitando os números de camadas e de golpes. Os golpes de socamento foram aplicados uniformemente em toda a seção transversal do molde.

Os moldes cilíndricos foram escolhidos de forma em que a sua dimensão básica fosse, no mínimo, 3 vezes maior do que a dimensão máxima característica do agregado.

Foram produzidos 10 corpos de prova para cada teor de substituição do agregado, sendo metade para o ensaio de resistência à compressão e metade para o restante dos ensaios, totalizando 60 corpos de prova.

Os corpos de prova foram produzidos em moldes com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm.

3.5 CURA DO CONCRETO

O processo de cura dos corpos de prova cilíndricos de concreto foi feito de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 1994).

Os corpos de prova permaneceram na forma nas primeiras 24 horas, nas condições de cura inicial. Posteriormente foram conservados imersos em água por 7 dias e, finalmente, curados ao ar livre por mais 21 dias, até o prazo de 28 dias para realização dos outros ensaios.

3.6 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DO CONCRETO

3.6.1 Abatimento pelo tronco de cone

Foi realizado o ensaio do abatimento do tronco de cone para cada traço de concreto da pesquisa. Este ensaio é largamente utilizado na recepção de concreto em obras e precede a moldagem dos corpos de prova de concreto. O procedimento foi realizado de acordo com as prescrições da NBR NM 67 (ABNT, 1998). Para o ensaio, foi utilizado um molde de tronco cônico, representado na Figura 8, com diâmetro inferior de 200 mm, diâmetro superior de 100 mm e altura de 300 mm, além da haste de compactação, utilizada para os golpes em cada camada do concreto.

Figura 8 - Tronco cônico para realização do slump test



Fonte: Autoria própria (2022)

3.7 ENSAIOS NO ESTADO CURADO DO CONCRETO

3.7.1 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

O ensaio tem o mesmo procedimento para identificar esses três fatores e consiste em determinar a massa da amostra seca, a massa da amostra saturada em água e a massa da amostra saturada imersa em água. Primeiramente, os corpos de prova passaram por processo de secagem em estufa a 105 °C por 72 horas, determinando assim sua massa seca. Em seguida, os corpos de prova foram imersos em água também por 72 horas, para se obter sua massa na condição saturada. Por fim, os corpos de prova foram colocados em recipiente cheio da água e passaram por processo de ebulição para determinar, finalmente, a massa imersa em água, com utilização de balança hidrostática.

A absorção de água é calculada com auxílio da Equação 10:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

m_{sat} : massa da amostra saturada em água, em g;

m_s : massa da amostra seca em estufa, em g.

O índice de vazios é calculado pela Equação 11:

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

m_i : massa da amostra saturada imersa em água, em g.

Já a massa específica, é calculada utilizando a Equação 12:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (12)$$

3.7.2 Regularização das bases dos corpos de prova

Os corpos de prova passaram por processo de retificação conforme prescrito na NBR 5738 (ABNT, 1994).

Foi retirada uma fina camada de material no topo do corpo de prova, com o auxílio de uma máquina retificadora, conforme Figura 9.

O procedimento é realizado de forma que as camadas do corpo de prova não tenham sua integridade comprometida e as falhas de planicidade sejam inferiores a 0,05 mm.

Figura 9 - Retificação dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autoria própria (2022)

3.7.3 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão dos corpos e prova foram realizados conforme as prescrições da NBR 5739 (ABNT, 2018).

Para este ensaio, foram moldados 5 corpos de prova cilíndricos para cada teor de substituição da areia pelo resíduo de madeira, sendo estes teores de 0, 10, 15, 20, 25 e 30%.

O ensaio foi realizado após 28 dias de cura do concreto, por meio do ensaio padrão de compressão axial, aceito universalmente como um índice de resistência do concreto.

Foi utilizada prensa hidráulica da EMIC, própria para ensaios de compressão com corpos de prova cilíndricos de concreto. O dispositivo conta com pratos de

encaixe para corpos de prova de $\varnothing 10 \times 20$ cm. O equipamento e o ensaio estão representados na Figura 10.

A resistência à compressão é obtida por meio da divisão da carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova.

Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: Autoria própria (2022)

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar os resultados obtidos entre os diferentes traços de concreto utilizados nos ensaios, foi utilizada a análise de variância. Esse método consiste em verificar a existência de diferenças reais entre os grupos de média analisados. Para esse estudo, partiu-se do pressuposto de que as diferenças são geradas pelas causas reais, ou seja, pela substituição de parte do agregado miúdo natural pelo resíduo de madeira da espécie *Pinus* spp. O acaso deve gerar, portanto, apenas pequenos desvios entre as amostras.

Na Análise de Variância (ANOVA), compara-se três ou mais tratamentos diferentes para se testar a existência de reais diferenças entre as médias dos tratamentos, e, portanto, se encaixa como uma análise estatística correta nesse estudo.

O método consiste em testar hipóteses para constatar essas diferenças, sendo as hipóteses:

Hipótese nula (H_0): todas as médias são iguais.

Hipótese alternativa (H_1): pelo menos duas médias são diferentes.

Para este estudo, foi calculada a análise de variância com fator único utilizando a extensão de Análise de Dados do software Excel.

Para complementar a análise, foi realizado o teste Tukey, que possibilita saber a interferência de algum outro procedimento nos resultados.

Foi realizada regressão linear e exponencial com auxílio do software Excel, obtendo modelos estatísticos que justificam os resultados do ensaio.

4 DISCUSSÕES E RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os ensaios para caracterização dos materiais determinam parâmetros importantes a serem utilizados nos cálculos para definição do traço do concreto, além de ajudarem na interpretação dos resultados. O agregado miúdo mostrou tratar-se de uma areia média, com massa específica de $2,61 \text{ g/cm}^3$, massa unitária de $1,53 \text{ g/cm}^3$, dimensão máxima de 4,8 mm e módulo de finura de 2,39. O agregado graúdo pode ser classificado como Brita 1, com massa específica de $2,82 \text{ g/cm}^3$, massa unitária de $1,51 \text{ g/cm}^3$, dimensão máxima de 19 mm e módulo de finura de 6,97. Por fim, o resíduo de madeira é classificado como agregado miúdo, com massa específica $0,53 \text{ g/cm}^3$, dimensão máxima de 0,60 mm e módulo de finura de 2,14.

4.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DO CONCRETO

4.2.1 Abatimento pelo tronco de cone

Na Tabela 11 estão dispostos os resultados do ensaio de abatimento pelo tronco de cone, realizados para cada betonada de concreto.

Tabela 11 - Resultados do ensaio de abatimento pelo tronco de cone

| SV | Abatimento (mm) | Trabalhabilidade |
|-----|-----------------|------------------|
| 0% | 80 | Alta |
| 10% | 75 | Média |
| 15% | 50 | Média |
| 20% | 45 | Média |
| 25% | 30 | Baixa |
| 30% | 25 | Baixa |

Fonte: Autoria própria (2022)

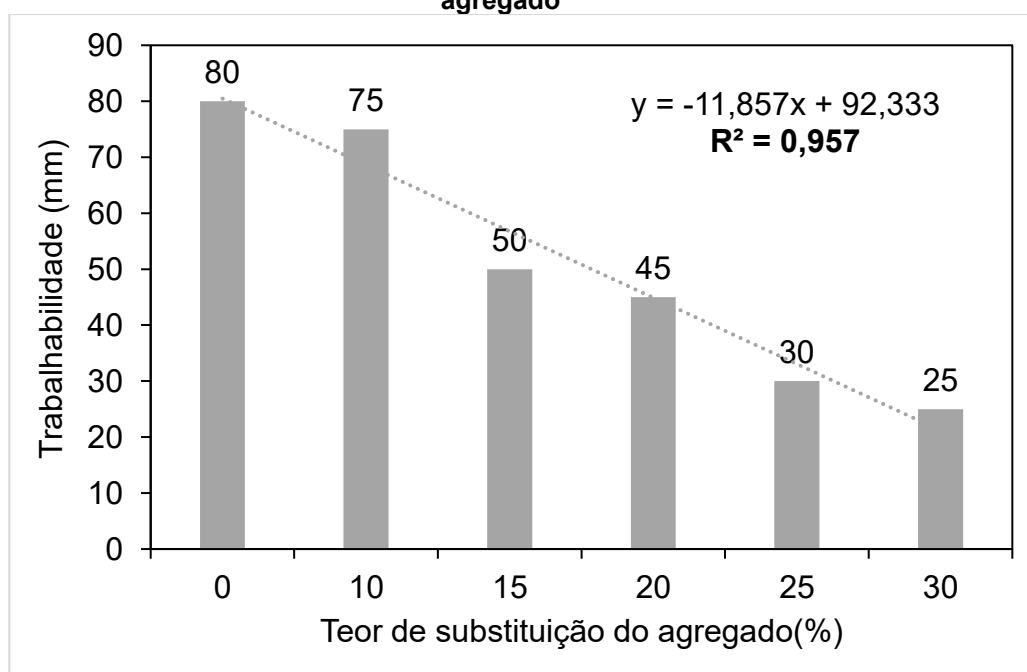
O concreto de referência, com 0% de substituição em volume do agregado miúdo, apresentou abatimento conforme pré-estabelecido na dosagem, entre 80 a 100 mm. Para as outras amostras, pôde-se observar que quanto mais foi se adicionando resíduo de madeira na produção do concreto, mais foi diminuindo a homogeneidade e plasticidade do concreto, reduzindo também sua trabalhabilidade. Para que isso não

ocorresse, seria necessário aumentar a relação água/cimento, porém este valor foi fixado durante o estudo, assim como o teor de aditivo plastificante, para não interferir em outros parâmetros do concreto.

Na Figura 11 é observada a relação existente entre a trabalhabilidade em função do teor de substituição do agregado miúdo. Por meio da regressão linear, pode-se observar que 95% da diminuição da trabalhabilidade do concreto pode ser explicada pela substituição parcial da areia pelo resíduo de madeira.

Esse resultado é justificado pelo fato de que conforme aumenta-se o percentual de substituição da areia pelo resíduo de madeira, maior é a quantidade de água exigida para se obter uma melhor trabalhabilidade do concreto (GARCEZ et al., 2013). Além disso, a presença do resíduo de madeira no concreto, dificulta sua produção, prejudicando também os índices de trabalhabilidade do concreto.

Figura 11 - Resultados do ensaio de trabalhabilidade em função do teor de substituição do agregado



Fonte: Autoria própria (2022)

4.3 ENSAIOS NO ESTADO CURADO DO CONCRETO

4.3.1 Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias estão apresentados na Tabela 12. Foram ensaiados 5 corpos de prova para cada teor de substituição em volume, além dos corpos de prova sem substituição, utilizados como referência.

Tabela 12 - Resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão

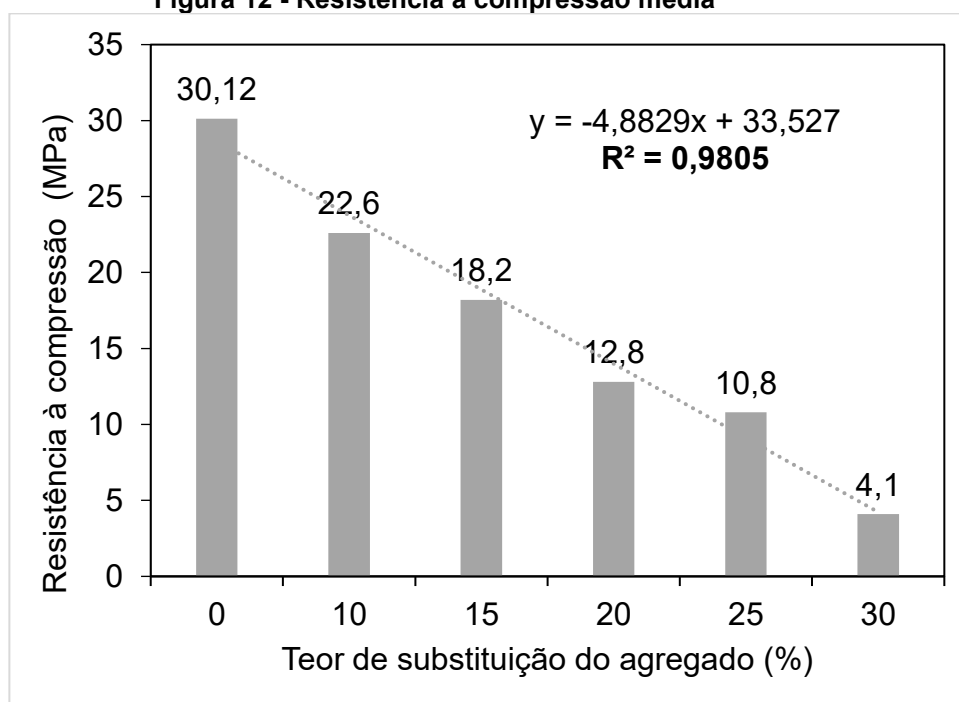
| SV Pinus | Resistência à compressão aos 28 dias (Mpa) | | | | | Média (Mpa) | CV (%) |
|----------|--|------|------|------|------|--------------------|--------|
| 0 | 32,1 | 30,4 | 31,7 | 28,5 | 27,9 | 30,12 ^A | 6% |
| 10% | 21,5 | 22,5 | 21,7 | 23,2 | 24,1 | 22,60 ^B | 5% |
| 15% | 19,5 | 18,6 | 17,3 | 16,8 | 19,1 | 18,26 ^C | 6% |
| 20% | 13 | 11,9 | 12,7 | 13,2 | 13,5 | 12,86 ^D | 5% |
| 25% | 10,8 | 11,8 | 9,8 | 10,1 | 11,6 | 10,82 ^D | 8% |
| 30% | 4,6 | 3,8 | 3,7 | 4,1 | 4,3 | 4,10 ^E | 9% |

*Valores seguidos por letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas a um nível de confiança de 95%.

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 12 estão representados os valores médios obtidos no ensaio de resistência à compressão, em função do teor de substituição do agregado miúdo. Verifica-se, pela regressão linear, que 98% da variação da resistência à compressão pode ser justificada pelo aumento da presença de madeira no concreto.

Figura 12 - Resistência à compressão média



Fonte: Autoria própria (2022)

Os resultados do ensaio foram submetidos à análise de variância (ANOVA), conforme representado na Tabela 13. Como o valor-P encontrado é inferior a 0,05, entende-se que o teor de substituição do agregado tem significância nos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Tabela 13 - ANOVA para resultados de resistência à compressão

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Substituição do agregado | 2125,372 | 5 | 425,0744 | 348,6598 | 1,4E-21 | 2,620654 |
| Erro | 29,26 | 24 | 1,219167 | | | |
| Total | 2154,632 | 29 | | | | |

Fonte: Aatoria própria (2022)

Em comparação com o concreto sem substituição parcial do agregado, os corpos de prova com 10% de substituição do agregado foram os que apresentaram melhor resistência à compressão aos 28 dias. Já os corpos de prova com 30% de substituição foram os que apresentaram pior desempenho, como esperado. O ensaio demonstrou que a resistência à compressão diminui conforme se aumenta o teor de madeira no concreto. Segundo Weber et al. (2017), isso se deve ao fato de os compósitos com madeira necessitarem de mais água na mistura, devido à maior absorção das partículas do resíduo. No estudo, no entanto, foi mantida a mesma relação água/cimento para todas as amostras, como forma de avaliar exclusivamente o impacto da substituição da areia pelo resíduo de *Pinus* spp.

Por inviabilidade, os corpos de prova passaram por cura úmida por 7 dias e 21 dias ao ar livre. Se tivessem ficado por 28 dias em câmara úmida, os limites de compressão poderiam ser maiores.

Pelo teste Tukey, conclui-se que existem diferenças estatísticas significativas entre as médias que apresentam letras diferentes, com um nível de confiança de 95%. As únicas amostras que não apresentaram diferença estatística significativa a esse nível foram as de 20 e 25% de teor de substituição.

4.3.2 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Para os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica, também foram utilizados 5 corpos de prova de cada teor, além dos corpos de prova de referência.

Na Tabela 14 estão apresentadas a média e o coeficiente de variação dos resultados do ensaio absorção de água, conforme o teor de substituição da areia pelo resíduo de madeira.

Tabela 14 – Valores médios obtidos no ensaio de absorção de água

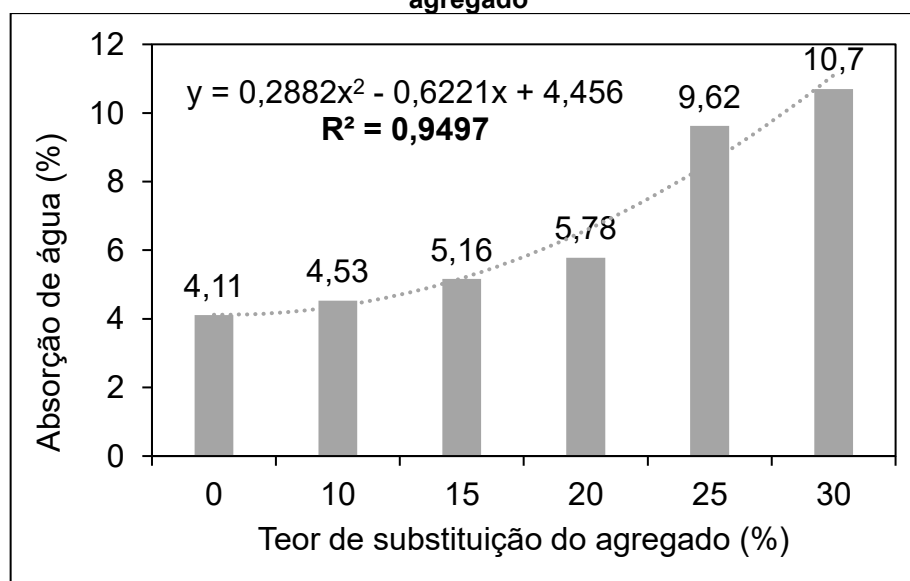
| SV | Absorção de água (%) | CVar (%) |
|-----|----------------------|----------|
| 0% | 4,11 ^A | 5,00 |
| 10% | 4,53 ^{AB} | 6,69 |
| 15% | 5,16 ^{BC} | 4,30 |
| 20% | 5,78 ^C | 6,73 |
| 25% | 9,62 ^D | 3,82 |
| 30% | 10,77 ^E | 6,33 |

*Valores seguidos por letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas a um nível de confiança de 95%.

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 13 está apresentada a relação existente entre os resultados obtidos para absorção de água em função do teor de substituição do agregado. Com a regressão exponencial, pode-se verificar que 95% da variação da absorção de água pode ser explicada pelo aumento da percentagem de substituição do agregado miúdo.

Figura 13 - Resultados do ensaio de absorção de água em função do teor de substituição do agregado



Fonte: Autoria própria (2022)

Por meio da análise realizada, pode-se observar que não existe diferença estatística, a um nível de 5% de probabilidade de erro, entre as amostras com teor de 0 e 10%, bem como entre as amostras com teor de 10 e 15% e 15 e 20%. Pode-se concluir que o processo de absorção de água ocorreu de forma diferente para cada conjunto de amostras, sendo maior conforme foi-se aumentando o teor de madeira presente no concreto.

Esse processo pode ser explicado pelo fato de a madeira ser um material higroscópico, que é capaz de absorver e perder água para o meio ambiente. Quanto maior o teor de madeira no concreto, maiores serão as médias obtidas nesse parâmetro, devido ao fato do teor de fibras alterar significativamente a absorção de água (WEBER et al., 2017).

A análise de variância (ANOVA) realizada para os dados de absorção de água está representada na Tabela 15. Como o valor-P encontrado é inferior a 0,05, conclui-se que o teor de substituição do agregado tem significância nos resultados obtidos no ensaio.

Tabela 15 - ANOVA para resultados de absorção de água

| ANOVA | | | | | | |
|--------------------------|-------------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos | 108,6420992 | 5 | 21,72842 | 165,5856 | 8,71E-18 | 2,620654 |
| Dentro dos grupos | 3,149320862 | 24 | 0,131222 | | | |
| Total | 111,7914201 | 29 | | | | |

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 16 estão dispostos as médias e os coeficientes de variação dos resultados do ensaio de índice de vazios, conforme a substituição em volume do agregado.

Tabela 16 - Resultados médios obtidos no ensaio de índice de vazios

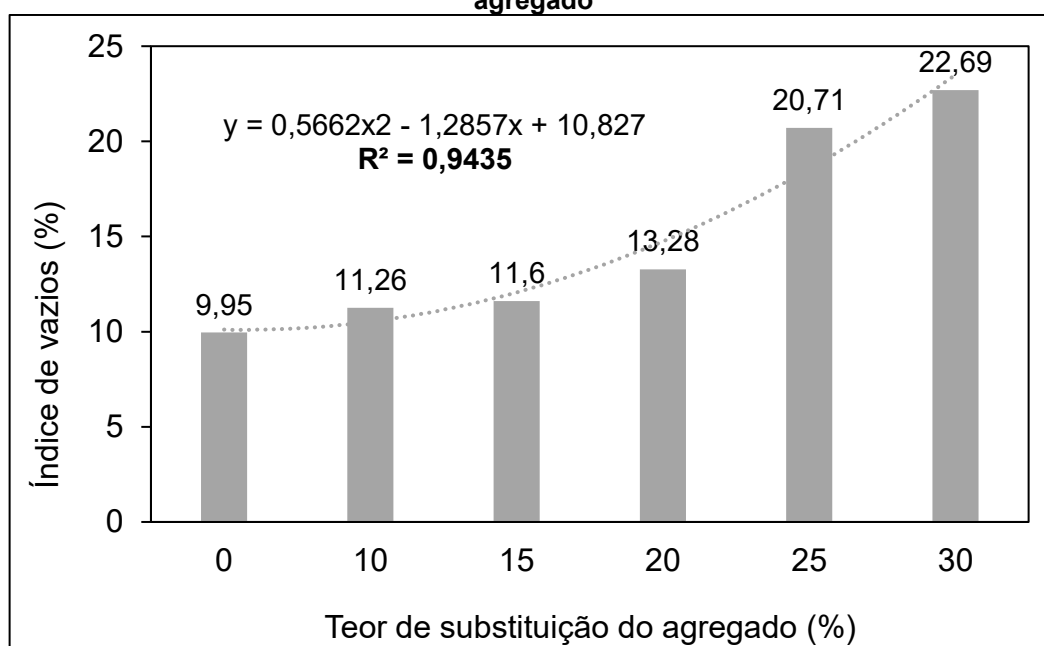
| SV | Índice de vazios (%) | CVar (%) |
|-----|----------------------|----------|
| 0% | 9,95 ^A | 2,17 |
| 10% | 11,26 ^{AB} | 4,27 |
| 15% | 11,66 ^B | 5,96 |
| 20% | 13,28 ^B | 5,79 |
| 25% | 20,71 ^C | 5,31 |
| 30% | 22,69 ^D | 7,46 |

*Valores seguidos por letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas a um nível de confiança de 95%.

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 14 está representada a relação entre as médias dos resultados do ensaio de índice de vazios em função do teor de substituição do agregado. Pode-se observar uma tendência de aumento do índice de vazios do concreto à medida em que se aumenta o volume de areia substituído pelo de resíduo de madeira. Com a regressão exponencial ocorrida entre os valores obtidos no ensaio, o teor de substituição do agregado explica com 94% de precisão o aumento obtido nas médias do índice de vazios.

Figura 14 - Resultados do ensaio de índice de vazios em função do teor de substituição do agregado



Fonte: Autoria própria (2022)

As amostras sem substituição do agregado apresentam parâmetros melhores, com menor índice de vazios, que vai aumentando conforme aumenta o teor de substituição do agregado. As amostras com 30% de substituição em volume de agregado apresentaram índices de vazios mais de duas vezes maiores do que o do concreto com agregado usual, demonstrando a porosidade causada pelo compósito.

Gomes et al. (2003) afirma que o concreto necessariamente é um material poroso, devido à impossibilidade de a pasta de cimento preencher todos os vazios dos agregados.

Para Weber et al. (2017) os altos valores de índice de vazios são favoráveis ao fator de conforto térmico do concreto.

O alto coeficiente de variação na amostra com 30% de teor de substituição pode ter sido causado pela dificuldade que o alto teor de madeira causa na preparação do concreto, devido à maior absorção de água, prejudicando a homogeneidade das amostras.

A análise de variância (ANOVA) realizada para os dados de índice de vazios está representada na Tabela 17. Como o valor-P encontrado é inferior a 0,05, conclui-se que o teor de substituição do agregado tem significância nos resultados obtidos no ensaio.

Tabela 17 - ANOVA para resultados de índice de vazios

| ANOVA | | | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i> | <i>gl</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
| Entre grupos | 435,7086 | 5 | 87,14172 | 191,1818 | 5,24E-11 | 3,105875 |
| Dentro dos grupos | 5,469667 | 12 | 0,455806 | | | |
| Total | 441,1783 | 17 | | | | |

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 18 estão representados os valores médios de massa específica das amostras.

Tabela 18 - Valores médios obtidos no ensaio de massa específica

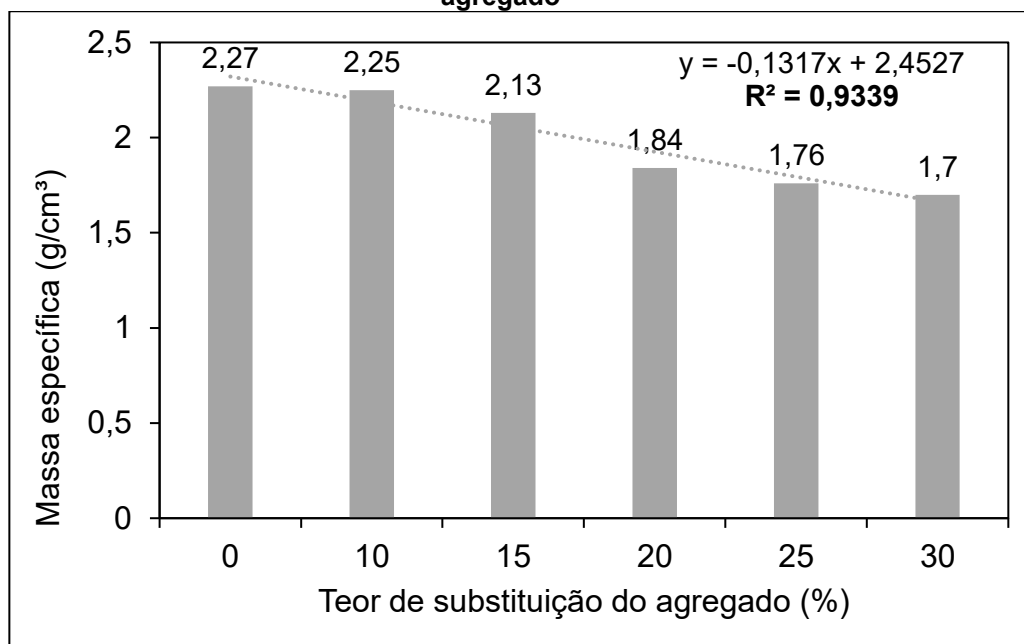
| SV | Massa específica (g/cm³) | CVar (%) |
|-----------|--|-----------------|
| 0% | 2,27 ^A | 2,18 |
| 10% | 2,25 ^{AB} | 3,58 |
| 15% | 2,13 ^B | 2,18 |
| 20% | 1,84 ^C | 3,39 |
| 25% | 1,76 ^{CD} | 2,67 |
| 30% | 1,70 ^D | 3,74 |

*Valores seguidos por letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas a um nível de confiança de 95%.

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 15 é observada a relação existente entre a massa específica e o teor de substituição do agregado. Observa-se uma tendência de redução da massa específica do concreto, à medida em que se aumenta o volume de areia substituído por resíduo de madeira nas amostras, sendo que essa substituição explica com 93% de precisão a diminuição ocorrida na massa específica do concreto, conforme regressão linear realizada.

Figura 15 - Resultados do ensaio de massa específica em função do teor de substituição do agregado



Fonte: Autoria própria (2022)

Por meio da análise realizada, pode-se observar que não existe diferença estatística, a um nível de 5% de probabilidade de erro, entre as amostras com teor de 0 e 10%, bem como entre as amostras com teor de 10 e 15%. O mesmo acontece entre as amostras de 20 e 25% e de 25 e 30%.

Pode-se notar que quanto maior a proporção de resíduo de madeira nas amostras, menor a massa específica. Garcez et al. (2013) explica esse fenômeno como uma consequência de a massa específica do resíduo de madeira ser inferior ao da areia.

Tabela 19 - ANOVA para resultados de massa específica

| ANOVA | | | | | | |
|-------------------|----------|----|----------|---------|----------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-P | F crítico |
| Entre grupos | 0,970178 | 5 | 0,194036 | 62,6095 | 3,54E-08 | 3,105875 |
| Dentro dos grupos | 0,03719 | 12 | 0,003099 | | | |
| Total | 1,007368 | 17 | | | | |

Fonte: Autoria própria (2022)

A análise de variância (ANOVA) realizada para as médias de massa específica, representada na Tabela 19, indica que o teor de substituição do agregado tem significância nos resultados obtidos no ensaio.

De acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005), os concretos com 0, 10 e 15% de substituição do agregado podem ser classificadas como concreto normal, com massa específica seca compreendida entre 2,0 e 2,8 g/cm³. O restante das amostras são classificadas como concreto leve, com massa específica seca inferior a 2,0 g/cm³.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com os ensaios no estado fresco e curado do concreto permitem chegar às seguintes conclusões:

- A inserção do resíduo de madeira no concreto reduziu a trabalhabilidade. As amostras necessitariam de mais água para apresentar melhor trabalhabilidade, devido à alta absorção de água do resíduo de madeira, no entanto a relação água/cimento foi mantida em todo o estudo. O concreto sem resíduo de madeira apresentou 80 mm de abatimento no slump test, enquanto o com 30% de substituição do volume do agregado miúdo apresentou apenas 25 mm, valor considerado como de baixa trabalhabilidade.
- Com o ensaio de resistência à compressão, pôde-se observar que quanto maior o teor de substituição em volume da areia pelo resíduo de madeira, menores foram os resultados obtidos para resistência à compressão. Os concretos com resistência à compressão inferior a 20 MPa não podem ser considerados estruturais, portanto, a utilização do concreto com resíduo de Pinus é viável para fins estruturais apenas até o limite de 10% de substituição do agregado.
- A substituição de 30% do volume do agregado miúdo reduziu, em média, 86% a resistência à compressão. A presença de madeira no concreto também influencia nesses resultados por dificultar o processo de produção do concreto.
- Apesar da utilização desse compósito para fins estruturais ficar, de certa forma, comprometida, ainda pode ser repensada, tendo em vista que a massa específica dos corpos de prova foi reduzindo conforme aumentou-se o teor de resíduo adicionado à amostra, se tratando, então, de um concreto mais leve.
- A absorção de água e o índice de vazios também foram parâmetros que aumentaram conforme aumentou-se o teor de substituição do agregado miúdo convencional pelo resíduo de madeira. Isso se deve ao fato de a madeira ser um material higroscópico, que absorve e perde água para o meio ambiente. Com 30% do volume de agregado substituído, a absorção de água aumentou em até 162%, e o índice de vazios em 179%, atingindo, portanto, valores mais que duas vezes maiores, se comparados ao concreto sem resíduo de madeira.

Por outro lado, esse pode ser um fator positivo, já que altos índices de vazios resultam em um material mais leve e com melhor desempenho térmico.

- Com auxílio da análise ANOVA pôde-se concluir que a variação no teor de substituição do agregado miúdo convencional pelo resíduo de *Pinus* influenciou nas propriedades do concreto.

Para estudos futuros sugere-se uma análise acerca do desempenho térmico do concreto produzido com compósito cimento-madeira, se comparado ao concreto convencional, alterando o teor de água/cimento para cada traço, a fim de obter melhor trabalhabilidade nas amostras com resíduo de madeira.

REFERÊNCIAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2011, ano base 2010**. Brasília: ABRAF, 2011. p. 130.

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 2015 483. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF**. Brasília. cap.3, p.80-94, 2013.

ABREU JUNIOR, L. **Compósito Polimérico híbrido constituído de fibras curtas de vidro e partículas de sílica**. 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2015. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/ppmec/Lenir.pdf>.

ALVES, R. A. A. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos cerâmicos e cerâmico-poliméricos destinados a restauração de monumentos históricos fabricados em esteatito (pedra-sabão)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2017. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/ppmec/Dissertacao%202017-Robinson%20Alves.pdf>.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

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, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BARBOSA, L. C.; PEDRAZZI, C. P.; FERREIRA, E. S.; SCHNEID, G. N.; WILLE, V, K. D. **Avaliação dos resíduos de uma serraria para a produção de celulose kraft**. Ciência Florestal. Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 491-500, 2014.

BBC NEWS - **Como exploração sem limites de areia põe em risco grão que 'transformou a civilização'**. BBC News/Brasil, São Paulo, 19 de setembro de 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-45555528>.

BERALDO, A. L.; CARVALHO, J.V. Compósito Eucalyptus Grandis – cimento Portland. **Scientia Forestalis**, São Paulo (SP), n. 65, p. 150-161, jun. 2004.

BRAHMIA, F.Z; HORVÁTH, P.G.; ALPÁR, T.L. Effect of pre-treatments and additives on the improvement of cement wood composite - a review. **Cement-wood Composites**. Bioresources.v.15, n.03, p .7288-7308, 2020.

BRITO, J. O. **Natureza e constituição química da madeira**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 2000.

BURMANN, L. L. **Recursos naturais e sustentabilidade**: A responsabilidade social ambiental e jurídica das empresas. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/507/Dissertacao%20Larissa%20Lauda%20Burmman.pdf>.

CASTRO, V. G. de. **Espécies da amazônia na produção de compósitos madeira-cimento por vibro-compactação**. 221 f. Curitiba, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) Resolução nº. 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil**. Ministério do Meio Ambiente: Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial.

CONSELHO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Sustentabilidade na Construção**. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/noticia/show.asp?npgCode=DBC0153A-072A-4A43-BB0C-2BA2E88BEBAE>>. Acesso em: 10/06/2022.

CECH, V.; PALESCH, E.; LUKES, J. The glass fiber–polymer matrix interface/interphase characterized by nanoscale imaging techniques. **Composites Science and Technology**, v. 83, p. 22–26, June 2013.

CORRÊA, E.M.; CABRAL, G.F.; ANDRADE, M. **Análise da aptidão de resíduos de pinus SP para uso em compósitos cimento-madeira**. 94p. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

DANIEL, I.M.; ISHAI, O. **Engineering Mechanics of Composite Materials**. Oxford University Press, New York: 1994.

DEDECEK, R.A. Adequação de áreas agrícolas para o plantio de Pinus Taeda. Comunicado Técnico. **Sumário Mineral 2016**. EMBRAPA. Ed. 142. ISSN 1517-5030, 2014.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4567/000412901.pdf>

FJP. Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão do Estado de Minas Gerais. Fundação João Pinheiro. Diretoria de Estatística e Informações. **Déficit habitacional no Brasil 2015**. Belo Horizonte, 2018.

FONTES P. J. P. **Auto-Suficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos**. 1994. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

GARCEZ, M.; SANTOS, T.; GATTO, D.; 2013. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos pré-moldados com adição de serragem em substituição ao agregado miúdo. **Ciência & Engenharia**. 22. 95-104.

GARCEZ, M.; SANTOS, T.; GATTO, D. 2016. Propriedades mecânicas de compósitos cimento-madeira com serragem tratada de Pinus elliottii. **Revista Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), 7(1). Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/5084>.

GARDNER, Gary. Mind over matter: recasting the role of materials in our lives. Washington, DC: **Worldwatch Institute**, 1998.

GIL, H.; ORTEGA, A.; PÉREZ, J. Mechanical behavior of mortar reinforced with sawdust waste. **3rd International Conference on Natural Fibers**: Advanced

Materials for a Greener World, ICNF. ScienceDirect. Procedia Engineering. p.325–332, 2017.

GOMES, A. M.; AGUIAR, J. E.; NETO, H. A.; COSTA, J. U. **Permeabilidade do concreto**: um estudo para a avaliação “in situ” usando instrumentos portáteis e técnicas tradicionais. Departamento de Materiais de Construção da UFMG. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2003.

GRUBERT, W. **Utilização de partículas de bambu (*Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys bambusoides*) como reforço em compósitos de madeira**. 2016. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, SC. 2016.

HACHMI, M.; CAMPBELL, A. G. **Wood-cement chemical relationships**. In: INORGANIC BONDED FIBER COMPOSITES SYMPOSIUM. FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY. 1., 1988, Estados Unidos. Proceedings ... 1989, p. 43-47.

HAFED S.A. Study of thermal insulation and some mechanical properties for hybrid composites (cement – wood sawdust). **International Journal of Computation and Applied Sciences IJOCAAS**.v.3, n.2, p. 2399-4509, out. 2017.

HILLIG, É.; SCHNEIDER, V. E.; WEBER, C.; TECCHIO, R. D. **Resíduos de madeira da indústria madeireira: caracterização e aproveitamento**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. Anais, Rio de Janeiro: Abepro, 2006. p. 1-7.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fupef, 2005. 247p.

JORGE, F.C.; PEREIRA, C.; FERREIRA, J.M.F. **Wood-cement composites**: a review. Holz Roh Werkst. n. 62, p. 370–377, 2004.

KIBERT, C. J. **Establishing principles and a model for sustainable construction**. Anais do XVI CIB TG 16, Sustainable Construction, Tampa, Florida, USA, 1994. Disponível em: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC24773.pdf.

MOREIRA, A. M. **Materiais de Construção I**. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Politécnico de Tomar. Tomar, 2009.

NOGUEIRA, G. R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação**. 2016. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_Vers%C3%A3oFinal.pdf.

MOSLEMI, A. A. **Wood-cement panel products**: coming of age. In: INORGANIC BONDED FIBER COMPOSITES SYMPOSIUM. FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY. 1., 1988, Estados Unidos. Proceedings... 1989, p. 12-18.

OLIVEIRA, M. S. **Utilização de resíduos de Pinus spp. na produção de blocos de concreto para alvenaria de vedação**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

PARCHEN, C. F. A. **Compósito madeira cimento de baixa densidade produzido com compactação vibro dinâmica**. 2012. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/28935/R%20-%20T%20-%20CARLOS%20FREDERICO%20ALICE%20PARCHEN.pdf>.

PIMENTEL, U. H. O.; ROCHA, F. M. D.; MELO, A. B. **Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas dimensões – leveza e produtividade**. In 6º Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006, Florianópolis, Santa Catarina. Universidade Federal da Paraíba (UFPB). João Pessoa, 2006.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET – 67. São Paulo: ABCP, 1998.

SEMPLE, K. E.; EVANS, P. D. **Wood-cement composites** - Suitability of Western Australian mallee eucalypt, blue gum and melaleucas. Rural Industries Research and Development Corporation. Kingston: ACT, 2004. 64p.

TICIANI, Ermínio. **Racionalização de projetos e redução dos custos ambientais na construção civil: O caso da Universidade das Américas - UNIAMÉRICA**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/28070/R%20-%20T%20-%20ROSILANI%20TRIANOSKI.pdf>.

VILLAS-BÔAS, B. T.; PARCHEN, C. F. A.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação dos efeitos de diferentes dosagens de água/cal na resistência à compressão axial de compósitos de madeira-cimento. **Revista Matéria**. v.22, n, 01 .ISSN 1517-7076 artigo e11777. Rio de Janeiro, abr., 2017.

ZHANG, Q.; LE ROY, R.; VANDAMME, M.; ZUBER, B. Long-term creep properties of cementitious materials: Comparing microindentation testing with macroscopic uniaxial compressive testing. **Cement and Concrete Research**, v. 58, p. 89-98, 2014.