

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARILUCIA SILVEIRA OLIVEIRA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE *PINUS* SPP. NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE
CONCRETO PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2020

MARILUCIA SILVEIRA OLIVEIRA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE *PINUS* SPP. NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE
CONCRETO PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO**

**Use of *Pinus* spp. residues in the production of concrete blocks for sealing
masonry**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Adalberto Matoski

Coorientador: Prof. Dr. Aduino José Miranda de Lima

CURITIBA

2020



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

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho licenciado para fins não comerciais, desde que atribuam ao autor o devido crédito. Os usuários não têm que licenciar os trabalhos derivados sob os mesmos termos estabelecidos pelo autor do trabalho original.



TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO

A Dissertação de Mestrado intitulada **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE *PINUS SPP.* NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO**, defendida em sessão pública pela candidata **Marilucia Silveira Oliveira**, no dia 31 de agosto de 2020, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Construção Civil, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof.º Dr. Adalberto Matoski – Presidente – UTFPR

Prof.º Dr. José Marques Filho – UFPR

Prof.º Dr. Wellington Mazer - UTFPR

Curitiba, 31 de agosto de 2020.

- A Folha de Aprovação assinada encontra-se arquivada na Secretaria Acadêmica -

Dedico este trabalho
a Paulo Sergio
e Paulo Eduardo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me proporciona o milagre da vida a cada dia e que me dá força e coragem para conquistar meus objetivos.

Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná por ter me proporcionado os conhecimentos necessários através de professores imensamente competentes e interessados em meu crescimento individual, em especial agradeço ao meu orientador Professor Adalberto Matoski por toda a paciência, confiança e orientação, ao Professor Adauto José Miranda de Lima por ter me auxiliado como co-orientador, tarefa executada com a mais alta competência, também agradeço ao Professor Wellington Mazer que me fez acreditar no meu potencial em momentos que pensava não ter condições para seguir em frente, a todos os colegas que tive oportunidade de conviver neste período em especial aos amigos que fiz Priscilla, Rebecca, Marcelo, Rogério e Ana.

Ao Programa da CAPES que me proporcionou condições financeiras para me dedicar a minha pesquisa, agradeço também.

Meu agradecimento especial ao meu esposo Paulo Sergio e ao meu filho Paulo Eduardo que por muitas vezes suportaram a minha ausência, tiveram a paciência para entender minhas aflições e acima de tudo sempre me motivaram a continuar essa árdua caminhada.

RESUMO

OLIVEIRA, Marilucia Silveira. **Utilização de resíduos de *Pinus* spp. na produção de blocos de concreto para alvenaria de vedação.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Este trabalho teve como objetivo pesquisar a utilização de resíduos de madeira de *Pinus* spp., como agregado lignocelulósico, em substituição ao agregado miúdo mineral na produção de compósitos cimento-madeira que serviram de base para a produção de blocos de concreto. A pesquisa foi dividida em duas etapas, sendo realizada primeiramente a produção de compósitos cimento-madeira e em seguida a produção de blocos de concreto. Na primeira etapa foram produzidos 15 corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm para nove traços de concreto, utilizando-se sistema de vibro compressão, variando o teor de substituição de agregado miúdo mineral pelo equivalente, em volume, de resíduo de madeira de *Pinus* spp. Foram avaliadas as características físicas e mecânicas, resistência à compressão, massa específica, absorção de água e índice de vazios, dos conjuntos de amostras. A segunda etapa constituiu-se na avaliação da proporção de substituição do resíduo de madeira, bem como, análise do traço mais favorável para as misturas de modo a alcançar a resistência à compressão aos 28 dias de 3,0 MPa, especificada pela NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos classe C com ou sem função estrutural, baseadas nos resultados alcançados na primeira etapa, finalizando com a produção de 24 blocos de concreto medindo 14 x 19 x 39 cm no traço 1:8 com 25,0 % de substituição de resíduo de madeira, sendo 12 blocos para referência, sem a utilização de resíduos, e 12 blocos com a utilização do resíduo de madeira. Foram realizados os ensaios de resistência à compressão, massa específica, absorção de água, índice de vazios, análise dimensional e área líquida. Os resultados mostraram que os blocos de concreto produzidos com os resíduos de madeira, na proporção estudada, tanto atenderam aos requisitos normativos, quanto apresentaram redução de 11,0 % na massa específica em comparação com os blocos produzidos sem o resíduo de madeira, e ainda forneceram uma relação cimento: madeira de 15,0 %. Esses resultados indicam a viabilidade da utilização de resíduos de madeira na produção de blocos de concreto, classe C, para alvenaria com ou sem função estrutural.

Palavras-chave: Alvenaria de vedação. Blocos de concreto. Compósitos cimento-madeira. Resíduos de *Pinus* spp.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Marilucia Silveira. **Use of *Pinus* spp. residues in the production of concrete blocks for sealing masonry.** 2019. Dissertation (Master in Civil Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2019.

The objective of this work was to investigate the use of *Pinus* wood spp. residues, as lignocellulosic aggregate, in substitution of the mineral aggregate in the production of cement-wood composites that served as the basis for the production of concrete blocks. The research was divided into two stages, firstly the production of cement-wood composites and then the production of concrete blocks. In the first, 15 5x10 cm cylindrical specimens were produced for nine concrete traces, using a vibration compression system, varying the substitution content of mineral aggregate by the equivalent volume of *Pinus* wood spp. The physical and mechanical characteristics, compressive strength, specific mass, water absorption and voids index of the sample sets were evaluated. A second step consisted in the evaluation of the replacement adaptation of the wood residue, as well as in the analysis of the most favorable trace for the mixtures in order to reach the compression strength at 28 days of 3,0 MPa, compiled by NBR 6136 (ABNT, 2016) for class C blocks with or without structural function, based on the results achieved in the first stage, ending with the production of 24 concrete blocks measuring 14 x 19 x 39 cm in line 1: 8 with 25,0% conversion wood waste, 12 reference blocks, without waste, and 12 blocks with waste wood. The tests of resistance to compression, specific mass, water absorption, voids index, dimensional analysis and liquid area were carried out. The induced results that the concrete blocks obtain with the wood residues, in the studied composition, meet the normative requirements, as well as the reduction of 11,0% in the specific mass in comparison with the blocks collected from the wood residue, and still provided a cement: wood proportion of 15,0%. These results indicate the viability of using wood waste in the production of concrete blocks, class C, for masonry with or without structural function.

Keywords: Sealing masonry. Concrete blocks. Cement-wood composites. *Pinus* spp.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Máquina de vibro compressão	4545
Figura 2 - Dimensões dos blocos de concreto	48
Figura 3 - Fluxograma do procedimento experimental adotado.....	52
Figura 4 - Curva granulométrica do agregado miúdo.....	55
Figura 5 - Curva granulométrica do agregado graúdo.....	56
Figura 6 - Resíduos de pínus spp.....	57
Figura 7 - Curva granulométrica do resíduo de pínus spp.....	58
Figura 8 - Imagens de MEV de amostras do resíduo de pínus spp.....	59
Figura 9 - Planejamento experimental fracionado.....	69
Figura 10 - Equipamento utilizado na moldagem dos corpos de prova cilíndricos.....	72
Figura 11 - Gráfico das massas específicas dos corpos de prova cilíndricos e dos bloco de concreto.....	80
Figura 12 - Gráfico dos valores médios de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos.....	82
Figura 13 - Superfície de resposta demonstrando a variação da resistência à compressão em função da substituição do resíduo de madeira.....	84
Figura 14 - Superfície de resposta demonstrando a variação da absorção em função da substituição do resíduos de madeira.....	88
Figura 15 – Gráfico dos valores médios dos índices de vazios dos corpos de prova cilíndricos.....	89
Figura 16 – Superfície de resposta demonstrando a variação do índice de vazios em função da substituição do resíduo de madeira.....	92
Figura 17 - Superfície de resposta demonstrando a variação da massa específica em função da substituição do resíduo de madeira.....	95
Figura 18 – Equipamento utilizado e blocos de concreto produzidos.....	99
Figura 19 – Gráfico dos valores médios das resistências à compressão dos blocos de concreto.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de composição do cimento Portland	35
Tabela 2 - Composição química da madeira	37
Tabela 3 - Dimensões nominais dos blocos de concreto.....	48
Tabela 4 - Designação por classe, largura e espessura mínima das paredes dos blocos de concreto.....	49
Tabela 5 - Requisitos físicos e mecânicos dos blocos de concreto.....	50
Tabela 6 - Características do cimento Portland CPV-ARI.....	53
Tabela 7 - Características físicas do agregado miúdo	55
Tabela 8 - Características físicas do agregado graúdo	56
Tabela 9 - Características físicas do resíduo de pínus spp.....	58
Tabela 10 - Características do aditivo superplastificante	60
Tabela 11 - Características do aditivo acelerador de pega.....	60
Tabela 12 - Massas unitárias compactadas para as combinações dos agregados...67	
Tabela 13 - Quantitativos de materiais para os traços-piloto em massa	68
Tabela 14 - Planejamento experimental fatorial fracionado	69
Tabela 15 - Quantitativo de materiais para a produção dos corpos de prova cilíndricos	72
Tabela 16 - Modelagem para definição dos traços.....	74
Tabela 17 - Primeira avaliação de traços mediante modelagem.....	75
Tabela 18 - Segunda avaliação de traços mediante modelagem.....	75
Tabela 19 - Massas unitárias compactadas para as combinações dos agregados.....78	
Tabela 20 - Massa específica dos blocos de concreto, sem madeira, para definição do tempo de moldagem.....	78
Tabela 21 - Massa específica dos corpo de prova cilíndricos para validação do tempo de moldagem.....	79
Tabela 22 - Valores médios de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos.....	81
Tabela 23 - Análise de variância para o ensaio de resistência à compressão.....	83
Tabela 24 - Parâmetros estatísticos do modelo de regressão para a resistência à compressão.....	83
Tabela 25 - Análise de variância do modelo de regressão para a resistência à compressão.....	84
Tabela 26 - Valores médios da absorção dos corpos de prova cilíndricos.....	85
Tabela 27 - Análise de variância para o ensaios de absorção.....	86
Tabela 28 - Parâmetros estatísticos do modelo de regressão para a absorção.....	87
Tabela 29 - Análise da variância do modelo de regressão para a absorção.....	87
Tabela 30 - Valores médios dos índices de vazios dos corpos de prova cilíndricos.....	89
Tabela 31 - Análise de variância para o índice de vazios.....	90
Tabela 32 - Parâmetros estatísticos do modelo de regressão para o índice de vazios.....	91

Tabela 33 - Análise de variância do modelo de regressão o índices de vazios.....	91
Tabela 34 - Valores médios das massas específicas dos corpos de prova cilíndricos.....	93
Tabela 35 - Análise de variância para a massa específica.....	94
Tabela 36 - Parâmetros estatísticos do modelo de regressão para a massa específica.....	94
Tabela 37 - Análise de variância do modelo de regressão para a massa específica.....	95
Tabela 38 - Parâmetros produtivos para os blocos baseados na modelagem.....	96
Tabela 39 - Média das resistências à compressão dos blocos protótipos.....	97
Tabela 40 - Parâmetros produtivos baseados na segunda modelagem.....	98
Tabela 41 - Média das resistências à compressão dos blocos protótipos.....	98
Tabela 42 - Características físicas dos blocos de concreto.....	99
Tabela 43 - Resistência à compressão dos blocos de concreto.....	100
Tabela 44 - Características geométricas dos blocos de concreto.....	102
Tabela 45 - Valores médios das resistências à compressão dos blocos de concreto.....	103
Tabela 46 - Análise de variância para a resistência à compressão dos blocos de concreto.....	104
Tabela 47 - Custos dos blocos de concreto.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

ABRAINCO – Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias

Al_2O_3 - Óxido de Alumínio

ANOVA – Análise de variância

ASTM – American Society for Testing and Materials

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – Cloreto de Cálcio Bi-hidratado

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ – Hidróxido de Cálcio

CaO – Óxido de Cálcio

CBPB - Cement Bonded Particle Boards

CBVC – Compósito Biomassa Vegetal-Cimento

CCM – Compósito Cimento-Madeira

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

cm^3 – centímetro cúbico

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CWPB – Cement Wood Particle Board

DNPM – Departamento Nacional de Pesquisa Mineral

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETA – Estação de Tratamento de Água

Fe_2O_3 – Óxido de Ferro

FJP – Fundação João Pinheiro

g – Grama

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPA – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia

kg – Kilograma

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

MPa - Megapascal

NBR – Norma Brasileira

PIB – Produto Interno Bruto

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio

RMN – Ressonância Magnética Nuclear

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SBPC – Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência

SiO₂ - Dióxido de Silício

SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development

WWF - Fundo Mundial para a Natureza

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	16
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	17
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	17
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 QUESTÕES AMBIENTAIS	19
2.1.1 Economia circular	19
2.1.2 Indústria Madeireira	20
2.1.3 Extração de areia.....	23
2.1.4 Produção de cimento	24
2.2 COMPÓSITOS.....	26
2.2.1 Compósitos cimento-madeira	27
2.2.2 Componentes dos compósitos cimento-madeira	33
2.2.2.1 Cimento Portland	33
2.2.2.2 Madeira – <i>Pinus</i> spp.	35
2.2.3 Compatibilidade do cimento com a madeira	36
2.2.4 Tratamentos para melhorar a compatibilidade do cimento com madeira.....	38
2.3 BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA	41
2.3.1 Materiais constituintes dos blocos de concreto.....	41
2.3.2 Produção dos blocos de concreto.....	43
2.3.2.1 Dosagem.....	43
2.3.2.2 Equipamentos	44
2.3.2.3 Cura	45
2.3.3 Classificação dos blocos de concreto	47
2.3.4 Nomenclatura e dimensões dos blocos de concreto.....	48
2.3.5 Requisitos físicos e mecânicos dos blocos de concreto	49
3.MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1 MATERIAIS.....	53
3.1.1 Cimento Portland	53
3.1.2 Agregado Miúdo.....	54
3.1.3 Agregado Graúdo	55
3.1.4 Resíduo de <i>Pinus</i> spp.	57
3.1.5 Água de Amassamento.....	59
3.1.6 Aditivos Químicos	60

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	60
3.2.1 Distribuição Granulométrica.....	60
3.2.1.1 Agregados Naturais	60
3.2.1.2 Resíduo de <i>Pinus</i> spp.	61
3.2.2 Massa Específica.....	61
3.2.2.1 Agregado Miúdo.....	61
3.2.2.2 Agregado Graúdo.....	62
3.2.2.3 Resíduo de <i>Pinus</i> spp.	63
3.2.3 Massa Unitária Solta.....	63
3.2.4 Massa Unitária Compactada.....	64
3.2.5 Absorção de água dos agregados	65
3.2.5.1 Agregado Miúdo.....	65
3.2.5.2 Agregado Graúdo.....	65
3.2.5.3 Resíduo de <i>Pinus</i> spp.	65
3.2.6 Teor de Umidade dos agregados.....	66
3.3 OTIMIZAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE OS AGREGADOS	67
3.4 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS-PILOTO.....	68
3.5 PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	71
3.6 PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO	74
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	76
4.DISSCUSSÕES E RESULTADOS	77
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	77
4.2 PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	77
4.3 PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO	96
5.CONCLUSÕES	107
REFERÊNCIAS.....	109

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da sociedade humana, aliado ao elevado consumismo da população atual e a avidez do sistema comercial, destacado em vários estudos (ASSADOURIAN, 2010; MEDEIROS, 2015; ALVES, 2015) vêm acarretando uma busca crescente e inexorável pelos mais diversos tipos de produtos, com o objetivo de satisfazer os desejos e as necessidades inesgotáveis do homem (LATOUCHE, 2009), que se elenca no principal consumidor de recursos naturais, sendo inclusive, em determinadas situações, responsável pela utilização predatória do meio ambiente protagonizando os principais desastres ambientais no Brasil e no mundo (GONÇALVES, 2017). Em vista disso, depreende-se que embora exista uma crescente preocupação com o meio ambiente, a mesma surgiu tardiamente, pois a história traz à atenção os resultados adversos da falta de responsabilidade ambiental e social de alguns segmentos industriais, tais como o envenenamento das águas em Minamata no Japão em 1956, os desastres químicos de Bhopal na Índia 1984-2002 e em Seveso na Itália em 1976 e, ainda, a explosão da usina de Chernobyl na Ucrânia em 1986 (GREENPEACE, 2018; WWF, 2018).

Diversos são os impactos ambientais acarretados pela ação do homem, por estarem relacionados diretamente a este trabalho, são citados: a produção de resíduos na cadeia produtiva focada na indústria madeireira e os impactos da extração de minerais como a areia.

Impactos ambientais negativos são gerados pela indústria madeireira, como o desmatamento e a geração de resíduos. Com relação ao desmatamento o potencial é considerável tendo em vista as grandes áreas de plantio, em 2010 a área ocupada por plantios florestais de Eucaliptos e Pinus no Brasil, por exemplo, totalizou 6.510.693 hectares, representando 93 % do total de área ocupada por plantios florestais no país (ABRAF, 2011). A geração de resíduos do setor também é preocupante, uma vez que, o mesmo é carente de tecnologias para o desenvolvimento pleno da atividade, apresentando um potencial de geração de resíduos que pode chegar a 133 milhões de metros cúbicos com base no índice de aproveitamento no processamento industrial de trinta a cinquenta por cento (INPA, 2015).

Outra atividade causadora de impactos ambientais diz respeito à extração mineral. O Brasil se destaca como um dos maiores produtores e exportadores de

minérios do mundo, produzindo 72 substâncias minerais (ARAUJO et al., 2014). Embora sejam de grande relevância econômica, as atividades relacionadas à extração mineral são causadoras de grandes impactos ambientais e sociais, como por exemplo a extração de areia que gera impactos associados às diversas fases de implantação do empreendimento, desde a abertura das cavas até o transporte e beneficiamento do minério (SANTOS, 2015).

Embora impactantes essas atividades são primordiais para suprir as necessidades humanas básicas. Maslow (1940), por meio de um estudo que ficou conhecido como Pirâmide de Maslow, indica quais devem ser as prioridades acerca dessas necessidades e de forma hierárquica apresenta a moradia como base dessa pirâmide, porém, em muitos países essa necessidade não vem sendo suprida de forma satisfatória como é o caso do Brasil, onde o déficit habitacional é de 6.355.743 unidades (FJP, 2018). A fim de suprir essa necessidade, o setor da construção se apresenta como um potencial consumidor dos recursos naturais, havendo uma relação direta entre esse consumo e os impactos por ele gerados (ABRAINCO, 2018).

Nas últimas décadas a construção civil vem se empenhando em adotar o conceito de desenvolvimento sustentável, tanto no seu processo produtivo fazendo uso de técnicas de redução de desperdício, bem como na utilização de produtos de reaproveitamento e reciclagem. Neste âmbito vem sendo desenvolvidos diversos estudos inovadores utilizando como matéria-prima agregados reciclados, fibras naturais, resíduos de fibras têxteis, resíduos da indústria madeireira (IZQUIERDO et al., 2017); (MATOSKI e RIBEIRO, 2016); (VILLAS-BÔAS, 2016); (BRIGA-SÁ et al., 2013), (LIMA, 2009); (MATOSKI, 2005); (DANTAS FILHO, 2004).

Entretanto, sabendo-se que é possível utilizar resíduos da indústria madeireira para a produção de blocos de concreto, buscando alcançar maior sustentabilidade, cabe analisar qual é a proporção ideal entre o resíduo e os demais materiais constituintes do bloco de concreto para que haja uma redução de sua densidade sem alterar suas características físicas e mecânicas delineadas pelas normas da ABNT (NBR 12118, 2014; NBR 9778, 2009).

A resposta satisfatória a este questionamento deve permitir o desenvolvimento de um produto mais sustentável, utilizando resíduos da indústria madeireira e economizando recursos naturais, com foco na produção de blocos mais leves proporcionando facilidades no manuseio o que poderá acarretar em aumento da

produtividade na execução das alvenarias de vedação, bem como redução nos custos de produção dos blocos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a utilização de resíduos de *pinus* spp. na produção de blocos de concreto para alvenaria de vedação, atendendo os requisitos normativos delineados para os ensaios específicos, bem como, para a aceitação do produto final.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Definir a proporcionalidade das misturas cimento/ resíduos de madeira/ agregado miúdo/ agregado graúdo/ aditivos;
- Analisar os efeitos da substituição do agregado miúdo convencional pelo resíduo de *pinus* spp. nos blocos de concreto;
- Analisar as características físicas e mecânicas do material proposto, em comparação com o bloco de concreto convencional para alvenaria de vedação

1.2 JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil, no Brasil, apresenta um potencial de crescimento corroborado pelo déficit habitacional de pouco mais de seis milhões de unidades, segundo estudo elaborado pela Fundação João Pinheiro (FJP, 2018), com base nos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios elaboradas pelo Instituto de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), porém essa atividade é grande consumidora de recursos naturais, o que acaba acarretando diversos impactos ambientais incluindo o

seu próprio esgotamento. As substituições dos agregados naturais por materiais alternativos, como os resíduos de madeira, têm-se mostrado eficientes e ambientalmente promissoras, face à sua grande geração em comparação com sua reutilização o que provoca um desequilíbrio prejudicial ao meio ambiente. Tal efeito pode ser amenizado se for possível a utilização desses resíduos dentro de outras atividades como o que é proposto neste estudo.

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO

A preocupação com o meio ambiente permeia todos os segmentos da sociedade e não é diferente no setor da construção civil, visto que esta atividade se torna uma grande usuária dos recursos naturais que são finitos, em vista disso se faz necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que permitam um crescimento sustentável, buscando novas formas de produção focando no não desperdício e também no desenvolvimento de materiais sustentáveis.

A utilização de resíduos no desenvolvimento de materiais para a construção vem sendo amplamente estudado, por exemplo, os resíduos têxteis utilizados como solução alternativa de materiais para isolamento térmico (BRIGA-SÁ et al., 2013), resíduos agrícolas como ingredientes de materiais de construção (MADURWAR et al., 2013), resíduos de fábricas de algodão e reciclagem de papel para blocos de concreto (RAIPUT et al., 2012).

Os resíduos da indústria madeireira têm sido amplamente estudados e os resultados mostram que sua utilização proporciona materiais com características semelhantes à dos materiais convencionais, porém alterações nas variáveis de estudo, por exemplo no tamanho das partículas da madeira utilizada nas substituições, influenciam diretamente nos resultados (CASTRO et al., 2018). Portanto, por existir uma grande possibilidade de combinações que podem ser estudadas, entre elas o tamanho das partículas do resíduo, espécie de madeira utilizada, tratamentos a que o resíduo pode ser submetido, tipos do cimento utilizado na mistura, tipos de agregados, bem como os produtos finais a serem produzidos (painéis, blocos de concreto, argamassas, etc.), este ainda é um campo fértil de exploração científica.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Os materiais utilizados foram resíduos de *pinus* spp. processados industrialmente e com baixa granulometria, cimento Portland CPV – ARI, areia natural, brita 0, água potável e aditivos. Os ensaios de caracterização dos materiais, a produção dos corpos de prova cilíndricos e dos blocos de concreto, bem como todos os procedimentos realizados nesta pesquisa foram desenvolvidos nos laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

O método científico utilizado foi hipotético dedutivo realizando uma pesquisa experimental com a produção de corpos de prova cilíndricos com traços pré-determinados baseados no método da ABCP para a determinação da equação balizadora do traço ideal alcançando a melhor proporcionalidade das misturas para posterior fabricação dos blocos e seus respectivos ensaios. O estudo foi determinado com auxílio de análise multivariada usando regressão múltipla, metodologia de superfície de resposta e análise de variância (ANOVA).

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos:

O capítulo 1 apresenta uma introdução ao tema estudado, descreve o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa, bem como as justificativas, contextualização, delimitação da pesquisa e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 abrange uma revisão da literatura acerca dos temas pertinentes como: questões ambientais envolvendo economia circular, indústria madeireira e extração de areia; compósitos, compósitos cimento-madeira e materiais constituintes, interação do cimento com a madeira; blocos de concreto, materiais empregados na produção, bem como sua classificação, nomenclatura e requisitos físicos e mecânicos.

No capítulo 3 é apresentado o procedimento experimental usado no trabalho, sendo descritos os materiais utilizados e a metodologia proposta.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados e as discussões acerca dos ensaios propostos.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões obtidas com a pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 QUESTÕES AMBIENTAIS

2.1.1 Economia circular

O modelo de negócios praticado pelo mercado global, baseado na economia linear onde os produtos são projetados com base num ciclo de vida finito, está se mostrando cada vez mais inviável tendo em vista que os recursos produtivos são finitos, podendo levar ao esgotamento dos mesmos. Em contrapartida, a economia circular baseia-se na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia, substituindo a visão de fim de vida dos produtos da economia linear por fluxos circulares de reutilização, restauração e renovação, num processo integrado, onde o resíduo de um setor torna-se matéria-prima para outro segmento. Essa nova visão sobre economia torna-se, portanto, um elemento chave para promover a ruptura do conceito de que o crescimento econômico só é alcançado necessariamente com o aumento da exploração dos recursos (MONTEIRO, 2018).

Baseada em princípios simples, a economia circular visa conceber os produtos de forma a serem reaproveitados quando alcançarem o final de sua capacidade de utilização para o qual foram projetados, podendo ser reutilizados total ou em partes num outro processo ou produto, nessa concepção o desperdício não existe, pois os produtos são projetados e otimizados para um ciclo de desmontagem e reutilização (ELLEN MAC ARTHUR FOUNDATION, 2012).

Um estudo desenvolvido pela fundação Ellen MacArthur Foundation, do Reino Unido, em 2012, com empresas que utilizam o modelo de negócios baseado na economia circular mostrou que apesar de haver a necessidade de alguns ajustes no design dos produtos, no modelo de negócios, nos processos de ciclo reverso e em fatores capacitadores, o sistema de economia circular traz resultados positivos podendo gerar melhorias significativas na produtividade do material bem como, promover lucros maiores aos fabricantes.

2.1.2 Indústria Madeireira

Segmento importante da economia brasileira, a indústria madeireira é responsável por 1,1 % do PIB (produto interno bruto) nacional e 6,1 % do PIB industrial, apresentando uma receita bruta de R\$ 73,8 bilhões, arrecadação de tributos de R\$ 11,5 bilhões representando 0,9 % da arrecadação nacional e promovendo uma geração de empregos diretos e indiretos da ordem de 3,7 milhões, foram ainda aplicados mais R\$ 497 milhões em programa socioambientais que beneficiaram 1,2 milhões de pessoas, conforme divulgado no sumário executivo do Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ, 2018).

A atividade de transformação da madeira, matéria-prima, em bens de consumo resulta em produtos como compensados, laminados, madeira serrada, madeira tratada, painéis de fibras, painéis de partículas, brinquedos, lenha, móveis etc.; podendo ser classificados em cinco principais segmentos econômicos, de acordo com o CNAE (classificação nacional de atividades econômicas), sendo:

- Atividades de apoio à produção florestal (serviços de abate, derrubada e transporte de toras, avaliação de madeira, dendrometria, descarregamento de madeira e serviços ligados a silvicultura e exploração vegetal);
- Desdobramento de madeira (produção de assoalhos, pisos, dormentes, tábuas, forros, tacos, postes de madeira e beneficiamento de madeira serrada);
- Produção florestal - florestas nativas (extração, derrubada, coleta, produção de carvão e beneficiamento);
- Produção florestal - florestas plantadas (cultivo, produção de mudas, cascas, folhas e resinas, extração, derrubada e reflorestamento com abate de árvores);
- Produção moveleira (fabricação de móveis com predominância de madeira).

O setor florestal brasileiro apresenta-se como fornecedor de energia ou matéria prima para a indústria da construção civil e da transformação, está entre os principais detentores de recursos florestais abundante sendo o único que possui extensa área de florestas tropicais (SNIF, 2016).

A quantidade de madeira total extraída em 2015 foi de 267.696.429 m³ sendo que 82,9 % (221.920.339,64 m³) teve como origem as florestas plantadas, segundo o boletim do sistema nacional de informações florestais (SNIF), documento baseado nos dados divulgados pela pesquisa nacional por amostra de domicílio (IBGE, 2015), que fez uma análise de temas relacionados a produção florestal brasileira envolvendo os processos de extração, produção, comércio, emprego e certificação florestal. O mesmo documento relata, ainda, que do total de madeira extraída naquele ano, 131.419.761 m³ foram madeira para combustível e 136.267.668 m³ para uso industrial. Os dados apresentados indicam o grande potencial de geração de resíduos promovidos por esse setor podendo chegar próximo a 133 milhões de metros cúbicos, conforme índice de aproveitamento no processamento industrial divulgado pelo instituto nacional de pesquisas da Amazônia (INPA, 2015).

Entre as espécies cultivadas no Brasil, encontram-se o Eucalipto e o Pinus representando 93,4 % do total de área ocupada por plantios florestais e 6,6 % são ocupadas por espécies não convencionais, como Acácia, Teca, Araucária, Pópulus, Seringueira e Paricá. Segundo o anuário estatístico de 2011 da ABRAF (associação brasileira de produtores de florestas plantadas), o plantio de Eucalipto supera o plantio de Pinus, representando 73,0 % do total. Com relação à distribuição geográfica, o anuário mostra que a cultura do Pínus predomina na região sul do país concentrando 79,8 % do total cultivado, enquanto nas demais regiões o plantio de Eucalipto é o predominante sendo que 55,8 % concentra-se na região sudeste (ABRAF, 2011).

Existem cerca de 700 espécies de Eucaliptos ao redor do mundo, no Brasil algumas espécies são mais comuns, como:

- *Eucalipto Cloeziana* – Com densidade mais elevada que as outras espécies, o que a torna uma madeira mais resistente, é considerada a espécie mais indicada para a construção civil. Encontrado no estado de Minas Gerais;
- *Eucalipto Grandis* – Bastante utilizado como matéria-prima para serraria e laminação por ser leve e de fácil manuseio, também é considerado como a principal fonte de papel e celulose. Encontrado no estado de São Paulo;

- *Eucalipto Citriodora (corymbia citriodora)* – Conhecido como “eucalipto-limão” ou “eucalipto cheiroso”, comercializado como óleo de eucalipto citriodora como substituto do óleo essencial de citronela, utilizado também para a fabricação de móveis, mourões, biomassa combustível (lenha e carvão) e produção de desinfetantes. Encontrado nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco e Maranhão;
- *Eucalipto Saligna* – É uma das espécies mais plantadas para fins de reflorestamento, utilizado para usinagem por ser uma madeira fácil de ser trabalhada e de bom acabamento, produção de caibros, vigas, postes, assoalhos, embalagens, mobiliários, etc. Encontrado nos estados de Minas gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Santa Catarina (MADEIREIRA CASCATINHA, 2018).

O Pinus também é amplamente cultivado em nosso país, não havendo ocorrência natural desta espécie por ser originária dos continentes da Europa, Ásia, América do Norte e América Central. O gênero pinus apresenta cerca de 105 espécies identificadas, sendo que as mais cultivadas em território brasileiro são:

- *Pinus taeda* – Esta espécie é tolerante a terrenos úmidos e por possuir características ornamentais é cultivada na arborização, também são utilizadas na construção de barcos, postes, dormentes e construção civil. Encontrado nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul;
- *Pinus elliotti* – Também conhecido como *pinheiro* e *pinheiro-americano*, essa espécie é muito utilizada na arborização urbana e decorativa, na construção civil, fabricação de compensados, laminados, fabricação de móveis e na indústria química, sendo a resina usada para a produção de breu e terebentina para a elaboração de tintas e vernizes, esmaltes, ceras, adesivos, isolantes térmicos, vedantes para madeira, reagentes químicos, etc. Encontrado nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo e Mato Grosso do Sul.

- *Pinus caribaea* – Espécie originária da América Central, possui três variedades *hondurensis*, *bahamensis* e *caribaea*, sendo a variedade *hondurensis* a mais cultivada no Brasil. Sua madeira possui densidade de moderada a baixa, porém é amplamente utilizada, principalmente, para a exploração comercial de sua resina cuja capacidade produtiva torna esse segmento viável. Encontrado principalmente nas regiões sudeste e Centro-Oeste.

Além dessas espécies, se destacam pela qualidade e quantidade de áreas plantadas no Brasil, a *camadulensys*, *viminialis* e *dunii*, do gênero Eucalipto, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii* do gênero *Pinus*.

Para esta pesquisa foram utilizados pinus das espécies *Taeda* e *Elliotti*, ambos processados industrialmente pela empresa INBRASFAMA® - Indústria Brasileira de Farinha de Madeira e transformados em serragem (farinha de madeira), não havendo separação entre as espécies, tratamento ou alteração na granulometria, sendo introduzidos nos ensaios conforme fornecidos comercialmente.

2.1.3 Extração de areia

A areia é um dos minerais mais explorados do mundo, cerca de 40 a 50 bilhões de toneladas desse recurso natural são extraídas por ano, porém o consumo de areia é maior que a quantidade produzida, o ritmo acelerado de seu consumo provoca um potencial desequilíbrio, sendo que o consumo se torna maior do que a capacidade natural de renovação do recurso (BBC NEWS, 2019; ONU NEWS, 2019). No Brasil, as extrações de areia para a utilização na construção civil estão entre as principais extrações minerais realizadas, são extraídas de leitos de rios, planícies fluviais, cobertura sedimentar com acumulações arenosas e depósitos arenosos de acumulação das planícies lagunares (SANTOS, 2015). O sumário mineral de 2017, publicado pela agência nacional de mineração, mostrou que a produção beneficiada da areia para construção naquele ano foi de aproximadamente 313 milhões de toneladas (ANM, 2018).

Aspectos ambientais importantes estão envolvidos na extração de areia, no caso das extrações que acontecem em leitos de rios podem ser citados, aumento de poluição e inundações, diminuição de aquíferos e agravamento da seca, redução da distribuição e de depósitos de sedimento dos rios podendo causar erosão. Outra prática impactante é a extração de areia de praias, além dos impactos aos ecossistemas, a remoção de areia das praias pode trazer prejuízos de aspectos econômico-sociais podendo afetar o turismo e a economia local em sua maioria dependente do turismo e coleta de crustáceos como o caranguejo que tem sua população severamente diminuída (ONU NEWS, 2019).

Apesar de parecer abundante, a areia está na lista dos recursos naturais que podem sofrer escassez, pois, juntamente com o cascalho, a areia é o segundo maior recurso natural extraído e comercializado do mundo, ficando atrás somente da água que ocupa o primeiro lugar em exploração, portanto, é relevante a preocupação com a possibilidade de falta deste recurso num futuro breve, visto que sua renovação ocorre em ritmo mais lento do que sua extração (ONU NEWS, 2019). No Brasil esse fato já ocorre nas regiões metropolitanas mais importantes do país como Rio de Janeiro e São Paulo (ANM, 2018).

2.1.4 Produção de cimento

O cimento está presente nas mais diversas espécies de construções desde a mais simples à mais sofisticada obra de engenharia, por ser o principal constituinte do concreto, o cimento é um dos materiais mais consumidos do mundo, a capacidade produtiva da indústria cimenteira mundial pode alcançar bem mais de 1 milhão de toneladas por ano, demandando cerca de 60 a 130 quilogramas de óleo combustível e 110 KWh de energia elétrica para a produção de cada tonelada, apresentando o grande potencial desta indústria como consumidora de recursos naturais mostrando-se responsável por 5 % da emissão global de CO₂ produzidos pelo homem, sendo este um dos principais gases do efeito estufa (WBCSD, 2016).

Apesar de ser altamente poluidora, o desenvolvimento de processos produtivos sustentáveis, vem contribuindo para amenizar as emissões de CO₂, desde 1990 as indústrias cimenteiras, que até então utilizavam apenas combustíveis convencionais

como óleo, carvão, gás ou coque de petróleo, procuraram desenvolver métodos produtivos mais sustentáveis utilizando combustíveis alternativos derivados de cascas de arroz, combustíveis recuperados de rejeitos e solventes usados de outras indústrias, mostrando ser opções menos onerosas no âmbito econômico e ambiental, uma vez que a utilização desses combustíveis alternativos refletem em reduções nas emissões de CO₂ derivados do processo produtivo. Segundo o relatório do Conselho Mundial de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável de 2016, no ano de 1990 o combustível convencional foi utilizado para a produção de 85 % do clínquer obtido nas indústrias cimenteiras e em 2014 esse número foi reduzido para 23 % da produção total, contribuindo para uma redução de 35 % do total das emissões até então geradas (WBCSD, 2016).

Além dos impactos ambientais presentes na produção do cimento, os danos à saúde dos trabalhadores e de moradores dos arredores das plantas fabris também devem ser destacados. Apesar do setor estar buscando o desenvolvimento sustentável, com a inserção de novas técnicas produtivas e de equipamentos capazes de mitigar os problemas advindos do efeitos dos gases poluentes, algumas fábricas ainda causam muitos danos à saúde da comunidade a qual estão inseridos, principalmente pelo alto nível de materiais particulados emitidos, danos esses que envolvem doenças pulmonares graves, além da irritação dos olhos, ouvidos e fossas nasais.

Um estudo desenvolvido na Universidade de Brasília em 2012, analisou os dados das medições de três estações de monitoramento da qualidade do ar, numa região do Distrito Federal, onde estão localizadas duas grandes fábricas de cimento, os dados revelaram padrões de emissões de material particulado muito acima do aceitável delimitado pela Resolução CONAMA N° 3/90 (MMA, 1990) de 240 µg/m³ por um período de 24 horas, sendo que as estações apresentaram 762,63 µg/m³, 1208,73 µg/m³, e 1075,98 µg/m³. A comunidade local é amplamente afetada pelas altas concentrações do material particulado, uma vez que a poeira lançada se deposita em camadas espessas pelas ruas, casas e em toda a vegetação ao redor, causando problemas graves no sistema respiratório ocasionando renite, sinusite, bronquite e falta de ar (MAURY et al., 2012).

2.2 COMPÓSITOS

Compósito são materiais multicomponente que compreendem vários domínios de fase diferentes em que pelo menos um tipo de domínio de fase é uma fase contínua, chamada de matriz, que consiste em uma mistura heterogênea dentro do limite do domínio da fase. Domínio de fase é a região em que um material é uniforme em composição química e estado físico. As fases de um compósito podem ser líquidas ou sólidas. Os compósitos podem ser de matriz polimérica, matriz cerâmica, matriz de metal, ou ainda de matriz cimentícia (WORK et al., 2004).

Por se tratar de uma mistura de materiais distintos, o produto resultante pode apresentar tanto combinações das propriedades dos materiais originais quanto características próprias, distintas dos mesmos (VILLAS-BÔAS, 2016). Tendo em vista que as propriedades podem ser potencializadas, diversos materiais compósitos se destacam por conseguir resistência elevada e maior rigidez, obtendo ainda, um grande diferencial por apresentar menores massas específicas ao ser comparado com estruturas convencionais (HAMOUDA et al., 2015) porém, para algumas combinações pode haver diminuição nas resistências mecânicas à medida que determinado material é acrescentado no compósito, como o caso das fibras de madeira associadas à argila em compósitos argila-cimento-madeira, contudo apresentando resultados positivos relativos à condutividade térmica e redução de massa específica (RIM et al., 1999).

Por serem materiais heterogêneos, os compósitos possuem suas propriedades de acordo com a proporcionalidade dos seus componentes e de suas características inerentes, sendo primordial a análise das propriedades físico-mecânicas do compósito a fim de conhecer corretamente o produto final para determinar com eficiência sua aplicabilidade (MARTINS, 2002). A vantagem da mistura de materiais reside na capacidade de combinar materiais existentes em novas composições e desta forma obter materiais com propriedades específicas, além de frequentemente estar presente nestes novos compósitos, os materiais provenientes de descarte, por meio de reciclagem, o que apresenta vantagem econômica e ambiental uma vez que se apresenta como solução inteligente para a utilização do “lixo” (COELHO, 2012).

2.2.1 Compósitos cimento-madeira

A utilização de fibras vegetais, tais como madeira e resíduos da agroindústria na produção de compósitos cimento-madeira é uma prática relativamente antiga, havendo relatos de sua utilização em 1908 na Áustria, porém sua produção em escala industrial se intensificou a partir da segunda guerra mundial tendo em vista que os materiais convencionais, madeira e metal, se tornaram estratégicos e tiveram seu uso limitado (IWAKIRI, 2005). A produção de compósitos utilizando fibras orgânicas se intensificou após a constatação de que o amianto, elemento amplamente utilizados até então nos compósito de fibrocimento, era prejudicial à saúde (MOSLEMI, 1999). Países como Suíça, Alemanha e Japão, utilizam amplamente os painéis de cimento-madeira por apresentarem propriedades importantes como isolamento térmico, resistência ao fogo, resistências mecânicas e estabilidade dimensional, ampliando suas aplicações tanto para ambientes internos quanto externos (LIMA, 2009). No Iraque, onde as condições climáticas são extremas, com inverno extremamente frio e verão intensamente quente, o uso de materiais como o cimento Portland comum, areia natural e serragem é tradicional. Esses materiais raramente são utilizados como componentes híbridos, porém estão sendo cada vez mais estudados principalmente para incorporar em construções especiais onde é primordial atender as necessidades de adaptação aos efeitos climáticos, como em abrigos e laboratórios privados (HAFED, 2017).

Os compósitos cimento-madeira também são conhecidos como compósito biomassa vegetal-cimento (CBVC) ou cement wood particleboard (CWPB), podem ser utilizados para diversas aplicações visto que suas características são diversas, como disponibilidade de matéria-prima renovável, o que possibilita o aproveitamento de resíduos, boa resistência a agentes deterioradores, facilidade de moldagem, transporte, corte, ligações, resistência a impactos, bom isolamento termo acústico e alta resistência à ação da umidade (BERALDO; CARVALHO, 2004). Paralelamente ao aumento na utilização, ocorreu também o interesse nos estudos destes compósitos, uma vez que os compósitos cimento-madeira tem diversas particularidades que influenciam nos resultados dos ensaios aplicados como, variações nos tamanhos das partículas, tipos de tratamento submetidos na madeira, tipos de cimento, relação cimento-madeira e espécies de madeira (CASTRO et al., 2018).

Rim et al., (1999) desenvolveram um estudo para avaliar a influência de fibras provenientes de resíduos do processamento de madeira associado aos resíduos de mineração na produção de compósitos argila-cimento-madeira, analisando o desempenho térmico e mecânico dos produtos gerados, concluindo que a adição de madeira ao concreto argiloso diminui sua resistência mecânica e aumenta sua deformabilidade, porém melhora suas características de isolamento, condutividade térmica e a redução da massa específica, tornando-se essa última característica, o objetivo fundamental do estudo juntamente com a ênfase no aspecto ambiental, uma vez que, os materiais empregados são provenientes de resíduos industriais e a fabricação dos compósitos ocorre a custos mínimos de energia.

O agregado miúdo mineral foi substituído por pó de serra proveniente das madeiras de pinus (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*), eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) e cerejeira (*Amburana* sp.), resíduos da indústria de transformação da madeira, passante na peneira 4,8 mm, na produção de blocos de concreto para vedação e/ou elementos de enchimento em lajes pré-fabricadas. A partir dos resultados das características físicas e mecânicas do compósito proposto, pôde-se concluir que a utilização do pó de serra em até 50% em volume para substituir o agregado miúdo natural, atendeu as normativas brasileiras referentes a resistência à compressão e absorção de água, além de produzir características que possibilitam a produção de um material mais leve e isolante térmico, em função da baixa condutividade térmica do pó de serra (DANTAS FILHO, 2004).

A produção de compósitos de cimento Portland com partícula de madeira de *Eucalyptus grandis*, foi objeto de estudo de Beraldo e Carvalho (2004), sendo avaliados os efeitos da idade da árvore, da posição de amostragem ao longo do tronco e o efeito da época de corte, na resistência à compressão axial dos compósitos, sendo utilizadas misturas com o cimento CP II-E-32 e com cimento CP V – ARI. Os resultados dos ensaios mostraram que o tipo de cimento teve grande influência na resistência à compressão axial, sendo que foram encontradas, respectivamente, 4,2 MPa e 8,4 MPa. Apesar de ter um efeito moderadamente inibitório os modelos matemáticos indicaram a adequação do uso do cimento CP V – ARI com a madeira *Eucalyptus grandis*. Foi verificado que os corpos de prova com madeira proveniente de árvores com cortes realizados durante o inverno teve resultados superiores na resistência à compressão axial que das demais épocas, observou-se também que partículas obtidas de árvores com 5 anos propiciaram compósitos com resultados

mais homogêneos no ensaio de compressão axial e que lavagem das partículas vegetais não alterou o desempenho dos compósitos submetidos ao ensaio de compressão axial.

Matoski (2005) utilizou pó de madeira do gênero pinus sp., com granulometria controlada contendo partículas de dimensões menores que 0,8 mm, proveniente do reaproveitamento do rejeito de indústrias madeireiras para a produção de painéis de cimento-madeira, constatando que, em corpos de prova cilíndricos, com adição de até 20% de teor de pó de madeira foi possível alcançar resistências à compressão média de 12,6 MPa e que teores de 25% apresentou grande queda na resistência à compressão obtendo uma média de 3,79 MPa, esses resultados ocorreram tendo em vista que a quantidade de água para possibilitar a moldagem foi elevada acarretando na queda de resistência. A dimensão das partículas e o procedimento de mistura também foi analisado concluindo-se que as partículas menores, com módulo de finura 0.28, apresentam aumento de 23 % na resistência à compressão quando o cimento é misturado inicialmente com a água para posterior acréscimo do pó de madeira, porém para as partículas maiores, com módulo de finura 1.57, apresentaram aumento de 34% na resistência à compressão quando o pó de madeira é misturado inicialmente com a água para posterior acréscimo do cimento. Em relação a granulometria do resíduo e a utilização de aditivos químicos, o estudo mostrou que a combinação do pó de madeira com granulometria maior e o aditivo a base de cloreto de cálcio proporcionaram melhora nos valores de ensaio de ligações internas do compósito proposto.

Compósitos cimento madeira utilizando lâ de madeira (Excelsior) de podocarpos spp. e cimento Portland comum foram estudados por Mrema (2006) para a produção de placas, foram analisadas as características físicas e mecânicas do compósito e os resultados mostraram que o Módulo de Ruptura (MOR) sofre influência da largura da lâ de madeira e da relação cimento: lâ de madeira, apresentando como proporção ideal a relação 3:2 para a largura de 4 mm, para larguras maiores houve perda significativa no módulo de ruptura chegando a 70% para 10 mm de largura. Com relação às resistências à flexão, compressão e tração o compósito apresentou redução dessas propriedades com o aumento da quantidade de lâ de madeira em relação ao cimento, outra característica observada foi que as maiores resistências foram obtidas para menores larguras de lâ.

Lima (2009) pesquisou a utilização de resíduos de madeira serrada de pinus sp. na produção de compósitos cimento-madeira que serviram de base para a produção de blocos vazados para alvenaria estrutural, foram analisadas também substituições parciais do cimento Portland por materiais cimentícios alternativos como, sílica ativa, metacaulim, cinza volante, escória de alto forno, resíduo de cerâmica calcinada e cinza de casca de arroz, além de tratamentos para o resíduo de madeira. Os resultados apresentados mostraram que os blocos protótipos produzidos no traço 1:10 com substituição de 50% em volume do resíduo de madeira na fração do agregado miúdo natural, com a madeira in natura e com 100% de utilização de cimento forneceram uma resistência à compressão aos 7 dias de 3,80 MPa, porém quando acrescentado o aditivo cloreto de cálcio, na quantidade de 4,5% em relação a massa do cimento, a resistência a compressão se eleva para 4,21 MPa apresentando um acréscimo de 10,8% e quando a madeira é submetida ao tratamento com água fria por 48 horas existe uma elevação para 4,57 MPa representando um ganho de 20,3 % em comparação com a primeira mistura. Para os blocos protótipos produzidos no traço 1:10 com substituição de 50% em volume do resíduo de madeira e substituições do cimento por materiais alternativos, obteve-se resistências à compressão aos 7 dias de 4,48 MPa com substituição de 10 % de sílica ativa; 4,20 MPa com substituição de 10 % de metacaulim; 4,72 MPa com substituição de 5% de cinza volante; 4,37 MPa com 25 % de escória de alto forno; 4,21 MPa com substituição de resíduo de cerâmica calcinada e 4,16 MPa com substituição de 30 % de cinza de casca de arroz. Todas as composições apresentaram resistência à compressão superior aos 3,0 MPa exigidos pela norma brasileira NBR 6.136 (ABNT, 2016) para a utilização em alvenaria estrutural.

A condutividade térmica de compósitos cimento madeira, associada às suas características físicas e mecânicas foi objeto de estudo desenvolvido no Iraque por Hafed (2017), com objetivo de utilizar como isolante térmico em construções que demandam maior necessidade de adaptação às condições climáticas extremas. Os materiais usados incluem cimento Portland comum iraquiano chamado "Kbessat", areia natural, serragem de uma madeira regional denominada "jawy" e, água. A medições da condutividade térmica foi feita através do discos de Lee. O resultado do estudo pode ser concluído que o uso de proporção de serragem entre 10 e 30 %, apesar de apresentar resistência à compressão menor do que os compósitos sem serragem, confere ao produto final menor massa específica, maior isolamento térmico,

menor condutividade, conferindo a este material a importante característica procurada de isolamento térmico.

O comportamento mecânico dos elementos constituintes de alvenaria de bloco de concreto reforçados com fibra de sisal, foram estudados por Izquierdo et al. (2017), para isso produziram blocos de concreto a partir de duas misturas, a primeira sem adição de fibra e a segunda com adição de 1 % de fibra de sisal por volume de concreto. A resistência à compressão foi avaliada nos blocos individuais, em prismas formados pela sobreposição de dois blocos unidos por argamassa e, em paredes de tamanho reduzido chamadas de “Wallettes”. Os resultados dos ensaios mostraram que, quando avaliados os blocos individualmente, a adição das fibras de sisal provocou um decréscimo na resistência à compressão de 35 %, em relação aos blocos fabricados com concreto sem a adição das fibras, comportamento semelhante foi observado para os prismas onde o decréscimo foi de 18 %. Por outro lado, nas avaliações das propriedades nas paredes, esse comportamento não se manifestou, pelo contrário, apresentou um incremento de 7 % na resistência. As conclusões do estudo foram que houve transferência de cargas entre os elementos proporcionando sua estabilidade estrutural.

As propriedades do concreto seco com adição de pó-de-serragem de *Eucalyptos* spp. foi objeto de estudo de Filho et al. (2017). Foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm com concreto seco contendo adições de 0, 15 e 25 % de pó-de-serragem *in natura*. Após 28 dias de cura, foi realizado o ensaio de compressão diametral, os corpos de prova com 15 % de adição do pó-de-serra apresentaram uma resistência de 24,06 MPa e os corpos de prova com 25 % de adição de pó-de-serra apresentaram resistência de 23,95 MPa, ambos se enquadraram dentro dos limites estabelecido para o Grupo I da NBR 6118 (ABNT, 2014), de 20 a 50 MPa, sendo classificado como concreto comum, podendo ser utilizado em colunas, vigas-baldrame, e lajes. A adição do pó-de-serra proporcionou diminuição da massa específica em até 7,46 % produzindo assim um concreto mais leve.

Fibras de linho foram utilizadas para a produção de compósitos cimento madeira em estudo desenvolvido por Page et al. (2018). As fibras foram submetidas a pré-tratamentos com plasma atmosférico e óleo de linhaça. Como adições foram utilizados cimento CEM I 52,5N, escória de alto-forno, metacaulin e cimento sulfoaluminoso. Os tratamentos permitiram uma redução na absorção de água das

fibras. A adição das fibras de linho nos compósitos produziu um acréscimo na resistência à flexão e conferiu um comportamento pseudo-ductil após a fissuração. Nenhum dos tratamentos aplicados às fibras teve influência na sua degradação, uma vez que os compósitos apresentaram comportamento frágil aos 90 dias. Os compósitos com adições de metacaulin e CSA apresentaram menor degradação em relação as demais adições, e a tenacidade foi mantida até os 320 dias.

A compatibilidade entre cimento Portland e fibras do mesocarpo da semente do açaí nas condições *in natura* e submetidas a pré-tratamentos físicos e químicos para aplicação como reforço em painéis aglomerados de cimento do tipo CBPB's, foi estudada por Oliveira (2019). As fibras do açaí foram submetidas à cinco diferentes tratamentos, sendo, tratamentos térmicos em mufla de 180°C, 200°C e 220°C, com água quente a 90°C, água fria a 21°C, tratamento alcalino e branqueamento.

Os tratamentos alcalinos e de branqueamento, proporcionaram branqueamento nas fibras, o índice de cristalinidade das fibras *in natura* teve um acréscimo de 105%, a cristalinidade das fibras do mesocarpo de açaí é um indicativo de seu potencial como reforço para painéis cimento-fibra, quanto maior sua cristalinidade mais elevadas são as propriedades de densidade, rigidez, estabilidade dimensional e resistência química (HU; HSIEH, 2001). A temperatura de reação das pastas de cimento com fibras tratadas foram inferiores às pastas sem fibras ou com fibras *in natura*. A fase portlandita foi retardada quando utilizada fibras *in natura*, porém após 24 horas houve um pico maior em relação às pastas com fibras pré-tratadas. A avaliação das resistência mecânica dos painéis demonstrou que os tratamentos tiveram baixa influência nesta característica, podendo ser utilizadas as fibras *in natura* sem perda nesta especificação. Portanto, o estudo concluiu que os tratamentos físicos e químicos modificaram de forma vantajosa a morfologia e a química das fibras de açaí apresentando grande potencial para a utilização em painéis CBPB.

Estudos avaliando a possibilidade de aplicações de resíduos industriais como compósitos para aplicações na construção civil, sem a utilização de cimento, também vem sendo desenvolvidos, apresentando resultados que atendem às exigências normativas, como o estudo desenvolvido por Andrade et al., (2016) que produziu um novo compósito a base de resíduos industriais utilizando cinzas de madeira, lodo de estação de tratamento de água (ETA) e resíduos de produção de cal. Os materiais foram misturados entre si da forma como foram coletados, sem nenhuma secagem, peneiramento ou tratamento específico, foram feitas cinco misturas com variação de

percentuais entre os seus componentes. Os resultados dos ensaios de resistências à compressão aos 28 dias apresentaram valores que variaram entre 2,4 e 12,0 MPa, mostrando que os três resíduos industriais combinados podem ser utilizados na fabricação de blocos de concreto e tijolos cerâmicos para utilização em alvenaria.

Partículas de borracha de pneus misturados com madeira de *Eucalyptus grandis* foram utilizados para a produção de painéis cimento-madeira num estudo desenvolvido por Faria et al. (2018), onde foram utilizadas misturas variando entre 20 % a 60 % de borracha em substituição à madeira com objetivo de conferir maior resistência aos painéis produzidos, como aglomerante foi utilizado o cimento Portland CPV ARI e cloreto de cálcio como acelerador de pega. Foram produzidos painéis de 48,0 x 48,0 x 1,5 cm, densidade nominal de 1,2 g/cm³, relação madeira: cimento de 1:2,5. A análise dos resultados dos ensaios mostraram que a densidade nominal do material obtido ficou acima da densidade nominal do material referência e acima dos 1,10 g/cm³ dos painéis comerciais, com relação a absorção, os ensaios mostraram que a menor absorção foi obtida para uma de 49 % de borracha ficando abaixo dos valores estabelecidos, embora os ensaios de flexão estática tenham mostrado que houve redução nas propriedades mecânicas dos painéis com o acréscimo de resíduo de borracha, o compósito poder ser utilizado para as funções propostas.

2.2.2 Componentes dos compósitos cimento-madeira

2.2.2.1 Cimento Portland

O cimento, palavra originária do latim *Caementum*, faz alusão uma espécie de pedra natural de rochedos existentes na Roma Antiga há 4.500 anos, utilizada nas construções e assentadas com um tipo de argamassa ligante. Os povos antigos, como os egípcios, os gregos e os romanos, utilizavam ligas constituídas de gesso calcinado e solos de origem vulcânica que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água para edificar grandes monumentos. Ao longo dos anos foram sendo desenvolvidos produtos de base calcária e argilosa que apresentavam excelente resistência ao rompimento podendo ser utilizadas nas construções, mas foi somente em 1824 que o construtor inglês Joseph Aspdin obteve o cimento Portland, nome dado

como referência às rochas da ilha britânica de Portland, visto que a mistura após a secagem apresentava cor e resistência semelhantes às aquelas rochas. (BATTAGIN, 2019).

O cimento é um material extremamente fino que desenvolve propriedades ligantes em contato com a água devido às reações químicas ocasionadas entre os minerais nele existentes, por esse fato é chamado de aglomerante hidráulico. É obtido através moagem do clínquer, um produto obtido pela queima de uma mistura de 80 % a 95% de calcário e 5 % a 20 % de argila, tendo como principais compostos Silicato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ e Silicato dicálcico $(\text{CaO})_2$, Aluminato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ e Ferroaluminato tetracálcico $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$. A queima da mistura se dá em fornos cilíndricos, rotativos, horizontais e levemente inclinados que permitem o deslizamento homogêneo e contínuo do material em seu interior, a clinquerização ocorre em altas temperaturas podendo chegar a 1450°C .

Diversas reações químicas ocorrem quando o clínquer é colocado em contato com a água, sendo os principais produtos desta hidratação o surgimento do silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio e sulfoaluminatos de cálcio hidratado. As fases de hidratação se dão em velocidades distintas, conferindo características inerentes ao cimento Portland de enrijecimento e endurecimento o que leva ao aumento de resistência, essa velocidade de hidratação é influenciada por diversos fatores como a finura do clínquer, composição química e quantidade de água da mistura (SEFFF et al., 2005).

O cimento Portland é designado por seu tipo conforme as adições e propriedades características, e são identificados pela sigla correspondente e classe de resistência de 25, 32, 40 ou ARI, as resistências indicadas correspondem às resistências mínimas à compressão em MPa a serem atingidas aos 28 dias de idade, acrescidas dos sufixo RS e BC. As designações normalizadas (tipo), subtipos, siglas, classes de resistência e sufixos e limites das composições de cada tipo de cimento são delimitados pela e a NBR 16.697 (ABNT, 2018), apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)

Nomenclatura	Sigla	Classe de resistência	Clinker + sulfatos de cálcio	Escória de alto-forno	Material pozolânico	Material Carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25,32 ou 40	95 - 100	0 - 5		
	CPI-S		90 - 94	0	0	6 -10
Cimento Portland com escória de alto-forno	CP II - E		51 - 94	6 - 34	0	0 - 15
Cimento Portland com material pozolânico	CP II - Z		71 - 94	0	6 - 14	0 - 15
Cimento Portland com material carbonático	CP II - F		75 - 89	0	0	11 - 25
Cimento Portland de alto forno	CP III		25 - 65	35 - 75	0	0 - 10
Cimento Portland pozolânico	CP IV		45 -85	0	15 - 50	0 - 10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V	ARI	90 - 10	0	0	0 - 10
Cimento Portland branco estrutural	CPB	25,32 ou 40	75 - 100	-	-	0 - 25
Cimento Portland branco não estrutural			50 - 74	-	-	26 - 50

Fonte: Adaptado da NBR 16.697 (ABNT, 2018)

Por apresentar características de alta reatividade em baixas idades e por atingir altas resistências nas primeiras idades, o cimento CPV ARI RS é amplamente utilizado na produção industrial de artefatos de concreto, bem como concreto protendido e concreto dosado em central (POUELY, 2006), sendo este o cimento mais utilizado pelos pesquisadores de compósitos envolvendo a madeira, visto que a alta resistência inicial alcançada retarda a inibição da reação com o cimento pelos componentes presentes na madeira (FARIA, 2018).

2.2.2.2 Madeira – *Pinus* spp.

Originário do Canadá e dos Estados Unidos, a madeira do gênero *Pinus* foi introduzida no Brasil há quase um século para fins ornamentais. Inicialmente os plantios não tiveram muito êxito, pois as espécies utilizadas eram de regiões com precipitações e temperatura diferentes do ambiente brasileiro, porém a partir de 1936 iniciaram os plantios com espécies subtropicais que se adaptaram às condições climáticas brasileiras e por volta do ano de 1960 deu-se início ao plantio em escala comercial principalmente nas regiões Sul e Sudeste impulsionado pelo programa de incentivo fiscal ao reflorestamento (EMBRAPA, 2014).

Além das condições climáticas o solo tem influência na produtividade destas espécies sendo a profundidade efetiva do solo um dos principais fatores para o crescimento, entende-se profundidade do solo a camada na qual as raízes podem exercer suas funções de estruturação e captação de nutrientes sem restrições (DEDECEK, 2014).

As espécies mais cultivadas no Brasil são o *Pinus Taeda* spp. e o *Pinus Elliotti* spp., conforme sua classificação científica, são pertencentes ao Reino *Plantae*, Divisão *Pinophyta*, Classe *Pinopsida*, Ordem *Pinales*, Família *Pinaceae*, Gênero *Pinus* e Espécie *Taeda* e *Elliotti*. A abreviação spp. após o nome da espécie indica que se refere a uma espécie já identificada e classificada. São árvores de grande porte que podem atingir até 30 metros de altura no caso do *Pinus Elliotti* e 20 metros o *Pinus Taeda*, ambos com caule reto e cilíndrico com diâmetro entre 60 e 80 cm, casca sulcada e acinzentada em plantas jovens e quando adultas apresentam cascas com placas escamadas de cor marrom-avermelhada. A madeira destas espécies é de fácil trabalhabilidade e secagem porém apresenta baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos como fungos e cupins (LORENZI, 1992; CARVALHO, 1994).

2.2.3 Compatibilidade do cimento com a madeira

A compatibilidade entre materiais é a capacidade das substâncias componentes individuais interagirem formando um composto que apresente adesão interfacial. A compatibilidade é frequentemente estabelecida pela observação da integridade mecânica sob as condições pretendidas de uso de um compósito ou mistura de polímero imiscível (WORK, et al., 2004). Usualmente refere-se à compatibilidade do cimento com a madeira como sendo o nível de pega do cimento após ser misturado com a madeira. A presença da madeira na pasta de cimento, afeta não somente o processo químico de endurecimento do cimento, como também acarreta um decréscimo das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos (BRAHMIA, 2020)

A compatibilidade química entre o agregado de biomassa vegetal e o cimento é um fator que deve ter atenção especial no estudos desses compósito, uma vez que a composição química do agregado pode modificar negativamente as propriedades finais do aglomerante utilizado. Esse aspecto é de suma importância tendo em vista que, a compatibilidade química entre a madeira e o cimento permite que a hidratação

do aglomerante atinja níveis significativos, permitindo assim a formação de uma rede de silicatos ligando as partículas (BERALDO et al., 2004).

Durante a hidratação, todos os minerais hidratam simultaneamente, o que faz este um processo químico crítico sendo uma das razões da dificuldade da ligação entre a madeira e o cimento. A madeira possui substância que se dissolve na presença dos componentes químicos do cimento causando alterações na mistura que impedem o processo de hidratação tornando-o mais lento (BRAHMIA, 2020).

A madeira é um composto natural, suas substâncias orgânicas constituintes são classificadas em componentes da parede celular e extrativos, entre as principais ferramentas usadas para determinar sua composição química e análise da estrutura da parede celular estão, a análise de difração de raios-X, os microscópios de polarização e elétrons, a espectroscopia e a ressonância magnética nuclear. Com o auxílio dessas ferramentas pôde-se verificar que a madeira é composta basicamente por celulose, hemicelulose e extrativos, sendo que a celulose e a hemicelulose são os elementos estruturais, enquanto os extrativos são considerados como constituintes secundários. Na composição da madeira, as microfibrilas celulósicas assumem o papel de fibra enquanto a lignina e a hemicelulose são consideradas como matriz no compósito. Devido à presença de ligação covalente dentro e entre as unidades de anidroglicose, pode ser atribuída à microfibrila celulósica a alta resistência à tração deste compósito natural (DINWOODIE, 2000).

Na Tabela 2 apresenta-se a quantidade aproximada em que os constituintes moleculares estão presentes nas madeiras, de acordo com Dinwoodie (2000).

Tabela 2- Composição química da madeira

Componentes	Massa Madeira Macia (%)	Massa Madeira Dura (%)	Derivados moleculares	Função
Celulose	40 - 44	43 - 47	Glucose	Fibra
Hemicelulose	25 - 29	25 - 35	Galactose, Manose Xilose, Fenilpropano	Matriz
Lignina	25 - 31	16 - 24		
Extrativos	1 - 5	1 - 9	Terpeno, Polifenóis Estilbenóides	Extrativos

Fonte: Adaptado de DINWOODIE (2000)

A madeira e o cimento são considerados incompatíveis se o processo de endurecimento do cimento for prejudicado, mesmo que em baixa extensão pela presença de madeira, se não houver perda nesse processo existe a compatibilidade entre esse cimento e essa madeira. A falta de interação pode ser observada pela diminuição das propriedades físicas dos compósitos, resultando em amostras sem integridade física (JORGE et al., 2004).

Esse efeito inibitório é causado pelas substâncias presente na madeira, podendo variar de acordo com a espécie utilizada. Conforme apresentado por Hachmi et al., (1989) apud Lima (2009), a hidratação do cimento Portland é retardada mediante a reação dos carboidratos presentes na madeira com o cálcio, alumínio e cátions de ferro presentes no cimento, através da hidrólise com a manose e a galactose ou através dos ácidos glucorônicos, provocando uma diminuição na sua cristalinidade e resistência. A hidratação e o endurecimento do cimento em estágios mais avançados são inibidos por esses compostos, provavelmente porque a água e os componentes da madeira dissolvidos são arrancados e migram para a superfície das partículas da madeira, podendo haver ainda uma retração das partículas da madeira devido à retirada da água, causando redução da ligação das partículas de madeira com a pasta de cimento.

Beraldo e Carvalho (2004), observam que conforme é variada a concentração das substâncias inibitórias em relação à massa de cimento pode ser verificado o efeito que as mesmas causam sobre a hidratação deste e conforme Simatupang (1986), a glicose na concentração de 1 %, inibiu completamente a pega de um determinado tipo de cimento. Além das reações que ocorrem entre a madeira e o cimento, outros fatores que afetam a compatibilidade do agregado de biomassa vegetal e o cimento Portland , entre eles, a época de corte da madeira; idade das árvores; armazenamento da madeira após o corte; tipos de cimento; tratamentos visando melhoras a compatibilidade cimento-madeira; lavagem das partículas vegetais (BERALDO et al., 2004).

2.2.4 Tratamentos para melhorar a compatibilidade do cimento com madeira

A espécie de madeira utilizada para produção de compósitos cimento-madeira deve ser bem avaliada, visto que nem todas as espécies podem ser utilizadas na produção dos compósitos, uma vez que os componentes orgânicos podem afetar a

interação entre a madeira e o cimento, bem como, as interações internas do cimento, porém diversos pré-tratamentos para os materiais de origem vegetais vêm sendo desenvolvidos. Pré-tratamentos físicos e químicos podem modificar a superfície e a estrutura interna das fibras vegetais diminuindo a incompatibilidade das matrizes cimento-madeira, otimizando a interação e a adesão das fases do compósito, com isso aprimorando a qualidade final dos novos produtos (IOZZI et al., 2010; KALIA et al., 2009). Tratamentos com plasma atmosférico, adições minerais e óleo de linhaça limitaram essa absorção em até 45 % em fibras de linho, facilitando a hidratação do cimento (PAGE, 2018).

O pré-tratamento da madeira com suspensão de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), vem sendo utilizada porém deve ser verificada sua quantidade na preparação do pré-tratamento visto que essa relação água/cal influencia na resistência à compressão do compósito (VILLAS-BÔAS et al., 2017). Compósitos cimento-madeira, produzidos com cimento Portland CPV-ARI e partículas de pinus spp. de 4,8 mm, foram objeto de estudo de Correa et al. (2006). As partículas de madeira utilizadas nos compósitos foram inicialmente submetidas a um pré-tratamento em soluções de hidróxido de cálcio com variações de 5, 7 e 10 % por 24 horas. Os compósitos produzidos com os resíduos de madeira submetidos ao pré-tratamento no teor de 5% se mostrou mais eficiente quando avaliada a resistência à compressão aos 28 dias, em relação aos compósitos preparados com os resíduos que foram submetidos aos demais tratamentos, apresentando um acréscimo de 2 % e 5 % respectivamente ao segundo e ao terceiro tratamento. Outra avaliação feita por Corrêa et al., (2006) diz respeito ao tipo de pré-tratamento a que a madeira é submetida, foram pesquisados doze tipos de pré-tratamentos e o mais eficiente deles foi com imersão das partículas em água quente a 100 °C por 1 hora, apresentando resistências à compressão superiores em, aproximadamente, 10 % em relação ao tratamento com hidróxido de cálcio aplicado anteriormente no mesmo estudo.

Tratamentos de resíduos de madeira através de imersão em sulfato de alumínio e solução alcalina (cal) exercem influência positiva nos resultados dos ensaios de resistência à compressão de compósitos cimento-madeira, porém o tratamento à base de sulfato de alumínio mostrou melhor desempenho, quando comparado com o tratamento com solução alcalina, proporcionando maior resistência nos compósitos produzidos com esse tratamento (MOREIRA; MACEDO; SOUZA, 2012).

Tratamentos alcalinos e de branqueamento podem proporcionar um acréscimo de 105 % no índice de cristalinidade das fibras in natura. A cristalinidade das fibras é um indicativo de seu potencial como reforço para painéis cimento-fibra, quanto maior a cristalinidade, quanto mais elevadas são as propriedades de densidade, rigidez, estabilidade dimensional e resistência química, (OLIVEIRA, 2019).

O pré-tratamento térmico na faixa de 180° C a 230° C de fibras de madeira resulta na remoção de hemiceluloses presentes em seus componentes, enquanto que há aumento da cristalinidade e diminuição do grau de polimerização para a celulose, a lignina não é afetada pelo pré-tratamento (PELAEZ-SAMANIEGO et al., 2013).

Tratamentos baseados no processo de secagem e reidratação também são utilizados. Apesar de não modificar o comprimento das fibras, este procedimento causa uma redução na espessura da parede celular, acarretando em perda da capacidade de retenção de água pelas fibras celulósicas, devido a formação de ligações de hidrogênio nas cadeias de celulose podendo reduzir em até 22 % os valores de retenção de água nos compósitos estudados (CLARAMUNT; ARDANUY; GARCÍA-HORTAL, 2010).

Tratamentos de imersão em água quente e água fria podem ser utilizados para modificação das fibras lignocelulósicas, resíduos de *Pinus* spp. submetidos a imersão por 48 horas, propiciaram acréscimos na resistência à compressão de compósitos cimento-madeira quando comparados aos produzidos com *Pinus* spp. in natura (MIRANDA DE LIMA; IWAKIRI; LOMELÍ-RAMÍREZ, 2011). O pré-tratamento das fibras de coco por imersão em água quente a 80°C por 90 minutos resultou em um compósito com propriedades mecânicas superiores e menor inibição na cura do cimento em relação aos produzidos com fibras não tratadas (FERRAZ et al., 2011). Resíduos da indústria madeireira colombiana foram submetidos a pré-tratamentos em água quente por 48 horas antes de serem adicionados na mistura com agregados e cimento Portland, atuando diretamente na hidratação do cimento. Possivelmente, a imersão em água também seja eficaz para modificação de outras fibras lignocelulósicas, esses pré-tratamentos evitam a utilização de reagentes químicos, são de fácil execução e menor custo em relação aos tratamentos alcalinos e de branqueamento, (GIL, 2017).

2.3 BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SIMPLES PARA ALVENARIA

A utilização de blocos de concreto na alvenaria teve início logo após o surgimento do cimento Portland, quando unidades grandes e maciças de concreto começaram a ser produzidas. Iniciaram-se, então diversos esforços em prol da modernização da fabricação de blocos de concreto, bem como da sua utilização na alvenaria como elemento de vedação e estrutural, no entanto sua técnica básica, ou seja materiais utilizados, procedimentos de dosagem e o esquema produtivo, permanece praticamente a mesma. Por volta de 1880, surgiram nos Estados Unidos e na Inglaterra os primeiros blocos de concreto vazados moldados em formas de madeira e a partir de 1909, com a modernização das máquinas, o adensamento começou a ser mecanizado, proporcionando maior qualidade dos blocos produzidos, melhorando a massa específica, resistência à compressão e uniformidade dos blocos (SALVADOR FILHO ,2007).

A fabricação dos blocos de concreto deve ser realizada utilizando materiais com propriedades adequadas e procedimentos de dosagem e cura controlados para que se obtenham produtos de qualidade, principalmente quando os blocos serão utilizados como alvenaria estrutural, visto que eles são responsáveis pela resistência à compressão do conjunto.

2.3.1 Materiais constituintes dos blocos de concreto

Os materiais utilizados na produção dos blocos vazados de concreto convencionais são o cimento Portland, utilizado como aglomerante na mistura, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Aditivos e corantes podem ser acrescentados no preparo dos blocos dependendo dos requisitos especificados, porém todos os materiais empregados devem ser caracterizados e utilizados de acordo com suas propriedades, a fim de obter um produto final de qualidade.

Para a fabricação dos blocos de concreto é utilizado o concreto seco sendo assim denominado por possuir baixa consistência, quando medida pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test) se assemelha à zero. Essa consistência confere ao concreto uma aparência esfarelada apresentando espécie de torrões como se fosse terra úmida, diferente dos concretos utilizados em estruturas que são de consistência plástica onde a pasta ocupa todos os espaços vazios entre os agregados, o que não

ocorre no concreto seco onde o ar ocupa os espaços vazios deixados pelos agregados, sendo retirado através da compressão, aliada à vibração, aplicada pelos equipamentos utilizados para a moldagem dos blocos (DANTAS FILHO, 2004), desta forma os equipamentos de vibro compressão são fundamentais para atingir as resistências desejadas (FRASSON JÚNIOR, 2000).

Os concretos secos não seguem a “Lei de Abrams” como os concretos plásticos, sendo que neste tipo de concreto, a resistência não é proporcional à relação água/cimento, ao contrário, considerando um limite máximo, quanto maior a quantidade de água, maior será a resistência alcançada, isto ocorre devido ao fato que, uma quantidade maior de água proporcionará melhor trabalhabilidade à mistura, diminuindo o atrito entre os grãos e melhorando a compactação (OLIVEIRA, 2004). Os teores de umidade da mistura utilizados para atingir boa trabalhabilidade, compactação e resistência deste tipo de concreto, seguem a “Lei de Lyse”, que define que para um determinado grupo de materiais, existe uma relação ótima e constante entre a água e os materiais secos de forma a obter determinada trabalhabilidade, sendo que esta umidade fica em torno de 5 % a 8% da massa total (FRASSON JÚNIOR, 2000), (FERNANDES, 2008).

Além do baixo teor de umidade e de partículas finas, os concretos secos são caracterizados por utilizarem altos consumos de cimento, entre 350,0 kg/m³ e 400 Kg/m³, quando comparado aos concretos plásticos (HUSKEN, 2007). Em vista disso, em matrizes com adição de fibras vegetais, são indicados os cimentos que possuam elevados teores de adições, a exemplo, o cimento Portland CPII-F com adição de filler e o cimento Portland CPII-E 40 RS com adição de escória de alto forno, uma vez que proporcionam uma matriz com menor teor de hidróxido de cálcio, o que diminui o ataque alcalino à lignina das fibras (SOUSA, 2001), (FILHO et al., 2017).

Outro aspecto relevante na escolha do cimento está a característica de proporcionar resistências elevadas nas primeiras horas do processo de hidratação, permitindo a contínua reutilização de moldes e proporcionando ganho de produtividade, neste aspecto se apresenta mais favorável o cimento Portland CPV-ARI, e por este motivo tem se tornado o cimento mais utilizado para a fabricação de artefatos de concreto, como blocos vazados entre outros (SALVADOR FILHO, 2007), (PRUDÊNCIO JUNIOR, et al., 2002).

Conforme citado por Lima (2009), os materiais utilizados como agregados miúdos e graúdos na produção dos blocos de concreto normalmente são a areia natural ou a areia artificial também conhecida como pó de pedra, ou a mistura destes desde que sigam as especificações da norma NBR 7211 (ABNT, 2009), são utilizados também agregados leves como escória de alto forno, argila expandida e outros agregados sempre atendendo as especificações determinadas para cada um dos tipos de material, baseados na norma NBR 6136 (ABNT, 2016).

Outro material importante para a fabricação dos blocos de concreto, são os aditivos, que por definição da NBR 11768 (ABNT, 2019) são produtos que adicionados em pequenas quantidades a concretos de cimento Portland, tem a capacidade de alterar algumas propriedades melhorando suas características. Os aditivos são amplamente utilizados na mistura do concreto visando melhorar as suas características. São classificados conforme sua função no concreto, a norma americana ASTM C 494-10 e a norma brasileira NBR 11768 (ABNT, 2019) classificam os aditivos como, Tipo A - redutores de água; Tipo B - retardadores; Tipo C – acelerador; Tipo D – redutor de água e retardador; Tipo E – redutor de água e acelerador; Tipo F – redutor de água de elevado desempenho ou superplastificante; Tipo G – redutor de água de elevado desempenho e retardador; Tipo S – desempenho específico.

2.3.2 Produção dos blocos de concreto

2.3.2.1 Dosagem

Com objetivo de atingir características pré-determinadas e critérios de desempenho exigidos pela norma NBR 6136 (ABNT, 2016), procede-se a dosagem do concreto que consiste em fixar as quantidades dos materiais constituintes. Entre as características desejadas para a produção do concreto para a moldagem de blocos vazados estão as citadas por Ferreira Junior (1985), sendo coesão no estado fresco, de forma que possam ser desmoldados e transportados sem que seu formato seja alterado; máxima compacidade, para que a absorção de água seja mínima; resistência compatível com a aplicação a que se destina; aspecto da superfície, que deve ser lisa

em blocos que irão ficar aparentes e ásperas quando forem recobertos, evitando assim, a necessidade de aplicação de chapisco.

Os métodos de dosagem de blocos de concretos mais utilizados são:

- Método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) – Tem como base o proporcionamento dos agregados para que permitam a maior compacidade possível, apesar de ter sido desenvolvido para concretos plásticos esse método é indicado para concreto secos;
- Método Bresser (Bresser Company), Método Columbia e Método Dowson – São métodos que se baseiam no ajuste do traço por meio da granulometria final das misturas;
- Método do ACI (American Concrete Institute) – Se baseia no módulo de finura da mistura dos agregados utilizados, que deve ficar entre 3,70.
 - Método do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) – Adaptado para concreto secos, esse método fixa o teor ótimo de água para o traçado de uma curva prática de resistência em função da relação água-cimento.

2.3.2.2 Equipamentos

O equipamento usado para moldar os blocos vazados de concreto é chamado de vibro prensa por possuir um mecanismo no qual o material penetra e preenche todo o molde, sendo que o equipamento consiste em vibração associado à prensagem. A vibração é responsável pelo preenchimento dos moldes e adensamento da mistura, enquanto a prensagem atua no adensamento e o acabamento dos blocos (SOUSA, 2001).

A sequência de funcionamento das vibro prensas é descrito por Medeiros (1993): primeiramente a gaveta alimentadora é preenchida com a mistura de concreto a ser moldada, em seguida o molde metálico onde os blocos são moldados é

preenchido e essa fase é acompanhada pela vibração do molde, após isso segue-se a compactação acompanhada por nova vibração do molde, finalizando quando a altura desejada para os blocos é atingida e, por fim, a desforma dos blocos logo após o término da operação anterior, fase em que os extratores permanecem imóveis, enquanto o molde ascende, permitindo que os blocos permaneçam sobre a base onde foram moldados, então a base com os blocos recém moldados avançam para frente da máquina, enquanto um nova base vazia ocupa seu lugar sobre o molde e reinicia-se o processo.

A Figura 1 apresenta as partes constituintes da máquina vibro prensa, que se resume a silo de armazenamento, gaveta, sistema de compressão, sistema de vibração, forma ou molde.

Figura 1 - Máquina de vibro compressão



Fonte: VIBROFORMA, (2020)

2.3.2.3 Cura

Outro aspecto importante a ser considerado na produção de blocos vazados de concreto é o processo de cura, segundo Tango (1984), a cura do concreto corresponde a um conjunto de ações que visam proporcionar condições de umidade, temperatura e pressão, adequados para a reação de hidratação do cimento. É uma

das principais etapas na execução do concreto e tem atuação ativa no desenvolvimento do processo de hidratação da pasta de cimento vedando o concreto, mantendo a água de amassamento no seu interior, evitando a retração e o transporte de substâncias que poderão interferir na hidratação (SILVA, 2002).

O processo de cura do concreto favorece a “resistência mecânica a ruptura e ao desgaste, impermeabilidade e resistência ao ataque de agentes agressivos” (BAUER, 2001). Ainda de acordo com Bauer (2001) “a cura em água reduz a retração da peça na fase em que o concreto tem pouca resistência mecânica, fato este de fundamental importância, por evitar formação de fissuras de retração, que podem comprometer a impermeabilidade do concreto”. (BAUER, 2001).

No caso específico de blocos de concreto existem quatro tipos de cura, conforme, conforme citado por Villas-Bôas (2016):

- Cura através de autoclaves – Nesse método os blocos de concreto são submetidos a temperaturas entre 150 e 205°C e pressão de 1 MPa (MEDEIROS, 1993).
- Cura natural ou ao ar livre - Esse método é apropriado em situações onde as exigências de desempenho são menores. Medeiros, (1993) e Tango, (1984) recomendam que os blocos permaneçam úmidos e protegidos de insolação direta, mantendo a umidade por meio de aspersão de água pelos primeiros três a sete dias evitando assim a evaporação excessiva de água.
- Cura em câmara a vapor – Amplamente utilizado pelos produtores de blocos, consiste em submeter os blocos de concreto à aplicação de vapor, produzidos por geradores ou caldeiras, por um período de duas horas, em um ciclo variável de 16 a 24 horas (MEDEIROS, 1993).
- Cura com aspersão de água ou câmara úmida - A aspersão de água nos blocos devem ser realizada a cada duas horas por um período de 24 horas, enquanto em câmara úmida os blocos devem ser mantido por cinco dias devendo ser colocados nessa condição imediatamente após a sua

produção, deve se tomar precauções para que não haja danos com os blocos devido ao transporte para a câmara úmida.

Para concretos produzidos com cimento Portland comum, Mehta e Monteiro (2008) consideram sete dias para cura ao ar livre como suficientes para um bom resultado, porém para concretos produzidos com cimentos compostos ou com adições minerais, há necessidade de períodos maiores para que se possa garantir as reações pozolânicas na resistência do material.

2.3.3 Classificação dos blocos de concreto

De acordo com a norma NBR 6136 (ABNT, 2016) os blocos de concreto devem atender, quanto ao uso, às seguintes classes:

- Classe A - Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo, apresentando resistência à compressão maior ou igual a 8,0 MPa.
- Classe B - Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo apresentando resistência à compressão entre 4,0 e 8,0 MPa.
- Classe C – Admite-se a utilização com função estrutural para blocos com largura maior que 90 mm sendo permitido no máximo de 1 pavimento. Para blocos com largura de 115 mm é permitido no máximo de 2 pavimentos e para blocos medindo de 140 a 190 mm de largura é permitido no máximo 5 pavimentos. Os blocos com largura de 65 mm tem seu uso restrito para alvenaria não estrutural. A resistência à compressão para os blocos desta classe é de até 3,0 MPa.

2.3.4 Nomenclatura e dimensões dos blocos de concreto

A Tabela 3 e a Figura 2 apresentam as nomenclaturas e as dimensões nominais dos blocos de concreto delineados na NBR 6136 (ABNT, 2016).

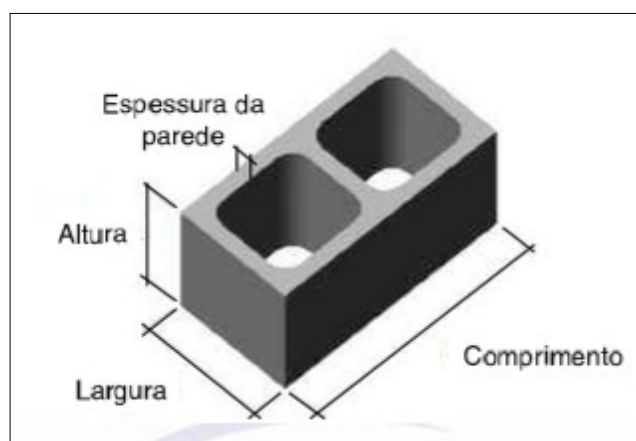
Tabela 3 - Dimensões nominais dos blocos de concreto

Família		20 x 40	15 x 40	15 x 30	15,2 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal - mm	Largura	190	140		115			90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2016)

As tolerâncias permitidas pela NBR 6136 (ABNT, 2016), nas dimensões dos blocos, são de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e comprimento.

Figura 2 - Dimensões dos blocos de concreto



Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2016)

A espessura mínima de qualquer parede de bloco deve atender a Tabela 4. A tolerância permitida nas dimensões das paredes é de - 1,0 mm para cada valor individual.

Tabela 4 – Designação por classe, largura e espessura mínima das paredes dos blocos

Classe	Largura nominal mm	Paredes longitudinais ^a mm	Paredes transversais	
			Paredes ^a mm	Espessura equivalente ^b mm/m
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2016)

Os valores a serem considerados para as espessuras mínimas das paredes longitudinais e transversais, devem ser a média das espessuras tomadas do ponto mais estreito. A espessura equivalente refere-se a soma das espessuras de todas as paredes transversais em milímetros, dividida pelo comprimento nominal do bloco em metros.

2.3.5 Requisitos físicos e mecânicos dos blocos de concreto

Os blocos de concreto vazados devem atender aos requisitos prescritos na norma NBR 6136 (ABNT, 2016) no que diz respeito à resistência característica a compressão axial, absorção e retração por secagem, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Requisitos físicos e mecânicos dos blocos de concreto

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial MPa	Absorção %				Retração %
			Agregado normal		Agregado Leve		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2016)

Os valores da resistência característica à compressão axial indicada na tabela referem-se aos valores obtidos aos 28 dias. O ensaio de retração é facultativo conforme a norma NBR 6136 (ABNT, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foi utilizado o método científico hipotético dedutivo realizando uma pesquisa experimental baseada na hipótese da manutenibilidade das características recomendadas pelas normas brasileiras para a produção de blocos de concreto para alvenaria de vedação, com substituição do agregado miúdo natural (areia natural) por resíduos de *pinus* spp.

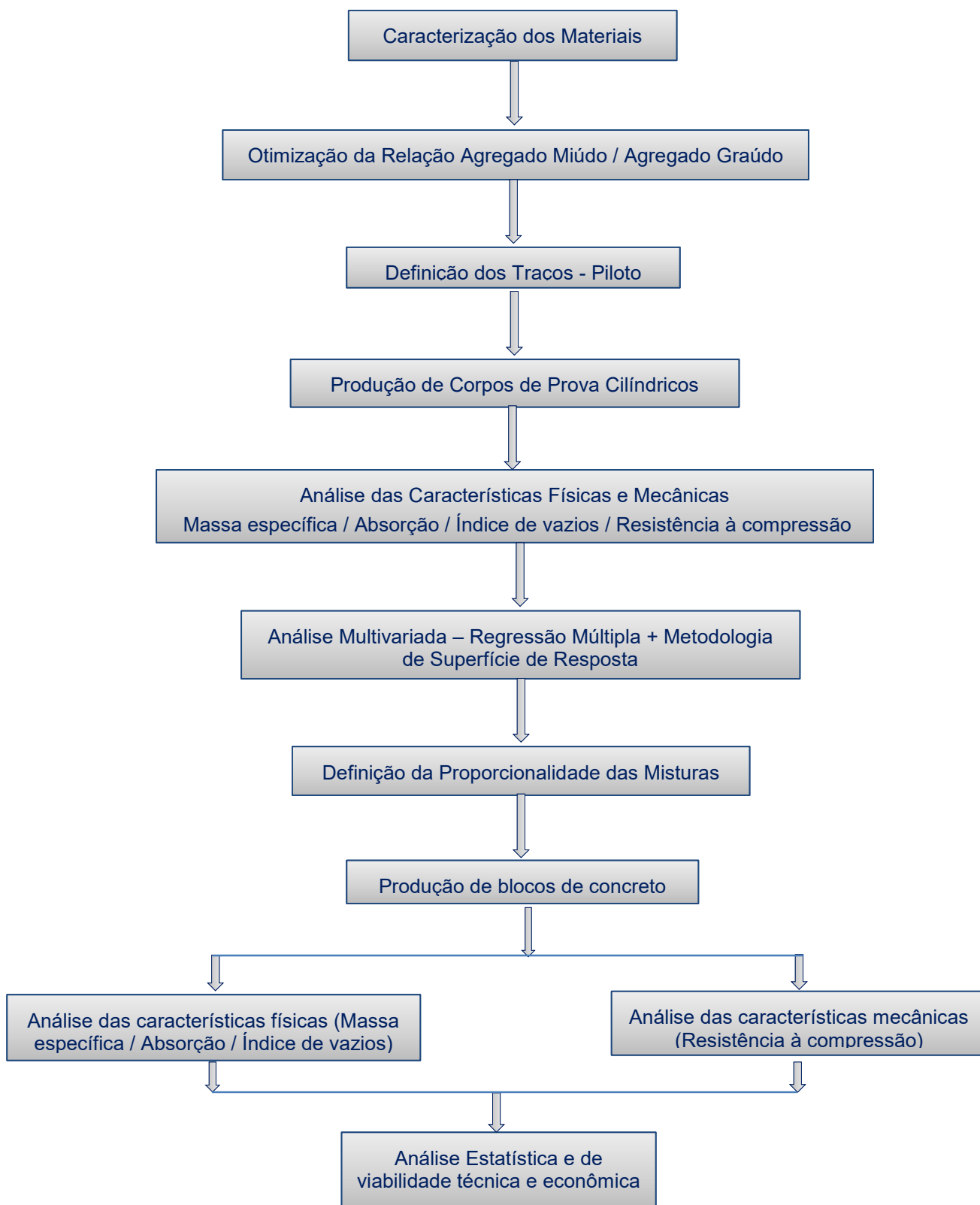
Inicialmente, foram investigadas as características dos materiais a serem utilizados, por meio dos ensaios de granulometria, massa específica, massa unitária solta e compactada, absorção e teor de umidade. Em seguida, foi definida a composição da fração entre os agregados miúdos e graúdos de forma a proporcionar o menor índice de vazios com auxílio do ensaio da massa unitária solta e compactada. Foram definidos nove traços-piloto e produzidos 15 corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm para cada um deles, utilizando-se sistema de vibro compressão, variando o teor de substituição de agregado miúdo mineral, nas proporções de 25 % a 100 %, pelo equivalente em volume de resíduo de madeira de *pínus* spp. O intervalo da porcentagem das misturas foi definido de forma a se obter uma amostra substancial de variação para suprir dados mais confiáveis para o tratamento estatístico. Foram avaliados, resistência à compressão, massa específica, absorção de água e índice de vazios, dos conjuntos de amostras.

Os resultados destes ensaios foram tratados estatisticamente e serviram de base para a definição dos traços para a produção dos blocos vazados de concreto. Foram produzidos blocos de concreto, medindo 14 x 19 x 39 cm, nos traços 1:6, 1:8 e 1:10 com substituições de resíduos de 30 %, 25 % e 33 %, proporcionalmente. Inicialmente foram analisadas as resistências à compressão dos blocos a fim de definir o traço que satisfizesse o requisito normativo de 3,0 MPa. Definido o traço, foi dado sequência aos ensaios de massa específica, índice de vazios, absorção e análise dimensional. Além da resistência à compressão, outro fator para a escolha do traço foi a relação cimento-madeira proporcionada pela mistura.

O desenvolvimento da pesquisa teve como base o estudo realizado por Lima (2009).

As etapas do desenvolvimento da pesquisa seguem um fluxograma de atividades conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma do procedimento experimental adotado



Fonte: Autora (2019)

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento Portland

Os corpos de prova cilíndricos e os blocos vazados de concreto foram produzidos com Cimento Portland CPV-ARI. Este cimento contém elevado teor de clínquer e alto grau de finura, características que resultam em resistência inicial superior e tempo de pega mais rápido em relação aos outros tipos de cimento. É amplamente utilizado pelas indústrias de artefatos de concreto e pré-moldados, por possibilitar desforma rápida elevando a produtividade. Esse tipo de cimento é indicado, segundo o fabricante, para peças pré-moldadas como postes, lajes, vigas e pilares para obra de grande porte; argamassas especiais; artefatos de concreto como blocos, lajotas, pavers, manilhas e bloquetes; concreto para pisos especiais; concretos estruturais (FARIA et al., 2018).

A Tabelas 6 apresenta as características mineralógicas, mecânicas, físicas e químicas do Cimento Portland CPV-ARI conforme o fabricante.

Tabela 6- Características do cimento Portland CPV-ARI

ANÁLISE MINERALÓGICA		
	DRX	
Silicato Tricálcico (C ₃ S)	52,90%	
Silicato Bicálcico (C ₂ S)	12,50%	
Aluminato Tricálcico (C ₃ A)	2,72%	
Ferro-aluminato Tetracálcico (C ₄ AF)	9,10%	
ENSAIOS MECÂNICOS		
Idade (Dias)		Norma NBR 16697
		Resistência à Compressão (MPa)
1	23,00	≥ 14
3	35,00	≥ 24
7	40,00	≥ 34
28	47,00	
ENSAIOS FÍSICOS		Norma NBR 16697
Massa Específica (g/cm ³)	3,13	-

Resíduo de Peneiração (%) - 45 μ m	0,67	-
Resíduo de Peneiração (%) - 32 μ m	5,37	-
Sup. Específica de Blaine (cm^2/g)	4193	≥ 3000
Água na Pasta Normal (%)	28,41	-
Tempo de Pega (min) - Início	211	≥ 60
ANÁLISE QUÍMICA		Norma NBR 16697
Perda ao fogo	5,30%	$\leq 6,5$
Resíduo Insolúvel	1,70%	$\leq 3,5$
Óxido de Silício (SiO_2)	17,70%	-
Óxido de Alumínio (Al_2O_3)	4,20%	-
Óxido de Ferro (Fe_2O_3)	2,80%	-
Óxido de Cálcio (CaO)	59,10%	-
Óxido de Magnésio (MgO)	5,70%	$\leq 6,5$
Sulfatos (SO_3)	2,80%	$\leq 4,5$
Óxido de Potássio (K_2O)	0,96%	-
Óxido de Sódio (Na_2O)	0,21%	-
Anidrido Carbônico (CO_2)	3,90%	$\leq 5,5$
Cal Livre	0,60%	-
Fator de Saturação da Cal	105,00%	-
Módulo de Sílica	2,50%	-
Módulo de Alumina	1,50%	-

Fonte: Adaptado do fabricante (2019)

3.1.2 Agregado Miúdo

Como agregado miúdo convencional, foi utilizado a areia natural, fornecida por uma distribuidora da região de Curitiba-PR, sendo classificada como areia média, foi escolhida por ser uma areia comercial. O material utilizado apresentou massa específica de $2,62 \text{ g/cm}^3$ obtida conforme prescrições da NBR 52 (ABNT,2009).

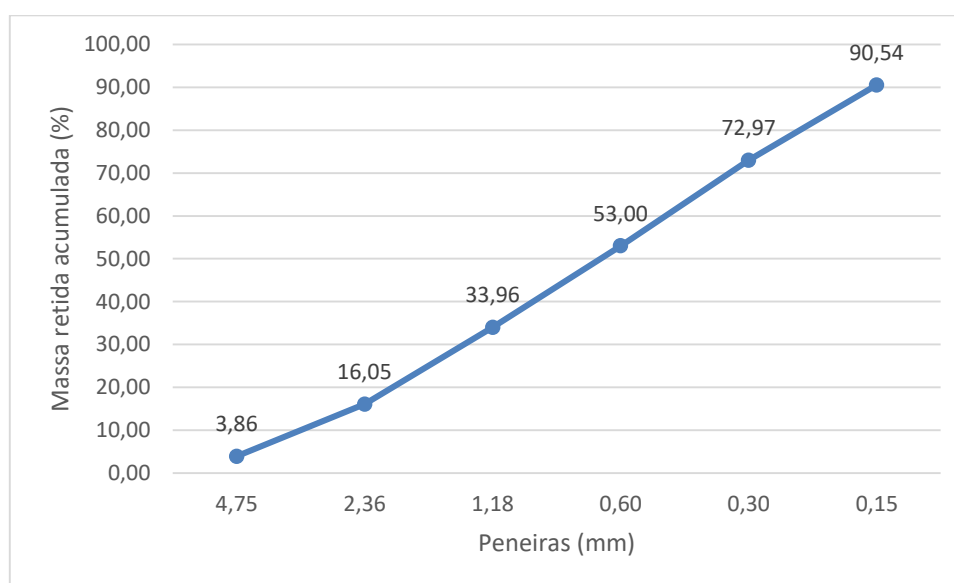
A Tabela 7 apresenta as características físicas do agregado miúdo e a Figura 4 apresenta a curva granulométrica.

Tabela 7 - Características físicas do agregado miúdo

Características	Resultado
Massa Específica (g/cm ³)	2,62
Massa Unitária Solta (g/cm ³)	1,60
Massa Unitária Compactada (g/cm ³)	1,76
Dimensão Máxima (mm)	4,80
Absorção de água (%)	1,24
Classificação NBR 7211 (ABNT, 2009)	Areia média - Zona 3

Fonte: Autora (2019)

Figura 4 - Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autora (2019)

3.1.3 Agregado Graúdo

Foi utilizado como agregado graúdo a Brita 0, com dimensões entre 4,8 mm e 9,5 mm fornecido por uma distribuidora da região de Curitiba – PR. A escolha do material nesta faixa granulométrica baseou-se na necessidade de trabalhar com corpos de prova reduzidos e produção de blocos vazados proporcionando facilidade no manuseio, outro fator preponderante foi a prática comum da utilização de material desta granulometria em indústrias produtoras de blocos de concreto (SALVADOR

FILHO 2007). O material utilizado apresentou massa específica de $2,74 \text{ g/cm}^3$ obtida conforme prescrições da NBR 53 (ABNT, 2003).

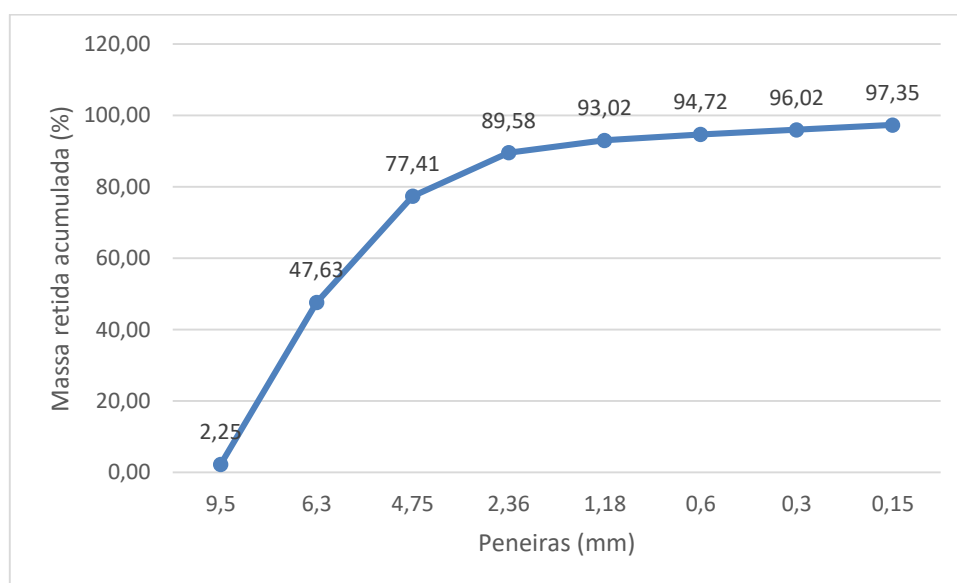
A Tabela 8 apresenta as características físicas do agregado graúdo e a Figura 6 apresenta a curva granulométrica.

Tabela 8 – Características físicas do agregado graúdo

Características	Resultado
Massa Específica (g/cm^3)	2,74
Massa Unitária Solta (g/cm^3)	1,42
Massa Unitária Compactada (g/cm^3)	1,55
Dimensão Máxima (mm)	9,50
Módulo de Finura	5,98
Absorção de água (%)	1,54
Classificação NBR 7211 (ABNT, 2009)	Brita 0

Fonte: Autora (2019)

Figura 5 – Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autora (2019)

3.1.4 Resíduo de Pinus Spp.

O resíduo de madeira utilizado nesta pesquisa, apresentado na Figura 4, foi fornecido pela INBRASFAMA® - Indústria Brasileira de Farinha de Madeira, situada na região de Curitiba-PR, obtido através do processamento industrial de sobras de madeira oriundas de reflorestamento e de indústrias beneficiadoras e transformados em serragem, também conhecido como farinha de madeira. As madeiras utilizadas nesse processamento são do gênero *Pinus* spp., espécies *Elliotti* e *Taeda*. O material foi utilizado conforme fornecido pela empresa, não havendo separação entre as espécies, tratamento ou alteração na granulometria, apresentando dimensão máxima de 0,6 mm e massa específica de 0,5 g/cm³.

A Tabela 9 apresenta as características físicas do resíduo de pinus spp. e as Figuras 6 e 7 apresentam a imagem do resíduo e sua curva granulométrica, respectivamente.

Figura 6 - Resíduos de pinus spp.

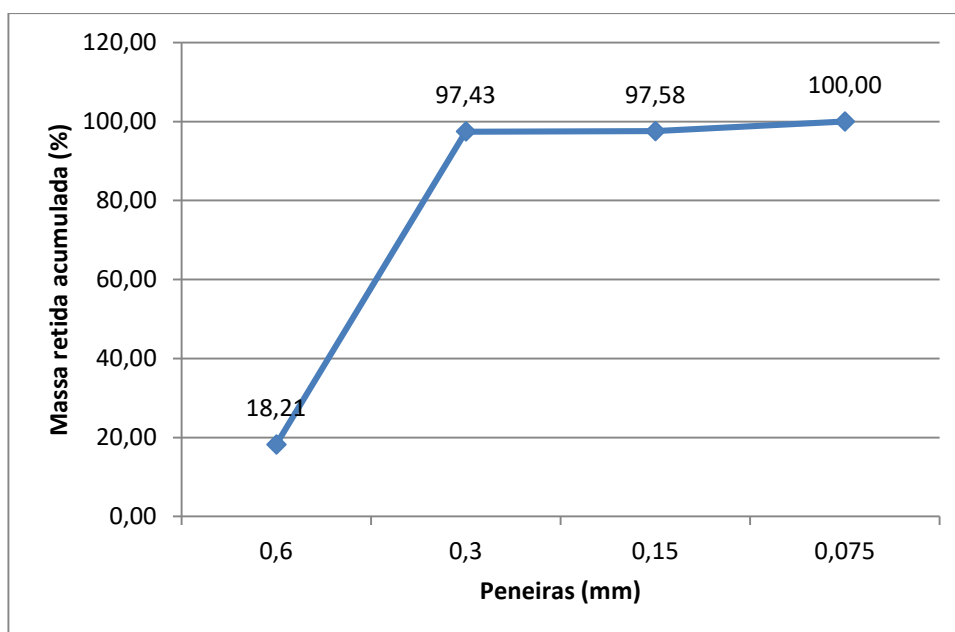


Fonte: Autora (2019)

Tabela 9 - Características físicas do resíduo de *pinus* spp.

Características	Resultado
Massa Específica (g/cm ³)	0,50
Massa Unitária Solta (g/cm ³)	0,25
Dimensão Máxima (mm)	0,60
Módulo de Finura	2,15
Absorção de água (%)	72,93
Classificação NBR 7211 (ABNT, 2009)	Equivalente - Zona 3

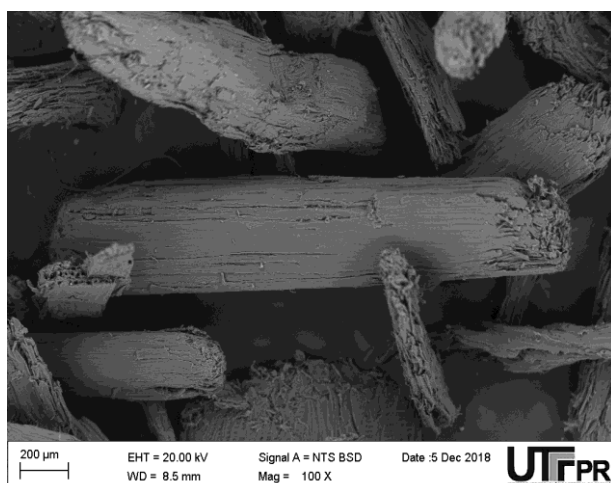
Fonte: Autora (2019)

Figura 7 – Curva granulométrica do resíduo de *pinus* spp.

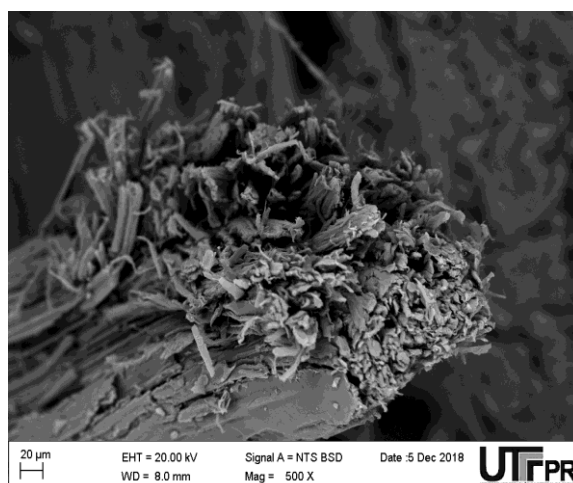
Fonte: Autora (2019)

Foi realizada a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de amostras do resíduo de *pinus* spp. utilizado nos ensaios, as imagens apresentadas na Figura 8 mostram que o material é altamente poroso possuindo pequenos canais que possibilitam o armazenamento e o transporte de água indicando ser um material de alta absorção como foram comprovados nos ensaios das características físicas nos quais o material apresentou uma absorção de água de 72,93 %.

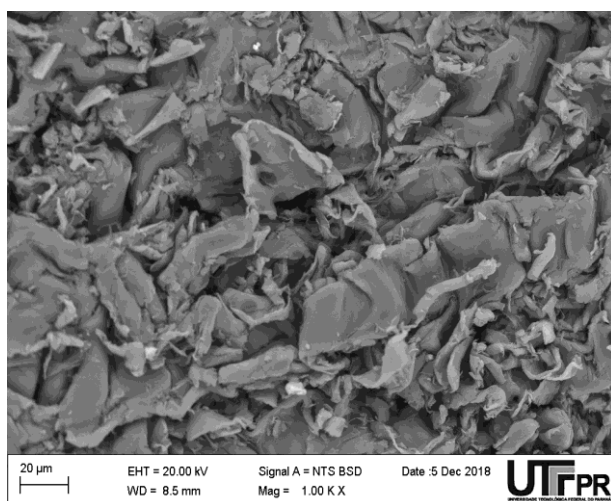
Figura 8 – Imagens de MEV de amostras do resíduo de pinus spp.



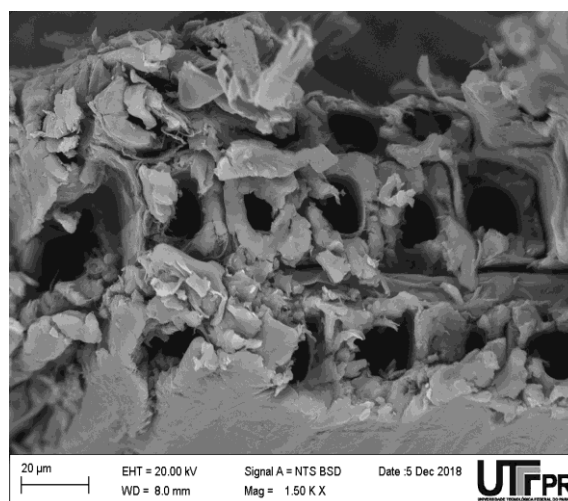
(a) Aumento de 100 X



(b) Aumento de 500 X



(c) Aumento de 1000 X



(d) Aumento de 1500 X

3.1.5 Água de Amassamento

Foi utilizada água potável fornecida pela rede de abastecimento da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR.

3.1.6 Aditivos Químicos

Foram utilizados os aditivos superplastificante de pega normal na proporção de 0,5 % em relação à massa total do cimento, atendendo as prescrições do fabricante, e acelerador de pega Cloreto de Cálcio bi-hidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) na proporção de 3,5 % em relação à massa total do cimento, a fim de auxiliar na hidratação do cimento, conforme utilizado por outros pesquisadores já citados na revisão bibliográfica.

As Tabelas 10 e 11, respectivamente, apresentam as características dos produtos conforme informado pelos fabricantes.

Tabela 10 - Características do aditivo superplastificante

Forma	Estado	Cor	pH	Teor de Sólidos (%)	Massa Específica (g/cm^3)
Superplastificante de pega normal	Líquido	Marrom	8	37,00 a 39,00	1,2

Fonte: Adaptado do fabricante (2019)

Tabela 11 - Características do aditivo acelerador de pega - $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Forma	Estado	Cor	pH	Solubilidade	Massa Específica (g/cm^3)
Cristais ou Prismas	Sólido	Branca	8,0 a 9,0	Alta	0,80 a 0,84

Fonte: Adaptado do fabricante (2019)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 Distribuição Granulométrica

3.2.1.1 Agregados Naturais

O ensaio para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos seguiu as metodologias prescritas nas normas NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR 7211 (ABNT, 2009).

A distribuição granulométrica do agregado miúdo demonstra tratar-se de uma areia de granulometria média, apresentando módulo de finura 2,70 sem finos ou material pulverulento ($D_{máx} < 0,075$ mm).

O agregado graúdo apresenta-se como Brita 0 podendo observar que o material retido acumulado na peneira 2,4 mm é superior a 80% o que viabiliza sua utilização na produção das amostras desta pesquisa.

3.2.1.2 Resíduo de *Pinus* spp.

O ensaio para a determinação da composição granulométrica dos resíduos de *Pinus* spp. seguiu a metodologia prescrita na norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) para agregados convencionais porém, ocorrendo algumas adaptações devido às características específicas do material utilizado. Não foi realizada a secagem inicial em estufa por se tratar de um material pouco resistente a temperaturas elevadas e por estar armazenado em ambiente seco.

O resíduo de pinus utilizado na pesquisa apresentou-se com granulometria uniforme tendo dimensão máxima de 0,6 mm e módulo de finura 2,15. A distribuição granulométrica caracterizou o resíduo de pínus spp. na mesma faixa do agregado miúdo convencional de granulométrica média, sendo equivalente a Zona 3 conforme a classificação da NBR 7211 (ANBT, 2009).

3.2.2 Massa Específica

3.2.2.1 Agregado Miúdo

O ensaio para a determinação da massa específica aparente do agregado miúdo seguiu as prescrições da norma NBR NM 52 (ABNT, 2009). O material apresentou massa específica de 2,62 g/cm³ podendo ser classificado como agregado leve ($\gamma < 2,00$ kg/dm³).

A amostra foi constituída por 0,50 kg de massa seca do agregado miúdo (areia) e utilizou-se o frasco de Chapman para o desenvolvimento do ensaio. A massa específica aparente do agregado seco foi obtida com auxílio da Equação 1.

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (1)$$

Onde:

d₁ é a massa específica aparente do agregado seco, em g/cm³;

m é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

V é o volume do frasco, (conjunto água-agregado miúdo), em cm³;

V_a é o volume de água adicionada ao frasco, em cm³.

3.2.2.2 Agregado Graúdo

O ensaio para a determinação da massa específica do agregado graúdo seguiu as prescrições da norma NBR NM 53 (ABNT, 2003). O material utilizado apresentou massa específica de 2,74 g/cm³

A amostra para o ensaio foi constituída por 0,50 kg de massa seca do agregado graúdo (brita 0 ou pedrisco), não sendo utilizada a massa mínima indicada pela norma de 2,0 kg face às limitações do equipamento utilizado. O procedimento foi realizado com três repetições a fim de certificar a ausência de erros pela amostra ser menor que a especificada. Para este ensaio foi utilizado balança hidrostática para determinação da massa do material submerso (massa em água).

A massa específica do agregado seco foi obtida com auxílio da Equação 2.

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

Onde:

d é a massa específica do agregado seco, em g/cm³;

m é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

m_s é a massa ao ar da amostra saturada superfície seca, em gramas;

m_a é a massa em água da amostra, em gramas.

3.2.2.3 Resíduo de *Pinus* spp.

O ensaio para a determinação da massa específica do resíduo de *pinus* spp. foi adaptado da norma NBR NM 52 (ABNT, 2009) que descreve a metodologia de ensaio para a determinação da massa específica do agregado miúdo, sendo que a dimensão do resíduo determinada pela análise granulométrica apresentou-se na faixa entre 0,6 mm e 0,75 mm, e, infere-se, nesta pesquisa, que o mesmo possa ser classificado como tal.

Foi realizado o ensaio utilizando uma proveta graduada para as leituras dos volumes, substituiu-se a água por querosene e utilizou-se uma massa de 20 gramas de resíduo e 200 ml de querosene. A massa específica do resíduo de *pinus* spp. foi obtida por meio da Equação 1, resultando no valor de 0,5 g/cm³.

3.2.3 Massa Unitária Solta

O ensaio para a determinação da massa unitária solta dos materiais utilizados nesta, seguiu a metodologia prescrita na norma NBR NM 45 (ABNT, 2006).

O ensaio da determinação da massa unitária para os agregados convencionais (areia e brita 0) foram repetidos três vezes, com quantidades de massa diferente para cada amostra e obtida a média das massas unitárias. As amostras foram de agregado miúdo foram de 2.494,80 g; 2.463,80 g e 2.531,90 g de massa seca e o volume do recipiente foi de 1.554,8 cm³, sendo mantido o mesmo volume para os três repetições. Para o ensaio do agregado graúdo as amostras foram de 2.235,8 g; 2.322,6 g e 2.385,1 g de massa seca e o volume do recipiente foi de 1.641,4 cm³, sendo mantido o mesmo volume para os três repetições.

As massas unitárias soltas dos agregados convencionais, areia e brita 0, foram de 1,60 g/cm³ e 1,42 g/cm³ respectivamente.

Para o ensaio do resíduo de pinus spp. não foram feitas repetições tendo em vista a uniformidade dos grãos da amostra o que permitiu uma a constância no arrasamento. A amostra foi de 145,75 g o volume do recipiente foi de 595,2 cm³. O material apresentou massa unitária solta de 0,25 g/cm³

Os valores foram calculadas com auxílio da Equação 3.

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

Onde:

ρ_{ap} é a massa unitária solta, em g/cm³;

m_r é a massa do recipiente vazio em gramas;

m_{ar} é a massa do recipiente com agregado/resíduo no estado solto, em gramas;

V é o volume do recipiente cm³.

3.2.4 Massa Unitária Compactada

O ensaio para a determinação da massa unitária compactada dos materiais, seguiu a metodologia prescrita na norma NBR NM 45 (ABNT, 2006).

O ensaio da determinação da massa unitária compactada para os agregados convencionais (areia e brita 0) foram repetidos três vezes, com quantidades de massa diferente para cada amostra e obtida a média das massas unitárias. As amostras de agregado miúdo foram de 25.860,00 g; 26.200,00 g e 26.340,00 g de massa seca e o volume do recipiente foi de 14.883,75 cm³, sendo mantido o mesmo volume para os três repetições. Para o ensaio do agregado graúdo as amostras foram de 30.700,00 g; 30.380,00 g e 30.400,00 g de massa seca e o volume do recipiente foi de 19.845,00 cm³, sendo mantido o mesmo volume para os três repetições.

As massas unitárias compactadas dos agregados convencionais, areia e brita 0, foram de 1,76 g/cm³ e 1,55 g/cm³ respectivamente. Os valores foram calculados por meio da Equação 3.

3.2.5 Absorção de água dos agregados

3.2.5.1 Agregado Miúdo

O ensaio para a determinação da absorção de água dos agregados miúdos seguiu as prescrições da norma NBR NM 52 (ABNT, 2009).

O valor da absorção de água do agregado miúdo foi 1,24 % calculado com auxílio da Equação 4

$$A = \frac{m_s - m}{m} * 100 \quad (4)$$

Onde:

A é a absorção de água, em porcentagem;

M_s é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

m é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

3.2.5.2 Agregado Graúdo

O ensaio para a determinação da absorção de água do agregado graúdo seguiu as prescrições da norma NBR NM 53 (ABNT, 2003).

O valor da absorção de água do agregado graúdo foi 1,54 % calculado através da Equação 4.

3.2.5.3 Resíduo de *Pinus* spp.

O ensaio para a determinação da absorção de água do resíduo de *pinus* spp. foi obtido seguindo o procedimento delineado na norma NBR NM 52 (ABNT, 2009) que determina o procedimento de ensaio para a determinação da massa específica do agregado miúdo.

Foi tomada uma amostra inicial e submetida ao processo determinado pela norma para atingir a condição de saturado com superfície seca, após esse processo, a amostra foi pesada para a obtenção da massa na condição saturada superfície seca. Essa mesma amostra foi levada para a secagem em estufa a 90 °C por um período de 24 horas e pesada novamente. O valor da absorção de água do resíduo foi calculado com auxílio da Equação 4.

A absorção de água foi de 72,93 % mostrando-se elevada quando comparada aos padrões apresentados nos agregados convencionais, fato esperado tendo em vista que a estrutura interna do material é altamente porosa facilitando o acúmulo de água em seu interior.

3.2.6 Teor de Umidade dos agregados

O ensaio para a determinação do teor de umidade dos materiais utilizados na pesquisa seguiu as prescrições da norma NBR 9775 (ABNT, 2011). Os teores de umidade encontrados nos agregados convencionais e no resíduo de pinus spp., foram de 1,96% para a areia, 0,94 % para a brita 0 e 0,16 % para o resíduo de pínus, calculados por meio da Equação 5.

$$h = 100 * \frac{[500 - (L - 200) * y]}{[y * (L - 700)]} \quad (5)$$

Onde:

h é a umidade, em %;

L é a leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado);

Y e a massa específica do agregado, g/cm³.

3.3 OTIMIZAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE OS AGREGADOS

A otimização da relação entre os agregados para a determinação dos traços foi baseada no ensaio de massa unitária compactada, seguindo os procedimentos prescritos pelo método A da norma NBR NM 45 (ABNT, 2006).

O ensaio de foi realizado para 5 diferentes relações entre agregados, repetindo 3 vezes a pesagem de cada mistura. Foram utilizadas combinações com 30 % de areia e 70 % de brita denominado COMBINAÇÃO A, 40 % de areia e 60 % de brita denominado COMBINAÇÃO B, 50 % de areia e 50 % de brita denominado COMBINAÇÃO C, 60 % de areia e 40 % de brita denominado COMBINAÇÃO D, 70 % de areia e 30 % de brita denominado COMBINAÇÃO E. A Tabela 12 apresenta os resultados do ensaio.

Tabela 12 – Massas unitárias compactadas para as combinações dos agregados

MISTURAS	MASSA AREIA (g)	MASSA BRITA (g)	MASSA DA MISTURA (g)			MASSA UNITÁRIA COMPACTADA (g/cm ³)*			
			1º	2ª	3ª	M1	M2	M3	MÉDIA
A - 30A70B	450	1050	1421,6	1319,1	1415,2	1,82	1,69	1,81	1,77
B - 40A60B	600	900	1488,2	1403,6	1406,8	1,91	1,80	1,80	1,84
C - 50A50B	750	750	1499,4	1445,8	1489,6	1,92	1,85	1,91	1,89
D-60A40B	900	600	1493,9	1399,1	1487,8	1,91	1,79	1,91	1,87
E - 70A30B	1050	450	1480,7	1367,8	1476,1	1,90	1,75	1,89	1,85

* Valores médios de 3 medições

Fonte: Autora (2019)

Com os resultados das massas unitárias compactadas obtidos para cada mistura definiu-se que a relação ótima entre os agregados a ser empregada nesta pesquisa foi a da mistura C sendo 50 % de agregado miúdo e 50 % de agregado graúdo, visto que esta relação foi a que apresentou a maior média das massas unitárias compactadas refletindo em ter o menor índice de vazios.

3.4 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS-PILOTO

Os traços-piloto foram determinados pela metodologia da ABCP e baseados no planejamento experimental fatorial fracionado, sendo definido o estudo de 9 traços-piloto. A Tabela 13 apresenta as quantidades de materiais calculadas para cada traço, em Kg/m^3 e a Tabela 14 juntamente com a Figura 9 apresentam o planejamento fatorial fracionado estabelecido para definir as substituições da areia pelo resíduo de madeira nas frações referentes ao agregado miúdo.

A relação apresentada nos traços indica que, por exemplo no caso do traço 1:4, para cada 1 Kg/m^3 de cimento utilizado na mistura devem ser acrescentados 4 Kg/m^3 de agregados total. A porção referente aos agregados foi fracionada em 50 % para cada tipo de agregado, miúdos e graúdos, conforme o estudo da otimização entre os agregados apresentado anteriormente. A substituição do resíduo de madeira se deu na porção referente ao agregado miúdo (areia) conforme porcentagens estabelecidas no planejamento fatorial fracionado.

Tabela 13 – Quantitativos de materiais para os traços-piloto em massa (kg/m^3)

IDENTIFICAÇÃO	TRAÇOS CIMENTO:AGREGADOS	CIMENTO (kg/m^3)	AGREGADO MIÚDO				AGREGADO GRAÚDO
			AREIA		MADEIRA		
			%	kg/m^3	%	kg/m^3	kg/m^3
TRAÇO 1	1:4	440,00	100	880,00	0	0,00	880,00
TRAÇO 2	1:4	440,00	0	0,00	100	880,00	880,00
TRAÇO 3	1:6	335,00	50	502,50	50	502,50	1005,00
TRAÇO 4	1:8	265,00	75	795,00	25	265,00	1060,00
TRAÇO 5	1:8	265,00	50	530,00	50	530,00	1060,00
TRAÇO 6	1:8	265,00	25	265,00	75	795,00	1060,00
TRAÇO 7	1:10	220,00	50	550,00	50	550,00	1100,00
TRAÇO 8	1:12	210,00	100	1260,00	0	0,00	1260,00
TRAÇO 9	1:12	210,00	0	0,00	100	1260,00	1260,00

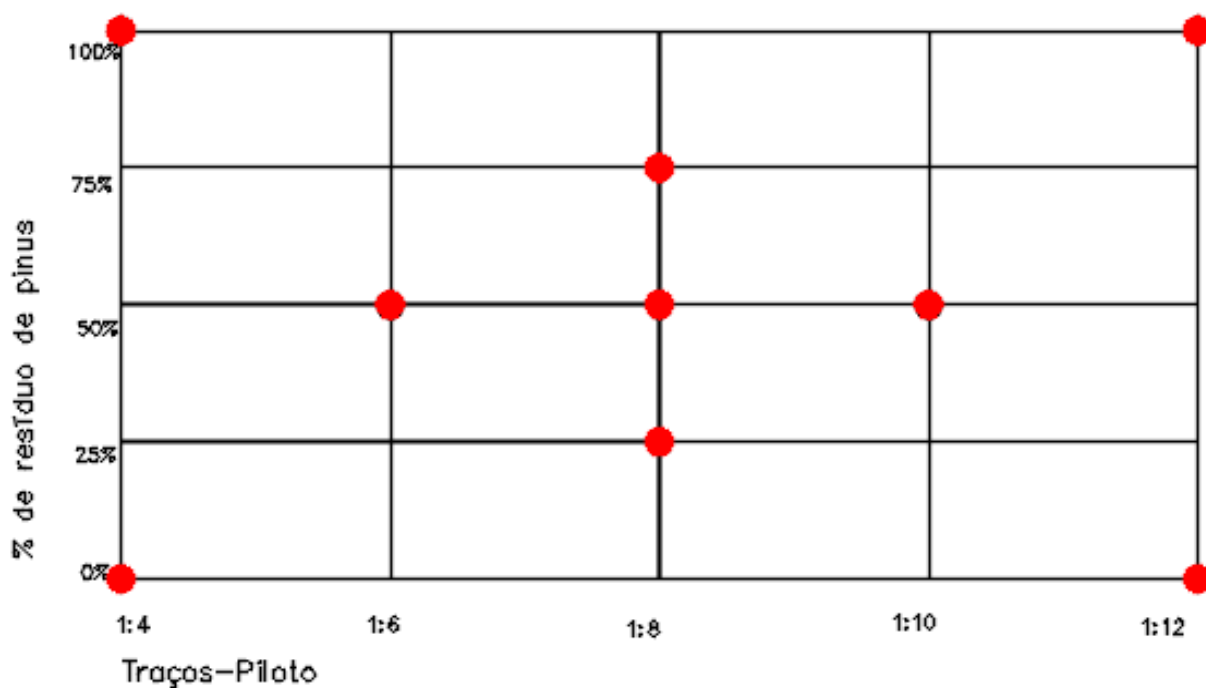
Fonte: Autora (2019)

Tabela 14 – Planejamento experimental fatorial fracionado 2^K

Traços-piloto X Resíduos de <i>pinus</i> spp. (%)									
Identificação	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4	Traço 5	Traço 6	Traço 7	Traço 8	Traço 9
Traços-Piloto (cimento:agregados)	1:4	1:4	1:6	1:8	1:8	1:8	1:10	1:12	1:12
Resíduo (%)	0	100	50	25	50	75	50	0	100

Fonte: Autora (2019)

Figura 9 – Planejamento experimental fatorial fracionado



Fonte: Autora (2019)

As substituições da areia pelo resíduo de madeira foram determinadas relacionando a massa da madeira com o volume correspondente de areia a ser substituído, visto que a massa unitária solta da madeira é 0,25 g/cm³ e a de massa unitária solta da areia é 1,60 g/cm³, a fim de viabilizar a substituição.

A quantidade de água utilizada nos traços foi de 6% sobre o peso total da massa dos materiais, conforme uso para concreto secos praticados pelas empresas que produzem blocos de concreto (SALVADOR FILHO, 2007) porém, este teor foi corrigido levando em conta a umidade dos agregados convencionais e do resíduo de madeira no momento do ensaios, com o auxílio das Equações 6 e 7 respectivamente.

$$C_a = (U - ABS) * M \quad (6)$$

Onde:

C_a é o consumo de água, em kg;

U é o teor de umidade do agregado, em %;

M é a massa do agregado, em kg.

$$C_a = R_{ac} * C + (PSF - U) * M \quad (7)$$

Onde:

C_a é o consumo de água, em kg;

R_{ac} é a relação água/cimento;

C é a massa do cimento, em Kg;

PSF é o ponto de saturação da fibra, adotado 30% ;

U é o teor de umidade da madeira, em %;

M é a massa da madeira, em kg.

O ponto de saturação da fibra de 30 % foi adotado como base inicial dos ensaios, sendo avaliada gradualmente o acréscimo de água até atingir os 72 % de absorção do material utilizado.

A amostra mínima a ser ensaiada, a fim de garantir estatisticamente a distribuição e confiabilidade dos resultados, dentro de um nível de confiança de 95%, foi determinada pela Equação 8. Assumindo como viável um CV de 10%, tem-se $n = 1,96^2 = 3,84$ ou

seja, com no mínimo 4 exemplares é possível obter respostas a um nível estatístico de confiança de 95% (DAL MOLIN et al., 2005).

$$n = z_{\alpha/2}^2 \cdot \frac{CV^2}{Er^2} \quad (8)$$

Onde:

n é o número de repetições;

Er é o erro relativo admitido da estimativa, fixado em 10%;

CV é o coeficiente de variação da amostra;

z_{α/2} é o valor tabelado que, para α = 5% de significância possui o valor de 1,96.

Para esta pesquisa optou-se por trabalhar com um mínimo de 6 exemplares para a realização dos ensaios a fim de abranger uma maior coleta dos dados, uma vez que, em havendo algum valor espúrio o mesmo possa ser eliminado sem que haja prejuízo à confiabilidade dos mesmos.

A variância amostral do experimento foi desenvolvida por ANOVA e a análise dos resultados dos ensaios dos corpos de prova foi desenvolvida por análise multivariada utilizando inferência estatística por regressões múltiplas e metodologia de superfície de resposta, obtendo a relação da porcentagem ideal de substituição de agregado miúdo por resíduo de *pinus* spp. em função do traço desejado, **R = f (% resíduos; traço)**.

3.5 PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

Para cada traço-piloto, foram produzidos 12 corpos de prova em molde metálico cilíndrico de 5x10 cm, totalizando 108 corpos de prova, sendo definidos 6 corpos de prova para o ensaio de resistência a compressão, 6 corpos de prova para os ensaios de massa específica, absorção e índice de vazios. Os corpos de prova cilíndricos foram submetidos aos ensaios após 28 dias de cura, sendo os primeiros 7 dias de cura em câmara úmida e os demais ao ar livre.

A moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi realizada através de um sistema alternativo de moldagem, desenvolvido por Lima (2009) apresentado na Figura 10, que permite aliar os processos de compactação e vibração semelhantes aos produzidos pela máquina vibro compressor na qual são produzidos os blocos de concreto.

Figura 10 – Equipamento utilizado na moldagem dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autora (2019)

A Tabela 15 apresenta as quantidades dos materiais utilizados na produção dos corpos de prova cilíndricos.

Tabela 15 – Quantitativo de materiais para produção dos corpos de prova cilíndricos

IDENTIFI- CAÇÃO	TRAÇOS CIMENTO: AGREGADOS	CIMENTO (g)	AGREGADOS			ÁGUA (g)	CIMENTO: MADEIRA (%)
			AREIA (g)	MADEIRA (g)	BRITA (g)		
TRAÇO 1	1:4	1727,88	3455,80	0,00	3455,76	518,36	0,00
TRAÇO 2	1:4	1727,88	0,00	526,98	3455,76	518,36	30,50
TRAÇO 3	1:6	1315,54	1973,00	300,92	3946,63	452,18	22,87
TRAÇO 4	1:8	1040,65	3122,00	158,69	4162,62	509,00	15,25
TRAÇO 5	1:8	1040,65	2081,00	317,40	4162,62	456,11	30,50
TRAÇO 6	1:8	1040,65	1041,00	476,10	4162,62	403,20	45,75
TRAÇO 7	1:10	863,94	2160,00	329,40	4319,70	460,37	38,13
TRAÇO 8	1:12	824,67	4948,00	0,00	4948,00	643,24	0,00
TRAÇO 9	1:12	824,67	0,00	754,50	4948,02	391,63	91,49

Fonte: Autora (2019)

Para determinar o tempo equivalente de moldagem dos corpos de prova cilíndricos no sistema alternativo, de forma a corresponder ao tempo de vibração dos blocos moldados na vibro prensa, foi utilizada a relação entre a massa específica do

concreto fresco com o tempo de moldagem na mesa vibratória, baseado nos ensaios realizados por Lima (2009), para tanto, foram produzidos 12 blocos de concreto com traço 1:4, sem acréscimo de resíduo de madeira, moldados na vibro prensa.

Os blocos de concreto foram submetidos à cura úmida por 24 horas após a moldagem e cura ao ar livre por mais 13 dias, totalizando 14 dias de cura. Tendo em vista a otimização do tempo para a realização dos ensaios e que o objetivo desta produção foi definir tempo de moldagem, não foi realizada cura de 28 dias. Após a cura foi determinada a massa específica dos blocos de concreto, seguindo os procedimentos da norma NBR NM 53 (ABNT, 2003) apresentando um coeficiente de variação de 4,33 %. Com o valor médio das massas específicas dos blocos de concreto, foi obtido o valor de 74 segundos para o tempo equivalente inicial de moldagem dos corpos de prova no sistema alternativo.

Com objetivo de validar o tempo equivalente de moldagem calculado, foram produzidos 12 corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm no sistema alternativo de moldagem, no traço 1:4 e sem acréscimo de resíduo, submetidos ao tempo de moldagem de 74 segundos, em seguida os corpos de prova passaram pelo mesmo processo de cura utilizado nos blocos, posterior à cura dos corpos de prova cilíndricos foram determinadas as massas específicas, apresentando um coeficiente de variação de 1,36 %.

A comparação entre a média das massas específicas dos blocos de concreto produzidos na vibro prensa e dos corpos de prova cilíndricos produzidos no sistema alternativo de moldagem, mostrou que o tempo de 74 segundos para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi suficiente para produzir materiais com massa específica muito semelhantes, razão pela qual este foi o tempo adotado para dar continuidade na produção dos corpos de prova cilíndricos nos demais traços.

Com a definição do tempo de moldagem dos corpos de prova cilíndricos no sistema alternativo desenvolvido por Lima (2009), procedeu-se então a confecção dos demais corpos de prova cilíndricos nos traços estabelecidos no planejamento do experimento, e após cura de 28 dias sendo os primeiros sete dias em câmara úmida e os demais ao ar livre, os corpos de prova cilíndricos foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão axial, massa específica, absorção e índice de vazios.

3.6 PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

A definição dos traços utilizados para a produção dos blocos de concreto foi baseada nos resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova cilíndricos, descrito no item anterior. Os valores obtidos foram tratados estatisticamente e por meio de regressão múltipla obteve-se a Equação 9, sendo esta a base para a modelagem apresentada na Tabela 16, que permitiu uma avaliação prévia do traço e da porcentagem de madeira que proporcionariam a resistência à compressão mínima de 3,0 MPa conforme prescrito na NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos de classe C, podendo ser utilizado com função estrutural para edificações de até 5 pavimentos.

$$RC = e^{(2,7721 - 0,07986 * [Traço] - 2,5944 * 10^{-2}) * [%Mad]} \quad (9)$$

Onde, RC é a resistência à compressão dos blocos aos 28 dias, delineada conforme o traço e a porcentagem de madeira avaliados.

Tabela 16 – Modelagem para definição dos traços

Traço:	
% Madeira:	
RESULTADOS ESTIMADOS PELOS MODELOS	
RC 28D - CP Cilíndricos =	MPa
RC 28D – Blocos vazados =	MPa
Absorção =	%
IV =	%
M. Esp. est ==	g/cm ³
Relação RB =	0,560701946 RC

Fonte: Autora (2020)

Foi feita uma primeira avaliação dos traços x resistência à compressão, auxiliada pela modelagem obtida com o estudo dos corpos de prova cilíndricos, onde observou-se que as melhores composições para alcançar a resistência especificada pela norma seriam com os traços 1:12 com 27 % de madeira com a perspectiva de alcançar 3,04 MPa; 1:10 com 33 % de madeira com uma perspectiva de 3,06 MPa e 1:8 com 39 % de madeira com a perspectiva de alcançar 3,07 MPa. A Tabela 17 apresenta os resultados obtidos pela primeira avaliação de traços.

Tabela 17 – Primeira avaliação de traços mediante modelagem

Traço	Madeira (%)	Areia (%)	Resistência à Compressão (Mpa) – (expectativa)	Madeira/Cimento (%)
1:8	39,0	61,0	3,07	24,0
1:10	33,0	67,0	3,06	26,0
1:12	27,0	73,0	3,04	25,0

Fonte: Autora (2020)

Optou-se então pela a produção do traço 1:10 com 33 % de madeira, visto que essa relação foi a que apresentou melhor relação cimento: madeira, um dos fatores de decisão para a escolha da mistura, desta forma, foram então produzidos 12 blocos, sendo 6 sem substituição de madeira e 6 com a substituição. Os blocos passaram por cura de 28 dias, sendo que as primeiras 72 horas ficaram em cura úmida, simulada através da cobertura com lona e aspersão de água nas primeiras 12 horas, após a cura foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão.

Visto que os valores destes primeiros ensaios foram inferiores aos requisitos normativos, uma vez que a resistência à compressão esperada não foi alcançada, foi realizada nova etapa de modelagem, porém considerando maiores expectativas pra as resistências à compressão, para tanto foram avaliadas substituições de 25 % e 27 % para o traço 1:8 e substituições de 30 % e 35 % para o traço 1:6, a Tabela 18 apresenta os parâmetros avaliados na segunda modelagem.

Tabela 18 – Segunda avaliação de traços mediante modelagem

Traço	Madeira (%)	Areia (%)	Resistência à Compressão (Mpa) (expectativa)	Madeira/Cimento (%)
1:6	30,0	70,0	4,55	13,72
1:6	35,0	65,0	3,99	16,0
1:8	25,0	75,0	4,41	15,25
1:8	27,0	73,0	4,19	16,46

Fonte: Autora (2020)

Para validar os valores da resistência à compressão apresentados na segunda modelagem, e seguir com a produção dos blocos de concreto com o traço otimizado para a realização dos demais ensaios, foram produzidos 6 blocos no traço 1:8 com

substituição de 25 % de madeira e 6 blocos no traço 1:6 com substituição de 30 %, a escolha baseou-se nos valores de maior resistência para cada traço específico.

Os dois traços apresentaram resultados satisfatórios para os ensaios da resistência à compressão, no entanto o traço 1:8 se mostrou mais adequado para o objetivo desta pesquisa, sendo este, atingir maior resistência à compressão mantendo maior relação cimento: madeira, e por cumprir esses dois requisitos optou-se por dar continuidade adotando esse traço como padrão para os demais ensaios. Desta forma foram produzidas as quantidades de blocos complementares e os mesmos foram submetidos aos ensaios de análise dimensional, determinação de absorção de água, área líquida, resistência à compressão, conforme procedimentos prescritos pela NBR 12118 (ABNT, 2014), foi determinado também o índice de vazios e a massa específica conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 9778 (ABNT, 2009).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A verificação da existência de diferenças reais entre os tratamentos, composições e métodos adotados neste trabalho foi feita mediante a *Análise da Variância (ANOVA)*. A análise dos grupos de média foi realizado utilizando-se o procedimento *Multiple Range Test* através do teste de *Tukey-Kramer*. A determinação dos modelos estatísticos foram obtidos através de Análise Multivariada, tipo regressão múltipla. A construção das superfícies de resposta, bem como os demais procedimentos de análise estatística foram realizados com o auxílio de *softwares* específicos.

4. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa, incluindo a caracterização dos materiais e os ensaios realizados nas etapas do programa experimental.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os ensaios para a caracterização dos materiais, conforme apresentados no Capítulo 3, mostram que a areia utilizada como agregado miúdo convencional classifica-se como areia média, com massa específica 2,62 g/cm³, dimensão máxima de 4,8 mm, módulo de finura 2,70 e 1,24% de absorção de água. O agregado graúdo classifica-se como Brita 0, com massa específica 2,74 g/cm³, dimensão máxima de 9,5 mm, módulo de finura 5,98 e 1,54 % de absorção de água. O resíduo de pinus spp. pode ser classificado como agregado leve de granulometria média, com massa específica 0,50 g/cm³, dimensão máxima 0,60 mm, módulo de finura 2,15 e 72,93 % de absorção de água.

4.2 PRODUÇÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

4.2.1 Determinação dos parâmetros de produção

Otimização da relação entre os agregados

A otimização da relação entre os agregados foi realizada através da composição entre os agregados miúdos e graúdos de forma a proporcionar a maior massa unitária compactada, conforme método de dosagem ABCP, para tanto foi realizado o ensaio de massa unitária compactada, seguindo os procedimentos prescritos pelo método A da norma NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os resultados são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Massas unitárias compactadas para as combinações dos agregados

MISTURAS	MASSA AREIA (g)	MASSA BRITA (g)	MASSA DA MISTURA (g)			MASSA UNITÁRIA COMPACTADA (g/cm ³)*			
			1º	2ª	3ª	M1	M2	M3	MÉDIA
A - 30A70B	450	1050	1421,6	1319,1	1415,2	1,82	1,69	1,81	1,77
B - 40A60B	600	900	1488,2	1403,6	1406,8	1,91	1,80	1,80	1,84
C - 50A50B	750	750	1499,4	1445,8	1489,6	1,92	1,85	1,91	1,89
D-60A40B	900	600	1493,9	1399,1	1487,8	1,91	1,79	1,91	1,87
E - 70A30B	1050	450	1480,7	1367,8	1476,1	1,90	1,75	1,89	1,85

* Valores médios de 3 medições

Fonte: Autora (2019)

Foram utilizadas cinco combinações entre os agregados e com os resultados das massas unitárias compactadas obtidos para cada mistura definiu-se que a relação ótima entre os agregados a ser empregada no ensaios foi de 50 % de agregado miúdo e 50 % de agregado graúdo, sendo esta a que proporciona a maior massa unitária.

Determinação do tempo de moldagem

Para a determinação do tempo de moldagem dos corpos de prova cilíndricos, conforme descrito no capítulo 3, foram produzidos blocos de concreto moldados na vibro prensa para a obtenção da massa específica seguindo os procedimento da norma NBR NM 53 (ABNT, 2003), a Tabela 20 apresenta os resultados deste ensaio.

Tabela 20 – Massa específica dos blocos de concreto sem madeira para definição do tempo de moldagem

Identificação	Massa dos blocos - Fresco (g)	Massa dos blocos - lmerso (g)	Massa específica (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³) - dados saneados
1	14090,00	8131,70	2,36	2,36
2	14090,00	8037,00	2,33	2,33
3	14470,00	8571,80	2,45	2,45
4	14470,00	8670,10	2,49	2,49
5	13660,00	8468,00	2,63	2,63
6	13660,00	8763,70	2,79	Excluído
7	14630,00	8930,80	2,57	2,57
8	14630,00	9083,50	2,64	2,64

9	14670,00	8707,70	2,46	2,46
10	14670,00	8709,10	2,46	2,46
11	15070,00	8327,80	2,24	Excluído
12	15070,00	8297,80	2,23	Excluído
Média			2,47	2,49
Desvio Padrão			0,17	0,11
Coefficiente de Variação			6,83	4,33
Limite Máximo			2,64	
Limite Mínimo			2,30	

Fonte: Autora (2019)

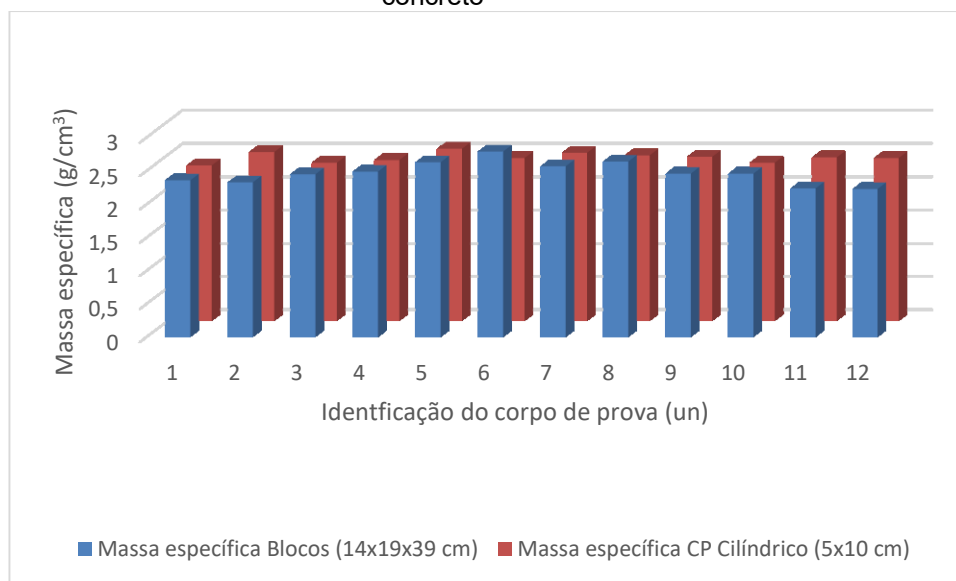
Com o valor médio das massas específicas dos blocos de concreto, foi obtido o valor de 74 segundos para o tempo equivalente de moldagem dos corpos de prova, conforme descrito no Capítulo 3. O tempo equivalente foi validado produzindo-se corpos de prova cilíndricos aplicando o tempo calculado para a moldagem e posterior ao processo de cura foram determinadas as massas específicas, a Tabela 21 e a Figura 11 apresentam os valores obtidos.

Tabela 21 – Massa específica dos corpos de prova cilíndricos para validação do tempo de moldagem

Identificação	Massa do corpo de prova cilíndrico - Fresco (g)	Massa do corpo de prova cilíndrico - lmerso (g)	Massa específica (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³) - dados saneados
1	413,00	236,20	2,34	Excluído
2	442,00	268,10	2,54	Excluído
3	476,00	276,30	2,38	Excluído
4	425,00	249,70	2,42	2,42
5	432,00	265,30	2,59	Excluído
6	447,00	264,70	2,45	2,45
7	475,00	286,90	2,53	2,53
8	426,00	255,20	2,49	2,49
9	431,00	256,60	2,47	2,47
10	403,00	233,90	2,38	Excluído
11	425,00	251,90	2,46	2,46
12	387,00	228,80	2,45	2,45
Média			2,46	2,47
Desvio Padrão			0,07	0,03
Coefficiente de variação			2,96	1,36
Limite Máximo			2,53	
Limite Mínimo			2,39	

Fonte: Autora (2019)

Figura 11 – Gráfico das massas específicas dos corpos de prova cilíndricos e dos blocos de concreto



Fonte: Autora (2019)

A comparação entre a média das massas específicas dos blocos de concreto ($2,47 \text{ g/cm}^3$) produzidos na vibro prensa e dos corpos de prova produzidos no sistema alternativo de moldagem ($2,46 \text{ g/cm}^3$), mostrou que o tempo de 74 segundos para a moldagem dos corpos de prova foi suficiente para produzir materiais com massa específica semelhantes, visto que os valores médios variam em apenas 1,0%, razão pela qual este foi o tempo adotado para dar continuidade na produção dos corpos de prova nos demais traços.

4.2.2 Produção dos corpos de prova cilíndricos e análise estatística dos resultados

Com a definição do tempo de moldagem estipulado em 74 segundos, realizou-se então a produção dos corpos de prova cilíndricos no sistema de moldagem alternativo com auxílio de mesa vibratória, conforme descrito no capítulo 3, sendo produzidos 12 corpos de prova para cada um dos 9 traços definidos no programa experimental. Os corpos de prova foram submetidos a cura por 28 dias, sendo os primeiros sete dias em câmara úmida e os demais ao ar livre. Após a cura, foram tomados 6 corpos de prova e submetidos ao ensaio de resistência à compressão, conforme NBR 7215 (ABNT, 2019) e os outros 6 foram submetidos aos ensaios de

absorção, índice de vazios e massa específica, NBR 9778 (ABNT, 2005) sendo apresentados abaixo os resultados e as análises de cada ensaio.

1 Análise da Resistência à Compressão (MPa)

Na Tabela 22 e na Figura 12 são demonstrados os resultados dos valores médios de seis repetições do ensaio da resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos.

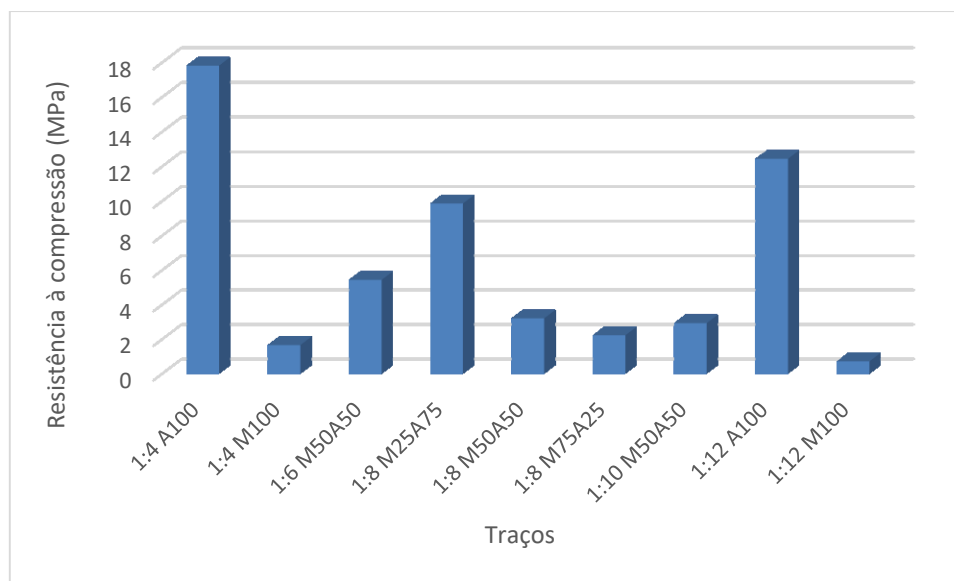
Tabela 22 – Valores médios de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos

Identificação	Traços Cimento: Agregados	Agregado miúdo		Resistência à compressão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
		Areia (%)	Madeira (%)		
TRAÇO 1	1:4	100	0	17,82 ^A	12,89
TRAÇO 2	1:4	0	100	1,66 ^D	11,62
TRAÇO 3	1:6	50	50	5,44 ^C	8,28
TRAÇO 4	1:8	75	25	9,86 ^B	11,90
TRAÇO 5	1:8	50	50	3,21 ^{DC}	10,43
TRAÇO 6	1:8	25	75	2,23 ^D	17,50
TRAÇO 7	1:10	50	50	2,93 ^{DC}	5,60
TRAÇO 8	1:12	100	0	12,44 ^B	19,02
TRAÇO 9	1:12	0	100	0,72 ^D	15,15

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

Fonte: Autora (2019)

Figura 12 – Gráfico dos valores médios de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autora (2019)

A análise dos valores médios das resistências à compressão dos conjuntos de amostras demonstram que existe um decréscimo significativo na resistência do corpo de prova à compressão à medida que se acrescenta o resíduo de madeira na fração relativa ao agregado miúdo. Pode ser observado que o valor da resistência de 3,0 MPa, conforme a NBR 6136 (ABNT, 2016), é alcançada nos traços em que a proporção de madeira é menor que 50 % em relação a proporção da areia, nas proporção iguais entre a areia e o resíduo, sendo 50 / 50, caso dos traços 1:6; 1:8 e 1:10 pode-se verificar que para os traços mais ricos em cimento (1:6 e 1:8), a resistência à compressão solicitada pela norma foi alcançada.

Pelo teste de comparação de médias de Tukey-Kramer, conclui-se que existem diferenças estatísticas significativas entre as médias que apresentam letras diferentes a um nível de confiança de 95 % e as médias que apresentam letras iguais não são estatisticamente diferente.

A Tabela 23 apresenta a análise de variância para o conjunto de dados resultantes do ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos.

Tabela 23 – Análise de variância para o ensaio de resistência à compressão

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrados Médios	Função F (Fischer-Snedecor)	P-Valor
Explicada	1332,94	8	166,617	107,77	0,0000
Não Explicada	47,9287	31	1,54609		
Total	1380,87	39			

Como o P-Valor da função F resultou em um valor menor que 0,05 (5%), isto significa que existem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos adotados a um nível de confiança de no mínimo 95%.

A fim de caracterizar uma função que expresse a dependência da resistência à compressão do compósito em função do traço e da porcentagem de substituição do resíduo de pínus em relação ao agregado miúdo convencional, realizou-se uma análise multivariada baseada em regressão múltipla, onde a resistência à compressão é a variável dependente e os traços, bem como, o teor de resíduo de madeira são as variáveis independentes.

Com auxílio de software específico de análise estatística, foi determinado o modelo para a variável dependente, apresentado pela Equação 11.

$$RC_{(MPa)} = e^{(2,7721 - 0,07986 \times [\text{Traço}] - 2,5944 \times 10^{-2} \times [\% \text{ Mad}])} \quad (11)$$

Nas Tabelas 24 e 25 são apresentados os parâmetros estatísticos e a análise de variância do modelo de regressão para os ensaios de resistência à compressão.

Tabela 24 – Parâmetros estatísticos do modelo de regressão para a resistência à compressão

Parâmetros Estatísticos								
Resistência à compressão	Modelo	Ft	Fc	R	R ²	t _{crítico}	t _{calculado}	Significância do modelo
	Não linear	3,316	306,1	0,9764	0,953	2,042	24,74	1,1x10 ⁻¹⁸ %

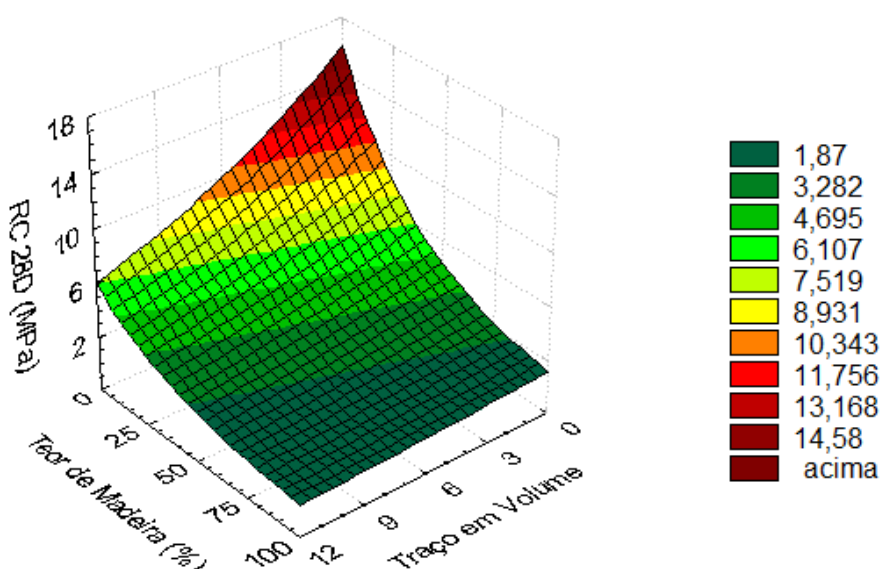
Tabela 25 – Análise de variância do modelo de regressão para a resistência à compressão

Fonte de erro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	22,247	2	11,123	306,1
Residual	1,090	30	$3,634 \times 10^{-2}$	
Total	23,337	32	0,729	

Os parâmetros estatísticos apresentados pelo modelo de regressão da resistência à compressão determinada pela análise multivariada apresenta forte correlação ($0,90 > R > 0,99$), indicando assim que os valores obtidos através dos ensaios estão bem ajustados pela superfície de resposta. A confiabilidade do modelo é superior a 99,99 %.

A Figura 13 apresenta a superfície de resposta da resistência à compressão do compósito em função dos teores de substituição do resíduos de madeira, conforme modelo determinado pela análise multivariada.

Figura 13 – Superfície de resposta demonstrando a variação da resistência à compressão em função da substituição do resíduo de madeira



A superfície de resposta demonstra que existe uma tendência de acréscimo na resistência à compressão a medida que diminui o teor de resíduos, sendo essa variação também influenciada pelo traço, podendo ser observado que o valor normatizado é obtido para teores de resíduo até 25,0 % nos traços de 1:8 a 1:12 e teores até 50,0 % nos traços 1:16 a 1:4.

2 Análise da Absorção de Água (%)

Na Tabela 26 são demonstrados os resultados dos valores médios de seis repetições do ensaio para a determinação da absorção de água, realizados conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 9778 (ABNT, 2009).

Tabela 26 – Valores médios da absorção dos corpos de prova cilíndricos

Identificação	Traços Cimento: Agregados	Agregado miúdo		Absorção de Água (%)	Coeficiente de Variação (%)
		Areia (%)	Madeira (%)		
TRAÇO 1	1:4	100	0	6,63 ^D	9,34
TRAÇO 2	1:4	0	100	25,27 ^A	16,01
TRAÇO 3	1:6	50	50	15,50 ^B	7,89
TRAÇO 4	1:8	75	25	9,77 ^{DC}	1,91
TRAÇO 5	1:8	50	50	13,84 ^{CB}	15,38
TRAÇO 6	1:8	25	75	22,60 ^A	7,72
TRAÇO 7	1:10	50	50	15,65 ^B	11,12
TRAÇO 8	1:12	100	0	6,59 ^D	6,17
TRAÇO 9	1:12	0	100	**	**

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

** Valores inutilizados devido à inconsistência nos dados causados pela grande perda de massa durante os ensaios.

Fonte: Autora (2019)

A análise dos valores médios da absorção de água dos conjuntos de amostras demonstram que existe um acréscimo significativo na absorção de água do corpo de prova à compressão à medida que se acrescenta o resíduo de madeira na fração relativa ao agregado miúdo, comportamento esperado tendo em vista a estrutura molecular do resíduo de madeira ser altamente porosa e com alta possibilidade de transporte e armazenamento de água no interior de suas paredes. Pode ser observado que os valores médios da absorção foram superiores ao valor normativo,

menor ou igual a 10% conforme NBR 6136 (ABNT,2016) para os traços em que o resíduo de madeira foi utilizado em frações maiores que 50 %.

Pelo teste de comparação de médias de Tukey-Kramer, conclui-se que existem diferenças estatísticas significativas entre as médias que apresentam letras diferentes a um nível de confiança de 95 % e as médias que apresentam letras iguais não são estatisticamente diferente. A Tabela 27 apresenta a análise de variância para o conjunto de dados resultantes dos ensaios de absorção de água dos corpos de prova cilíndricos.

Tabela 27 – Análise de variância para o ensaio de absorção

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrados Médios	Função F (Fischer-Snedecor)	P-Valor
Explicada	1322,91	7	188,987	52,29	0,0000
Não Explicada	79,5064	22	3,61393		
Total	1402,42	29			

Como o P-Valor da função F resultou em um valor menor que 0,05 (5%), isto significa que existem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos adotados a um nível de confiança de no mínimo 95%.

A fim de caracterizar uma função que expresse a dependência da absorção de água do compósito em função do traço e da porcentagem de substituição do resíduo de pínus em relação ao agregado miúdo convencional, realizou-se uma análise multivariada baseada em regressão múltipla, onde a absorção de água é a variável dependente e os traços, bem como, o teor de resíduo de madeira são as variáveis independentes.

Utilizando- se software específico para análise estatística, foi determinado o modelo para a varável dependente, apresentado pela Equação 12.

$$\text{Absorção (\%)} = 6,1864 - 1,1767 \times 10^{-4} \times e^{[\text{Traço}]} + 0,19829 \times [\% \text{ Mad}] \quad (12)$$

Nas Tabela 28 e 29 são apresentados os parâmetros estatísticos e a análise de variância do modelo de regressão para os ensaios de absorção de água.

Tabela 28 – Parâmetros estatísticos do modelo de regressão para a absorção

Parâmetros Estatísticos								
Absorção de água	Modelo	Ft	Fc	R	R ²	t _{crítico}	t _{calculado}	Significância do modelo
	Não linear	3,328	135,9	0,9506	0,9036	2,045	16,48	1,9x10 ⁻¹³ %

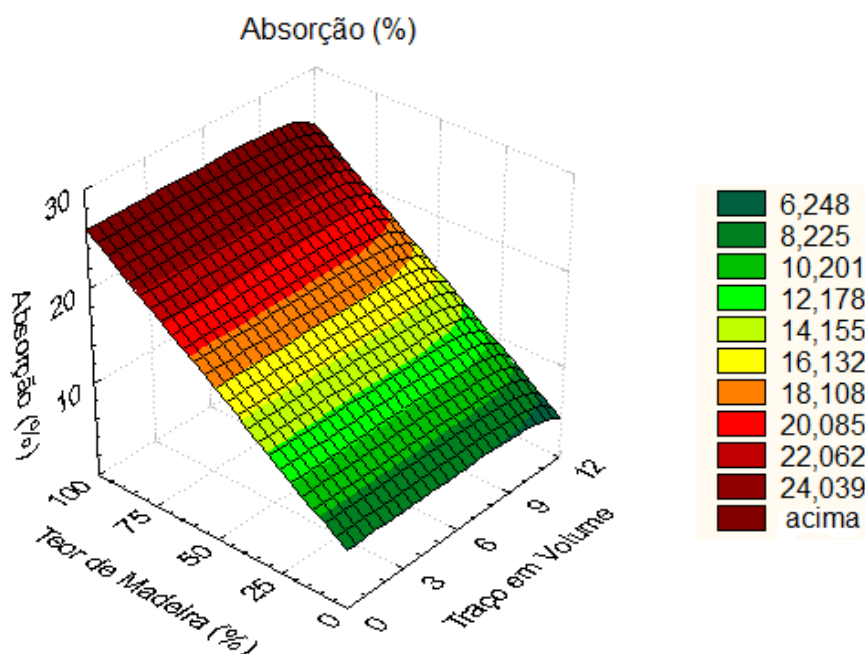
Tabela 29 – Análise de variância do modelo de regressão para a absorção

Fonte de erro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	1268,798	2	634,399	135,9
Residual	135,402	29	4,669	
Total	1404,201	31	45,296	

Os parâmetros estatísticos apresentados pelo modelo de regressão da absorção de água determinada pela análise multivariada apresenta forte correlação ($0,90 > R > 0,99$), indicando assim que os valores obtidos através dos ensaios estão bem ajustados pela superfície de resposta. A confiabilidade do modelo é superior a 99,99 %.

A Figura 14 apresenta a superfície de resposta da absorção de água do compósito em função dos teores de substituição do resíduos de madeira, conforme modelo determinado pela análise multivariada.

Figura 14 – Superfície de resposta demonstrando a variação da absorção em função da substituição do resíduo de madeira



A superfície de resposta demonstra que existe acréscimo na absorção a medida que aumenta o teor de resíduos, podendo ser observado que o valor normalizado de 10,0 % é obtido para teores de resíduo abaixo de 25,0 % seja qual for o traço analisado.

3 Índice de Vazios – Porosidade Aparente (%)

Na Tabela 30 e na Figura 15 são demonstrados os resultados dos valores médios de seis repetições do ensaio para a determinação do índice de vazios, realizados conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 9778 (ABNT, 2009).

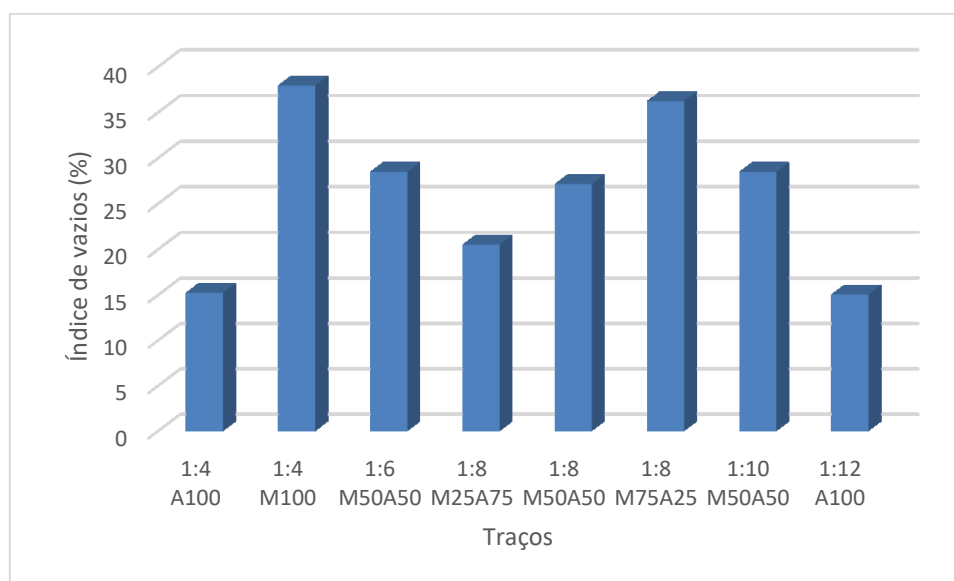
Tabela 30 – Valores médios dos índices de vazios dos corpos de prova cilíndricos

Identificação	Traços Cimento: Agregados	Agregado miúdo		Índice de Vazios (%)	Coeficiente de Variação (%)
		Areia (%)	Madeira (%)		
TRAÇO 1	1:4	100	0	15,22 ^D	7,46
TRAÇO 2	1:4	0	100	37,92 ^A	10,28
TRAÇO 3	1:6	50	50	28,46 ^B	5,31
TRAÇO 4	1:8	75	25	20,49 ^C	1,83
TRAÇO 5	1:8	50	50	27,13 ^B	10,33
TRAÇO 6	1:8	25	75	36,22 ^A	5,96
TRAÇO 7	1:10	50	50	28,46 ^B	5,79
TRAÇO 8	1:12	100	0	15,04 ^D	5,58
TRAÇO 9	1:12	0	100	**	**

* Valores seguidos por letras diferentes indicam diferenças estatísticas significativas a um nível de confiança de 95%
 ** Valores inutilizados devido à inconsistência nos dados causados pela grande perda de massa durante os ensaios.

Fonte: Autora (2019)

Figura 15 – Gráfico dos valores médios dos índices de vazios dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autora (2019)

A análise dos valores médios do índice de vazios dos conjuntos de amostras demonstram que existe um acréscimo significativo na porosidade do corpo de prova à medida que se acrescenta o resíduos de madeira na fração relativa ao agregado miúdo, podendo ser observado que a maior porosidade se deu no traço 1:4 com 100% de substituição da areia pelo resíduo de madeira atingindo 37,92 %.

Pelo teste de comparação de médias de Tukey-Kramer, conclui-se que existem diferenças estatísticas significativas entre as médias que apresentam letras diferentes a um nível de confiança de 95 % e as médias que apresentam letras iguais não são estatisticamente diferente.

A Tabela 31 apresenta a análise de variância do índice de vazios dos corpos de prova cilíndricos.

Tabela 31 – Análise de variância para o índice de vazios

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrados Médios	Função F (Fischer-Snedecor)	P-Valor
Explicada	2098,01	7	299,716	70,22	0,0000
Não Explicada	93,9019	22	4,26827		
Total	2191,92	29			

Como o P-Valor da função F resultou em um valor menor que 0,05 (5%), isto significa que existem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos adotados a um nível de confiança de no mínimo 95%.

A fim de caracterizar uma função que expresse a dependência do índice de vazios do compósito em função do traço e da porcentagem de substituição do resíduo de pínus em relação ao agregado miúdo convencional, realizou-se uma análise multivariada baseada em regressão múltipla, onde o índice de vazios é a variável dependente e os traços, bem como, o teor de resíduo de madeira são as variáveis independentes.

Utilizando-se software de análise estatística, foi determinado o modelo para a variável dependente, apresentado pela Equação 13.

$$IV (\%) = e^{(2,7946 - 6,9062 \times e\text{-[Traço]} + 1,0237 \times 10^{-2} \times [\% \text{ Mad}])} \quad (13)$$

Nas Tabela 32 e 33 são apresentados os parâmetros estatísticos e a análise de variância do modelo de regressão para os ensaios de índice de vazios.

Tabela 32 – Parâmetros estatísticos do modelo de regressão para o índice de vazios

Parâmetros Estatísticos								
Absorção de água	Modelo	Ft	Fc	R	R²	t_{crítico}	t_{calculado}	Significância do modelo
	Não linear	3,328	267,9	0,9740	0,9487	2,045	23,15	2,0x10 ⁻¹⁷ %

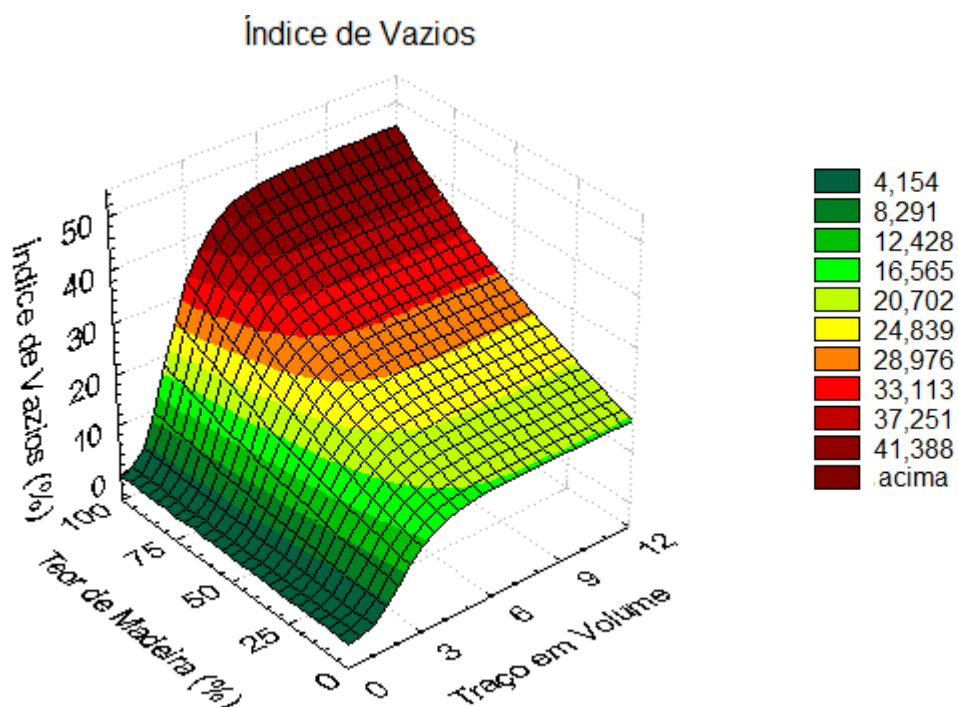
Tabela 33 – Análise de variância do modelo de regressão para o índice de vazios

Fonte de erro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	3,485	2	1,742	267,9
Residual	0,188	29	6,505x10 ⁻³	
Total	3,674	31	0,118	

Os parâmetros estatísticos apresentados pelo modelo de regressão para o índice de vazios determinada pela análise multivariada apresenta forte correlação ($0,90 > R > 0,99$), indicando assim que os valores obtidos através dos ensaios estão bem ajustados pela superfície de resposta. A confiabilidade do modelo é superior a 99,99 %.

A Figura 16 apresenta a superfície de resposta do índice de vazios do compósito em função dos teores de substituição do resíduos de madeira, conforme modelo determinado pela análise multivariada.

Figura 16 – Superfície de resposta demonstrando a variação do índice de vazios em função da substituição do resíduo de madeira



A superfície de resposta demonstra que o índice de vazios aumenta à medida que aumenta o teor de resíduos, sendo essa variação também influenciada pelo traço, podendo ser observado que os maiores valores são alcançados nos traços de 1:4 com 100 % de substituição de resíduo e 1:8 com 75,0 % de substituição de resíduos atingindo valores acima de 30,0 %.

4 Massa Específica Seca (kg/m^3) (g/cm^3)

Na Tabela 34 é demonstrado os resultados dos valores médios de seis repetições do ensaio para a determinação da massa específica dos corpos de prova cilíndricos, realizados conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 9778 (ABNT, 2009).

Tabela 34 – Valores médios das massas específicas dos corpos de prova cilíndricos

Identificação	Traços Cimento: Agregados	Agregado miúdo		Massa específica (g/cm ³)	Coeficiente de Variação (%)
		Areia (%)	Madeira (%)		
TRAÇO 1	1:4	100	0	2,30 ^A	1,96
TRAÇO 2	1:4	0	100	1,51 ^D	5,67
TRAÇO 3	1:6	50	50	1,84 ^C	2,68
TRAÇO 4	1:8	75	25	2,10 ^B	0,62
TRAÇO 5	1:8	50	50	2,00 ^B	5,33
TRAÇO 6	1:8	25	75	1,60 ^D	2,15
TRAÇO 7	1:10	50	50	1,83 ^C	5,05
TRAÇO 8	1:12	100	0	2,28 ^A	0,69
TRAÇO 9	1:12	0	100	**	**

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

** Valores inutilizados devido à inconsistência nos dados causados pela grande perda de massa durante os ensaios.

Fonte: Autora (2019)

A análise das médias das massas específicas dos conjuntos de amostras demonstram que existe um decréscimo significativo na massa específica do corpo de prova à medida que se acrescenta o resíduo de madeira na fração relativa ao agregado miúdo, podendo ser observado que a menor massa específica é de 1,51 g/cm³ no traço 1:4 com 100% de substituição da areia pelo resíduo de madeira, e a maior massa específica é de 2,30 g/cm³ no traço 1:4 sem substituição de madeira, essa redução na massa específica ocorre, tendo em vista que o resíduo de madeira possui massa específica cinco vezes menor que o agregado miúdo natural, areia, influenciando diretamente na massa específica do corpo de prova.

Pelo teste de comparação de médias de Tukey-Kramer, conclui-se que existem diferenças estatísticas significativas entre as médias que apresentam letras diferentes a um nível de confiança de 95 % e as médias que apresentam letras iguais não são estatisticamente diferente.

A Tabela 35 apresenta a análise de variância das massas específicas dos corpos de prova cilíndricos.

Tabela 35 – Análise de variância para a massa específica

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrados Médios	Função F (Fischer-Snedecor)	P-Valor
Explicada	2,35602	7	0,336574	85,90	0,0000
Não Explicada	0,0901167	23	0,00391812		
Total	2,44614	30			

Como o P-Valor da função F resultou em um valor menor que 0,05 (5%), isto significa que existem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos adotados a um nível de confiança de no mínimo 95%.

A fim de caracterizar uma função que expresse a dependência da massa específica do compósito em função do traço e da porcentagem de substituição do resíduo de pínus em relação ao agregado miúdo convencional, realizou-se uma análise multivariada baseada em regressão múltipla, onde a massa específica é a variável dependente e os traços, bem como, o teor de resíduo de madeira são as variáveis independentes.

Utilizando-se software de análise estatística, foi determinado o modelo para a variável dependente, apresentado pela Equação 14.

$$\text{Massa Esp (g/cm}^3\text{)} = e^{(0,8307 + 2,5959 \times 10^{-6} \times e[\text{Traço}] - 4,3621 \times 10^{-3} \times [\% \text{ Mad}])} \quad (14)$$

Nas Tabelas 36 e 37 são apresentados os parâmetros estatísticos e a análise de variância do modelo de regressão para os ensaios de massa específica.

Tabela 36 – Parâmetros estatísticos do modelo de regressão para a massa específica

Parâmetros Estatísticos								
Absorção de água	Modelo	Ft	Fc	R	R²	t_{crítico}	t_{calculado}	Significância do modelo
	Não linear	3,328	116,8	0,9432	0,8895	2,045	15,28	1,3x10 ⁻¹² %

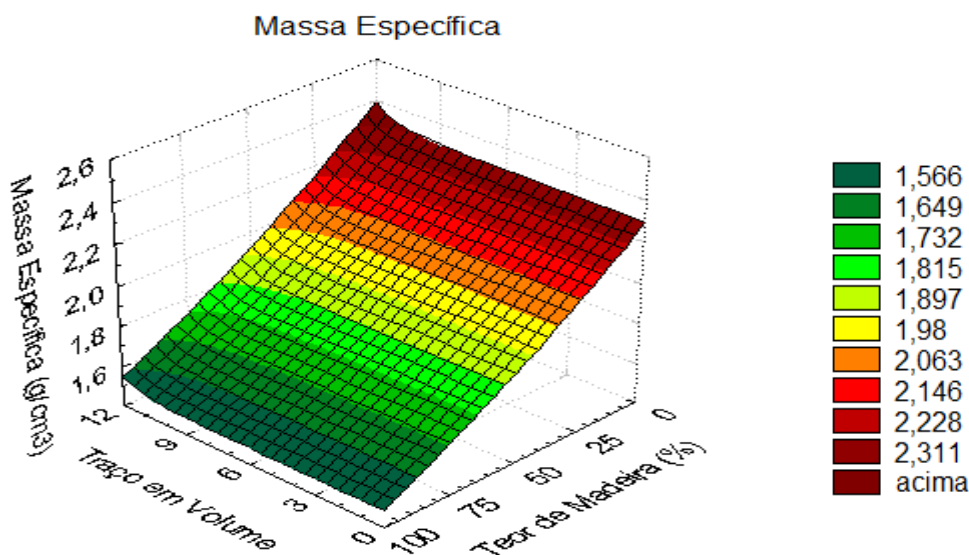
Tabela 37 – Análise de variância do modelo de regressão para massa específica

Fonte de erro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	0,615	2	0,307	116,8
Residual	$7,645 \times 10^{-2}$	29	$2,636 \times 10^{-3}$	
Total	0,692	31	$2,232 \times 10^{-2}$	

Os parâmetros estatísticos apresentados pelo modelo de regressão para a massa específica determinada pela análise multivariada apresenta forte correlação ($0,90 > R > 0,99$), indicando assim que os valores obtidos através dos ensaios estão bem ajustados pela superfície de resposta. A confiabilidade do modelo é superior a 99,99 %.

A Figura 17 apresenta a superfície de resposta da massa específica do compósito em função dos teores de substituição do resíduos de madeira, conforme modelo determinado pela análise multivariada.

Figura 17 – Superfície de resposta demonstrando a variação da massa específica em função da substituição do resíduo de madeira



Analisando a superfície de resposta pode-se observar que a massa específica diminui à medida que aumenta o teor de resíduos, sendo os menores valores alcançados nos teores acima de 50,0 % de substituição de resíduo.

Com a finalização dos ensaios das características físicas e mecânicas realizados nos corpos de prova cilíndricos, bem como, com o auxílio dos modelos de regressão para cada uma das características, foi alcançado o objetivo da primeira etapa do programa experimental, ou seja, o fornecimento de uma modelização para determinar as expectativas que poderiam ser alcançadas com a produção dos blocos de concreto.

4.3 PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

4.3.1 Determinação dos parâmetros produtivos e produção dos blocos de concreto

A determinação dos parâmetros principais de produção dos blocos de concreto, traço e teor de substituição do resíduo de madeira, foram balizados levando em conta três premissas básicas, resistência à compressão, massa específica e relação da massa cimento: madeira, para tanto, foi utilizada a modelagem produzida na etapa anterior a fim de se obter uma expectativa de resultados para uma produção mais assertiva dos blocos de concreto. A expectativa de valores para a resistência a compressão foi de 3,0 MPa, conforme NBR 6136 (ABNT, 2016), com a máxima porcentagem de resíduo de madeira, sendo que três traços alcançaram o valor desejado. A Tabela 38 apresenta os parâmetros esperados com a modelização para os traços selecionados.

Tabela 38 – Parâmetros produtivos para os blocos baseados na modelagem

Traço	Madeira (%)	Areia (%)	Resistência à Compressão (MPa) – (expectativa)	Massa específica (g/cm³)	Madeira/Cimento (%)
1:8	39,0	61,0	3,07	1,93	24,0
1:10	33,0	67,0	3,06	1,99	26,0
1:12	27,0	73,0	3,04	2,12	25,0

Fonte: Autora (2020)

Para validar os valores da resistência à compressão obtidos na modelagem foram produzidos 12 blocos protótipos, sendo 6 blocos como referência, isto é sem acréscimo de resíduo, e 6 blocos com o teor de resíduos apresentado na modelização,

para isso foi selecionado o traço 1:10. A escolha do traço produzido levou em conta a expectativa da maior quantidade de massa da madeira em relação à massa do cimento, uma vez que os três traços apresentaram uma expectativa semelhante para a resistência à compressão. Após 28 dias de cura os blocos foram submetidos aos ensaios.

A Tabela 39 apresenta os resultados das médias dos valores do ensaio de resistência à compressão realizados no blocos protótipos.

Tabela 39 – Média das resistências à compressão dos blocos protótipos

Traço	Madeira (%)	Areia (%)	Resistência à Compressão (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1:10	0,0	100,0	4,13	0,73	17,8
1:10	33,0	67,0	0,56	0,07	13,8

Fonte: Autora (2020)

A análise dos resultados mostra que o traço escolhido não alcançou a expectativa da resistência à compressão apresentada no modelo de regressão, este fato pode ser atribuído às diferenças entre os equipamentos utilizados para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos e dos blocos de concreto, sendo que aqueles foram moldados em cilindros com desforma manual e estes foram moldados na vibro compressora onde atua a desmoldagem mecanizada, acrescenta-se ainda que este processo transmite grande impacto aos blocos de concreto e que por estarem em seu estado fresco podem sofrer perda de sua resistência, apresentar fissuras e perda de massa não produzindo os resultados esperados.

Foi realizada uma nova modelagem aumentando a expectativa da resistência à compressão de 4,0 MPa, buscando ampliar a margem para a variação.

A Tabela 40 apresenta os valores da segunda modelagem.

Tabela 40 – Parâmetros produtivos para os blocos baseados na segunda modelagem

Traço	Madeira (%)	Areia (%)	Resistência à Compressão (Mpa) (expectativa)	Massa específica (g/cm ³)	Madeira/Cimento (%)
1:6	30,0	70,0	4,55	2,01	13,72
1:8	25,0	75,0	4,41	2,06	15,25

Fonte: Autora (2020)

Para validar os valores da resistência à compressão obtidos na segunda modelagem foram produzidos 12 blocos protótipos, sendo 6 blocos no traço 1:6 e 6 blocos no traço 1:8 com as respectivas proporções de substituição de resíduos, conforme a tabela anterior. Após 28 dias de cura os blocos foram submetidos aos ensaios.

A Tabela 41 apresenta os resultados das médias dos valores do ensaio de resistência à compressão realizados no blocos protótipos da segunda modelização.

Tabela 41 – Média das resistências à compressão dos blocos protótipos

Traço	Madeira (%)	Areia (%)	Resistência à Compressão (Mpa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1:6	30,0	70,0	3,32	0,28	8,5
1:8	25,0	75,0	3,38	0,10	2,8

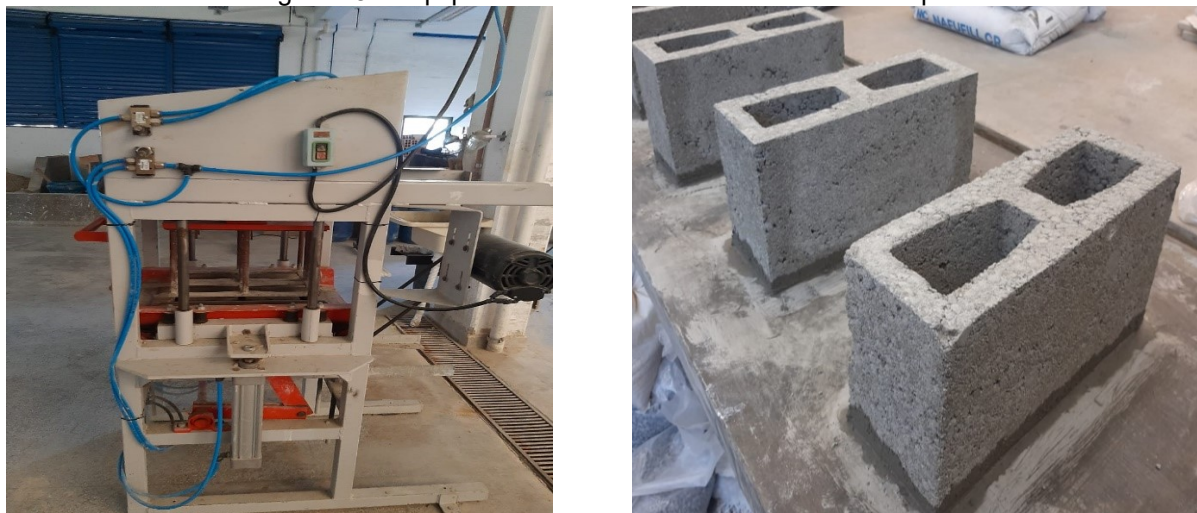
Fonte: Autora (2020)

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos blocos protótipos da segunda modelagem atenderam os requisitos normativos para blocos classe C, sendo que o traço 1:6 alcançou 3,32 MPa e o traço 1:8 atingiu 3,38 MPa.

Para a produção dos blocos definitivos foi optado pelo traço 1:8 com 25 % de resíduo de madeira e 75 % de areia, referente à fração correspondente ao agregado miúdo. A opção foi balizada levando-se em conta o traço que apresentava maior resistência à compressão e ainda que possuía a maior relação de massa entre a madeira e o cimento, sendo que o traço 1:8 apresentou ambas características. Procedeu-se, então, a produção dos blocos de concreto para a realização dos ensaios faltantes, sendo, massa específica, absorção de água, índice de vazios e análise dimensional.

A Figura 18 apresenta o equipamento utilizado para a moldagem dos blocos de concreto e os blocos produzidos.

Figura 18 – Equipamento utilizado e blocos de concreto produzidos



Fonte: Autora (2020)

4.3.2 Características físicas dos blocos de concreto

A determinação das características físicas dos blocos de concreto seguiram os procedimentos apresentados na NBR 9778 (ABNT, 2009). Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 – Características físicas dos blocos de concreto

Traço	Características Físicas								
	Massa Específica (g/ cm ³)			Absorção de Água (%)			Índice de Vazios (%)		
	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão	CV (%) [*]	Média (%)	Desvio Padrão	CV (%) [*]	Média (%)	Desvio Padrão	CV (%) [*]
1:8 - Referência	2,31	0,02	0,67	5,34	0,40	7,55	12,34	0,76	6,15
1:8 - com 25 % madeira	2,07	0,01	0,66	8,13	0,37	4,58	16,82	0,67	3,96

* Coeficiente de variação (%)

Fonte: Autora (2020)

A análise dos dados indica que a massa específica dos blocos tem uma relação inversamente proporcional à absorção e ao índice de vazios, visto que, à medida que se acrescentou o resíduo de madeira, a massa específica diminuiu enquanto as outras

duas características apresentaram um incremento nos seus valores. Esse comportamento se dá visto que o resíduo de madeira, por ser um material de massa específica menor que o agregado natural, proporciona decréscimo na massa específica do compósito, porém sua estrutura porosa acarreta em maior retenção de água proporcionando um aumento no índice de vazios do material resultante.

Com relação à massa específica, os blocos de concreto produzidos com o resíduo de madeira apresentaram uma redução de 11 % em sua massa específica, em comparação aos blocos de concretos referência, sem o resíduo, esse comportamento era esperado tendo em vista que o resíduo utilizado em substituição ao agregado natural, possui massa específica aproximadamente cinco vezes menor proporcionando menor massa específica também para o produto final, como pode ser comprovado com os resultados desses ensaios.

A porosidade dos blocos, determinada em função do índice de vazios apresentou um aumento de 35 % em relação aos blocos referência, uma vez que os blocos referência apresentaram um índice de vazios de 12,34 % e os blocos com resíduos apresentaram um índice de vazios de 16,82 %. Referente à absorção os valores médios obtidos para os blocos com o resíduo de madeira apresentaram um acréscimo de 52 % em relação aos blocos referência, no entanto, a absorção apresentada pelos blocos atende os requisitos normativos descritos na NBR 6136 (ABNT, 2016) de 10 % para agregados convencionais, ficando ainda 23 % abaixo do valor normativo.

4.3.3 Características mecânicas dos blocos de concreto

A determinação da resistência à compressão dos blocos de concreto seguiram os procedimentos apresentados na NBR 9778 (ABNT, 2009) e os resultados dos ensaios realizados são apresentados na Tabela 43.

Tabela 43 – Resistência à compressão dos blocos de concreto

Traço	Resistência à compressão (MPa)		
	Média (MPa)	Desvio Padrão	CV (%)*
1:8 - Referência	8,97	0,87	9,65
1:8 - com 25 % de madeira	3,38	0,10	2,82

* Coeficiente de variação (%)

Fonte: Autora (2020)

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão nos blocos de concreto mostraram que houve uma perda de 60 % na resistência dos blocos com o substituição da areia pelo resíduo de madeira, sendo que os blocos referência apresentaram uma resistência à compressão de 8,97 MPa, enquanto os blocos com resíduo apresentaram uma resistência de 3,38 MPa. Essa perda de resistência está associada aos fatores físicos dos materiais constituintes, uma vez que o resíduo de madeira apresenta alta absorção e baixa coesão, bem como aos fatores produtivos, visto que a moldagem dos blocos foi realizada em equipamento não industrial o qual inferia trepidação nas formas no momento da desmoldagem transferindo ao corpo de prova energia adicional acarretando em pequenas fissura e vazios adicionais.

Pode-se ainda ser ressaltado que apesar de ter havido um decréscimo considerável na resistência, os blocos com o resíduo atenderam aos requisitos normativos de 3,0 MPa conforme NBR 6136 (ABNT, 2016), a fim de serem utilizados em alvenaria de vedação bem como podendo ser utilizado com função estrutural para edificações de até 5 pavimentos, conforme a expectativa produzida pela modelização da segunda etapa deste programa experimental.

4.3.4 Análise dimensional dos blocos de concreto

As características geométricas dos blocos de concreto foram obtidas com auxílio de um paquímetro tomando-se o valor médio de três medições para cada dimensão analisada. Foram medidos 5 blocos para o traço 1:8 referência e 6 blocos para o traço 1:8 com resíduo de madeira. As análises foram feitas por meio de comparação entre as medições reais e os valores apresentados na NBR 6136 (ABNT, 2016) avaliando largura, altura, comprimento, espessura, área líquida e espessura equivalente dos bloco de concreto. Abaixo são apresentadas as características e as tolerâncias especificada pela norma para blocos pertencente à família 15 x 40 e classe C:

Dimensões padronizadas: 140 x 190 x 390 mm

Dimensões mínimas para paredes e septos: 18 mm

Tolerâncias: ± 2 mm na largura

± 3 mm na altura e no comprimento

- 1 mm na espessura mínima das paredes e dos septos

A Tabela 44 apresenta os resultados das médias das medições.

Tabela 44 – Características geométricas dos blocos de concreto

Dimensões nominais (mm)	Dimensões Padronizadas						Área Líquida (mm ²)	Espessura Equivalente (mm/m)
	Largura	Altura	Comprimento	Paredes				
				Longitudinal	Transversal	Septo		
140 X 190 X 390	140,00	190,00	390,00	25,00	25,00	25,00		
Dimensões Reais Médias (mm) - Traço 1: 8 - Referência (sem resíduo de madeira)							31259,07	210
Valores médios	142,00	193,00	390,00	25,00	26,00	26,00		
CV (%)	0,19	1,16	0,15	0,73	0,75	0,70		
Variação (mm)*	2,00	3,00	0,00	0,00	1,00	1,00		
Dimensões Reais Médias (mm) - Traço 1: 8 - 25% Resíduo de madeira							29666,67	207
Valores médios	142,00	192,00	391,00	26,00	25,00	26,00		
CV (%)	0,20	1,03	0,10	1,09	1,10	1,05		
Variação (mm)*	2,00	2,00	1,00	1,00	0,00	1,00		

Fonte: Autora (2020)

Com relação as dimensões dos blocos pode ser observado que ambos os traços atenderam os requisitos normativos ficando dentro dos limites de tolerância especificados na norma, apresentando valores médios das dimensões reais de 142 x 193 x 390 para os blocos produzidos no traço 1:8 referência, sem acréscimo de resíduo de madeira, e de 142 x 192 x 391 para o traço 1:8 com 25% de resíduo de madeira, os valores indicam largura, altura e comprimento respectivamente. Referente à espessura pode ser observado que os blocos apresentaram espessura média de 25 mm e 26 mm, para ambos os traços apresentando-se superior ao mínimo solicitado de 18 mm podendo chegar a 17 mm pela tolerância apresentada pela norma.

Foi calculada a área líquida dos blocos e os resultados apresentados indicam que houve uma pequena perda de quando foi acrescentado o resíduo de madeira, sendo que a área líquida dos blocos sem resíduos foi de 31.259,07 mm e a área líquida dos blocos com resíduos foi de 29.666,67 apresentando uma perda de 5%

A espessura equivalente dos blocos foi calculada para ambos os traços, sendo que para o traço 1:8 referência a espessura equivalente resultou em 210 mm/m e para o traço 1:8 com resíduo de madeira a espessura equivalente foi de 207 mm/m, podendo ser concluído que para os dois traços a espessura equivalente atingiu o mínimo especificado pela norma para blocos classe C de 135 mm/m.

4.3.5 Análise estatística dos blocos de concreto

A Tabela 45 e a Figura 19 apresentam os valores médios das resistências à compressão reais dos blocos de concreto moldados nos traços obtidos por meio das modelizações.

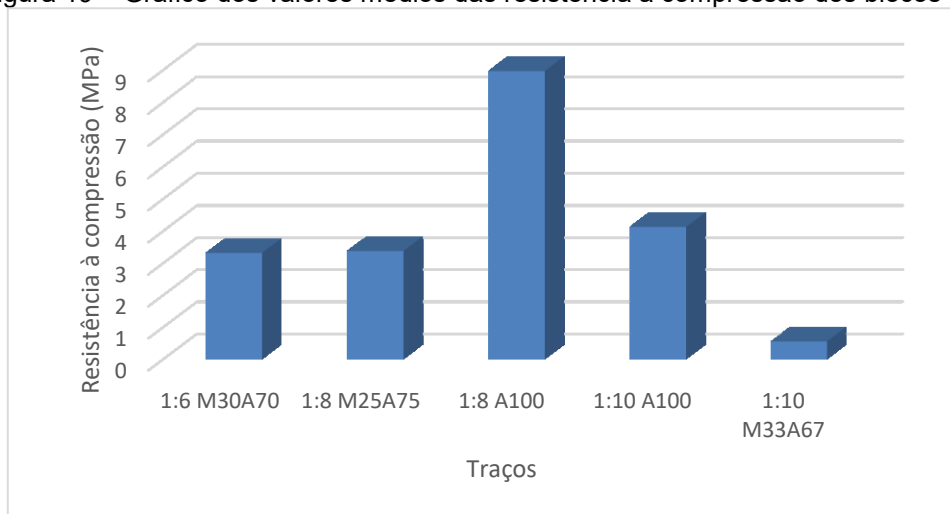
Tabela 45 - Valores médios das resistência à compressão dos blocos de concreto

Traço	Madeira (%)	Areia (%)	Resistência à Compressão (Mpa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
1:6 M30A70	30,0	70,0	3,32 ^B	0,28	8,51
1:8 M25A75	25,0	75,0	3,38 ^B	0,10	2,82
1:8 A100	0,0	100,0	8,97 ^A	0,87	9,65
1:10 A100	0,0	100,0	4,13 ^B	0,10	2,47
1:10 M33A67	33,0	67,0	0,56 ^C	0,07	12,11

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

Fonte: Autora (2020)

Figura 19 – Gráfico dos valores médios das resistência à compressão dos blocos de concreto



Fonte: Autora (2020)

A análise das médias das resistência à compressão dos conjuntos de amostras demonstram que, com exceção do traço 1:10 com 33,0 % de resíduo de madeira, os demais traços apresentaram resistências à compressão superiores aos 3,0 MPa solicitados pela NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos classe c, sendo que a maior resistência à compressão atingida com acréscimo de resíduos foi alcançada no traço

1:8 com 25 % de substituição de resíduo de madeira, o que motivou a sua produção para a realização dos demais ensaios requisitados.

De acordo com a ANOVA existem diferenças significativas nos resultados das médias do 5 traços ensaiados a um nível de confiança de 95%.

De acordo com o Teste de Tukey (Tukey-Kramer), os blocos produzidos nos traços 1:6 com 30% de madeira, 1:8 com 25% de madeira e 1:10 com 0% de madeira resultaram em resistências estatisticamente iguais. Os blocos produzidos nos traços 1:8 com 0% de madeira e 1:10 com 67% de madeira resultaram diferentes dos demais. Pelo teste de comparação de médias de Tukey-Kramer, conclui-se que existem diferenças estatísticas significativas entre as médias que apresentam letras diferentes a um nível de confiança de 95 % e as médias que apresentam letras iguais não são estatisticamente diferente.

A Tabela 46 apresenta a análise de variância das resistências à compressão reais dos blocos de concreto.

Tabela 46 – Análise de variância para a resistência à compressão dos blocos de concreto

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrados Médios	Função F (Fischer-Snedecor)	P-Valor
Entre grupos	148,786	4	37,1965	210,29	0,0000
Dentro dos grupos	2,47632	14	0,17688		
Total	151,262	18			

Como o P-Valor da função F resultou em um valor menor que 0,05 (5%), isto significa que existem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos adotados a um nível de confiança de no mínimo 95%.

4.3.6 Análise da eficiência técnica, econômica e ambiental dos blocos de concreto

Os resultados dos estudos das características física e mecânicas dos blocos de concreto produzidos no traço 1:8 com 25 % de resíduo de pinus em substituição ao agregado convencional, apresentados anteriormente, mostraram que os requisitos

normativos da NBR 6136 (ABNT, 2016) foram atendidos o que torna esse traço tecnicamente viável para a produção de blocos de concreto para serem utilizados tanto em alvenaria de vedação quanto em alvenaria estrutural até 5 pavimentos.

A avaliação econômica do material proposto inclui os custos dos materiais utilizados na produção dos blocos de concreto propostos neste estudo. São excluídos na análise dos custos produtivos dos blocos, os custos devidos à mão-de-obra, taxas e impostos por apresentarem característica peculiares a cada fabricante, bem como os locais de atuação.

Os valores foram determinados com base no mês de maio de 2020, pesquisados em fornecedores da cidade de Curitiba. A Tabela 47 apresenta os custos determinados para cada bloco.

Tabela 47 – Custos dos blocos de concreto

Traço	Areia (%)	Madeira (%)	Custo (R\$/unid)	Varição (%)
1:8	100	0	2,19	-
1:8	75	25	2,08	- 5,0 %

Fonte: Autora (2020)

Como pode ser observado a substituição da areia pelo resíduo de madeira apresenta uma economia de 5,0 % nos custos de produção do blocos de concreto, mostrando ser representativo do ponto de vista econômico, porém a viabilidade econômica do material proposto não se limita em apenas avaliar os custos de produção do material propriamente dito, pode ser incluída nesta análise a economia com o carregamento da estrutura em função do decréscimo na massa específica do novo material, podendo ainda ser elencados os custos ambientais envolvidos.

A utilização dos resíduos de madeira na produção de blocos de concreto pode contribuir para a redução da emissão da CO₂ de duas formas, a primeira referente à produção de cimento, uma vez que as substituições dos resíduos podem apresentar uma relação de até 15 % sobre a quantidade de cimento utilizados nos traços estudados, e a segunda referente à queima desses resíduos para a geração de energia sendo esta prática amplamente adotada.

Outro fator a ser considerado quando se avaliam as questões ambientais, é a redução da utilização dos recursos naturais, quando o agregado miúdo mineral (areia) é substituído pelo resíduo de pinus, deixando assim de ser extraído da natureza e por

ser um recurso não renovável, pode acarretar o risco do seu esgotamento, além dos diversos impactos sócio ambientais provocados pela sua exploração.

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nos ensaios a que foram submetidos tanto os corpos de prova cilíndricos quanto os blocos de concreto permitem elencar as seguintes conclusões:

- As características físicas dos blocos de concreto produzidos no traço 1:8 com 25 % de resíduo de madeira atenderam os requisitos normativos. A absorção foi de 8,13 % ficando abaixo dos 10 % especificado pela norma. As características geométricas ficaram dentro dos limites de tolerância da norma, a média das dimensões reais obtidas foram 142 x 192 x 391, a espessura média foi de 26 mm e a espessura equivalente foi de 207 mm/m. O índice de vazios calculado para os blocos foi de 16,82 % apresentando um acréscimo de 36 % em relação aos blocos produzidos sem o resíduo, isso mostra que a porosidade do material proposto é mais elevada do que a porosidade do material convencional devido à influência do acréscimo dos resíduos.
- Com relação à resistência à compressão observou-se que, para o traço 1:6 com 30 % de madeira e 70 % de areia, a resistência à compressão média foi de 3,32 MPa podendo ser utilizado na produção de blocos de concreto por atingir o valor normativo mínimo de 3,0 MPa. Para o traço 1:8 com 25 % de madeira e 75 % de areia, a resistência atingiu 3,38 MPa o que o habilita para ser produzido visto que o valor normativo foi alcançado.
- A proporção do resíduo de madeira em relação ao cimento, em massa, utilizada no traço 1:8 com 25 % de resíduo foi de 15 % o que torna esse teor de substituição interessante do ponto de vista ambiental tendo em vista a possibilidade de redução da emissão de CO₂ ocasionadas pela produção do cimento.
- A análise das superfícies de respostas dos corpos de prova cilíndricos permite concluir que para teores de resíduo até 25,0 % nos traços de 1:8 a 1:12 e teores até 50,0 % nos traços 1:16 a 1:4, a resistência à compressão de 3,0 MPa foi alcançada. Referente à absorção, conclui-se

que essa característica se eleva à medida que os resíduos são acrescentados. O valor máximo para a absorção especificado pela norma é de 10,0 %, sendo esse valor obtido para teores de resíduo abaixo de 25,0 % independente do traço analisado.

Como trabalhos futuros sugere-se a investigação das propriedades térmicas e acústicas dos blocos produzidos com os traços estudados nesta pesquisa, sugere-se também uma análise das características físicas e mecânicas dos blocos submetidos a um processo de envelhecimento acelerado, na expectativa de simular um comportamento futuro, afim de que se possa avaliar a sua viabilidade em utilização.

Conclui-se, portanto, que a utilização de resíduos de *pinus* spp. na produção de blocos de concreto para alvenaria de vedação é técnica, ambiental e economicamente viável, conforme os teores e traços avaliados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES, L.J. Hiperconsumo e tutela preventiva do decrescimento. **Direito Ambiental e sociedade**, Rio Grande do Sul, v. 5, n. 1, p. 224-247, jan./ jun. 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C494/C494M**: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. Pennsylvania, USA, 2019.

ANDRADE.C; et al. Composite for building from industrials waste - Compósito para a construção civil a partir de resíduos industriais. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.21, n. 02, p.321-329, abr./ Jun. 2016.

ARAUJO, E.; ALAMINO R.C.J; FERNANDES F.R.C. **Recursos minerais e a comunidade**: impactos humanos, socioambientais e econômicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

AREIA, gás hélio e outros 4 recursos que talvez você não saiba que estão acabando. **BBC NEWS/Brasil**, São Paulo, 26 de ago. 2019. Disponível em <https://www.bbc.com/portuguese/geral-49474307>. Acesso em: 10 set. 2019.

ASSADOURIAN, E. **O estado do mundo -Transformando Culturas – Do Consumismo à Sustentabilidade**: Relatório do Worldwatch Institute sobre o Avanço Rumo a uma Sociedade Sustentável. Brasília: Editora UMA, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____.**NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

_____.**NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos Rio de Janeiro, 2019.

_____.**NBR 9775**: Agregado miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

_____.**NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____.**NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS. **Análise das necessidades habitacionais e suas tendências para os próximos dez anos.** São Paulo, 2018.

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

BATTAGIN, A.F. Uma breve história do cimento Portland. **Portal ABCP.** Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/2009>. Acesso em: 15 de Jun. 2019.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

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.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 03.** D.O.U, de 22/08/90, Seção I, Págs. 15.937 a 15.939. Jun, 1990.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Mineração. **Sumário Mineral 2017**. VOL 37 ISSN 0101-2053. Brasília: ANM, 2017. 211p.

BRASIL. 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: FJP, 2018. 78p.

BRIGA-SÁ, A.; et al. Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. **Construction and Building Materials, Elsevier**. v.38, p.155-156, jan. 2013.

CARVALHO, P.E.R., **Espécies florestais brasileiras. Recomendações Silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1994.

CASTRO, V; PARCHEN, C; IWAKIRI, S. Particle sizes and wood/cement ratio effect on the production of vibro-compacted composites. **Floresta Ambient**. Seropédica (RJ) v. 25, n. 4. Jul, 2018.

CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; GARCÍA-HORTAL, J. A. Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 1, p. 200-205, 2010.

COELHO, A.M.; et al.; Methodology for Optimization of Polymer Blends Composition. **Principal Component Analysis. Engineering Applications**. Ed. Parinya Sanguansat. IntechOpen. Croatia, 2012.

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.

DAL MOLIN, D.C.C., KULAKOWSKI, M.P., RIBEIRO, J.L.D. Contribuições ao planejamento de experimentos em projetos de pesquisa de engenharia civil. **Ambiente Construído**. Porto Alegre (RS),v.5, n.2, p. 37-49, 2005.

DANTAS FILHO, F.P. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. 117f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia civil. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

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.

DINWOODIE, J.M. **Timber: Its nature and behavior**. 2 ed. New York :Taylor & Francis Group., 2000.

ELLEN MacARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy 1: economic and business rationale for an accelerated transition**. Cowes, Reino Unido, 2012.

FARIA D.; et al. Compósitos minerais reforçados com madeira e borracha de pneu. **Revista Matéria**. Rio de Janeiro (RJ), v.23, n.04. ISSN 1517-7076 artigo e-12262, 2018.

FERNANDES, I. **Blocos e pavers. Produção e controle de qualidade**. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresarias Ltda. 2008.

FERRAZ, J. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; TEIXEIRA, D. E.; MARTINS, S. A. Effects of treatment of coir fiber and cement/fiber ratio on properties of cement-bonded composites. **BioResources**, v. 6, n. 3, p. 3481-3492, 2011.

FERREIRA JÚNIOR, S. Produção de Blocos de Concreto para Alvenaria; Prática Recomendada. São Paulo, **Boletim Técnico**, n.107, ABCP, 1985, 12p.

FILHO, O. N., et al. Estudo do concreto com adição de resíduo de pó-de-serra de *Eucalyptus* spp. **69ª Reunião Anual da SBPC**. Belo Horizonte (MG), 2017.

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.

GONÇALVES, Darly Prado. Principais desastres ambientais no Brasil e no mundo. **Jornal da Unicamp**. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/principais-desastres-ambientais-no-brasil-e-no-mundo>. Acesso em: 09 de abr. 2019.

GREENPEACE. **Bhopal, Índia O pior desastre químico da história 1984-2002**. Disponível em: <http://greenpeace.org.br/bhopal>. Acesso em: 10 de abr, 2019.

HACHMI, M; CAMPBELL, A.G. Wood-cement chemical relationships. In: 1st Inorganic Bonded Fiber Composites Symposium. Forest Products Research Society. **Proceedings**. P. 43-47, 1989.

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.

HAMOUDA, T.; SEYAM, A.-F. M.; PETERS, K. Evaluation of the integrity of 3D orthogonal woven composites with embedded polymer optical fibers. **Composites Part B: Engineering**. v. 78, p. 79-85, 2015.

HU, X. P.; HSIEH, Y. L. Effects of dehydration on the crystalline structure and strength of developing cotton fibers. **Textile Research Journal**, v. 71, n. 3, p. 231 – 239, 2001.

Indústria Brasileira de Árvores. **Sumário Executivo de 2018**. Brasília, 2018. Disponível em <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018>. Acesso em: 06 de maio 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e estatística – IBGE. Pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua, ano 2015. Disponível em [://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/habitacao](http://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/habitacao). Acesso em: abr. 2019.

IOZZI, M. A.; et al. Estudo da influência de tratamentos químicos da fibra de sisal nas propriedades de compósitos com borracha nitrílica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p 25 – 32, 2010.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira aglomerada**. Curitiba. Fundação de Pesquisas Florestais - FUPEF, p. 123-158, 2005.

IZQUIERDO, I.S.; et al. Sisal Fiber Reinforced Hollow Concrete Blocks For Structural Applications: Testing And Modeling. **Construction and Building Materials**, v.151, p.98–112, 2017.

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

JÚNIOR, A. **Metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Florianópolis, 2000. 146 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

KALIA, S.; KAITH, B. S.; KAUR, I. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites – a review. **Polymer Engineering and Science**, v. 49, n. 7, p. 1253-1272, 2009.

LATOUCHE, S. **Petit traité de la décroissance sereine Pequeno tratado do decrescimento**. Tradução Claudia Berliner-São Paulo. Editora WMF Martins Fontes, 2009.

LIMA, A.J.M.; **Utilização de resíduo de pinus spp. e materiais cimentícios alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutura.** Tese de Doutorado.303f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S.; LOMELÍ-RAMÍREZ, M. G. Utilização de resíduos de Pinus spp., metacaulim de alta reatividade e resíduo de cerâmica calcinada em compósitos cimento-madeira. **Madera y Bosques**, v. 17, n. 2, p. 47-65, 2011.

LORENZI, H. Árvores brasileiras. Manual de Identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: **Ed. Plantarum**, 1992.

MADEIREIRA CASCATINHA. As 5 principais espécies de **eucalipto que você precisa conhecer.** Disponível em <https://blog.eucaliptotratadomg.net/as-5-principais-especies-de-eucalipto-que-voce-precisa-conhecer>. Acesso em: maio de 2018

MADURWAR, M.V; RALEGAONKAR, R.V; MANDAVGANE, S.A. Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. **Construction and Building Materials - Elsevier**. V.38, p. 872-878. Jan, 2013.

MARTINS, S. C.F. **Pisos de argamassa reforçada com partículas de bambu.** 100f. Dissertação de mestrado- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

MATOSKI. A.; **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira.** 202f.Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

MATOSKI. A.; RIBEIRO,R. S.; **Evaluation Of The Acoustic Performance Of A Modular Construction System: Case Study.** Applied Acoustics, v.106, p.105–12, 2016.

MAURY. M.B.; BLUMENSCHNEIN. R.N. **Produção de cimento: impactos à saúde e ao meio ambiente. Sustentabilidade em Debate.** Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jan/jun 2012.

MEDEIROS, C.A. **Inserção externa, crescimento e padrões de consumo na economia brasileira** / Carlos Aguiar de Medeiros. – Brasília IPEA, 2015. 174 p.

MEDEIROS, J.S. **Alvenaria estrutural na armada de blocos de concreto: Produção de componentes e parâmetros de projeto.** Dissertação de Mestrado.449 p. Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. 674 p. Ed. IBRACON, 2008.

MONTEIRO, M. Economia Circular. **START & GO** – Revista em formato digital, ed. 20. Lisboa, Abril 2018.

MOREIRA, A.B.S.; MACEDO, A.N.; SOUZA, P.S.L. Masonry concrete block strength compound with sawdust according to residue treatment. **Acta Scientiarum. Technology**. v. 34, n. 3, p. 269-276, July-Sept. Maringá, 2012.

MOSLEMI, A. A. Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites. **Advanced Performance Materials**.v.6, n.2, p.161-179, 1999.

MOSLEMI, A. A.; PFISTER, S.C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. **Wood and fiber science**. ed.19, p. 165-175, 1987.

MREMA, A. L.; Cement Bonded Wood Wool Boards from Podocarpus spp. for Low Cost Housing. **Journal of Civil Engineering Research and Practice**. v.03, n.01, Dar es Salaam, Tanzania, 2006.

OLIVEIRA, A. L. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação**. Tese de Doutorado. 296 p. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis,2004.

OLIVEIRA, D.N.P.S. **Painéis de cimento Portland produzidos com fibras do mesocarpo do açaí**. Dissertação de Mestrado. 78 p. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2019.

ONU NEWS; **ONU alerta que entre 40 e 50 bilhões de toneladas de areia são extraídas por ano**. Disponível em <https://news.un.org/pt/story/2019/05/1671251> . Acesso em 10/08/2019.

PAGE J.; et al. **Amélioration du comportement mécanique à long terme de composites ciment-lin**. In: CONFERECE 2 ÈME JOURNÉE SCIENTIFIQUE “MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION BIOSOURCÉS”. Université Caen Normandie. Paris – France, 2018.

PELAEZ-SAMANIEGO, M. R.; YADAMA, V.; LOWELL, E.; ESPINOZA-HERRERA, R. A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1285-1319, 2013.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese de Doutorado. 320 p. Escola de Engenharia da universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L.R., OLIVEIRA, A.L., BEDIN, C.A. Alvenaria estrutural de blocos de concreto. **1ª ed. Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

RAIPUT, D ; BHAGADE,S.D.; RAUT, S.P.; RALEGAONKAR, R.V.; MANDAVGANE, S.A. Reuse of cotton and recycle paper Mill waste as building material. **Construction and Building Materials – Elsevier**. v.34, p. 470-475, set. , 2012

RIM, K.A.; LEDHEM, A.; DOUZANE,O.; DHEILLY,R.M.; QUENEUDEC,M. Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites. **Cement & Concrete Composites – Elsevier**. v.21, p. 269-276. Fev.,1999.

SALVADOR FILHO, J.A.A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 246p. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

SANTOS, A. Extração mineral de areias e seus impactos na territorialidade socioambiental: O caso de Feira de Santana-BA. **VII Seminário Internacional Dinâmica Territorial e Desenvolvimento Socioambiental: “Terra em Transe”**. Universidade Católica de Salvador. Bahia, 2015.

SEFFF L.; FOLGUERAS M. V.; HOTZA D. Hidratação do cimento CP V ARI – RS : Influência da água nas reações de hidratação. **49º Congresso Brasileiro de Cerâmica**. São Paulo, 2005.

SILVA, A. C. Estudo da durabilidade **de compósitos reforçados com fibras de celulose**. 2002. 128 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

SIMATUPANG, M.H. Abbaureaktionen von glucose, cellobiose un holz unter dem einfluß von portlandzementmortel. **Holzforschung**, v.40, n.3, p. 149-155, 1986.

SIMATUMPANG, M. H. **The water requirement of manufactured cement-bonded particleboard**. Holz Roh- Werkst. 37:379-382. 1979.

SNIF-Sistema Nacional de Informações Florestais; BOLETIM SNIF 2016 VOLUME 2, EDIÇÃO 2. Disponível em <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/2230-boletim-snif-producao-florestal-2016/file>. Acesso em: 08 de maio de 2019.

SOUSA, J.G.G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto - Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. 120p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, 2001.

TANGO, C.E.S. Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade. IPT. v.1. São Paulo, 1984.

VILLAS-BÔAS, B. T.; **Utilização de cimento Portland e resíduos de *Pinus* spp. para a fabricação de blocos vazados de baixa densidade para alvenaria**. 190p. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

VILLAS-BÔAS, B. T.; et al.; 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.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. **Cement Sustainability Initiative. Cement technology roadmap 2009: carbon emissions reductions up to 2050**. Paris, 2016.

WORK, W. J.; HORIE, K.; HESS, M.; STEPTO, R. F. T. Definition of terms related to polymer blends, composites, and multiphase polymeric materials. **Pure and applied chemistry**, USA, v. 76, n. 11, p. 1985-2007, 2004.

WWF-BRASIL. Convenção de Minamata sobre mercúrio: **Os desafios da implementação**. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducaoedeimpactos2/politicaspUBLICAS/convencaominamata. Acesso em: 20 de abr. de 2019.