

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**PAULO RAFAEL NUNES E SILVA ALBUQUERQUE**

**ESTUDO DA ADIÇÃO DO PAPEL RECICLADO NO CONCRETO PARA  
FABRICAÇÃO DE BLOCOS EM CONCRETO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO**

São Luís

2018

**PAULO RAFAEL NUNES E SILVA ALBUQUERQUE**

**ESTUDO DA ADIÇÃO DO PAPEL RECICLADO NO CONCRETO PARA  
FABRICAÇÃO DE BLOCOS EM CONCRETO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar

Co-Orientador: Prof. Msc. Luciano Carneiro Reis

São Luís

2018

Albuquerque, Paulo Rafael Nunes e Silva.

Estudo da adição do papel reciclado no concreto para fabricação de blocos em concreto de pavimento intertravado / Paulo Rafael Nunes e Silva Albuquerque. – São Luís, 2018.

152 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar.

1. Concreto. 2. Propriedades. 3. Papel. 4. Blocos. 5. Pavimento.

I. Título.

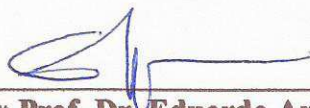
CDU 625.821.5

**PAULO RAFAEL NUNES E SILVA ALBUQUERQUE**

**ESTUDO DA ADIÇÃO DO PAPEL RECICLADO NO CONCRETO PARA  
FABRICAÇÃO DE BLOCOS EM CONCRETO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 07/12/18



---

**Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar**

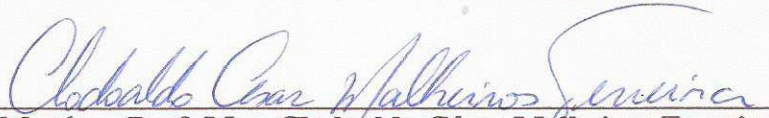
Universidade Estadual do Maranhão



---

**Co-Orientador: Prof. Msc. Luciano Carneiro Reis**

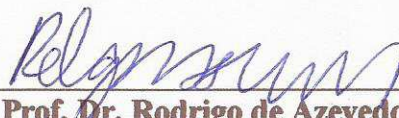
Universidade Estadual do Maranhão



---

**1º Membro: Prof. Msc. Clodoaldo César Malheiros Ferreira**

Universidade Estadual do Maranhão



---

**2º Membro: Prof. Dr. Rodrigo de Azevedo Neves**

Universidade Estadual do Maranhão

Aos meus pais e minha irmã pelos incentivos, amor, ensinamentos que me fazem ser melhor a cada dia e sem eles, eu não chegaria aonde estou.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, meu Pai que sempre esteve comigo, me dando saúde física e psicológica que me sustentou durante toda a pesquisa. Através dele, eu cheguei aonde estou e pela intercessão de Maria, mãe de Jesus, vou avançar cada dia mais na profissão que decidi escolher.

Agradeço a minha mãe, Maria Selma Nunes e Silva Albuquerque, pelas conversas, orações, apoio incondicional, conselhos, carinho, dedicação e ensinamentos que me motivam a continuar caminhando em direção aos meus sonhos. Também agradeço à minha irmã, Paula Raíssa Nunes e Silva Albuquerque que sempre esteve ao meu lado, me instruindo através de conselhos que foram essenciais para mim, mesmo morando em outro estado. Meu pai, Paulo Viana Furtado Albuquerque, que também é sempre presente na minha vida, e com sua calma consegue sempre me tranquilizar nos momentos mais turbulentos da vida, além de sempre me estimular a estudar.

À minha avó, Tereza Nunes e Silva, que mesmo morando distante, sempre esteve preocupada comigo e com sua sabedoria buscava sempre me zelar com seus conselhos. Às minhas tias, Samara Nunes, Zilma Nunes, Vilma Nunes e Suzana Nunes, que ao longo desses anos sempre me deram apoio nesta caminhada. À minha madrinha, Maria Boaventura, que me incentivava à busca do estudo e ao alcance dos meus objetivos.

À minha amiga Myrela, que quando possível, me ajudou quando tinha dúvidas em relação à pesquisa, além das palavras de motivação e conselhos que me proporcionaram um maior incentivo para concluir o estudo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Aguiar e meu co-orientador Luciano Carneiro Reis, pelas atenções e disposições de sempre, me motivando a crescer na esfera da engenharia civil. Ao laboratorista Jurandir Amorim Morais Filho que quando possível, me auxiliou nos ensaios necessários para a realização desta etapa. Ao Laboratório de Concreto e Materiais pela disponibilização dos equipamentos e materiais necessários para a produção dos ensaios.

Aos meus primos, que sempre foram meu apoio nessa caminhada, em especial, Adriano Nunes, Jalmir Xavier, André Nunes, Marcelo Nunes e Gabriel Nunes.

Aos meus amigos da igreja, enviados por Deus, que se mostraram sempre disponíveis para ajuda e se encontravam nos melhores e piores momentos desta fase da

pesquisa. Em especial, Laura Fenolli e Laura Correia, peças fundamentais para que eu conseguisse concluir a pesquisa.

À minha amiga e parceira de curso, Mariana de Sousa Prazeres, pois foi um elo de fundamental importância para finalização desse estudo. Mostrava-se sempre preocupada e disponível para dúvidas, além de ser uma das pessoas que passou grandes sufocos junto a mim nessa árdua e dura caminhada.

Aos meus amigos do curso de engenharia civil enviados por Deus, especialmente ao meu grupo de estudo formado por Camilla Gomes Arraiz, Mariana de Sousa Prazeres, Felipe Barros Carvalho, e Valéria de Freitas Lima, pois foram meu sustento em todo percurso durante o curso e realmente estiveram nos piores e melhores momentos da minha vida acadêmica.

Aos meus queridos e amados amigos da época de escola, Ana Clara Pires, Daniel Gomes, Gabriela Farias, Marina Almeida, Juliana Leite, Lucas Henrique e Mariana Protázio que me acompanharam durante toda a vida na Universidade, desde o processo de ingresso até a conclusão. Estes foram uma das minhas bases de sustentação para que conseguisse chegar até esta etapa do curso de graduação.

A todos os colegas que colaboraram para a realização desta etapa.

*“ Nem tudo que se enfrenta pode ser modificado, mas nada pode ser modificado até que seja enfrentado ”*

*Albert Einstein*



## RESUMO

O concreto é um material de construção civil proveniente da mistura, em proporção adequada, de aglomerantes, agregados, água e por vezes, aditivos. Este material é de grande importância para a construção civil e é um dos mais produzidos no mundo. Para melhorar suas propriedades, podem ser adicionados materiais, como o papel, que também é produzido em larga escala. Assim, sua disponibilidade para a reciclagem e limitação para a quantidade de ciclos torna-o um material viável para uso na construção civil, eliminando a quantidade excessiva de resíduos, integrando um método sustentável de produção. Desse modo, a pesquisa em questão tem o objetivo de avaliar as propriedades do concreto simples padrão e concreto simples adicionado de papel reciclado, incluindo o estudo da viabilidade técnica de uso de blocos em concreto de pavimento intertravado produzidos com concreto adicionado de papel reciclado. O concreto do estudo em questão foi analisado através de ensaios laboratoriais na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Foram realizados 3 estudos. O primeiro utilizou-se de um traço 1:2:3:0,6 com adição de papel triturado em forma de pelotas em quantidades de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento. O segundo utilizou-se de um traço 1:2:3:0,45, porém com a porcentagem que obteve os melhores resultados no estudo I, que foi a de 20%. Ambos com confecção de corpos de prova cilíndrico. E por fim, o terceiro estudo, que se utilizou do mesmo traço do estudo 2 e mesma porcentagem de papel, porém com a confecção de blocos de concreto. Os ensaios realizados foram o de resistência à compressão, absorção e consistência. Depois de realizados os ensaios, observou-se que a resistência aumentou a medida que a porcentagem de papel era crescente, a absorção não aumentou significativamente a ponto de afetar na perda da resistência e a consistência foi ideal para a produção dos blocos. Assim, constatou-se que o uso do papel é completamente viável para produção de blocos de concreto de pavimento intertravado, apesar de ainda necessitar de mais estudos para aperfeiçoamento do produto final.

Palavras-chave: Concreto; Propriedades; Papel; Blocos; Pavimento.

## ABSTRACT

Concrete is a proven civil construction material for the proper blending of binders, aggregates, water and sometimes additives. This material is of great importance for a civil construction and is one of the most works in the world. To improve its properties, materials such as paper can be added, which is also produced on a large scale. Thus, its availability for recycling and limitation for the quantity of recycles makes it a viable material for use in construction, eliminating the excessive amount of waste, integrating a sustainable method of production. Thus, the research in question has the objective of evaluating the properties of standard simple concrete and simple added concrete of recycled paper, including the study of the technical feasibility of using blocks in concrete of interlocking pavement produced with concrete added of recycled paper. The concrete of the study in question was analyzed through laboratory tests at the State University of Maranhão (UEMA). Three studies were carried out. The former utilized a 1: 2: 3: 0.6 dash with addition of crushed paper in the form of pellets in amounts of 5%, 10%, 15% and 20% of the volume of cement. The second one used a 1: 2: 3: 0.45 trace, but with the percentage that obtained the best results in study I, which was 20%. Both with cylindrical specimen preparation. And finally, the third study, which used the same trait of study 2 and the same percentage of paper, but with the construction of concrete blocks. The tests carried out were of resistance to compression, absorption and consistency. After the tests were carried out, resistance was observed to increase as the percentage of paper was increasing, the absorption did not increase significantly to the point of affecting the loss of strength and the consistency was ideal for the production of the blocks. Thus, it was found that the use of paper is completely viable for the production of concrete blocks of interlocking pavement, although further studies are still needed to improve the final product.

Keywords: Concrete; Properties; Paper; Blocks; Pavement.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes da pasta. ....	26
Figura 2 - Componentes da argamassa. ....	27
Figura 3 - Componentes do concreto simples. ....	27
Figura 4 - Materiais utilizados no ensaio de consistência do concreto. ....	36
Figura 5 - Etapas do ensaio de abatimento do tronco de cone. ....	36
Figura 6 - Seção típica de um pavimento intertravado. ....	41
Figura 7 - Pedras talhadas na Via Ápia, na Roma. ....	42
Figura 8 - Pavimento intertravado com bloco pré-moldado em praça pública. ....	43
Figura 9 - Pavimento intertravado com bloco pré-moldado em calçada. ....	43
Figura 10 - Pavimento intertravado com bloco pré-moldado em avenida. ....	44
Figura 11 - Blocos de concreto do tipo I. ....	46
Figura 12 - Blocos de concreto do tipo II. ....	46
Figura 13 - Blocos de concreto do tipo III. ....	46
Figura 14 - Blocos de concreto do tipo IV. ....	47
Figura 15 - Exemplo de mesa vibratória utilizada na fabricação de peças viradas. ....	47
Figura 16 - Exemplo de forma que é vibrada na mesa. ....	48
Figura 17 - Exemplo de vibroprensa. ....	48
Figura 18 - Tripé da sustentabilidade. ....	53
Figura 19 - Desenho esquemático da metodologia apresentada. ....	62
Figura 20 - Brita zero utilizada na fabricação do concreto. ....	63
Figura 21 - Areia utilizada na fabricação do concreto. ....	64
Figura 22 - Máquina utilizada para cortar o papel em tiras. ....	65
Figura 23 - Papeis cortados em forma de tiras. ....	65
Figura 24 – Processo de trituração do papel. (A): papel em tiras no liquidificador (B): aluno adicionando água para posterior trituração. ....	65
Figura 25 - Peneiramento da pasta (papel + água). ....	66
Figura 26 - Papel em formato de pelotas pronto para ser adicionado ao concreto. ....	66
Figura 27 - Corpos de prova cilíndrico com traço 1:2:3:0,6. (A): corpo de prova com concreto padrão (B): corpo de prova com concreto adicionado de papel. ....	68
Figura 28 - Corpos de prova de traço 1:2:3:0,45 já moldados. ....	69
Figura 29 - Blocos intertravados produzidos. ....	69

Figura 30 – Adição de água no frasco. (A): aluno inserindo água no frasco (B): frasco com água na marca de 200 cm <sup>3</sup> .	71
Figura 31 - Leitura final no frasco (conjunto agregado/água).	71
Figura 32 – Adição do querosene no frasco. (A): querosene sendo inserido no frasco (B): banho termorregulador.	73
Figura 33 - Aluno inserindo o cimento no frasco.	73
Figura 34 - Aluno realizando o quarteamento.	74
Figura 35 - Amostra sendo lavada.	75
Figura 36 - Amostra sendo pesada.	75
Figura 37 - Amostras submersas em água.	76
Figura 38 - Valor de "ma" para a uma parcela da amostra 1.	76
Figura 39 - Cápsulas utilizadas no ensaio.	79
Figura 40 – Ensaio de granulometria da areia. (A): adição do agregado miúdo no conjunto de peneiras (B): agregado sendo pesado.	79
Figura 41 – Ensaio de granulometria da brita. (A): disposição das peneiras no agitador mecânico (B): agregado graúdo sendo pesado.	80
Figura 42 - Curva granulométrica do agregado miúdo.	80
Figura 43 - Curva granulométrica do agregado graúdo.	81
Figura 44 – Materiais prontos para serem misturados. (A): materiais para produção do concreto com papel (B): materiais para produção do concreto padrão.	84
Figura 45 - Agregados sendo levados à betoneira.	85
Figura 46 – Execução e moldagem dos blocos. (A): mesa vibratória e formas de plástico para bloquetes (B): concreto na forma.	86
Figura 47 - Concreto já adicionado nos moldes metálicos.	86
Figura 48 – Materiais logo após a desmoldagem.(A): corpos de prova cilíndricos prontos para serem adicionados a câmara úmida (B): blocos de concreto prontos para serem adicionados na câmara úmida.	87
Figura 49 - Blocos adicionados a caixa de isopor junto com uma lona para proteção.	88
Figura 50 - Medição da dimensão dos blocos. (A): espessura (B): comprimento (C): largura.	88
Figura 51 - Corpos de prova sendo capeados com o Capeador.	89
Figura 52 – Materiais capeados. (A): blocos intertravados capeados (B): corpos de prova cilíndricos capeados.	90
Figura 53 - Máquina utilizada no ensaio de compressão.	91

Figura 54 - Corpo de prova prestes a sobre compressão axial na máquina de compressão. ....	92
Figura 55 - Blocos de concreto com a marcação da posição das placas auxiliadoras. ....	93
Figura 56 - Rompimento do bloco de concreto para pavimentação intertravada. ....	93
Figura 57 - Corpo de prova sendo pesado depois de 72 hrs na estufa.....	96
Figura 58 - Corpos de prova logo após serem retirados da estufa.....	96
Figura 59 – Ensaio de absorção dos blocos. (A): blocos imersos em água (B): blocos sendo enxutos (C): blocos sendo pesados.....	97
Figura 60 - Ensaio de Slump Test. (A): Abatimento do concreto adicionado de papel (B): abatimento do concreto padrão.....	98
Figura 61 - Medição do Slump Test. ....	99
Figura 62 - Tipo de ruptura de corpo de prova.....	101
Figura 63 - Exemplo de ruptura cisalhada.....	101
Figura 64 – Desmoldagem do bloco. (A): início da desmoldagem (B): bloco já desmoldado. ....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Abatimento e tipo de obra. ....	37
Tabela 2 - Estudo I com as respectivas quantidades fabricadas. ....	82
Tabela 3 - Estudo II com as respectivas quantidades fabricadas. ....	82
Tabela 4 - Estudo III com as respectivas quantidades fabricadas. ....	83
Tabela 5 - Tabela resumo do ensaio de consistência. ....	83
Tabela 6 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo I. ....	102
Tabela 7 - Absorção para o estudo I. ....	109
Tabela 8 - Slump Test para o estudo I. ....	111
Tabela 9 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo II. ....	113
Tabela 10 - Comparação das resistências do estudo I e II. ....	118
Tabela 11 - Absorção para o estudo II. ....	118
Tabela 12 - Resistência característica estimada à compressão do estudo III. ....	120
Tabela 13 - Comparação das resistências do estudo II e III. ....	125
Tabela 14 - Absorção para o estudo III. ....	126
Tabela 15 - Análise dimensional em blocos que serão utilizados no ensaio de resistência à compressão (0% de papel). ....	129
Tabela 16 - Análise dimensional em blocos que serão utilizados no ensaio de resistência à compressão (20% de papel). ....	130
Tabela 17 - Análise dimensional em blocos que serão utilizados no ensaio de absorção (0% e 20% de papel). ....	130

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tolerância dimensional em mm das peças em concreto. ....	50
Quadro 2 - Valores para resistência característica à compressão. ....	51
Quadro 3 - Amostragem para ensaio. ....	52
Quadro 4 - Tipos de papel e suas funções. ....	57
Quadro 5 - Resumo da produção de material. ....	84
Quadro 6 - Fator multiplicativo "p". ....	94
Quadro 7 - Coeficiente de Student. (Nível de confiança de 80 %). ....	94

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da produção brasileira de celulose. ....	56
Gráfico 2 - Evolução da produção de papel no Brasil. ....	56
Gráfico 3 - Resultados da resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo I. ....	102
Gráfico 4 - Resistência à compressão aos 7 dias de idade. ....	103
Gráfico 5 - Resistência à compressão aos 14 dias de idade. ....	104
Gráfico 6 - Resultados da resistência à compressão aos 7 e 14 dias de idade. ....	104
Gráfico 7 - Resistência à compressão aos 21 dias de idade. ....	105
Gráfico 8 - Resistência à compressão aos 28 dias de idade. ....	106
Gráfico 9 - Resultados da resistência à compressão aos 21 e 28 dias de idade. ....	106
Gráfico 10 - Relação entre a resistência à compressão e idades de cura. ....	107
Gráfico 11 - Relação entre a resistência à compressão e porcentagem de papel. ....	108
Gráfico 12 - Absorção para o estudo I. ....	109
Gráfico 13 - Absorção para o estudo I. ....	110
Gráfico 14 - Slump para o estudo I. ....	111
Gráfico 15 - Slump test para o estudo I. ....	112
Gráfico 16 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo II. ....	114
Gráfico 17 - Resistência à compressão aos 7 dias de idade do estudo II. ....	114
Gráfico 18 - Resistência à compressão aos 14 dias de idade do estudo II. ....	115
Gráfico 19 - Resistência à compressão aos 21 dias de idade do estudo II. ....	115
Gráfico 20 - Resistência à compressão aos 28 dias de idade do estudo II. ....	116
Gráfico 21 - Relação entre a resistência à compressão e idades de cura. ....	117
Gráfico 22 - Relação entre a resistência à compressão e porcentagens de papel. ....	117
Gráfico 23 - Absorção para o estudo II. ....	118
Gráfico 24 - Absorção para o estudo II. ....	119
Gráfico 25 - Resistência característica estimada à compressão do estudo III. ....	121
Gráfico 26 - Resistência à compressão aos 7 dias de idade para o estudo III. ....	121
Gráfico 27 - Resistência à compressão aos 14 dias de idade para o estudo III. ....	122
Gráfico 28 - Resistência à compressão aos 21 dias de idade para o estudo III. ....	122
Gráfico 29 - Resistência à compressão aos 28 dias de idade para o estudo III. ....	123
Gráfico 30 - Relação entre a resistência à compressão e os dias de cura úmida. ....	123



Gráfico 31 - Relação entre a resistência à compressão e porcentagens de papel para o estudo III. ....	124
Gráfico 32 - Absorção para o estudo III. ....	126
Gráfico 33 - Absorção para o estudo III. ....	127

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Acelerador do tempo de pega
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCT	Centro de Ciências Tecnológicas
CP I	Cimento Portlan comum
CP I S	Cimento Portlan comum com adição
CP II E	Cimento Portland composto com Escória
CP II F	Cimento Portland composto com Fíler
CP II Z	Cimento Portland composto com Pozolana
CP III	Cimento Portland de alto-forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V	Cimento Portland de alta resistência inicial
CPS	Corpos de prova
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
IAR	Incorporador de ar;
IBA	Industria Brasileira de árvores
IBRACON	Instituto Brasileiro de Concreto
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
LABCOM	Laboratório de Concreto e Materiais
MA	Maranhão
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Associação Mercosul de Normatização
NUTENGE	Núcleo Tecnológico de Engenharia
P	Plastificante ou redutor de água;
PA	Plastificante e acelerador do tempo de pega;
PR	Plastificante e retardador do tempo de pega;
R	Retardador do tempo de pega;
SNIC	Sindicato Nacional da Industria do Cimento
SP	Superplastificante (mínimo 12% de redução de água);
SPA	Superplastificante acelerador.
SPR	Superplastificante retardador;

TCC Trabalho de Conclusão de Curso  
UEMA Universidade Estadual do Maranhão

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
a/c	Água/cimento
f <sub>ce</sub>	Resistência à compressão estimada
f <sub>ck</sub>	Resistência à compressão característica
f <sub>cm</sub>	Resistência média do concreto à compressão
g	Gramas
g/cm <sup>3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
kg	Quilograma
kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por metro cúbico
kW	Quilowatt
mm	Milímetro
mm <sup>2</sup>	Milímetros quadrados
MPa	Megapascal
N	Newton
°C	Grau Celsius
Tf	Tonelada-força

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>1.1.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>24</b>
1.1.1.	Objetivo geral.....	24
1.1.2.	Objetivos específicos .....	25
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.</b>	<b>Concreto .....</b>	<b>26</b>
2.1.1.	Materiais constituintes do concreto.....	27
2.1.1.1.	Cimento Portland (Aglomerante) .....	28
2.1.1.2.	Agregados .....	28
2.1.1.3.	Água .....	29
2.1.1.4.	Aditivos .....	29
2.1.2.	Tipos de concreto .....	30
2.1.3.	Pega do concreto .....	32
2.1.4.	Cura do concreto .....	32
2.1.5.	Dosagem e traço do concreto .....	33
2.1.6.	Fator água/cimento.....	34
<b>2.2.</b>	<b>Concreto no estado fresco .....</b>	<b>34</b>
2.2.1.	Consistência .....	35
2.2.1.1.	Ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test) .....	35
2.2.2.	Trabalhabilidade.....	37
2.2.3.	Homogeneidade.....	37
<b>2.3.</b>	<b>Concreto no estado endurecido .....</b>	<b>38</b>
2.3.1.	Resistência à compressão .....	38
2.3.1.1.	Fatores que influenciam na resistência do concreto .....	39
2.3.2.	Resistência característica do concreto à compressão .....	39
2.3.3.	Absorção .....	39

2.3.3.1.Ensaio de absorção .....	40
<b>2.4. Pavimento intertravado e blocos pré-moldados .....</b>	<b>40</b>
2.4.1. Conceito de pavimento intertravado .....	41
2.4.2. Histórico da pavimentação intertravada.....	41
2.4.3. Blocos pré-moldados para pavimentação intertravada .....	43
2.4.3.1. Materiais empregados na fabricação dos blocos .....	44
2.4.3.2. Formato dos blocos.....	45
2.4.3.3. Fabricação dos blocos.....	47
2.4.3.4. Vantagens .....	48
2.4.3.5. Propriedades do concreto para blocos intertravados de concreto.....	49
2.4.3.6. Requisitos técnicos .....	50
<b>2.5. Sustentabilidade e reciclagem .....</b>	<b>52</b>
<b>2.6. Papel .....</b>	<b>54</b>
2.6.1. Composição e fabricação do papel.....	54
2.6.2. Tipos de Papel.....	57
2.6.3. Propriedades do papel .....	58
2.6.4. Importância da reciclagem do papel .....	59
<b>2.7. Sustentabilidade na construção civil.....</b>	<b>60</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>62</b>
<b>3.1 Pesquisas bibliográficas .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2 Obtenção e características dos materiais .....</b>	<b>63</b>
<b>3.3 Obtenção e processo de reciclagem da matéria prima (papel).....</b>	<b>64</b>
<b>3.4 Estudo I .....</b>	<b>67</b>
<b>3.5 Estudo II.....</b>	<b>68</b>
<b>3.6 Estudo III .....</b>	<b>69</b>
<b>3.7 Atividades laboratoriais.....</b>	<b>70</b>
3.7.1 Ensaio de caracterização dos materiais .....	70

3.7.1.1 Ensaio da determinação da massa específica da areia .....	70
3.7.1.2 Ensaio da determinação da massa específica do cimento.....	72
3.7.1.3 Ensaio da determinação da massa específica do agregado graúdo.....	74
3.7.1.4 Ensaio da determinação da umidade da areia .....	78
3.7.1.5 Ensaio de granulometria do agregado miúdo e graúdo .....	79
3.7.2 Dosagem.....	81
3.7.3 Produção do concreto.....	84
3.7.4 Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos e intertravados .....	85
3.7.5 Desmoldagem e cura úmida dos corpos-de-prova cilíndricos e intertravados.....	87
3.7.6 Análise dimensional dos blocos .....	88
3.7.7 Capeamento dos corpos-de-prova cilíndricos e intertravados .....	89
3.7.8 Ensaio de resistência à compressão axial.....	90
3.7.8.1 Ensaio de resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndrico.....	90
3.7.8.2 Ensaio de resistência à compressão axial de corpos-de prova intertravados.....	92
3.7.9 Ensaio de absorção .....	95
3.7.10 Ensaio de consistência (Slump Test).....	97
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>100</b>
<b>4.1 Estudo I (Corpos de prova cilíndricos).....</b>	<b>100</b>
4.1.1 Resistência à compressão axial .....	100
4.1.2 Absorção .....	108
4.1.3 Consistência .....	111
<b>4.2 Estudo II (Corpos de prova cilíndricos).....</b>	<b>113</b>
4.2.1 Resistência à compressão axial .....	113
4.2.2 Absorção .....	118
4.2.3 Consistência .....	119
<b>4.3 Estudo III (Blocos de concreto).....</b>	<b>120</b>
4.3.1 Ensaio de resistência à compressão axial.....	120

4.3.2 Ensaio de Absorção.....	126
4.3.3 Ensaio de consistência (Slump Test).....	127
<b>4.4 Análise dimensional dos blocos de concreto.....</b>	<b>128</b>
<b>5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>132</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>136</b>
<b>APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DA BRITA .....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE B – GRANULOMETRIA DA AREIA .....</b>	<b>143</b>
<b>APÊNDICE C – ABSORÇÃO (ESTUDO I).....</b>	<b>144</b>
<b>APÊNDICE D – ABSORÇÃO (ESTUDO II) .....</b>	<b>146</b>
<b>APÊNDICE E – ABSORÇÃO (ESTUDO III) .....</b>	<b>147</b>
<b>APÊNDICE F – RESISTÊNCIAS DO ESTUDO I .....</b>	<b>148</b>
<b>APÊNDICE G – RESISTÊNCIAS DO ESTUDO II .....</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICE H – RESISTÊNCIAS DO ESTUDO III.....</b>	<b>150</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de aglomerantes, agregados, água e por vezes, aditivos. Este material está presente em praticamente todas as construções civis, sejam elas praças, edifícios, casas ou até mesmo rodovias. Cerca de 11 bilhões de toneladas de concreto são produzidas, de acordo com Pedroso (2009), o que resulta em aproximadamente em um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante ao ano, valor inferior apenas ao consumo de água. E ainda, segundo a Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON) (2009), no Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos.

IBRACON (2009) afirma ainda que o concreto é uma pedra artificial que se molda à criatividade construtiva do homem, que foi capaz de desenvolver um material que, depois de endurecido tem resistência similar às das rochas naturais e quando no estado fresco, é composto plástico: possibilita sua modelagem em formas e tamanhos variados. Dessa forma, existem inúmeros motivos pelos quais o concreto é um dos produtos mais utilizados, entre eles: sua resistência à água. O concreto sofre menor deterioração quando exposto à água, razão de sua utilização em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água. Além da disponibilidade abundante de seus elementos constituintes e seus baixos custos comparados a outros materiais como alumínio, aço e vidro.

A grande disponibilidade dos materiais que formam o concreto e a grande disponibilidade para inúmeros usos deixam claro que o concreto é solução para diversos elementos construtivos, entre eles, os blocos de pavimentos intertravados. Os blocos de pavimentos intertravados, são peças maciças pré-moldadas em concreto e frequentemente utilizadas em pavimentação de ruas, áreas externas e calçamentos como calçadas e até praças públicas. De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 9781:2013 – Peças de concreto para pavimentação, a resistência característica à compressão aos 28 dias do bloco deve ser igual ou superior a 35 Mpa para solicitação de veículos leves, veículos comerciais de linha e tráfego de pedestres. Porém, destaca-se que essa resistência pode ser diminuída quando a utilização do bloco for apenas para calçadas e praças, onde a solicitação de carga é menor.

Vale ressaltar que a alta demanda de concreto implica em estudos voltados para a melhoria das características físico-químicas do material, e mais recentemente benefícios nos aspectos econômicos e ambientais, por meio de aditivos provenientes de soluções sustentáveis.

A capacidade de exploração dos recursos naturais no Brasil, pela indústria de papel e celulose cresceu de maneira exponencial, devido às melhorias na tecnologia implantada no

país e aos investimentos realizados na área, ocasionando assim, uma crescente preocupação em torno dos impactos ambientais causados pelo setor, sendo estes o esgotamento do recurso utilizado, a produção e o descarte excessivo do produto final, sem uma destinação adequada.

De acordo com o relatório anual da Indústria Brasileira das Árvores, apesar da retração volumétrica de 0,4% da produção brasileira de papel de 2015 em comparação com o ano antecedente, a produção anual totalizou 10,4 milhões de toneladas, mantendo o país na nona colocação no ranking mundial de produtores de papel, posição semelhante também ao de maiores consumidores de papel (IBÁ, 2018).

Com elevados índices de produção e consumo, surgiram complicações e questionamentos quanto ao manuseio do material. A alternativa viável econômica e socialmente é a reciclagem deste papel, visando à preservação de recursos naturais (matéria-prima, energia e água), a minimização da poluição e a diminuição da quantidade de lixo que vai para os aterros.

Atualmente, a prática de reciclagem está difundida pelo Brasil, mas ainda existem delimitações como no caso do papel, para a quantidade de reciclagem permitida, em comparação com os outros materiais recicláveis. São estimadas 4 a 6 ciclos de processamento para alcançar o limite da reciclagem, este sendo motivado por conta das fibras do papel sofrerem alterações no comprimento e perda de material fibroso, comprometendo suas características físicas.

Desse modo, como visto anteriormente, o papel é abundante no Brasil, e sua disponibilidade para a reciclagem e limitação para a quantidade de ciclos torna-o um material viável para uso na construção civil, visto que caso seja utilizado como uma adição para o concreto de blocos intertravados eliminará a quantidade excessiva de resíduos, integrando um método sustentável de produção.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Avaliar as propriedades do concreto simples padrão e concreto simples adicionado de papel reciclado, incluindo o estudo da viabilidade técnica de uso de blocos em concreto de pavimento intertravado produzidos com concreto adicionado de papel reciclado elaborados com materiais da cidade de São Luís-MA.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar ensaios de resistência à compressão, absorção, consistência para concreto padrão e para concreto adicionado de papel reciclado em corpos de prova cilíndricos;
- Fabricar blocos em concreto de pavimento intertravado com concreto padrão e adicionado de papel reciclado, além de realizar os ensaios de resistência à compressão, absorção e consistência com o intuito de analisar a viabilidade técnica para uso;
- Relacionar e comparar as três propriedades (resistência à compressão, absorção e consistência) do concreto adicionado de papel com o concreto padrão;
- Comparar o comportamento do concreto em corpos de prova cilíndricos e corpos de prova no formato da sua aplicação (blocos intertravados).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico serão apresentados os aspectos e informações teóricas deste trabalho, relacionando estudos semelhantes ou já realizados que abordem o tema proposto para melhor entendimento da metodologia que irá ser adotada.

### 2.1. Concreto

O concreto é um compósito constituído basicamente por agregados miúdos e graúdos, dispersos em uma matriz formada pelas reações químicas durante a hidratação do cimento Portland pela água. Ou ainda, o concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de aglomerantes, agregados, água e por vezes, aditivos (PINHEIRO, 2007). Destaca-se que o concreto é um material bastante utilizado na construção civil e que pode ser encontrado em alvenaria de casas simples até nas construções mais complexas do mundo, como pontes, edifícios bem altos e até mesmo em rodovias (PEDROSO, 2009).

Como demonstrado no início deste trabalho, cerca de 11 bilhões de toneladas de concreto são produzidas ao ano, o que resulta em aproximadamente em um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante ao ano, valor inferior apenas ao consumo de água (PEDROSO, 2009). E ainda, no Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos (IBRACON, 2009). Destaca-se que a mistura entre os materiais que compõe o concreto recebe outros nomes até chegar à mistura final denominada concreto simples. Dessa forma tem-se: pasta, que é o nome dado à mistura entre cimento e água (figura 1); argamassa, definida como a mistura entre a pasta e areia (figura 2) e por fim, o concreto simples (figura 3), que é a mistura entre a argamassa e agregado miúdo.

Figura 1 - Componentes da pasta.



Fonte: Pinheiro, 2007.

Figura 2 - Componentes da argamassa.



Fonte: Pinheiro, 2007.

Figura 3 - Componentes do concreto simples.



Fonte: Pinheiro, 2007.

É válido ressaltar que o concreto possui duas propriedades que o destacam como um material construtivo. A primeira é a sua resistência à água que faz com que sofra menor deterioração quando exposto à água e a segunda é a sua plasticidade, o que possibilita obter formas construtivas inusitadas, como se vê nas obras arquitetônicas de Niemayer.

O concreto é um dos produtos mais produzidos no mundo, entre os seus constituintes, o mais caro é o aglomerante (cimento). Dessa forma, diversos estudos são realizados com o objetivo de substituir ou adicionar algum produto ao concreto em relação ao cimento com a finalidade de se obter um produto final mais barato. De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) (2018), as vendas de cimento no Brasil totalizaram 4,3 milhões de toneladas em janeiro de 2018 e no período compreendido entre fevereiro de 2017 a janeiro de 2018, as vendas acumuladas totalizaram 53,8 milhões de toneladas.

#### 2.1.1. Materiais constituintes do concreto

Como mencionado anteriormente, o concreto é um material de construção civil formado basicamente por agregados, que se classificam em agregados miúdos ou agregados graúdos, aglomerantes, geralmente representados pelo cimento, água e em algumas situações, são incorporados outros componentes, como por exemplo, microssílica, polímeros, etc. As

adições tem a finalidade de melhorar e desenvolver algumas propriedades, como aumentar a resistência e a trabalhabilidade, que serão explicadas nos itens abaixo, e retardar as velocidades das reações químicas que ocorrem no concreto.

#### 2.1.1.1. Cimento Portland (Aglomerante)

O Cimento Portland é o nome dado ao cimento obtido pela mistura de calcário, argila ou outros materiais siliciosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro. Essa mistura é queimada à temperatura de clínquerização, sendo o material resultante dessa queima, o clínquer moído (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Ou ainda, o cimento é um tipo de aglomerante, que tem a função de unir os fragmentos de outros materiais. No concreto, em geral, ele que reage com a água e endurece com o tempo por ser um aglomerante hidráulico (PINHEIRO, 2007).

Assim, o cimento é um dos principais materiais que constituem o concreto, pois é através dele, juntamente com a água, que todos os agregados irão se unir. É válido ressaltar que a produção do cimento é gigantesca, onde no Brasil, por exemplo, existem cerca de cinco tipos básicos de cimento e três especiais. De acordo com sua composição, as características do concreto podem alterar, por isso que para cada tipo de obra existe um cimento adequado para uso. Entre as propriedades do concreto que podem alterar de acordo com o tipo do cimento, estão a trabalhabilidade, resistência à compressão, durabilidade, trabalhabilidade, resistência à agentes agressivos, entre outros.

De acordo com Metha e Monteiro (1994), existem vários tipos de cimento Portland, que se diferenciam em relação à sua composição, entre eles, tem-se: Cimento Portland Comum (CP I); Cimento Portland Comum com Adição (CP I – S); Cimento Portland Composto com Escória (CP II – E); Cimento Portland Composto com Pozolana (CP II – Z); Cimento Portland Composto com Fíler (CP II – F); Cimento Portland Alto Forno (CP III); Cimento Portland Pozolânico (CP IV) e Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V).

#### 2.1.1.2. Agregados

Em conformidade com Petrucci (1998), o agregado é um material granular, sem volume ou formas definidas e que geralmente são inertes com propriedades e dimensões adequadas para serem usados em obras de engenharia.

Dessa forma, destaca-se que eles desempenham um importante papel nas argamassas e concretos, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico e exercem grande

influência sobre algumas características, como: resistência, absorção, entre outros (PETRUCCI, 1998). Nota-se que a qualidade dos agregados no concreto é essencial, pois 75% do volume do concreto é ocupado por ele.

Pela NBR ABNT 7211:2005, os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento. Dependendo das dimensões características dos agregados, dividem-se em dois grupos:

- Agregados miúdos, que são agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, geralmente representados pela areia;
- Agregados graúdos, que são agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, que são geralmente representados pela brita.

#### 2.1.1.3. Água

Consoante Petrucci (1998), a água usada no amassamento do concreto não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento. Pequenas quantidades de impurezas podem ser toleradas, pois não apresentam, pelo menos aparentemente, efeitos danosos.

A água é o material mais consumido no planeta e um elemento indispensável a todas as formas de vida. Além disso, é um componente fundamental do concreto, responsável pelas reações de endurecimento e usada na cura, chega a representar 20% de seu volume. Portanto, se contiver substâncias danosas em teores acima dos estabelecidos por norma, pode influenciar no seu comportamento e propriedades. A queda de resistência e a alteração do tempo de pega são os efeitos adversos citados como os mais significativos (O MUNDO DO CIMENTO, 2010). Portanto, geralmente a água utilizada para fabricação de corpos de prova é água de uso público mas deve estar dentro dos padrões estabelecidos pela ABNT NBR 15900:2009 (Água para amassamento do concreto).

#### 2.1.1.4. Aditivos

Em concordância com a ABNT NBR 11768:2011 (Aditivos para concreto de cimento Portland), os aditivos são produtos que adicionados em pequena quantidade aos concretos de cimento Portland, modificam algumas propriedades no sentido de melhorar esses

concretos para determinadas condições, ou seja, são produtos empregados na produção de concretos e argamassas de cimento para modificar certas propriedades do material fresco ou endurecido. Dessa forma, o concreto precisa ter, antecipadamente, determinada característica para que o aditivo possa acentuar, retardar, acelerar ou plastificar.

Segundo Freitas (2013), os aditivos possuem diversas funções para o concreto, entre elas estão:

- Aumentar a trabalhabilidade ou plasticidade do concreto;
- Reduzir o consumo do aglomerante (cimento Portland);
- Provocar mudanças, acelerando ou retardando o tempo de pega (tempo de pega será explicado ao longo do trabalho);
- Diminuir a retração;
- Aumentar a durabilidade, entre outros.

A ABNT NBR 11768:2011 classifica alguns aditivos para serem utilizados no concreto, como por exemplo: P, plastificante ou redutor de água (mínimo 6% de redução); A, acelerador do tempo de pega; R, retardador do tempo de pega; PR, plastificante e retardador do tempo de pega; PA, plastificante e acelerador do tempo de pega; incorporador de ar (IAR); SP, superplastificante (mínimo 12% de redução de água); SPR, superplastificante retardador; SPA, superplastificante acelerador.

### 2.1.2. Tipos de concreto

O concreto é um tipo de material da construção civil que está presente em diversos lugares de uma cidade. Praticamente toda infraestrutura urbana é realizada com este material. Assim, ele deve atender às diversas funções que possui para as mais variadas aplicações. Cada tipo de concreto atende a uma exigência, dentre os principais, segundo Couto (2013), tem-se:

- Concreto de cimento Portland ou concreto simples: material formado pela união de agregado graúdo, miúdo, aglomerante e água, onde pode conter ou não aditivos.
- Concreto convencional: o concreto convencional é usado em obras onde não existe a necessidade da utilização de equipamentos para o bombeamento do concreto. Devido à baixa trabalhabilidade desse concreto, torna-se necessário o uso de equipamentos apenas para obter uma adequada vibração para um bom adensamento. Demanda uma quantidade grande de mão de obra devido a sua aplicação manual. Este concreto pode ser aplicado diretamente no solo, em caso de fundações, ou ser lançado em formas, para pisos ou lajes. Geralmente a mistura é feita com vibrador para o correto adensamento.



- Concreto armado: é o mais comum no dia a dia. A única diferença para o concreto simples é a presença de armaduras de barras de aço, responsáveis por garantir ao concreto resistência a flexão e tração.
- Concreto bombeável: é quando o concreto é aplicado por meio de equipamentos, como bombas, sendo uma variação do concreto convencional. Por ter mais fluidez, é possível realizar sua colocação via bombeadoras. A tubulação sai do caminhão betoneira até o local em que irá ser utilizado na obra. O concreto bombeável possui mais teor de argamassa e trabalhabilidade, sendo transportado sob pressão, por meio de tubos rígidos ou mangueiras flexíveis, assim, podendo ser descarregado diretamente ou próximo do ponto onde será aplicado. Portanto, proporcionando uma maior velocidade na execução do serviço e também uma redução da mão de obra na concretagem.
- O concreto protendido é o aperfeiçoamento do concreto armado, onde se aplica tensões prévias de compressão nas regiões da peça que serão tracionadas pela ação do carregamento externo. Assim, as tensões de trações são diminuídas ou até anuladas pelas tensões de compressões pré-aplicadas. A técnica consiste em inserir cabos de aço de alta resistência no concreto (ancoramento) com aplicações de tensões de compressão nas partes tracionadas pelas solicitações dos carregamentos. A compreensão prévia realizada na peça que venha a ser concretada permite um melhor desempenho da estrutura.
- Concreto com alta resistência inicial: este concreto possui esta característica devido ao uso de aditivos especiais que garantem elevadas resistências por pouco tempo, agilizando assim as obras civis. O material é usado em indústrias de pré-fabricados, estruturas protendidas, entre outras situações.
- Concreto leve: sua principal característica está presente na redução de peso por meio da aplicação de agregados especiais, como por exemplo a argila expandida. Como parâmetro, o concreto de cimento Portland tradicional é utilizado geralmente na regularização de contra pisos e no preenchimento de estruturas anexadas a edificações antigas, onde se deseja reduzir o peso próprio ou evitar sobrecargas nas estruturas.
- Concreto pesado: esta aplicação do concreto utiliza agregados de massa específica maior com o objetivo de atingir valores superiores a  $2.800 \text{ kg/m}^3$ . Esses materiais podem incluir hematita, magnetita e a barita. Sendo muito utilizado na construção de câmaras de raios-x ou gama e ambientes que lidam com energia atômica, como usinas, por exemplo. Os agregados ajudam na proteção contra a radiação.

- Concreto Celular: é representado por uma argamassa, onde são adicionadas microbolhas de ar, por meio de espuma líquida que são geradas por um equipamento próprio. Geralmente utilizado na regularização de lajes e contra pisos, podendo, também, ser empregado em paredes estruturais, câmara frigorífica, proteção para impermeabilização, etc. Tendo um ótimo desempenho como isolante térmico ou acústico.
- Concreto de consistência seca: geralmente é aplicado por espalhamento manual ou mecânico e compactado com rolo vibratório liso e equipamentos usuais de pavimentação. Este tipo de concreto poderá ser empregado como pavimento definitivo, contudo, o cimento deverá ser aumentado. É aplicado geralmente em blocos de meio fio, blocos de pavimento intertravado, e até mesmo em blocos de alvenaria de vedação sem função estrutural.

### 2.1.3. Pega do concreto

O início da pega do concreto é definido quando a consistência do concreto não permite mais sua trabalhabilidade, ou seja, quando não é mais possível lança-lo nas fôrmas ou adensá-lo. Ou ainda, a pega do concreto é definida como sendo o tempo de início do endurecimento, ou seja, se dá quando a pasta começa a perder sua plasticidade (VARELA, 2013).

Ainda de acordo com Varela (2013), o fim da pega se dá quando a pasta se solidifica totalmente, não significando, no entanto, que ela tenha adquirido toda a sua resistência, o que só será conseguido após anos.

Dessa forma, os tempos de pega são de fundamental importância para a construção civil e o estudo das propriedades do concreto. Geralmente é através dele que as obras civis são planejadas e elaboradas. Destaca-se que em muitos casos, este tempo de pega precisa ser acelerado ou retardado. Sendo assim, existem diversos métodos para fazer isso acontecer, como por exemplo, a inserção de aditivos que aceleram ou retardam a pega. Em diversas situações de concretagem, esses aditivos são muito úteis, como no transporte de concreto a longas distâncias ou até mesmo em regiões de tráfego muito complicado.

### 2.1.4. Cura do concreto

De acordo com Petrucci (1998), a cura do concreto é um conjunto de medidas que tem o objetivo de evitar a evaporação precoce da água, que é necessária para a hidratação do cimento, que por sua vez, influencia a pega e o endurecimento do material. Dessa forma, a cura ajuda no processo de hidratação do cimento, fazendo com que seu endurecimento ocorra de

forma correta sem alterar as estruturas internas do concreto, evitando assim a aparição de trincas, por exemplo.

Petrucci (1998) ainda afirma que as condições de umidade e temperatura, principalmente nas primeiras idades, têm grande importância nas propriedades do concreto endurecido. De acordo com Neville (1997), para que as reações aconteçam de forma correta, é necessária que a umidade relativa dos poros do concreto permaneça igual ou superior a 80%, o que raramente é conseguido em um ambiente natural, devido à incidência de ventos, variações de temperatura, diferenças entre as temperaturas do ar e do concreto, entre outros fatores, fazendo-se praticamente indispensáveis procedimentos artificiais de cura.

Sendo assim, de acordo com a Votorantim cimentos (2018), diversos tipos de curas podem ser aplicados no concreto. Destaca-se que a escolha do tipo de cura dependerá do tipo de obra e dos recursos disponíveis para a execução. Entre as curas, tem-se quatro abaixo:

- Cura úmida: este tipo de cura é a mais comumente empregada na construção civil. Nela, é necessário manter a superfície do concreto úmida. Sendo este concreto totalmente imerso em água ou não.
- Cura ao ar: neste tipo de cura, não são tomados cuidados especiais na hidratação, que evitam a evaporação prematura da água. Geralmente é usada na cura de concretos mais secos.
- Cura química: ocorre por meio da inserção de uma película sobre a superfície do concreto com o objetivo de impedir a evaporação da água. Utiliza-se geralmente a parafina, materiais acrílicos ou até mesmo as ceras.
- Cura térmica: consiste basicamente em submeter a peça de concreto a altas temperaturas e depois, são resfriadas de forma planejada e organizada. Esta cura é bastante utilizada em peças pré-moldadas.

#### 2.1.5. Dosagem e traço do concreto

A dosagem do concreto nada mais é que calcular e determinar a quantidade dos materiais em proporções adequadas e econômicas para serem misturados e utilizados ao fim desejado. Ou seja, dosar significa procurar o traço que atende as condições específicas de um determinado projeto de engenharia, utilizando os materiais disponíveis. É válido salientar que o estudo de dosagem leva em consideração local e tipo de aplicação, requisitos de projeto, qualidade do cimento e agregados disponíveis, entre outros fatores.

Basílio (1977) afirma que ao dosar o concreto é determinar a quantidade de materiais necessárias objetivando atender principalmente aos requisitos de:

- a) Resistência da obra;
- b) Ser suficientemente durável no ambiente em que for colocado;
- c) Ter uma aparência satisfatória quando ficar em exposição;
- d) Atender satisfatoriamente às condições de mistura, transporte, lançamento e adensamento e;
- e) Ser o mais econômico possível.

A proporção estimada pela dosagem é apresentada pelo traço. De acordo com Varela (2013), o traço é a indicação da quantidade de materiais que constituem o concreto podendo ser determinado em volume ou em massa. O traço em volume de todos os materiais que constituem o concreto é o mais usado na prática, porém, o mais preciso, ainda é o traço em massa. Os traços são indicados da seguinte maneira: 1:3:3:0,3, 1:3:4:0,5, 1:3:6:0,6, sendo que o 1º algarismo indica a quantidade de cimento a ser usado; o 2º algarismo indica a quantidade de areia, o 3º algarismo a quantidade de brita e o 4º algarismo a relação de água em relação ao cimento.

#### 2.1.6. Fator água/cimento

De acordo com Guerra (2013), a relação água/cimento é um dos parâmetros mais importantes na composição do concreto. Seu valor é resultado da relação entre o peso da água em relação ao cimento que está no concreto. Esta relação tem forte influência na resistência do concreto, na durabilidade e na retração. Tal relação a/c é que determina a estrutura interna, ou seja, a pasta, que é formada por cimento mais água.

Ainda de acordo com Guerra (2013), a relação a/c cresce quando se aumenta o conteúdo de água na mistura e conseqüentemente, diminui quando se diminui o conteúdo de água na mistura. Destaca-se ainda que quanto mais baixo for esta relação maior será o favorecimento das propriedades citadas do concreto. Dessa forma, a resistência do concreto diminui com o aumento do fator água/cimento.

## 2.2. Concreto no estado fresco

Segundo Rodrigues (2017), o concreto é considerado como fresco até o momento em que tem início a pega do aglomerante e após o fim desse processo o material é considerado concreto endurecido. As principais propriedades do concreto no estado fresco são a

consistência, trabalhabilidade e a homogeneidade. Destaca-se que ele é um material formado por todas as fases, seja ela, fase de gás, sólido, líquido ou gel. O principal objetivo para o preparo do concreto é obter um material sólido com grande resistência e com poucos vazios.

Na etapa de fabricação do concreto e na moldagem da estrutura, o adensamento é uma característica que vai interferir nas características finais do concreto. Ele deve ser efetuado de forma com que os materiais fiquem homogêneos, ajudando assim a obter um resultado satisfatório.

### 2.2.1. Consistência

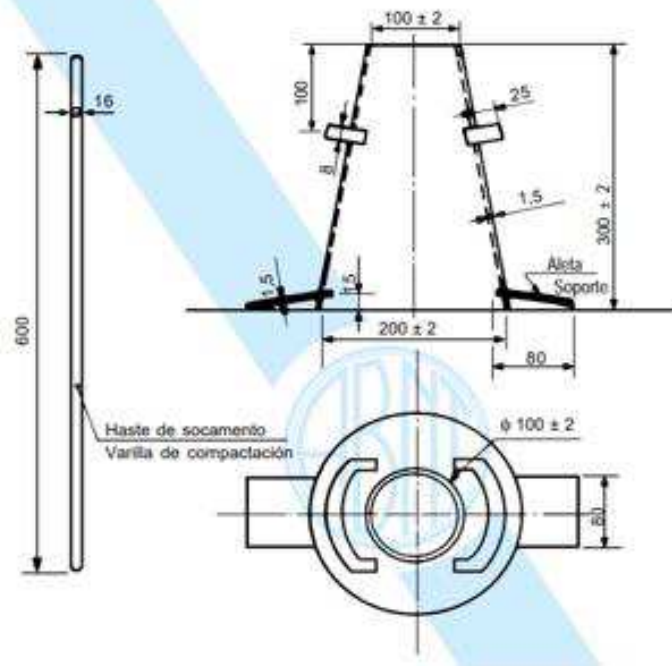
A consistência é a capacidade de fluidez da mistura do concreto fresco, que está diretamente relacionado com a mobilidade da pasta. Os principais fatores que influenciam na consistência são o fator água cimento e a proporção entre a água, agregados e aglomerante. Quanto mais plástica for a consistência do concreto, maior é a facilidade de moldagem e deslize do concreto entre a armadura, sem que ocorra a separação dos seus componentes (RODRIGUES, 2017).

Destaca-se que concreto com menor consistência devem ser empregados em elementos com maior taxa de armadura, que apresentam maior dificuldade de adensamento. Não havendo grande quantidade de armadura nas peças, é melhor produzir concretos com maior consistência, conseqüentemente, com menor quantidade de água.

#### 2.2.1.1. Ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test)

A ABNT NBR NM 67:1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone regulamenta o ensaio responsável pela determinação da consistência do concreto. O ensaio é o Slump Test ou abatimento do tronco de cone. Tal ensaio ocorre por meio do abaixamento que determinada quantidade de massa, colocada sobre um molde metálico normalizado de forma tronco cônica (figura 4) terá quando o molde for retirado.

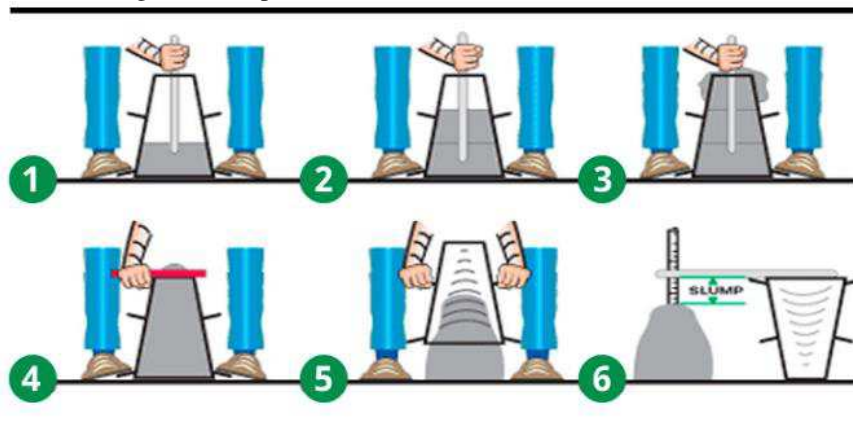
Figura 4 - Materiais utilizados no ensaio de consistência do concreto.



Fonte: NBR NM 67 (ABNT, 1998, p.6)

Como visto, a norma citada acima especifica um método para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento, em laboratório e obra. A figura 5 demonstra as etapas principais do ensaio.

Figura 5 - Etapas do ensaio de abatimento do tronco de cone.



Fonte: Cimento Mauá, 2018.

A medida do abaixamento, geralmente em cm ou mm, é chamada de abatimento. Para cada tipo de concreto, um abaixamento deve ser esperado como demonstra a tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Abatimento e tipo de obra.

CONSISTÊNCIA	ABATIMENTO (mm)	OBRA/ADENSAMENTO
Extremamente seca	0	Pré-fabricação. Condições especiais de adensamento
Muito seca	0	Grandes massas; pavimentação Vibração muito energética
Seca	0 a 20	Estruturas de concreto armado ou protendido. Vibração energética.
Rija	20 a 50	Estruturas correntes. Vibração normal
Plástica (média)	50 a 120	Estruturas correntes. Adensamento manual
Úmida	120 a 200	Estruturas correntes sem grande responsabilidade. Adensamento manual
Fluida (líquida)	200 a 250	Concreto inadequado para qualquer uso

Fonte: Varela, 2013.

### 2.2.2. Trabalhabilidade

Quando o abatimento é considerado alto, é notório que é mais fácil de ser lançado e adensado, dessa forma, o concreto possui uma boa trabalhabilidade. Assim, a trabalhabilidade relaciona-se com a capacidade de adensamento do material.

Ressalta-se que a trabalhabilidade do concreto fresco determina a facilidade com a qual um concreto pode ser manipulado sem segregação, ou seja, sem a separação dos materiais constituintes. De todas as formas, um concreto que seja difícil de lançar e adensar não só aumentará o custo de manipulação como também terá resistência, durabilidade e aparência, inadequadas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

### 2.2.3. Homogeneidade

A homogeneidade está relacionada com a forma de distribuição dos agregados. A distribuição dos agregados na pasta de concreto é de fundamental importância para a qualidade do material. Quanto mais uniformes os agregados graúdos estiverem, melhor será a qualidade do concreto.

Uma adequada homogeneidade pode ser alcançada com uma excelente mistura do concreto na fase de fabricação, em seguida, um zeloso transporte dirigindo-se ao local de emprego da estrutura e o lançamento do concreto das fôrmas de maneira apropriada. Na ABNT NBR 14931:2004 são definidos os cuidados que devem ser constatados quanto ao transporte, lançamento e adensamento do concreto.

### 2.3. Concreto no estado endurecido

Como visto anteriormente, o concreto é considerado como fresco até o momento em que tem início a pega do aglomerante e após o fim desse processo o material é considerado concreto endurecido. No estado endurecido, as características mecânicas são as que se destacam, entre elas, tem-se a resistência à compressão e absorção.

#### 2.3.1. Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma das principais características mecânicas do concreto e possui como característica marcante, sua alta resistência aos esforços de compressão e em contrapartida uma baixa resistência aos esforços de tração.

A resistência nada mais é que a capacidade do concreto de suportar determinada força axial aplicada sobre ele. Ela está intimamente relacionada às demais características do concreto endurecido. É determinada pelo ensaio de corpos de prova que são sujeitos à uma força de compressão axial centrada. De acordo com a ABNT NBR 5738:2015, para a determinação da resistência à compressão axial, encontra-se uma espécie de molde que pode ser utilizada: a configuração cilíndrica. O corpo de prova padrão utilizado possui a altura igual ao dobro do diâmetro, sendo mais usual o emprego de moldes com 100mm x 200mm, especialmente à sua simplicidade de manuseio.

A resistência à compressão do concreto, de acordo com a NBR 6118:2003, está relacionada à idade de 28 dias do material e sua moldagem é descrita pela NBR 5738:2015 e o ensaio praticado segundo a NBR 5739:2007. O ensaio de curta duração do corpo de prova é dado pela seguinte fórmula abaixo:

$$f_{cj} = \frac{N_{rup}}{A} \quad (1)$$

Onde:

$f_{cj}$  – Resistência à compressão do corpo de prova de concreto na idade de (j) dias (MPa);

$N_{rup}$  – Carga de ruptura do corpo de prova (N);

$A$  – Área de seção transversal do corpo de prova (mm<sup>2</sup>).



### 2.3.1.1. Fatores que influenciam na resistência do concreto

Sabe-se que o concreto é um material de construção civil que depende de muitas variáveis para que funcione de forma correta e eficaz. Segundo Almeida (2002), existem alguns fatores que influenciam a qualidade do material, como por exemplo, a qualidade dos materiais, o proporcionamento adequado destes materiais, a manipulação adequada e a cura cuidadosa.

Guerra (2013) afirma que a porosidade é um dos fatores que mais influenciam na resistência do concreto, quanto maior a quantidade de poros, menor a resistência. Vale a pena destacar que a forma e a textura são fatores essenciais para determinação da resistência. As formas cúbicas, por exemplo, aumentam a resistência do material devido à sua maior aderência, enquanto a forma arredondada, geralmente representada por seixos rolados, diminui. Isso ocorre, pois, a aderência entre a pasta e o agregado é menor.

Outro fator responsável é a idade do concreto. Ao longo do tempo, o processo de hidratação do cimento se desenvolve, aumento assim a resistência do concreto pois o conjunto aglomerante-agregado-água se torna mais coeso. É importante salientar que para interesses experimentais, a resistência do concreto é tradicionalmente definida pelo valor aos 28 dias.

### 2.3.2. Resistência característica do concreto à compressão

A resistência de característica à compressão ( $f_{ck}$ ) do concreto é o valor que apresenta o grau de confiança de 95%, ou seja,  $f_{ck}$  é o valor da resistência de maneira que 5% dos resultados dos ensaios encontrem-se abaixo dele ou 95% acima (PINHEIRO, 2007).

Isto ocorre devido ao fato de que é necessário realizar o mesmo ensaio diversas vezes em vários corpos de prova, e os resultados são obtidos individualmente, ou seja, cada corpo de prova possui uma resistência. Assim, para obter um único resultado, faz-se a média aritmética ( $f_{cm}$ ). Portanto, esse valor não reflete a verdadeira qualidade do concreto em obra, pois não considera a dispersão dos resultados. Por isso, utiliza-se a resistência característica à compressão, um valor que não leva em consideração apenas o valor da média aritmética, mas sim o desvio da série dos valores, por meio do coeficiente de variação,  $\delta$ .

### 2.3.3. Absorção

A absorção do concreto está relacionada com a capacidade que possui de reter maior ou menor quantidade de água. Esta propriedade está intimamente relacionada com a porosidade e conseqüentemente com o número de vazios. Quanto maior for o número de vazios, maior a porosidade e maior será a absorção.

O concreto é um material poroso e praticamente todos os processos e mecanismos que provocam a sua deterioração estão relacionados com a facilidade com que a água se move através deste material. Portanto, a absorção é compreendida como o acréscimo da massa do agregado devido, principalmente ao preenchimento dos seus poros com água.

A água no concreto fresco tem a função de hidratar o cimento para desenvolver suas características de resistência, no entanto, a água em excesso será evaporada, e o seu caminho em direção a superfície do concreto cria redes de poros que serão a fragilidade do concreto no estado endurecido, aumentando assim a absorção (KOHLS, 2017). Assim, a absorção é de fundamental importância para se determinar outras características do concreto.

#### 2.3.3.1. Ensaio de absorção

Como mencionado, a absorção é também uma característica fundamental do concreto, pois através dela é que se determina o índice de vazios. É determinada pela norma ABNT NBR 9778:1987 - Argamassa e concreto endurecidos. Esta propriedade está intimamente relacionada com a compactação, portanto, deve-se ter cuidado no momento da compactação, pois se não for feita de maneira correta, vazios vão existir, diminuindo assim a resistência do concreto. O ensaio de absorção é simples e consiste na inserção de corpos de prova em uma estufa durante 72 horas. Após isso, deve-se pesar os corpos de prova e colocá-los em tanque com água por mais 72 horas. Logo após, determina a massa e encontra-se a absorção através da seguinte equação abaixo:

$$A = \frac{(M_{sat} - M_s)}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$M_{sat}$  – Massa do corpo de prova saturado (g);

$M_s$  – Massa do corpo de prova seco em estufa (g);

A – Absorção (%).

## 2.4. Pavimento intertravado e blocos pré-moldados

A grande capacidade criativa de engenheiros projetistas e arquitetos, além da precisão dos novos métodos modernos de cálculos acabam impulsionando o desenvolvimento das tecnologias do concreto e cimento, possibilitando ao homem modificar o meio em que vive.

Dessa maneira, o concreto ganha a cada dia, formas variadas de aplicação, entre elas, os blocos pré-moldados para pavimentação intertravada. Atualmente, a grande utilização de pavimentos com blocos pré-moldados de concreto vem crescendo em todo o mundo. Esses blocos são materiais alternativos, cuja principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos utilizando um método prático e confiável.

#### 2.4.1. Conceito de pavimento intertravado

De acordo com a norma ABNT NBR 9781: 2013 – (Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio), pavimento intertravado é um pavimento flexível na qual sua estrutura é formada por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento formada por peças de concreto (blocos pré-moldados) justapostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção. Dessa forma, para compreender um pouco mais desse tipo de pavimento, deve-se observar a figura 6.

Figura 6 - Seção típica de um pavimento intertravado.



Fonte: ABCP, 2001.

#### 2.4.2. Histórico da pavimentação intertravada

A pavimentação intertravada é um método de construção civil que vem sendo utilizada há milhares de anos. Em tempos remotos, o tipo da peça para ser utilizada dependia do material encontrado no local onde se pretendia construir a via. Os blocos de tijolos de argila eram os mais comuns a serem fabricados pela grande disponibilidade desses materiais, além da produção de blocos de tijolos de madeira. Porém, o uso dos blocos de madeira foi decaindo após o aparecimento dos automóveis, pois quando molhados se tornavam escorregadios, apesar de serem utilizados como uma técnica para a diminuição dos ruídos com o uso das carruagens (CRUZ, 2003).

Na Mesopotâmia, cerca de 5000 anos atrás, teve início a fabricação de blocos de tijolos de argila juntamente com o betume para pavimentação, porém, no final do século XIX que surgiram os fornos para queimar os tijolos de argila, aumentando assim a sua resistência mecânica e conseqüentemente seu uso na Europa e América. É válido ressaltar, que a matéria prima para a fabricação dos blocos de tijolos de argila deve apresentar alto índice de resistência à compressão, para que, quando convenientemente preparada e queimada, dê origem a blocos que apresentem boa resistência à compressão e ao desgaste (MULLER, 2005).

Ressalta-se ainda que os povos Romanos utilizavam às pedras talhadas (figura 7) e aparelhadas manualmente para a construção de suas vias. Tais pedras talhadas são o início da origem dos blocos pré-moldados.

Figura 7 - Pedras talhadas na Via Ápia, na Roma.



Fonte: ABCP, 2001.

Após a utilização das pedras talhadas na Roma, as peças pré-moldadas de concreto começaram a aparecer e apresentavam uma evolução das talhadas, com vantagem em sua uniformidade. O início da fabricação deste tipo de bloco para pavimento ocorreu na Holanda e na Alemanha e serviu como alternativa na reconstrução destes países após a 2ª Guerra Mundial (MULLER, 2005).

Desta forma, a partir do ano de 1950 outros modelos apareceram para as peças pré-moldadas que, antes buscavam a semelhança com as aparelhadas e com os tijolos passando a receber novos formatos. O formato das peças passa a ter outra preocupação, em função do tipo de tráfego, novos modelos surgem em meados dos anos 1960. Na década de 70 seu uso cresce nos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Japão. Meados da década de 60 as peças pré-moldadas de concreto apareceram na América do Sul, mas foi a partir dos anos 70 que se proliferaram os sistemas de fabricação das peças (CRUZ, 2003).

### 2.4.3. Blocos pré-moldados para pavimentação intertravada

De acordo com a norma ABNT NBR 9781: 2013 – (Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio), os blocos de concreto são componentes pré-moldados de concreto, utilizados como material de revestimento em pavimento intertravado.

Segundo Ponte (2010), os blocos são produzidos industrialmente geralmente através de processos mecânicos, para garantir um baixo custo, uma qualidade controlada e um alto desempenho mecânico, apesar de que a produção manual ainda exista. Devem ser devidamente assentados e compactados para formar a pavimentação intertravada. Tal sistema de pavimentação é uma evolução dos antigos calçamentos feitos com paralelepípedo. Os blocos de concreto possuem diversas finalidades de uso, entre elas: utilização em calçadas, praças, passarelas, ruas, entre outros, conforme figuras 8, 9 e 10 a seguir.

Figura 8 - Pavimento intertravado com bloco pré-moldado em praça pública.



Fonte: Tetracon – Estruturas de concreto, 2015.

Figura 9 - Pavimento intertravado com bloco pré-moldado em calçada.



Fonte: Mozaico Amazonas, 2013.

Figura 10 - Pavimento intertravado com bloco pré-moldado em avenida.



Fonte: TEM Sustentável, 2014.

#### 2.4.3.1. Materiais empregados na fabricação dos blocos

Os materiais adequados para a fabricação de concreto convencional são também adequados para produção de blocos de concreto, porém, deve-se considerar as características intrínsecas de cada um deles. Entre os materiais constituintes, pode-se destacar: cimento, areia, brita e água.

- Cimento Portland

A NBR 7211:2005 informa apenas que o cimento que será utilizado na fabricação dos blocos de concreto de pavimento intertravado deve respeitar as normas, independentemente do tipo de cimento. Na maioria das vezes, as indústrias se utilizam de cimento de alta resistência inicial a sulfatos, o composto com pozolana ou pozolânico.

- Agregado graúdo

Os agregados graúdos utilizados na fabricação de blocos de pavimento intertravado, que geralmente são representados pelas britas, são resultantes do processo de britamento de rochas que inicialmente eram estáveis. Para a produção dos blocos, é conveniente escolher britas com diâmetros menores, uma vez que com menor diâmetro mais fácil será o processo de compactação e o preenchimento de vazios será mais eficaz, aumentando assim a resistência do objeto de estudo em questão. Além de que, apresentam uma melhor aderência com a pasta do cimento. Logo, a brita mais adequada é a de número “zero” por apresentar um diâmetro característico máximo em média de 12,5 mm.

- Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado não deve conter grãos de um único tamanho, ou seja, deve ter agregados com boa distribuição granulométrica. Além disso, a areia não pode ter uma quantidade exacerbada de água, pois como a quantidade de água no concreto é um fator importante, que condiciona inclusive a resistência e durabilidade da estrutura, é importante considerar uma areia que não seja muito úmida, ou pelo menos, considerar a umidade na determinação do traço.

De acordo com Oliveira (2004 apud PETTERMANN, 2006), normalmente os fabricantes utilizam areias médias ou finas com módulo de finura baixo evitando areias grossas que dificultam a compactação devido ao fenômeno de interferência entre partículas.

- Água

A água para a fabricação dos blocos intertravados de concreto não deve possuir substâncias deletérias que possam prejudicar as reações de hidratação do cimento. Oliveira (2004 apud PETTERMANN, 2006) afirma que desde que não prejudique na desforma e altere no formato do bloco, a quantidade de água ideal é a máxima possível compatível com o equipamento.

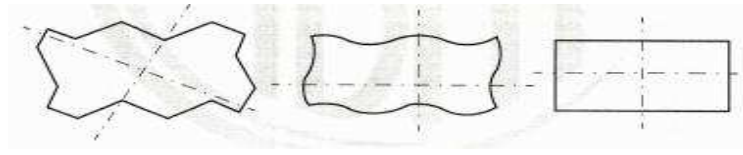
#### 2.4.3.2. Formato dos blocos

Segundo a norma ABNT NBR 9781:2013, as peças de concreto podem ser produzidas em diversos formatos. Assim, os blocos podem ser do tipo I, tipo II, tipo III e tipo IV, conforme pode ser visto abaixo.

- Tipo I

Peças de concreto com formato semelhante ao retangular, com uma relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe (figura 11).

Figura 11 - Blocos de concreto do tipo I.

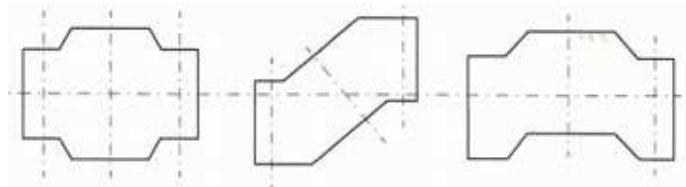


Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013, p.20).

- Tipo II

Peças de concreto com formato único, diferente do retangular e que só podem ser assentadas em fileiras (figura 12).

Figura 12 - Blocos de concreto do tipo II.

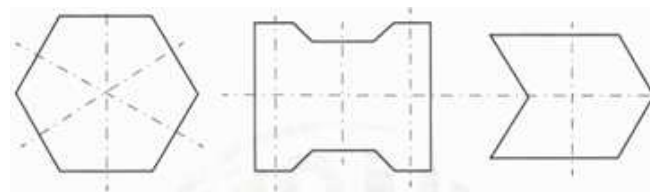


Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013, p.20).

- Tipo III

Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros, entre outros, com peso superior a 4 kg (figura 13).

Figura 13 - Blocos de concreto do tipo III.



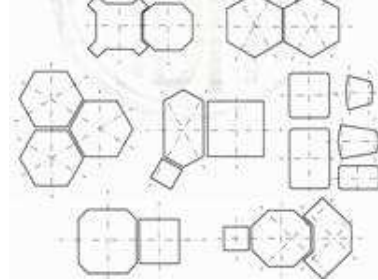
Fonte: Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013, p.21).

- Tipo IV

Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento (figura 14).



Figura 14 - Blocos de concreto do tipo IV.



Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013, p.21).

#### 2.4.3.3. Fabricação dos blocos

Para que os blocos sejam fabricados, é necessário que os materiais constituintes tenham passado por todos os estudos determinados pela norma, e em seguida, serão misturados de acordo com o traço escolhido. Os blocos podem ser fabricados ou manualmente, ou através do uso de máquinas. Dessa forma, de acordo com Bittercourt (2012), tem-se a seguinte classificação:

- Peças viradas: esse tipo de peça é fabricada com produção manual. O concreto é adensado em mesa vibratória (figura 15) e desmoldado logo após a moldagem em uma base impermeável, plana e sem interrupções. É válido salientar que para a produção de peças viradas deve-se trabalhar com o concreto na umidade ótima, uma vez que, se a mistura ficar muito seca, esfarela, e se ficar mole, perde a forma ao desmoldar. Ou seja, deve possuir uma consistência que favoreça a desmoldagem logo após a moldagem.

Figura 15 - Exemplo de mesa vibratória utilizada na fabricação de peças viradas.



Fonte: IMCOVEX, 2013.

Na figura 16, tem-se um exemplo de forma que é vibrada na mesa.

Figura 16 - Exemplo de forma que é vibrada na mesa.



Fonte: CONSTRUREDE, 2013.

- Peças dormidas: também são peças em que a produção é manual e o concreto utilizado geralmente é o plástico. A moldagem também pode ocorrer com a ajuda da mesa vibratória ou não. Após a moldagem, deixa-se o concreto endurecer, procedendo a desmoldagem no dia seguinte.
- Peças vibroprensadas: peças com produção mecânica, onde o concreto utilizado é o seco. Neste tipo de fabricação, utiliza-se a vibroprensa hidráulica ou a mecânica (figura 17).

Figura 17 - Exemplo de vibroprensa.



Fonte: VIBRAMOLDE, 2015.

Dessa forma, depois de passarem pelo processo de fabricação, os corpos de prova passam por um processo de cura para que atinjam a resistência desejada e assim, sejam utilizados. De acordo Ponte (2004), as peças depois de fabricadas seguem para as câmaras de cura totalmente estanques, em ambientes com temperatura e umidade controladas. Elas devem permanecer nestas câmaras pelo tempo necessário para garantir a maior hidratação do cimento e conseqüentemente a qualidade final do produto.

#### 2.4.3.4. Vantagens

A utilização de blocos intertravados possuem diversas vantagens, entre elas, de acordo com Castro (2013), tem-se:

- Não há a necessidade do uso de argamassa ou de mão de obra especializada;
- Fácil aplicação e retirada;
- Na sua aplicação, a superfície pode ser liberada logo após o assentamento das peças;
- Outra vantagem está nas cores. Pelo fato de poder ser em cores variadas, podem compor a sinalização horizontal demarcando pontos de travessia de pedestres, por exemplo, quando seu uso for para ruas ou avenidas;
  - Permite a drenagem da água da chuva, reduzindo a impermeabilização dos solos quando comparados à pavimentação de cobertura feita de concreto ou asfalto;
  - Com uma superfície antiderrapante, o piso intertravado garante uma maior segurança seja para pedestres, ciclistas ou até mesmo para deficientes físicos, promovendo maior integração e acessibilidade;
  - As peças do piso intertravado podem ser retiradas com facilidade e reutilizadas em uma nova obra. Evitando qualquer tipo de desperdício.

#### 2.4.3.5. Propriedades do concreto para blocos intertravados de concreto

As propriedades do concreto para blocos de pavimento intertravado possuem algumas particularidades. Dentre as propriedades essenciais, tem-se a resistência a compressão, absorção e consistência.

De acordo com Tango (1984), a resistência desejada é alcançada de acordo com o estudo do traço e conseqüentemente a dosagem requerida. Para ele, os equipamentos e o processo de produção empregado, devem resultar na confecção de blocos na qual suas propriedades no estado endurecido satisfaçam às exigências de uso de acordo com as normas, porém com o custo mínimo. Sabe-se que para blocos as resistências mecânicas são mais elevadas.

Ainda de acordo com Tango (1984), as propriedades do concreto para blocos intertravados no estado fresco estão relacionadas ao manuseio durante a produção e conseqüentemente, à consistência da mistura.

Logo, a consistência da mistura necessária ao concreto para blocos está relacionada ao fato de que na maioria das vezes, quando em produção manual, o concreto utilizado é o virado, portanto a desmoldagem se faz com os blocos ainda no estado fresco, ou seja, a desmoldagem é feita logo após que os blocos são moldados. É necessário, então, que o concreto, sob estas condições, apresente características que determinem a facilidade de moldagem no

equipamento e o manuseio após desforma. A consistência requerida ou consistência de moldagem varia em função do equipamento utilizado (TANGO, 1984).

#### 2.4.3.6. Requisitos técnicos

A Norma Brasileira ABNT NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio, possui em seu escopo os requisitos e métodos para aceitação de peças de concreto para pavimentação intertravada. Para que a peça seja aceita, inúmeras características são destacadas, como por exemplo: tolerância de dimensão das peças, resistência à compressão, absorção e resistência à abrasão, sendo este último item facultativo de acordo com a norma em questão.

- Tolerância de dimensão das peças

As dimensões e tolerâncias das peças devem atender aos seguintes quesitos:

- a) Medida nominal do comprimento de no máximo 250 mm;
- b) Medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão;
- c) Medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm;
- d) O índice de forma (relação entre o comprimento e a espessura da peça) para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser menor ou igual a 4.

Os blocos produzidos devem obedecer essas dimensões para que sejam aceitos e dessa forma, executáveis. Ressalva-se que em relação às dimensões existe uma tolerância, que pode ser vista no quadro 1.

Quadro 1 - Tolerância dimensional em mm das peças em concreto.

Comprimento	Largura	Espessura
±3	±3	±3

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013, p.05).

- Resistência à compressão

A resistência à compressão é determinada de acordo com o quadro 2 abaixo:

Quadro 2 - Valores para resistência característica à compressão.

Solicitação	Resistência característica à compressão ( $f_{pk}$ ) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	$\geq 35$
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	$\geq 50$

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013, p.06).

Ressalta-se que os lotes de peças de concreto entregues ao cliente com idade inferior a 28 dias devem apresentar no mínimo 80% do  $f_{pk}$  especificado no quadro 2, no momento de sua instalação, sendo que aos 28 dias ou mais de idade de cura, o  $f_{pk}$  deve ser igual ou superior ao especificado. Válido ressaltar que para realizar o ensaio, devem ser utilizadas 6 amostras, conforme quadro 3 desta pesquisa.

De acordo com Fioriti (2007), a norma brasileira NBR 9781:2013 possui valores mínimos exigidos que fazem com que os blocos usados na pavimentação tenham que suportar resistências muito elevadas. A norma, entretanto, não leva em consideração outros usos em que as sobrecargas são pequenas, por exemplo, o uso de blocos apenas para calçadas, ciclovias e praças, onde não ocorre a passagem de carros, exigindo assim uma solicitação com resistência baixa.

Comparando a resistência da norma brasileira com normas de outros países, como da Austrália e da África do Sul, os quais se encontram em regiões de climas (clima temperado) parecidos ao clima do Brasil, e levando-se em consideração a experiência desses países com a pavimentação intertravada seria possível aceitar recomendações semelhantes às deles. Nas normas da Austrália e da África do Sul, por exemplo, a resistência característica à compressão exigida é de 25 MPa para tráfego leve e 35 MPa para os demais tipos de tráfego. Para calçadas, praças e ciclovias os valores de 15 MPa já seriam valores suficientes para a solicitação. Assim, a norma brasileira poderia ser analisada e os valores de resistência à compressão diminuídos.

Segundo Bittencourt (2012), a norma da África do Sul denominada SANS 1058:2009 estabelece que os valores mínimos exigidos para a resistência a compressão dos blocos de concreto são de 25 Mpa para veículos leves e de 35 Mpa para veículos pesados. Já a norma Australiana denominada AS/NZS 4456.4:2003 define que os valores mínimos exigidos para a resistência a compressão dos blocos são de 25 Mpa para veículos leves e de 60 Mpa para veículos especiais e para ciclovias e estacionamento os valores dão de 15 Mpa.

- Absorção

De acordo com a norma analisada, a amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não podendo ser aceito nenhum valor individual maior do que 7 %.

Para que esses ensaios sejam realizados, a norma estabelece o número de amostras de bloco de concreto de acordo com o quadro 3 abaixo.

Quadro 3 - Amostragem para ensaio.

Propriedade	Amostra
Inspeção visual	6 <sup>a</sup>
Avaliação dimensional	6 <sup>a</sup>
Absorção de água	3
Resistência à compressão	6
Resistência à abrasão	3 <sup>b</sup>
<sup>a</sup> As peças amostradas podem ser utilizadas também para os ensaios de resistência à compressão ou abrasão. <sup>b</sup> Ensaio facultativo.	

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013, p.08).

## 2.5. Sustentabilidade e reciclagem

A sustentabilidade é definida como a racional exploração do meio ambiente, da forma menos impactante e degradante possível. Destaca-se que a sustentabilidade também significa adotar medidas que previnam impactos, associadas a compensação adequada das alterações ambientais que são inevitáveis. A sustentabilidade é útil para garantir a sobrevivência dos recursos naturais do planeta, permitindo ao mesmo tempo aos seres humanos soluções ecológicas de desenvolvimento (ELLOVITCH, 2010).

Dessa forma, a sustentabilidade ajuda a preservar o meio ambiente através de métodos e atividades que permitam a melhoria das condições de vida. Para que a sustentabilidade de fato seja válida, é necessário que possua uma base sólida. Sua base é representada pelo tripé da sustentabilidade, que pode ser visto na figura 18 a seguir.

Figura 18 - Tripé da sustentabilidade.



Fonte: Magalhães, 2010.

Pelo visto acima, percebe-se que a sustentabilidade é alicerçada socialmente, economicamente e ambientalmente. Logo, para que ela seja atuante de forma eficaz, é necessário que esses três fatores trabalhem juntos da maneira mais equilibrada possível.

A melhoria da qualidade de vida é um dos benefícios da aplicação de estratégias sustentáveis. De acordo com Ellovitch (2010), alguns dos exemplos que a sustentabilidade pode resultar para o planeta a longo e médio prazo, são: a diminuição da poluição nos rios, terra e atmosfera; a preservação dos recursos naturais (oceanos, florestas, etc); a manutenção da vida terrestre com qualidade e dignidade sem agredir ao meio ambiente; evitar grandes catástrofes naturais provocadas pelos impactos ambientais.

Assim, dentre as consequências que a sustentabilidade pode resultar para o planeta, destaca-se a preservação de recursos naturais, como por exemplo: oceanos e florestas. Esta preservação pode ocorrer de diversas formas, entre elas a reciclagem.

A reciclagem é todo e qualquer processo químico ou físico de transformação de um material, na qual resultou em um novo produto com uma nova utilidade, ou seja, consiste em aproveitar a matéria-prima de determinado produto na fabricação de um novo. O material que passou pelo processo de reciclagem é chamado de reciclado. Vale ressaltar que não se deve confundir o conceito de reciclagem com reutilização, visto que na reutilização o material é reaproveitado, ganhando uma nova função que não passou por um processo químico (ELLOVITCH, 2010).

Vale ainda salientar que a reciclagem pode diminuir o impacto sobre o meio ambiente de forma muito importante. Ela também ajuda na diminuição da retirada de matéria-

prima da natureza, gerando economia de água e energia, além de diminuir a disposição inadequada do lixo.

Assim, reciclar é um ato totalmente sustentável e fomenta consequências positivas para a sociedade. Deve-se atentar que existem inúmeros materiais que podem ser reciclados, entre eles, o papel. De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (2018), a produção brasileira de celulose subiu 3,8% em 2017 e atingiu o volume recorde anual de 19,5 milhões de toneladas. Ainda de acordo com IBÁ (2018), somente no mês de dezembro a produção brasileira de celulose subiu 9,6%. Assim, com a grande produção de celulose no Brasil, é conclusivo que a produção de papel também é considerável. Logo a reciclagem deste material é uma das formas de praticar a sustentabilidade.

## **2.6. Papel**

De acordo com Alves (2015), o papel é basicamente um material fibroso de origem vegetal, originado a partir da justaposição artificial de fibras celulósicas. Destaca-se que este material fibroso é um substrato que permite a incorporação de outros materiais, revestimentos, gerando os mais diversos tipos de produtos, além de poder ser fabricado em multicamadas, como por exemplo o papel cartão e os papelões ondulados (REVISTA O PAPEL, 2016).

### **2.6.1. Composição e fabricação do papel**

Os principais componentes do papel são as fibras celulósicas. Ele é fabricado a partir da extração da celulose de árvores. A celulose pode ser obtida a partir de qualquer material fibroso. A principal fonte de celulose são as árvores, e apesar de possuírem inúmeras espécies desse domínio vegetal, somente algumas espécies de árvores têm a qualidade e a pureza adequadas, possuindo assim alto teor de celulose. No Brasil, por exemplo, as espécies apropriadas para a produção do papel são eucalipto, pinho e gmelina (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013).

Dentre as árvores citadas, os pinheiros e os eucaliptos merecem destaque. Os pinheiros possuem fibras mais longas e por possuírem essa característica, acabam sendo mais resistentes, além de possuírem o preço mais baixo resultando em uma extração mais econômica. Já os eucaliptos possuem o crescimento muito rápido, portanto, seu reflorestamento acaba sendo mais eficaz (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013).

Segundo Alves (2010), a produção do papel ocorre em algumas etapas, entre as quais pode-se citar:



- Colheita da matéria-prima

Nesta etapa, a árvore é cortada e transportada para o local onde irá ocorrer a fabricação. Neste local (geralmente a indústria), o produto passará por um processo de limpeza (lavagem) e só então é dividido em pequenos pedaços. Uma atitude correta seria utilizar áreas de reflorestamento, porém, sabe-se que sempre ocorre desmatamento ilegal de árvores.

- Preparo da polpa

Os pedaços são cozidos em um digestor à temperatura de 160° C. Nessa etapa, forma-se uma a uma pasta marrom que pode ser usada para fabricar papéis não branqueados.

- Branqueamento

Os produtos químicos branqueadores são adicionados à pasta marrom transformando-a em polpa branqueada.

- Secagem e prensagem

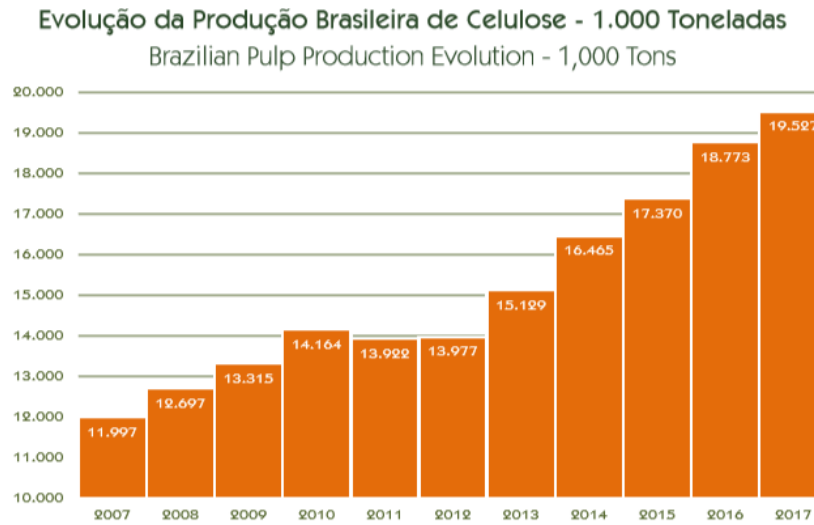
A polpa de celulose é espalhada em uma tela de metal que roda entre diversos cilindros. Dessa forma, a matéria é então seca e prensada até atingir a gramatura desejada para o papel a ser produzido.

- Aditivos

O papel já pronto pode passar ainda por tratamento com aditivos para adquirir outras características, como por exemplo, a adição de cola ao papel para ser usado em impressão.

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, em 2017, a produção brasileira de celulose cresceu 4,016% em relação a 2016 (gráfico 1) a seguir, além de fazer com que o Brasil subisse duas posições no ranking de produção da commodity, alcançando a segunda posição entre os maiores produtores mundiais de celulose.

Gráfico 1 - Evolução da produção brasileira de celulose.

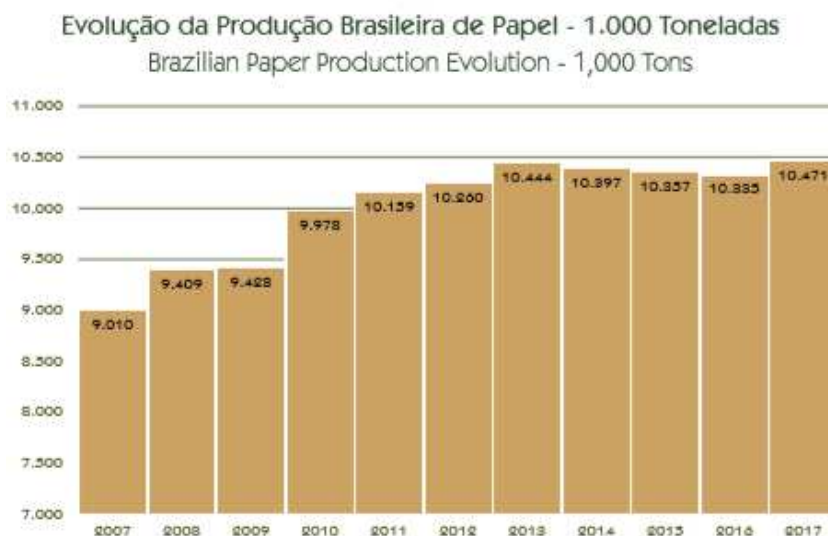


Fonte: IBÁ, 2018.

Ainda de acordo com IBÁ (2018), com uma área de aproximadamente 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB Industrial no País e, também, é um dos que segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde.

Visualizando o gráfico 1 acima, pode-se observar que a produção brasileira de celulose vem crescendo a cada ano, chegando a ter um crescimento de 62,76 % no ano de 2017 em relação ao ano de 2007. Porém, é válido destacar que a produção de papel também possui um crescimento considerável, como pode ser visto no gráfico 2.

Gráfico 2 - Evolução da produção de papel no Brasil.



Fonte: IBÁ, 2018.

Assim, é importante frisar que apesar da produção de papel ser um importante fator na geração de economia para o país, essa produção acaba ocasionando o desmatamento de árvores. Logo, ao desmatar árvores, a natureza acaba sendo prejudicada. Dessa forma, para que a produção de papel seja eficaz, ela deve obedecer a todas as regras estabelecidas pelos órgãos ambientais.

A economia gerada pela produção de papel é de fundamental importância para o desenvolvimento dos países, porém é válido observar que para a produção de papel, árvores são diariamente desmatadas. De acordo com o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) (2016), que monitora a devastação da floresta, o desmatamento na Amazônia cresceu quase 30 % no ano de 2016 em relação ao ano anterior. Já o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2017), afirmou que no período de agosto de 2015 a julho de 2016, ocorreu desmatamento de 7,893 km<sup>2</sup>. Ou seja, algumas medidas devem ser tomadas para melhorar esta situação, entre elas, pode-se destacar a reciclagem do papel.

#### 2.6.2. Tipos de Papel

Como exposto ao longo do trabalho, a produção de papel alcança elevados números. O papel é um produto que possui diversas formas e funções. Dentre os tipos de papéis existentes, pode-se citar os representados no quadro 4, abaixo:

Quadro 4 - Tipos de papel e suas funções.

TIPOS	APLICAÇÕES
Cartões perfurados	Cartões para computação de dados;
Branco	Papeis brancos de escritórios, manuscritos, impressos, cadernos usados sem capa;
Kraft	Sacos de papel para cimento, sacos de papel de pão;
Jornais	Jornais;
Cartolina	Cartão e cartolina;
Ondulado	Caixa de papelão ondulado;
Revistas	Revistas;
Misto	Papeis usados mistos de escritórios, gráficas, lojas comerciais, residências;
Tipografia	Aparas de gráficas e tipografias.

Fonte: RECICLOTECA (adaptado pelo autor), 2010.

Assim, o papel possui diversos usos e esses usos é que fazem com que ele seja um dos produtos mais utilizados e produzidos no mundo.

### 2.6.3. Propriedades do papel

De acordo com a Revista O papel (2016), as propriedades do papel são divididas em: estruturais, mecânicas e de aparência. As estruturais estão relacionadas com a gramatura, espessura, densidade/volume específicos, porosidade, aspereza, lisura, umidade, entre outros. As mecânicas estão relacionadas com resistência à dobra, à flexão, ao rasgo, etc. E por fim, as de aparência, que estão relacionadas à brancura e cor. Dentre as propriedades citadas, destacam-se:

- **UMIDADE**

A umidade nada mais é que a quantidade de água que o produto possui, expressa em porcentagem. As fibras possuem a capacidade de absorver água tanto internamente quanto na superfície. Assim, ao absorver, elas se expandem e ao perder água elas contraem-se. A perda de umidade para o ambiente faz com que o papel se encolha nas bordas exteriores e o ganho de umidade faz com que as bordas fiquem frouxas.

- **RESISTÊNCIAS MECÂNICAS**

Resistência ao estouro: é a pressão hidrostática necessária para romper o produto quando ele for submetido a uma força uniforme constante e distribuída. Geralmente está relacionada à rigidez e à tensão de ruptura. A resistência ao estouro diminui à medida que o conteúdo de carga mineral aumenta.

Resistência ao rasgo: como o próprio nome diz, é a força necessária para rasgar o papel (consequentemente, suas fibras). O papel tem maior resistência ao rasgo na direção perpendicular às fibras (transversal). Dessa forma, quanto mais longa a fibra, maior a resistência ao rasgo.

Resistência à tração: está relacionada com a máxima tensão que o papel consegue aguentar sob condições pré-estabelecidas, antes de se romper.

Resistência à dobra: é o número de dobras duplas que o papel consegue aguentar sob tensão momentos antes do seu rompimento. Ocorre uma maior resistência no sentido perpendicular às fibras. Fibras longas, produzem papéis mais resistentes à dobra.

- RIGIDEZ

É a capacidade do produto de resistir à flexão causada pelo próprio peso. É estabelecida pela relação gramatura/espessura do produto. A rigidez do produto varia ao cubo da espessura e diminui à medida que aumentam o conteúdo de carga mineral. Todos os papéis são mais rígidos quando dobrados transversalmente ao sentido de fibra.

Salienta-se que as fibras de papel são componentes hidrofílicos, ou seja, possuem grande afinidade com as moléculas de água. A característica hidrofílica entre a celulose e a água se dá devido a presença das ligações químicas chamadas pontes de hidrogênio. Moreira (2009) afirma que as ligações de hidrogênio nas fibras de celulose reforçam tanto o interior da cadeia quanto proporcionam a alta aderência entre essas cadeias, o que contribui para a estabilidade mecânica das fibras de celulose. Logo, em espaços hidrofílicos, a água confinada se comporta de forma semelhante a água super-resfriada e atua como um ótimo adesivo.

#### 2.6.4. Importância da reciclagem do papel

Com a crescente exploração sobre os recursos naturais, principalmente com os inúmeros desmatamentos ocasionados no planeta para a extração da celulose e consequentemente produção do papel, a reciclagem do papel torna-se uma solução ambiental sustentável. A reciclagem do papel previne o corte de árvore, além de economizar os bens naturais que seriam utilizados nos tratamentos das toras, ou seja, a reciclagem protege o meio ambiente.

De acordo com Portal dos Resíduos Sólidos (2013), são necessárias 2 toneladas de madeira (equivalente a 15 árvores), 44 a 100 mil litros de água, além de 5 a 7,6 mil kW de energia para a fabricação de aproximadamente 1 tonelada de papel. E ainda, para a produção desta quantidade de papel, ocorre a geração de 18 kg de poluentes orgânicos descartados nos efluentes e 88 kg de resíduos sólidos. Dessa forma, a reciclagem ajuda na diminuição de gastos naturais. Só no processo de reciclagem, o volume de água cai para 2 mil litros e o consumo de energia cai para 2,5 mil kW. Ou seja, no momento em que o papel é reciclado ocorre uma redução de consumo de energia, de emissão de poluentes e do uso da água, além de redução da porcentagem de papel descartado como resíduo sólido.

Sabe-se que como o papel é biodegradável, portanto, umas das maiores preocupações são as derrubadas das árvores e os resíduos gerados com a sua produção. Assim, a minimização da biodiversidade é um dos motivos de aumento de desequilíbrios ecossistêmicos. A reciclagem do papel, portanto, contribui para a preservação dos recursos

naturais, redução da poluição e dos resíduos sólidos urbanos gerados. Logo, é fundamental o uso racional do papel e o consumo sustentável. Também é de fundamental importância uma coleta seletiva correta e o desenvolvimento de novas tecnologias de reciclagem (PORTAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013).

Ressalta-se que a vida do papel não finaliza com a sua utilização. Este material pode ser reciclado até 5 vezes. Logo, as fibras de papel recuperadas poderão ser reutilizadas na fabricação de novos produtos, conferindo ao papel uma nova vida (RECIPAC, 2017).

De acordo com Ray (2010), uma folha de papel comum feita a partir de fibras de celulose pode sobreviver de 4 a 6 ciclos de processamento de reciclagem. A cada ciclo, as fibras vão se enfraquecendo pelo fato de passarem por diversas vezes pelo ciclo de umedecimento e secagem. Eles tornam-se curtas, grossas e duras. Portanto, mesmo perdendo suas características é notável que 4 a 6 ciclos são considerados ótimos números.

Assim, a reciclagem deve ser feita sempre para que a biodiversidade seja preservada. Apesar de que a reciclagem ainda é feita em pequenas proporções, ao longo dos anos ela conseguiu se destacar com aumento significativo. Em 2000, por exemplo, o uso de recicláveis representou 45% da produção mundial de papel. No Brasil, apenas 37% do papel produzido vai para a reciclagem. Já em 2017, o índice de recuperação de papel foi de 66,2%, o que equivale a 5 milhões de toneladas que retornam ao processo produtivo (IBA, 2018; PORTAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013).

## **2.7. Sustentabilidade na construção civil**

A construção civil é um dos ramos que mais trabalha com materiais provenientes da natureza. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2010), o Conselho Internacional da Construção (CIB) indica a indústria da construção civil como o setor que mais consome recursos naturais, gerando assim impactos negativos ao meio ambiente. Mais de 50% dos resíduos sólidos gerados são provenientes da construção. Como é sabido, o concreto é um dos principais materiais da construção civil e sua produção alcança grandes proporções anualmente. Dessa forma, é válido analisar e estudar a viabilidade sustentável de uso de materiais que são fornecidos pela natureza para serem aplicados seja no concreto, seja em qualquer outro tipo de componente na construção civil.

Entre os diversos casos de sustentabilidade na construção civil, tem-se a fabricação de telhas ecológicas, a utilização de solo cimento para fabricação de tijolos e até mesmo, a existência do concreto reciclado.

Yoshimura e Wiebeck (2012) estudaram, por exemplo, a fabricação de telhas ecológicas produzidas a partir de resíduo de pós-consumo de papel. Destaca-se que a função dessas telhas ecológicas são as mesmas que as telhas convencionais: proteger os ambientes contra a ação de intempéries. As telhas ecológicas concorrem no mercado com as telhas de fibrocimento, porém a sua vantagem é que apresentam uma maior leveza e maior flexibilidade, além de ajudarem a reduzir ruídos, colaborando com a diminuição da temperatura. Neste estudo, Yoshimura e Wiebeck (2012) afirmam que esta telha é formada basicamente de papel, asfalto e tinta e sua aplicação é voltada para a área da construção civil. Eles chegaram à conclusão que a produção de 1000 m<sup>2</sup> de telhas ecológicas retira do meio ambiente um total de 3800 kg de resíduo de papel pós-consumo.

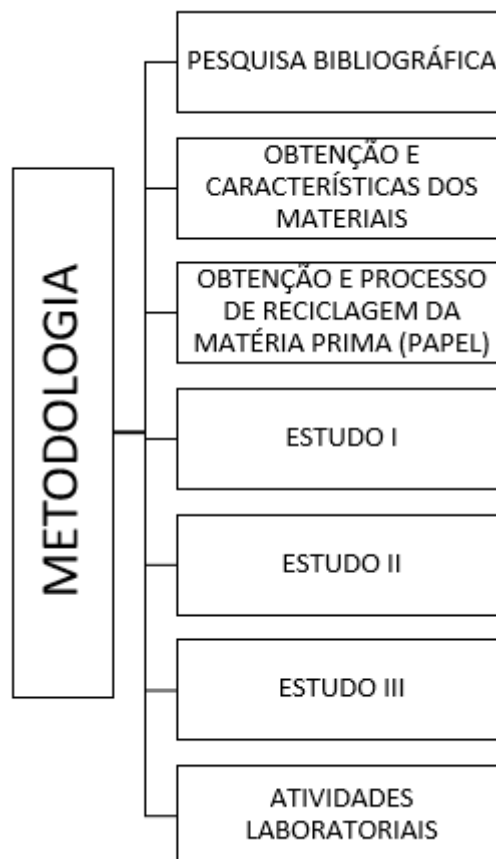
Já Batista (2013), estudou o desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimentos para vedação vertical. Assim, ele objetivou analisar o comportamento de bloco de terra compactada (BTC) com a adição de papel kraft. Dessa forma, foram realizados testes de resistência aos impactos e ao fogo. Logo, fazendo um comparativo entre o tijolo convencional e o tijolo ecológico, o ecológico (adicionado de papel kraft), obteve um melhor desempenho nos testes de resistência aos impactos e ao fogo, apresentando também maior flexibilidade por conta das fibras. Porém, o ecológico não obteve bons resultados nos testes de absorção, pois apresentou 7,6% mais absorção que o tijolo comum.

Ainda em relação aos diversos estudos realizados sobre sustentabilidade na construção civil, Silva (2002) cita o estudo de CEPED de 1982 que analisou o comportamento de argamassas reforçadas com fibras de coco sisal e piaçava para produzir telha moldada em duas camadas de argamassa com as fibras colocadas manualmente entre as camadas. Dessa forma, inúmeros são os estudos voltados para a adição de materiais que são abundantes na natureza em componentes da construção civil.

### 3 METODOLOGIA

Com a finalidade de alcançar os objetivos apresentados neste trabalho de conclusão de curso, dividiu-se a metodologia em 7 etapas, sendo elas: pesquisas bibliográficas, obtenção e caracterização dos materiais, obtenção e processo de reciclagem da matéria prima, estudo I, II e III e atividades laboratoriais. Assim, segue o desenho esquemático abaixo (figura 19).

Figura 19 - Desenho esquemático da metodologia apresentada.



Fonte: AUTOR, 2018.

#### 3.1 Pesquisas bibliográficas

Esta é a etapa da metodologia na qual se estabelece a coleta bibliográfica em acervos técnicos, pesquisas em teses de TCC, mestrados, doutorados, além de artigos científicos, entre outros trabalhos relacionados ao assunto abordado. Nesta etapa, as referências bibliográficas pesquisadas possuíam assuntos relacionados ao ensaio de resistência à compressão, ensaio de absorção, e ensaio de consistência, além de possuírem conteúdos relacionados ao concreto simples, aos blocos de pavimento intertravado e por último, mas não menos importante, à matéria prima utilizada, o papel. Buscou-se também algumas normas para



elaborações tanto dos ensaios de caracterização dos materiais quanto para realização de ensaios relacionados às propriedades do concreto.

### 3.2 Obtenção e características dos materiais

Sabe-se que para a fabricação de concreto, é necessário adquirir inúmeros materiais de construção para estudo, entre eles, tem-se: cimento Portland, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água. A escolha desses materiais é de extrema importância para o resultado final de todo processo. Logo, para a produção de concreto destinado à fabricação de blocos de pavimento intertravado, foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento: como explicitado no referencial teórico desta pesquisa, a NBR 7211:2005 informa que o cimento que será utilizado na fabricação dos blocos de concreto de pavimento intertravado deve respeitar as normas, independentemente do tipo de cimento. Logo, optou-se por utilizar o cimento do tipo CP- II Z 32 (com adição de material pozolânico), que é empregado em obras civis em geral, também na produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento
- Agregado graúdo: para a produção dos blocos, é conveniente escolher britas com diâmetros menores, facilitando o processo de compactação e preenchimento dos vazios, logo, escolheu-se a brita zero (figura 20).

Figura 20 - Brita zero utilizada na fabricação do concreto.



Fonte: AUTOR, 2018.

- Agregado miúdo: Como visto nas pesquisas bibliográficas, o agregado miúdo utilizado não deve conter grãos de um único tamanho, ou seja, deve ter agregados com boa distribuição granulométrica. Deve-se, entretanto, evitar areias grossas que dificultam a compactação. Logo optou-se por utilizar a areia fina (figura 21).

Figura 21 - Areia utilizada na fabricação do concreto.



Fonte: AUTOR, 2018.

- Água: A água para a fabricação dos blocos intertravados de concreto não deve possuir substâncias deletérias que possam prejudicar as reações de hidratação do cimento.

Destaca-se que os materiais foram adquiridos em uma loja de construção civil na cidade de São Luís – MA. Excetuando a água, que foi adquirida na própria Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

### 3.3 Obtenção e processo de reciclagem da matéria prima (papel)

O principal objetivo deste projeto é analisar o comportamento do concreto com a adição do papel depois que ele passou por um processo de reciclagem, além de analisar a viabilidade de uso para blocos de concreto de pavimento intertravado. Dessa forma, o papel será inserido no concreto em forma de pelotas em quantidades de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento, e assim, serão analisadas a resistência à compressão, absorção e consistência. Porém, para que o papel seja inserido, ele passou por algumas etapas, como será exposto mais adiante.

O papel que foi utilizado para fabricação de concreto com objetivo de analisar suas características foi o papel branco no formato A4 utilizado em escritórios (que foi reaproveitado). Este papel inicialmente passou pelo processo de corte por meio de uma máquina convencional (figura 22) que o cortou em tiras estreitas (figura 23).

Figura 22 - Máquina utilizada para cortar o papel em tiras.



Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 23 - Papeis cortados em forma de tiras.



Fonte: AUTOR, 2018.

Em seguida, o papel foi triturado com ajuda de água em um liquidificador convencional (figura 24) até que virasse uma pasta homogênea.

Figura 24 – Processo de trituração do papel. (A): papel em tiras no liquidificador (B): aluno adicionando água para posterior trituração.



Fonte: AUTOR, 2018.

Logo após, a pasta foi peneirada (figura 25) até que toda a água presente saísse para que não afetasse o fator água-cimento do concreto.

Figura 25 - Peneiramento da pasta (papel + água).



Fonte: AUTOR, 2018.

É válido destacar que como o papel possui uma grande capacidade de absorção de água, depois que foi peneirado houve a necessidade de deixar secando ao sol até que 100% de sua água fosse retirada e ele se assemelhasse a um agregado miúdo em formato de pelotas (figura 26).

Figura 26 - Papel em formato de pelotas pronto para ser adicionado ao concreto.



Fonte: AUTOR, 2018.

Destaca-se que o produto final do processo de reciclagem, além de possuir o formato de pequenas pelotas, apresenta como resíduo, o pó do papel junto a essas pelotas, fato este que poderá ser decisivo nas análises finais dos resultados. Assim, terminados os procedimentos, papel já se encontra pronto para ser adicionado ao concreto.

### 3.4 Estudo I

O trabalho de conclusão de curso em questão contempla três principais estudos com a finalidade de alcançar os objetivos desejados. O estudo I consiste na fabricação de concreto com materiais que foram adquiridos em uma loja de construção civil na cidade de São Luís – MA. Excetuando a água, que foi adquirida na própria UEMA. Neste primeiro estudo, foram fabricados corpos de prova cilíndricos com concreto padrão e corpos de prova cilíndricos com concreto adicionado de papel em forma de pelotas depois de ter passado pelo processo de reciclagem, descrito no item 3.3.

Destaca-se que a produção do concreto neste estudo ocorreu com um traço experimental de 1:2:3 com fator água cimento de 0,6. A produção do concreto adicionado de papel se deu com a adição do papel triturado em quantidades de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento. Depois de produzidos os corpos de prova padrão e adicionados de papel, os resultados foram analisados quanto a resistência à compressão axial, absorção e consistência, e posteriormente o estudo II foi iniciado. As produções iniciais destes corpos de prova serviram de base para o aprofundamento do estudo II e estudo III. Lembrando que um dos objetivos desta pesquisa é fabricar blocos em concreto de pavimento intertravado com concreto padrão e adicionado de papel, além de realizar os ensaios de resistência à compressão, absorção e consistência com o intuito de analisar a viabilidade para uso.

E como explicitado no referencial teórico, uma das características do concreto utilizado na fabricação de blocos é a capacidade de se desmoldar logo após a moldagem, o chamado concreto virado, que foi escolhido (exposto no estudo III) devido a rapidez na produção. Logo, o estudo I teve grande importância quanto ao comportamento da consistência do concreto. Depois de analisada essa propriedade, conclusões importantes foram feitas, como por exemplo a escolha de um novo fator água cimento no estudo II e III para que a desmoldagem ocorresse logo após a moldagem, sem que prejudicasse o formato do bloco. Assim, a produção seria mais eficaz. Alguns dos corpos de prova podem ser visualizados na figura 27 a seguir.

Figura 27 - Corpos de prova cilíndrico com traço 1:2:3:0,6. (A): corpo de prova com concreto padrão (B): corpo de prova com concreto adicionado de papel.



Fonte: AUTOR, 2018.

### 3.5 Estudo II

O estudo II também consiste na fabricação de concreto com materiais que foram adquiridos em uma loja de construção civil na cidade de São Luís – MA. Excetuando a água, que foi adquirida na própria UEMA.

Neste segundo estudo, foram fabricados corpos de prova cilíndricos com concreto padrão e corpos de prova cilíndricos com concreto adicionado de papel em forma de pelotas (depois de ter passado pelo processo de reciclagem). Porém, a produção do concreto adicionado de papel não se deu mais com 5%, 10%, 15% e 20% de papel do volume de cimento, mas sim, com a porcentagem que obteve resultados mais favoráveis no primeiro estudo, correspondente a 20%, como será melhor detalhado posteriormente nos resultados.

Destaca-se ainda que a produção do concreto neste estudo ocorreu com um traço experimental de 1:2:3 com fator água cimento de 0,45. A escolha do fator água cimento ocorreu com o objetivo de analisar o comportamento do concreto com papel em condições de umidade diferentes, além de que com a escolha deste fator, quando foi feita a produção dos blocos (estudo III), estes puderam ser desmoldados logo após a moldagem, aumentando assim, a rapidez na produção, assemelhando-se ainda mais com concreto virado.

Ressalta-se também, que um outro objetivo deste trabalho é comparar o comportamento do concreto em corpos de prova cilíndricos e corpos de prova no formato da sua aplicação (blocos intertravados), logo a produção de corpos cilíndricos e blocos intertravados com traço e fator água cimento iguais é de fundamental importância para atingir este objetivo. Alguns dos corpos de prova podem ser visualizados na figura 28 a seguir.

Figura 28 - Corpos de prova de traço 1:2:3:0,45 já moldados.



Fonte: AUTOR, 2018

### 3.6 Estudo III

Não se diferenciando dos outros dois estudos, o estudo III também consiste na fabricação de concreto com materiais que foram adquiridos em uma loja de construção civil na cidade de São Luís – MA. Excetuando a água, que foi adquirida na própria UEMA.

Neste terceiro estudo, foram fabricados blocos intertravados com concreto padrão e blocos intertravados com concreto adicionado de papel em forma de pelotas (depois de ter passado pelo processo de reciclagem), para analisar suas características, uma vez que um dos objetivos do trabalho é fabricar blocos em concreto de pavimento intertravado com concreto padrão e adicionado de papel, além de realizar os ensaios de resistência à compressão, absorção e consistência com o intuito de analisar a viabilidade para uso. Lembrando que a porcentagem de papel adicionada foi a mesma do estudo II (20%). Alguns dos blocos intertravados podem ser visualizados na figura 29 a seguir.

Figura 29 - Blocos intertravados produzidos.



Fonte: AUTOR, 2018.

### 3.7 Atividades laboratoriais

Esta é a etapa na qual foram feitos todos os ensaios laboratoriais necessários para a obtenção dos resultados finais desta pesquisa. Os ensaios laboratoriais foram realizados no Laboratório de Concreto e Materiais (LABCOM) da UEMA, situado no Núcleo Tecnológico de Engenharia (NUTENGE), ligado ao Centro de Ciências Tecnológicas (CCT), pois possuem todos os materiais e equipamentos fundamentais para a confecção dos corpos de prova e a definição de seus parâmetros.

#### 3.7.1 Ensaios de caracterização dos materiais

Para que os materiais sejam devidamente misturados e dosados para alcançarem algum resultado, é necessário a realização dos ensaios de caracterização dos materiais, que irão indicar as características físicas de cada componente do concreto. Entre os ensaios realizados nessa pesquisa, tem-se: ensaio da determinação da massa específica do agregado miúdo, do cimento, e do agregado graúdo, ensaio da umidade da areia e ensaio de granulometria do agregado miúdo e graúdo.

##### 3.7.1.1 Ensaio da determinação da massa específica da areia

A massa específica ou massa específica unitária é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume, ou seja, é relativa a agregado e a vazios (BERNARDI, 2006). Dessa forma, para que seja realizado um traço em massa na fabricação de corpos de prova do concreto, é necessário a realização do ensaio da determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.

De acordo com a NBR 9776:1987 a massa específica do agregado miúdo é determinada mediante a seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (3)$$

Onde:

$\gamma$  - Massa específica do material ensaiado (g/cm<sup>3</sup>);

L - Leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo) (cm<sup>3</sup>).

Para a realização deste método de acordo com a NBR 9776:1987 (Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman), foram



necessários alguns equipamentos, como por exemplo: balança, frasco, que deve ser de vidro e composto de dois bulbos e de um gargalo graduado e um funil de vidro para ajudar na inserção da areia no frasco Chapman.

Em síntese, o ensaio consistiu basicamente na utilização do frasco Chapman. Inicialmente o frasco foi preenchido com água até o nível compreendido a marca de  $200\text{ cm}^3$  (figura 30), deixando-o em repouso para que a água aderida às faces internas escorram totalmente.

Figura 30 – Adição de água no frasco. (A): aluno inserindo água no frasco (B): frasco com água na marca de  $200\text{ cm}^3$ .



Fonte: AUTOR, 2018.

O próximo passo foi pesar 500 g do material depois de ter ido à estufa e em seguida, introduziu-se cuidadosamente esses 500 g de agregado miúdo seco no frasco, o qual foi cuidadosamente agitado para a eliminação das bolhas de ar. Assim, a leitura final do nível atingido pela água no gargalo do frasco (L) indicou o volume, em  $\text{cm}^3$ , ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo (figura 31), alertando-se para que as faces internas devam estar completamente secas e sem grãos aderentes.

Figura 31 - Leitura final no frasco (conjunto agregado/água).



Fonte: AUTOR, 2018.

Dessa forma, esta leitura deve ser aplicada à fórmula 3 e assim, tem-se o resultado final. Lembrando que o ensaio foi realizado com duas amostras pois a norma prescreve realizar duas vezes consecutivas o ensaio com amostra de mesmo agregado miúdo. Logo, o valor final para cada amostra foi de 2,645 g/cm<sup>3</sup> e 2,652 g/cm<sup>3</sup>.

De acordo com a norma NBR 9776:1987, duas determinações consecutivas feitas com amostras do mesmo agregado miúdo não devem diferir entre si de mais de 0,05 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com os resultados encontrados, as massas específicas se diferem em 0,007 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, estão dentro dos padrões determinados pela norma e poderão ser utilizados.

### 3.7.1.2 Ensaio da determinação da massa específica do cimento

De acordo com a NBR NM 23:2000 a massa específica do cimento Portland é a massa da unidade de volume do material. Sendo determinada pela seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

Onde:

P - Massa específica do material ensaiado (g/cm<sup>3</sup>);

m - Massa do material ensaiado (g);

v - Volume deslocado pela massa do material ensaiado (v<sub>f</sub> - v<sub>i</sub>) (cm<sup>3</sup>).

Para a realização deste método de acordo com a NBR NM 23:2000 (Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica), são necessários alguns equipamentos, como por exemplo: frasco volumétrico de Le Chatelier, balança, recipiente capaz de conter a quantidade de material cuja massa será determinada, funil e o banho termorregulador, que deve ter altura suficiente para conter os frascos volumétricos submersos até a marca de 24 cm<sup>3</sup>.

O ensaio consiste basicamente no preenchimento do frasco com querosene até o nível compreendido entre as marcas correspondentes a zero e 1 cm<sup>3</sup> (figura 32). Logo após, colocou-se o frasco no banho de água, onde ficou submerso durante um período de 30 min para equalização das temperaturas dos líquidos do frasco e do banho (banho termorregulador).

Figura 32 – Adição do querosene no frasco. (A): querosene sendo inserido no frasco (B): banho termorregulador.



Fonte: AUTOR, 2018.

Após 30 minutos mergulhado em água, retirou-se o frasco e registrou-se a primeira leitura ( $v_i$ ). Posteriormente, tomou-se uma massa (60 g) conhecida do material em ensaio (figura 33), que provocasse o deslocamento do líquido no intervalo compreendido entre as marcas de 18 cm<sup>3</sup> e 24 cm<sup>3</sup>. E por fim, registrou-se a leitura final ( $v_f$ ) e então aplicou-se na fórmula para a obtenção dos resultados. Tendo como resultados os valores de 3,108 g/cm<sup>3</sup> e 3,125 g/cm<sup>3</sup>.

Figura 33 - Aluno inserindo o cimento no frasco.



Fonte: AUTOR, 2018.

De acordo com a norma NBR NM 23:2000, a diferença entre os dois resultados individuais, obtidos a partir de uma mesma amostra submetida ao ensaio, por um mesmo operador, utilizando o mesmo equipamento em curto intervalo de tempo, não deve ultrapassar 0,02 g/cm<sup>3</sup>. Logo, como a diferença entre os resultados das duas amostras resultou em 0,017 g/cm<sup>3</sup>, o dado experimental poderá ser utilizado.

### 3.7.1.3 Ensaio da determinação da massa específica do agregado graúdo

A massa específica da brita é de fundamental importância para a determinação da quantidade de material de concreto (inclusive a brita) deve ser utilizado para a fabricação de um corpo de prova. Assim, para a obtenção da massa específica do agregado graúdo, necessária para a obtenção do traço padrão a ser utilizado, a norma NM 53:2009 – Agregado Graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água foi adotada. A partir desta norma têm-se informações como a aparelhagem, amostragem, procedimento e cálculo da massa específica adotada.

A amostragem foi realizada em conformidade com a NM 26 (Agregados – Amostragem) e reduzida pelo método do quarteamo (figura 34), de acordo com o procedimento exigido pela NM 27 (Agregados – redução da amostra de campo para ensaios em laboratório).

Figura 34 - Aluno realizando o quarteamo.



Fonte: AUTOR, 2018.

Depois de colhidas as amostras, elas foram lavadas (figura 35) por completo (dentro de cestas vazadas), para remoção de possíveis resíduos, e levadas à estufa durante 24 horas.

Figura 35 - Amostra sendo lavada.



Fonte: AUTOR, 2018.

Após as 24 horas na estufa, o material é levado à temperatura ambiente durante aproximadamente 3 horas para esfriar e ser possível manuseá-lo, e sua massa é aferida figura 36 a seguir, encontrando assim os valores iniciais,  $m_i$ .

Figura 36 - Amostra sendo pesada.



Fonte: AUTOR, 2018.

Depois de pesadas, as amostras são submersas em água (figura 37) à temperatura ambiente durante um período de aproximadamente 24 horas. Para maior facilidade em manusear o material e obter maior precisão no ensaio, ambas as amostras foram fracionadas em duas partes, mantendo a conformidade com a NM 53:2009.

Figura 37 - Amostras submersas em água.



Fonte: AUTOR, 2018.

Após as 24 horas, as amostras foram retiradas da água, envolvidas por um pano absorvente para retirada da água visível em torno do agregado, de forma a não evaporar a água presente nos poros da amostra.

Ao enxugar, imediatamente as amostras foram separadas em suas respectivas frações em cestas metálicas e pesadas, obtendo-se o valor do agregado saturado com superfície seca,  $m_s$ .

Com as frações devidamente especificadas, prepara-se o tanque de água. Este, por sua vez, será posicionado acima da balança que será zerada. Com um suporte, posiciona-se uma cesta metálica vazia dentro do tanque de água e zera-se novamente a balança. Desta forma, as frações anteriormente separadas são utilizadas para preencher a cesta metálica vazia, sendo pesados dentro do tanque de água pela balança (figura 38). O valor obtido é a massa em água,  $m_a$ .

Figura 38 - Valor de "ma" para a uma parcela da amostra 1.



Fonte: AUTOR, 2018.

Logo após a pesagem, as frações são locadas em um recipiente e levadas à estufa em uma temperatura de aproximadamente 105 °C. Após 24 horas de secagem o agregado é

retirado da estufa, esfriado em temperatura ambiente durante aproximadamente 3 horas e pesado de acordo com suas respectivas frações, previamente determinadas.

E então, depois de efetuado o ensaio, de acordo com a NM 53:2009, o método fracionado para obtenção da massa específica é determinado pelas seguintes fórmulas:

$$d_p = \frac{1}{\frac{P_1}{d_1} + \frac{P_2}{d_2}} \quad (5)$$

Onde:

$d_p$  - Massa específica média ( $\text{g/cm}^3$ );

$P_1$  - Porcentagens em massa de cada fração, presentes na amostra original (%);

$d_1$  - Valores de massa específica de cada fração ( $\text{g/cm}^3$ );.

Dessa forma, são calculadas massas específicas aparentes para cada fração a partir da seguinte fórmula:

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (6)$$

Sendo:

$d_a$  - Massa específica aparente ( $\text{g/cm}^3$ );

$m$  - Massa ao ar da amostra seca (g);

$m_s$  - Massa ao ar da amostra saturada com superfície seca (g);

$m_a$  - Massa em água da amostra saturada com superfície seca (g).

O cálculo das porcentagens é realizado considerando a massa de cada amostra em sua totalidade. A partir desses valores, considerando as frações, após a secagem, adotadas para cada amostra, tem-se:

$$P_1 = \frac{m_f}{m_t} \quad (7)$$

Sendo:

$P_1$  - Porcentagem da fração em análise em relação à amostra considerada (%);

$m_f$  - Massa da fração após secagem (g);

$m_t$  - Massa da amostra total após secagem (g).

Finalmente, tem-se o cálculo da massa específica aparente média após a obtenção de todos os valores referentes à formulação dada inicialmente. É importante frisar que a densidade média deve ser calculada para cada amostra, logo, como duas amostras foram consideradas para esta metodologia, deve-se realizar o cálculo duas vezes, levando em conta os

dados da respectiva amostra. Assim, tem-se para as duas amostras o resultado encontrado foi de  $1,55 \text{ g/cm}^3$ :

De acordo com a norma NM 53:2009, a diferença entre dois resultados individuais obtidos a partir de uma mesma amostra submetida a ensaio, por um operador empregando um mesmo equipamento, em um curto intervalo de tempo, não deve ser maior que  $0,02 \text{ g/cm}^3$  para o ensaio de massa específica. Logo, como a diferença entre os resultados das duas amostras resultou em 0, o dado experimental poderá ser utilizado e o resultado final foi de  $1,55 \text{ g/cm}^3$ .

#### 3.7.1.4 Ensaio da determinação da umidade da areia

A determinação da umidade do agregado miúdo consiste em mensurar a quantidade de água presente nos espaços entre os grãos do material em questão. Este índice é de suma importância na medida em que a água interfere no cálculo do traço de compostos utilizando a areia como agregado. De acordo com a DNER-ME 213:1994 (Determinação do teor de umidade), a umidade do agregado miúdo é a relação entre a massa de água presente em certo volume de solo e a massa das partículas sólidas, no mesmo volume, expressa em percentagem.

Como citado anteriormente, de acordo com a DNER-ME 213:1994 a umidade do agregado miúdo é a relação entre a massa de água presente em certo volume de solo e a massa das partículas sólidas, no mesmo volume, expressa em percentagem. Sendo determinada pela seguinte fórmula:

$$h = \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_{bs} - m} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

$m_{bu}$  - Massa bruta úmida correspondente à massa do recipiente mais a amostra de material úmido (g);

$m$  - Massa do recipiente (g);

$m_{bs}$  - Massa bruta seca correspondente à massa do recipiente mais a amostra do material seco (g).

Portanto, depois de encontrados todos os valores necessários, calculou-se três umidades e tirou-se a média para encontrar a umidade final do material em questão. Assim, o valor médio da umidade da areia foi de 2,05%. A figura 39 mostra as cápsulas em estufa.



Figura 39 - Cápsulas utilizadas no ensaio.



Fonte: AUTOR, 2018.

### 3.7.1.5 Ensaio de granulometria do agregado miúdo e graúdo

Para que se verifique a possibilidade de utilização de determinado agregado graúdo e miúdo como componente do concreto é necessário que haja a comparação entre a composição granulométrica do material e a composição aceitável pela NM 7211:2005– Agregados para Concreto – Especificação. Assim, como já explicitado, os agregados utilizados para a confecção do concreto foram areia fina (agregado miúdo) e brita 0 (agregado graúdo), ambos comprados em uma loja de material de construção na cidade de São Luís. Lembrando que a metodologia executada para a obtenção da composição granulométrica do agregado em questão está em conformidade com a NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica, esta por sua vez, apresenta informações referentes a aparelhagem, amostragem, ensaio e resultados. As figuras 40 e 41, demonstram alguns processos do ensaio de caracterização dos agregados. As tabelas de granulometrias podem ser consultadas nos apêndices A e B deste trabalho.

Figura 40 – Ensaio de granulometria da areia. (A): adição do agregado miúdo no conjunto de peneiras (B): agregado sendo pesado.



Fonte: AUTOR, 2018.

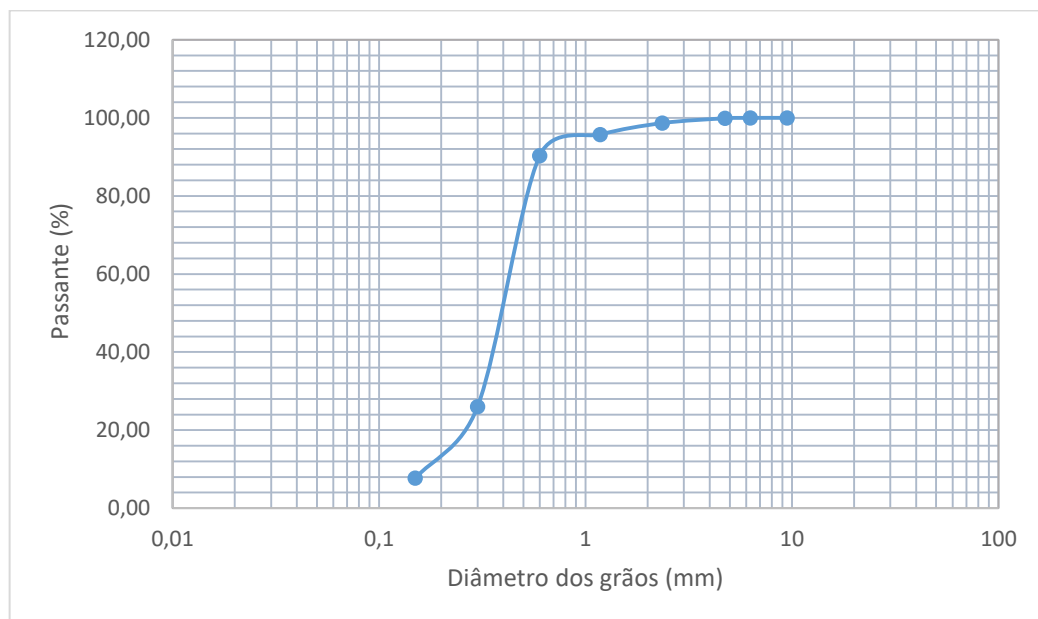
Figura 41 – Ensaio de granulometria da brita. (A): disposição das peneiras no agitador mecânico (B): agregado graúdo sendo pesado.



Fonte: AUTOR, 2018.

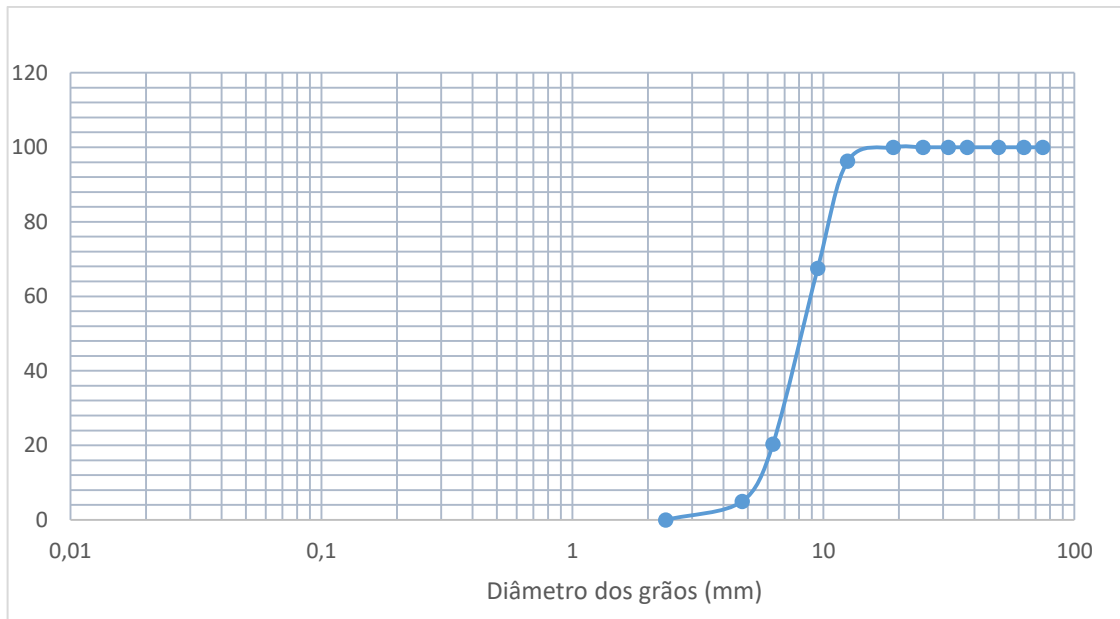
Logo após o ensaio, foram realizadas curvas granulométricas para os agregados miúdos e graúdos, verificados nas figuras 42 e 43, respectivamente abaixo.

Figura 42 - Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 43 - Curva granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: AUTOR, 2018.

É importante frisar que ambas as amostras, tanto o agregado miúdo quanto o graúdo cumpriram o requisito da dimensão máxima característica. Para os agregados miúdos o valor foi de 1,18 mm, e para os graúdos foi de 12,5 mm. Resultados esses que confirmam a inserção dos agregados dentro dos limites de classificação definidos pela norma. Em relação ao módulo de finura, o da areia resultou em 1,82, caracterizando-se como areia fina propícia a ser utilizada em blocos já que o número de vazios é menor, contribuindo assim para o aumento da resistência. Com esse valor, a areia é caracterizada como módulo de finura da zona utilizável inferior, de acordo com a ABNT NBR 7211:2005.

### 3.7.2 Dosagem

Com a finalidade de alcançar uma melhor precisão nos resultados, foram produzidos 131 moldes de concreto, sendo 77 corpos de prova cilíndricos e 54 blocos intertravados. Os 131 moldes foram submetidos a quatro diferentes dias de cura úmida. Os dias de cura úmida foram 7, 14, 21 e 28 dias, com traço experimental de 1:2:3 com dois fatores a/c diferentes. A relação dos estudos realizados, com os dias de cura úmida e o fator a/c escolhido está descrita nas tabelas 2, 3 e 4 abaixo, de acordo com o seu respectivo estudo. Lembrando que dos 131, 15 corpos de provas do estudo I foram utilizados para o ensaio de absorção, além de 6 do estudo II e 6 do estudo III. Os demais foram utilizados no ensaio de resistência à compressão axial.

Tabela 2 - Estudo I com as respectivas quantidades fabricadas.

Estudo	Agregado graúdo	Traço	Fator a/c	Quantidade de papel	Dias de cura úmida	Quantidade de CPS cilíndricos	Quantidade de blocos intertravados
I	Brita 0	01:02:03	0,6	0%	7 dias	2	Não
					14 dias	2	Não
					21 dias	2	Não
					28 dias	2	Não
				5%	7 dias	2	Não
					14 dias	2	Não
					21 dias	2	Não
					28 dias	2	Não
				10%	7 dias	2	Não
					14 dias	2	Não
					21 dias	2	Não
					28 dias	2	Não
				15%	7 dias	2	Não
					14 dias	2	Não
					21 dias	2	Não
					28 dias	2	Não
20%	7 dias	2	Não				
	14 dias	2	Não				
	21 dias	2	Não				
	28 dias	2	Não				

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 3 - Estudo II com as respectivas quantidades fabricadas.

Estudo	Agregado graúdo	Traço	Fator a/c	Quantidade de papel	Dias de cura úmida	Quantidade de CPS	Quantidade de blocos intertravados
II	Brita 0	01:02:03	0,45	0%	7 dias	2	Não
					14 dias	2	Não
					21 dias	2	Não
					28 dias	2	Não
				20%	7 dias	2	Não
					14 dias	2	Não
					21 dias	2	Não
					28 dias	2	Não

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 4 - Estudo III com as respectivas quantidades fabricadas.

Estudo	Agregado graúdo	Traço	Fator a/c	Quantidade de papel	Dias de cura úmida	Quantidade de CPS	Quantidade de blocos intertravados
III	Brita 0	01:02:03	0,45	0%	7 dias	Não	6
					14 dias	Não	6
					21 dias	Não	6
					28 dias	Não	6
				20%	7 dias	Não	6
					14 dias	Não	6
					21 dias	Não	6
					28 dias	Não	6

Fonte: AUTOR, 2018.

Destaca-se que para o ensaio de consistência, que foi realizado com o concreto ainda no estado fresco, tem-se o resumo na tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Tabela resumo do ensaio de consistência.

Estudo	Agregado graúdo	Traço	Fator ac	Tipo de Concreto	Número de slumps executados
I	Brita 0	01:02:03	0,6	Padrão	1
				5% de papel	1
				10% de papel	1
				15% de papel	1
				20% de papel	1
II e III	Brita 0	01:02:03	0,45	Padrão	1
				20% de papel	1

Fonte: AUTOR, 2018.

Dessa forma, o quadro 5 resume a produção de todo o material realizada para a realização dos ensaios.

Quadro 5 - Resumo da produção de material.

Estudo	Tipo de produção	Quantidade de material fabricado	
		Ensaio de absorção	Ensaio de resistência
I	Corpos de prova cilíndricos	15	40
II	Corpos de prova cilíndricos	6	16
III	Blocos de pavimento intertravado	6	48

Fonte: AUTOR, 2018.

### 3.7.3 Produção do concreto

Para a confecção do concreto realizada no LABCOM, foi feito inicialmente o ensaio de caracterização de cada material com o objetivo de misturar os materiais da forma proporcional e mais adequada possível e com o traço experimental estabelecido de 1:2:3 com dois fatores a/c. Sendo eles: 0,6 e 0,45. Destaca-se que depois de determinada a massa de cada material e pesados os materiais, anotou-se o volume do cimento com o objetivo de determinar a quantidade de papel para cada traço. Como já mencionado no decorrer do trabalho, os agregados foram comprados em uma loja de material de construção civil e o aglomerante empregado foi o CP II Z 32 indicado para estruturas de concreto em geral, por exemplo, em fundações, pavimentos de concreto e outras estruturas de concreto. Imediatamente após a pesagem de cada material, eles foram separados conforme a figura 44 e foi iniciada a mistura na betoneira, de acordo com a NBR 12655:2015, observada na figura 45 a seguir.

Figura 44 – Materiais prontos para serem misturados. (A): materiais para produção do concreto com papel (B): materiais para produção do concreto padrão.



Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 45 - Agregados sendo levados à betoneira.



Fonte: AUTOR, 2018.

Ressalva-se que os procedimentos executados para produção do concreto são iguais para corpos de prova cilíndricos e blocos intertravado, mudando obviamente, os fatores a/c.

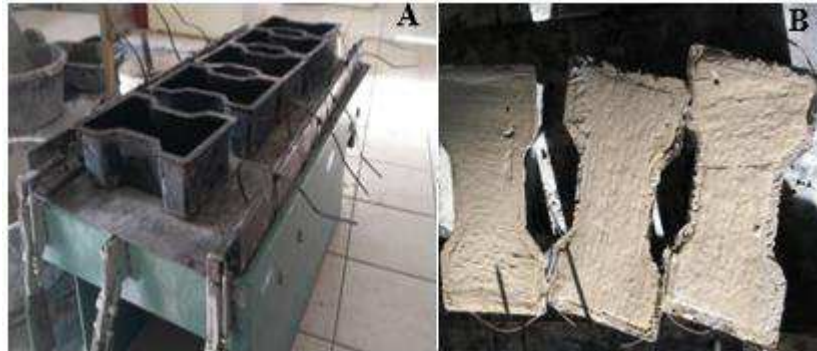
#### 3.7.4 Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos e intertravados

O processo de moldagem dos corpos de prova cilíndricos acompanhou os procedimentos da NBR 5738:2015, bem como o processo de moldagem dos blocos intertravados, já que estes não possuem uma norma que especifica o processo de fabricação. Foram utilizados moldes metálicos para a produção dos corpos de prova cilíndricos e moldes de plástico para a produção dos blocos de pavimento intertravado. Salienta-se que o molde disponível favoreceu a produção de blocos do tipo III, conforme a NBR 9781:2013. Os moldes cilíndricos dos corpos de prova possuem diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. Já os moldes de plástico dos blocos possuem 15 cm de largura, 25 cm de comprimento e 8 cm de espessura. Antes de iniciar a moldagem dos corpos de prova e dos blocos, os moldes foram limpos e submetidos a aplicação de uma fina camada de óleo mineral no seu revestimento interno, seguindo o que consta no item 7.2 da NBR 5738:2015.

O modo de adensamento do concreto foi alternando na medida em que a consistência do material também ia alternando com a adição do papel. No estudo I (onde se utilizou unicamente moldes metálicos cilíndricos), por exemplo, alguns moldes foram adensados de forma manual, pois apresentaram uma consistência e trabalhabilidade que facilitassem a moldagem manual, já outros necessitaram do adensamento mecânico, com a ajuda da mesa vibratório pertencente ao LABCOM. Os estudos II e III, utilizaram o adensamento mecânico. Lembrando que no estudo II ocorreu a produção de corpos de prova cilíndricos e o estudo III, de blocos, ambos com traço 1:2:3:0,45. Nas figuras 46 e 47, pode-se

observar a mesa vibratória utilizada no adensamento mecânico, bem como as formas utilizadas na fabricação dos moldes.

Figura 46 – Execução e moldagem dos blocos. (A): mesa vibratória e formas de plástico para bloquetes (B): concreto na forma.



Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 47 - Concreto já adicionado nos moldes metálicos.



Fonte: AUTOR, 2018.

Em relação ao adensamento manual, o concreto foi adensado em 2 camadas de volume igual por meio da aplicação de 12 golpes com a haste metálica cilíndrica, batendo na superfície externa dos moldes para evitar a criação de vazios na massa de concreto, favorecendo assim para a melhoria das propriedades. Logo após o adensamento da última camada, foi realizado o rasamento da superfície com a borda do molde através uma colher de pedreiro, em conformidade com a norma. Em relação ao mecânico, foi realizado de acordo com os procedimentos da norma. Destaca-se que a vibração mecânica era finalizada apenas quando a superfície do concreto apresentava um aspecto relativamente liso e praticamente sem o aparecimento de bolhas de ar na superfície.



### 3.7.5 Desmoldagem e cura úmida dos corpos-de-prova cilíndricos e intertravados

A desmoldagem é um processo que ocorre após o processo de moldagem. Em relação aos corpos de prova cilíndricos, a desmoldagem ocorreu após 24 horas da moldagem de cada corpo de prova. Já os blocos de concreto intertravados foram desmoldados logo após a sua moldagem. Isso ocorreu devido a consistência do concreto dos blocos ocasionada principalmente pelo fator  $a/c$  de 0,45. Além de que a desmoldagem sendo logo após a moldagem aumentou a produção diária dos blocos. Dessa forma, depois da desmoldagem, ambos foram etiquetados e identificados para então serem submetidos à cura úmida. Destaca-se que o concreto utilizado em blocos de pavimentação geralmente sofre o processo de cura úmida a vapor em câmaras estanques e de acordo com pesquisas de campo realizadas na cidade de São Luís, todas as empresas pesquisadas adotam este procedimento ou procedimentos semelhantes de cura para o concreto. Logo, todos os materiais de concretos produzidos foram adicionados a caixas de isopor de forma com que se assemelhasse a uma câmara úmida (figura 49). Diariamente a água era aspergida sobre o concreto para o processo de hidratação do cimento. O período de cura úmida dos moldes variou entre 7, 14, 21 e 28 dias, conforme a tabela 3 já citada. Abaixo (figura 48), tem-se os corpos cilíndricos e blocos de concreto já desmoldados e devidamente identificados.

Figura 48 – Materiais logo após a desmoldagem.(A): corpos de prova cilíndricos prontos para serem adicionados a câmara úmida (B): blocos de concreto prontos para serem adicionados na câmara úmida.



Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 49 - Blocos adicionados a caixa de isopor junto com uma lona para proteção.



Fonte: AUTOR, 2018

### 3.7.6 Análise dimensional dos blocos

Logo após a moldagem dos blocos de concreto e instantes antes do capeamento, foi efetuado o ensaio de análise das dimensões das peças. Este ensaio foi efetuado conforme descrito na norma ABNT NBR 9781:2013 e teve como objetivo verificar se as dimensões dos blocos estão de acordo como que é determinado pela norma. As dimensões determinadas foram: comprimento, largura e espessura. Destaca-se que com as dimensões em mãos, pode-se também determinar o índice de forma (IF) de cada bloco, que de acordo com a norma, para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser menor ou igual a 4. Para a aferição das dimensões reais dos blocos e realização do ensaio utilizou-se uma trena, conforme figura 50.

Figura 50 - Medição da dimensão dos blocos. (A): espessura (B): largura (C): comprimento.



Fonte: AUTOR, 2018

### 3.7.7 Capeamento dos corpos-de-prova cilíndricos e intertravados

De acordo com a NBR 5738:2015, o capeamento consiste no revestimento dos topos dos corpos de prova com uma fina camada de material apropriado, já que as bases dos corpos de prova em seu método de moldagem, não ganham acabamento apropriado para ser submetido aos ensaios da NBR 5739:2007.

Assim, para assegurar a planicidade das faces, são realizados capeamentos feitos com gesso, argamassa ou enxofre, deixando a superfície perpendicular ao eixo axial do corpo de prova. Neste trabalho, foi empregado uma mistura em proporção 1:1 entre gesso e Cimento Portland para a composição da argamassa de capeamento, originando uma superfície resistente e lisa. O capeamento foi executado por meio de um equipamento chamado Capeador, verificado na figura 51, que alinha o corpo de prova que se encontra no sentido vertical à uma base circular, solucionando suas imperfeições. De acordo com a norma, os capeamentos não podem ser superiores a espessura máxima estabelecida de 3,0 mm em cada topo.

Figura 51 - Corpos de prova sendo capeados com o Capeador.



Fonte: AUTOR, 2018.

Nota-se que os procedimentos de capeamento apresentados acima se referem a corpos de prova cilíndricos e não a blocos. Porém, a NBR 9781:2013 afirma que os blocos também devem ser capeados para a realização de alguns ensaios. Segundo a norma, as superfícies de carregamento devem ser retificadas, porém são permitidos outros tipos de capeamento desde que estes não apresentem variações significativas em comparação à técnica de retífica. Logo, a mistura entre cimento Portland e gesso também foi utilizada para o capeamento dos blocos. Lembrando que o LABCOM não possuía o capeador adequado para os

blocos, portanto, o procedimento realizado neles foi adaptado. Na figura 52, tem-se tanto os blocos quanto os corpos de prova cilíndrico já capeados.

Figura 52 – Materiais capeados. (A): blocos intertravados capeados (B): corpos de prova cilíndricos capeados.



Fonte: AUTOR, 2018.

### 3.7.8 Ensaio de resistência à compressão axial

Como visto no referencial teórico, a resistência à compressão é a capacidade do concreto de suportar determinada força axial aplicada sobre ele. Força esta encontrada minutos antes do rompimento. Assim, para determinar esta força é realizado o ensaio de resistência à compressão axial. O ensaio é realizado de acordo com os procedimentos e equipamentos mencionados na NBR 5739:2007 para corpos de prova cilíndrico e na NBR 9781:2013 para blocos de concreto.

Depois de capeados, tanto os corpos de provas cilíndricos, quanto os blocos de concreto, ambos foram ensaiados a compressão simples conforme estabelecido pela NBR 5739:2007. O ensaio foi executado na Prensa Eletrohidráulica pertencente ao LABCOM, de marca SOLOTEST, modelo ST 20000, capacidade máxima de carga de 200 toneladas, como mostra a figura 53.

#### 3.7.8.1 Ensaio de resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndrico

O ensaio de resistência à compressão axial consiste na aplicação de uma força sobre os corpos de prova cilíndricos, gerada pela máquina de compressão. Inicialmente, os corpos de prova foram colocados no centro de dois círculos concêntricos, onde estão apoiados os pratos de compressão com dimensões determinadas pela norma. A Prensa Eletrohidráulica

apresentava superfície dos círculos limpas e secas, como determina a norma. Portanto, depois de colocar o corpo de prova na posição adequada para o ensaio, a prensa foi comprimindo se deslocando verticalmente, mantendo o paralelismo com o eixo vertical da máquina a uma taxa constante de  $0,45 \pm 0,15$  MPa/s. O mesmo método foi seguido para cada corpo de prova ensaiado. Assim, depois que atingiu o a força necessária para que o rompimento ocorresse, a máquina oferecia a leitura em tonelada-força. A máquina utilizada no rompimento do concreto e um dos corpos de prova em posição de ensaio podem ser vistos nas figuras 53 e 54 abaixo. Portanto, com o valor oferecido pela máquina em mãos, aplicou-se na seguinte fórmula com o objetivo de obter os resultados desejados:

$$f_{cj} = \frac{N_{rup}}{A} \quad (9)$$

Onde:

$f_{cj}$  – Resistência à compressão do corpo de prova de concreto na idade de (j) dias (MPa);

$N_{rup}$  – Carga de ruptura do corpo de prova (N);

$A$  – Área de seção transversal do corpo de prova ( $\text{mm}^2$ ).

Figura 53 - Máquina utilizada no ensaio de compressão.



Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 54 - Corpo de prova prestes a sobre compressão axial na máquina de compressão.



Fonte: AUTOR, 2018.

### 3.7.8.2 Ensaio de resistência à compressão axial de corpos-de prova intertravados

O ensaio de resistência à compressão realizado em blocos de concreto de pavimento intertravado é semelhante ao ensaio que foi realizado em corpos de prova cilíndricos. A máquina de compressão utilizada foi a mesma para ambos os casos. De acordo com a NBR 9781:2013, a máquina deve permitir a aplicação controlada da força sobre a peça colocada entre os pratos de compressão. Lembrando que o prato que se desloca deve ter movimento na direção vertical, coaxial (perpendicular) ao prato fixo. O corpo de prova foi posicionado de modo que seu eixo coincidisse com o eixo da máquina, fazendo com que a resultante das forças passasse pelo centro.

Ainda de acordo com a NBR 9781:2013, as duas placas que auxiliam o ensaio devem ser circulares, com diâmetro de  $(85 \pm 0,5)$  mm e espessura mínima de 20 mm, confeccionadas em aço, com dureza superficial maior que 60 RC. Além de que suas superfícies não podem apresentar afastamento com relação a uma superfície plana de contato, tomada como referência, de mais de 0,01 mm em 85 mm. Assim, as placas que auxiliaram o ensaio foram em aço com diâmetro de 90 mm, ou seja, estava dentro do que pede a norma. Portanto, as placas auxiliaadoras foram acopladas à máquina de compressão, de forma com que os eixos verticais ficassem perfeitamente alinhados. Todos os blocos foram marcados com giz de cera (depois de capeados) com o objetivo de facilitar a localização das placas circulares no centro deles para tornar a execução do ensaio a mais correta possível (figura 55).

Figura 55 - Blocos de concreto com a marcação da posição das placas auxiliadoras.



Fonte: AUTOR, 2018.

Destaca-se que a máquina disponível no LABCOM para a realização deste ensaio é destinada ao rompimento de corpos de prova cilíndricos, portanto, passou por uma adaptação com a finalidade de romper os blocos de pavimentação intertravada (figura 56). Sabe-se que o deslocamento vertical máximo da máquina é de apenas 30 mm. Logo, como o rompimento é feito com os corpos de prova na posição horizontal, foram colocados objetos rígidos com a finalidade de aumentar a altura, facilitando o rompimento, como pode ser visto na figura abaixo.

Figura 56 - Rompimento do bloco de concreto para pavimentação intertravada.



Fonte: AUTOR, 2018.

O ensaio em questão seguiu à risca as recomendações da norma, logo para que os blocos fossem rompidos, eles foram saturados em água a  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , por no mínimo 24 h antes do ensaio, além do capeamento das suas bases (inferior e superior). Imediatamente após o rompimento de cada um, a máquina divulgava os resultados individuais das forças de rompimento em tonelada força. Salienta-se que a resistência à compressão da peça, é expressa em megapascals (MPa), e é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N),

pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados, multiplicando-se o resultado pelo fator  $p$ , função da altura da peça, conforme o quadro 6, abaixo.

Quadro 6 - Fator multiplicativo "p".

Espessura nominal da peça mm	$p$
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: NBR 9781:2013.

Como o bloco fabricado possuía 80 mm de espessura nominal, multiplicou-se por 1. Por se tratar de blocos, a norma possui algumas peculiaridades, como por exemplo o número da amostra de ensaio, que pode ser visualizada no quadro 3 desta pesquisa. Sendo assim, para cada dia de rompimento (7, 14, 21 e 28 dias), foram fabricados 6 blocos. O quadro 7 mostra o coeficiente de student, que é escolhido de acordo com o número de amostras. É importante frisar que a norma enfatiza a resistência somente aos 28 dias, porém, com o objetivo de obter um maior número de resultados, os blocos foram rompidos também aos 7, 14 e 21 dias.

Quadro 7 - Coeficiente de Student. (Nível de confiança de 80 %).

n	t
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,870
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

Fonte: NBR 9781:2013.

Pela NBR 9781:2013, admite-se que as resistências à compressão obedecem à distribuição normal, sendo o valor característico estimado pelas seguintes equações abaixo:



$$f_{pk,est} = f_p - t \cdot s \quad (10)$$

Sendo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(f_p - f_{pi})^2}{n-1}} \quad (11)$$

Onde:

$f_p$  – É a resistência média das peças (MPa);

$f_{pi}$  – É a resistência individual das peças (MPa);

$f_{pk,est}$  – É a resistência característica estimada à compressão (MPa);

$n$  – É o número de peças da amostra;

$s$  – É o desvio-padrão da amostra (MPa);

$t$  – É o coeficiente de Student, fornecido no quadro 6 em função do tamanho da amostra.

Destaca-se que os valores de resistência individuais dos blocos estão disponíveis no (apêndice H) desta pesquisa.

### 3.7.9 Ensaios de absorção

Para a realização da pesquisa, o ensaio de absorção foi realizado em corpos de provas cilíndricos e em blocos de concreto utilizados em pavimentação intertravada. Para que o ensaio ocorresse, seguiu-se os procedimentos exigidos pelas seguintes norma:

- a) NBR 9778:1987 - Argamassa e concreto endurecidos;
- b) NBR 9781:2013 - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaio.

Os procedimentos exigidos por ambas as normas, são semelhantes, uma vez que para se obter a absorção, utiliza-se uma simples relação entre massa saturada e massa seca.

Como as normas não especificam qual a data exata para realização do ensaio, optou-se por realizar tanto para blocos quanto para corpos de prova logo que os corpos foram desmoldados. Os procedimentos adotados para os corpos de prova cilíndricos foram os da NBR 9778:1987. Inicialmente, os corpos de provas foram secos em estufa durante 72 horas. Depois de completadas as 72 horas, pesou-se a massa deles, como pode ser visto na figura 57.

Figura 57 - Corpo de prova sendo pesado depois de 72 hrs na estufa.



Fonte: AUTOR, 2018.

Esta massa é a massa seca, que foi utilizada posteriormente. Logo após os 3 dias em estufa, eles foram imergidos no tanque, onde ficaram mais 72 horas. Após os 3 dias imersos em água, foram retirados (figura 58) e enxutos com toalha absorvente de forma com que não apresentasse água em seu exterior.

Figura 58 - Corpos de prova logo após serem retirados da estufa.



Fonte: AUTOR, 2018.

Depois desse procedimento, pesou-se os corpos de prova encontrando assim a massa saturada. Logo, aplicou-se na fórmula abaixo para encontrar o resultado final.

$$A = \frac{(M_{sat} - M_s)}{M_s} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

$M_{sat}$  – Massa do corpo de prova saturado (g);

$M_s$  – Massa do corpo de prova seco em estufa (g);

A – Absorção (%).

Como explicitado, o procedimento para realizar o ensaio é semelhante para o ambos os moldes de concreto. A única diferença é que para os blocos, o período de tempo em que ele fica na estufa é de apenas 24 horas, bem como o período de tempo que fica mergulhado em água para a obtenção da massa saturada. Ressalta-se que para bloco são necessárias 3 amostras para cada característica (traço) do concreto. A fórmula fornecida pela NBR 9781:2013 é idêntica a fórmula 12 descrita acima. Assim, alguns dos procedimentos podem ser vistos na figura 59 abaixo. É válido ressaltar que os valores números referentes aos ensaios de absorção realizados, encontram-se nos (apêndices C, D e E).

Figura 59 – Ensaio de absorção dos blocos. (A): blocos imersos em água (B): blocos sendo enxutos (C): blocos sendo pesados.



Fonte: AUTOR, 2018.

### 3.7.10 Ensaio de consistência (Slump Test)

Como mencionado na revisão bibliográfica o ensaio de consistência ou Slump Test foi realizado no LABCOM e seguiu os procedimentos exigidos pela NBR NM 67:1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. O ensaio é realizado com concreto no estado fresco, logo, imediatamente após a fabricação do concreto na betoneira.

O ensaio de consistência foi realizado 07 vezes com o objetivo de analisar o concreto padrão e o adicionado de papel em quantidades de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento.

Para ser realizado, foram utilizados:

a) Um molde em formato de tronco de cone com as bases superior e inferior abertas e paralelas entre si, feito de metal não facilmente atacável pela pasta de cimento com seu interior liso e livre de protuberâncias criadas por rebites, parafusos, soldas e dobraduras. As dimensões do molde podem ser vistas abaixo.

- Diâmetro da base inferior:  $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ;
- Diâmetro da base superior:  $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ;
- Altura:  $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ .

b) Uma haste de compactação de seção circular, reta e feita de aço;

c) Uma placa de base metálica retangular para apoio do molde;

Minutos antes da realização do ensaio, o molde e a placa de base foram umedecidos para evitar que o concreto grudasse no momento da retirada do tronco de cone e então foram colocados na posição de ensaio (molde sobre a placa de base). Depois de fabricado o concreto, ele foi sendo adicionado ao molde de forma lenta e gradual. A compactação do concreto no molde foi feita em 03 camadas (cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado). A cada camada, foram executados 25 golpes com a haste de socamento com o objetivo de compactar o material. Após a compactação da última camada, levantou-se o molde cuidadosamente para que o concreto não sofresse torção lateral e se desmornasse. Imediatamente após a retirada do molde, mediu-se o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova, que corresponde à altura média do corpo-de-prova desmoldado. Os materiais utilizados e a medição do Slump podem ser vistos nas figuras 60 e 61.

Figura 60 - Ensaio de Slump Test. (A): abatimento do concreto adicionado de papel (B): abatimento do concreto padrão.



Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 61 - Medição do Slump Test.



Fonte: AUTOR, 2018.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de executados todos os procedimentos possíveis com a finalidade de atingir os objetivos desejados, serão apresentados neste tópico os resultados encontrados. Serão expostos e discutidos os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, absorção e consistência, mais conhecido como Slump Test. Além da análise dimensional dos blocos de concreto. Lembrando que o objetivo geral do projeto é avaliar as propriedades do concreto simples padrão com concreto simples adicionado de papel reciclado, incluindo o estudo da viabilidade técnica de uso de blocos em concreto de pavimento intertravado produzidos com concreto adicionado de papel reciclado.

### 4.1 Estudo I (Corpos de prova cilíndricos)

Como exposto na metodologia deste trabalho de conclusão de curso, o estudo I visa analisar o comportamento do concreto com a adição de papel reciclado em quantidades de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento através da produção de corpos de prova cilíndricos. Destaca-se que a produção do concreto neste estudo ocorreu com um traço experimental de 1:2:3 com fator água cimento de 0,6. O ensaio de consistência foi o primeiro a ser realizado, portanto foi um dos primeiros resultados a serem coletados, pois ele ocorre com o concreto ainda no estado fresco.

#### 4.1.1 Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão simples ocorreu com base na NBR 5739:2007, e foi realizado logo que foram alcançados os 7, 14, 21 e 28 dias de cura, respectivamente. Neste primeiro estudo foram rompidos 8 corpos de prova cilíndricos para cada traço (totalizando 40): 0% de papel (padrão), 5% de papel, 10% de papel, 15% de papel e 20%. Destaca-se que a resistência final para um determinado dia é resultado da média entre duas amostras ensaiadas. (apêndice F). A figura 61 ilustra um dos corpos de prova após a ruptura pela Prensa Eletrohidráulica fornecida pelo Laboratório de Concreto e Materiais (LABCOM) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Observa-se que o corpo de prova rompeu de maneira correta, apresentando tipo de ruptura cisalhada (figura 62), conforme indica a norma ABNT NBR 5739:2007. As rupturas da maioria dos corpos de prova foram semelhantes a ruptura da figura 63, abaixo, logo estavam de acordo com a norma.

De acordo com Resende (2016), o teste de compressão possui suas peculiaridades. O corpo de prova cilíndrico quando colocado na máquina de ensaio, apesar de ser carregado à compressão axial, se rompe por cisalhamento. A força cortante chega a um nível crítico (à medida que o corpo de prova se deforma), antes que a falha por compressão simples dos componentes do concreto ocorra. Esta informação, que parece ser trivial, é um importante fundamento quando se analisa a maneira como o corpo de prova rompeu. Durante o ensaio, a ruptura de forma cisalhada é um dos tipos de ruptura que o cisalhamento ocorre sempre em planos inclinados em relação à direção da força cortante que o gera, por isso a linha de fratura atravessando na diagonal. Assim, os corpos de provas ensaiados neste ensaio são normais e aceitáveis. Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial estão apresentados na tabela 6 e no gráfico 3.

Figura 62 - Tipo de ruptura de corpo de prova.



Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 63 - Exemplo de ruptura cisalhada.



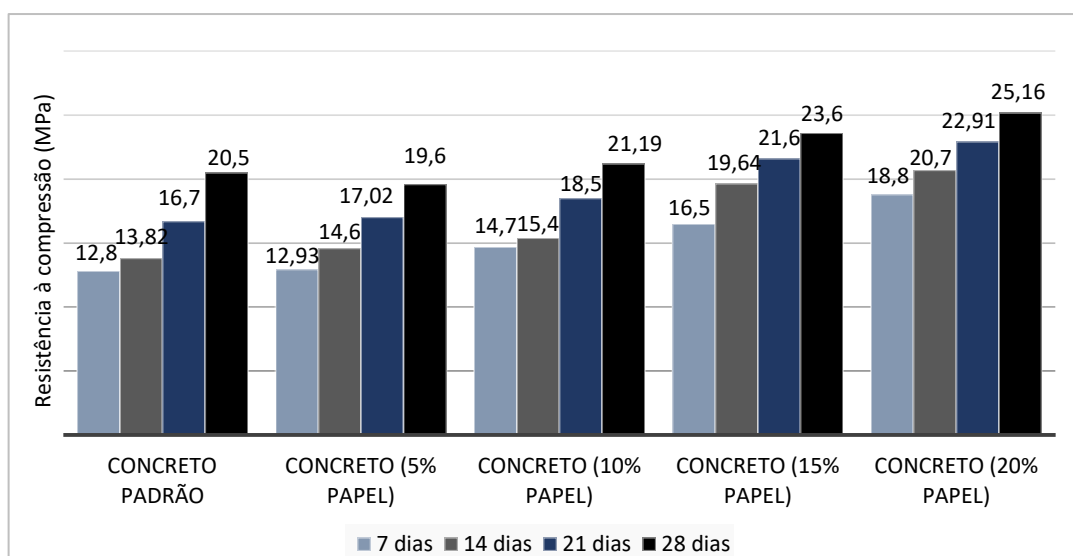
Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 6 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo I.

Idade (dias)	Resistência (MPa)				
	Concreto Padrão	Concreto (5% papel)	Concreto (10% papel)	Concreto (15% papel)	Concreto (20% papel)
7 dias	12,8	12,93	14,7	16,5	18,8
14 dias	13,82	14,6	15,4	19,64	20,7
21 dias	16,7	17,02	18,5	21,6	22,91
28 dias	20,5	19,6	21,19	23,6	25,16

Fonte: AUTOR, 2018.

Gráfico 3 - Resultados da resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo I.

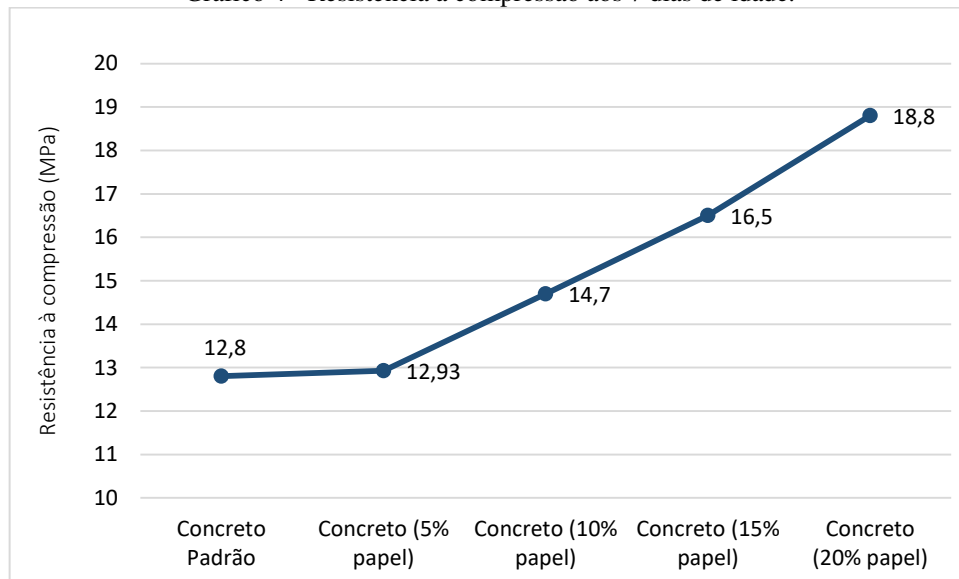


Fonte: AUTOR, 2018.

Pelos resultados apresentados na tabela 6 e no gráfico 3 observa-se que, aos 7 dias, a adição de papel reciclado nas proporções de 5% e 10% apresentaram um acréscimo de 1,016% e de 14,84 %, respectivamente, em relação a resistência característica do concreto padrão. Já a adição de papel reciclado em relação ao volume do cimento nas proporções de 15% e 20% apresentaram um aumento de 28,9% e de 46,87%, respectivamente, em relação ao concreto padrão também aos 7 dias de cura. Abaixo, observando o gráfico 4, chega-se à conclusão que para os 7 dias de idade à medida que a quantidade de papel aumenta, ocorre um aumento crescente e quase que constante em relação a resistência.



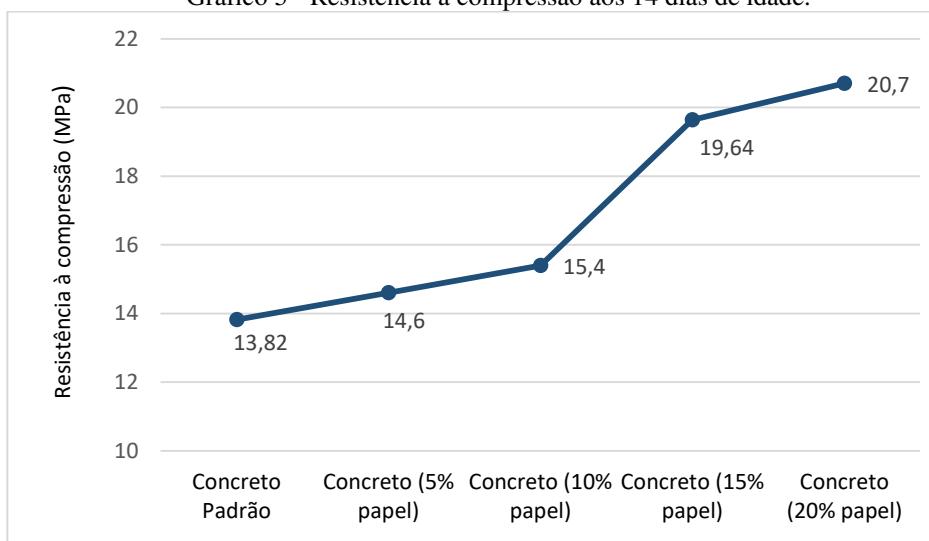
Gráfico 4 - Resistência à compressão aos 7 dias de idade.



Fonte: AUTOR, 2018.

Aos 14 dias, a adição de papel reciclado no concreto nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% do volume de cimento apresentam um acréscimo de 5,64%, 11,43%, 42,11%, e de 49,78% respectivamente, em relação ao concreto padrão (sem adição do papel reciclado). Este crescimento pode ser melhor visualizado no gráfico 5. Observando o gráfico 5, percebe-se que também ocorreu um aumento quase que constante na resistência aos 14 dias. Comparando o gráfico 5 com o gráfico 4, percebe-se, no entanto, que no gráfico 5, a maior diferença de crescimento ocorreu no intervalo de concreto 15% para 10%, um aumento de 27,53% de resistência se comparado o concreto 15% em relação ao de 10%, enquanto que no gráfico 4, esse aumento foi de apenas 12,24%. O que comprova que com passar dos dias, a resistência do concreto aumenta e nesse caso, aumentou ainda mais devido a influência do papel.

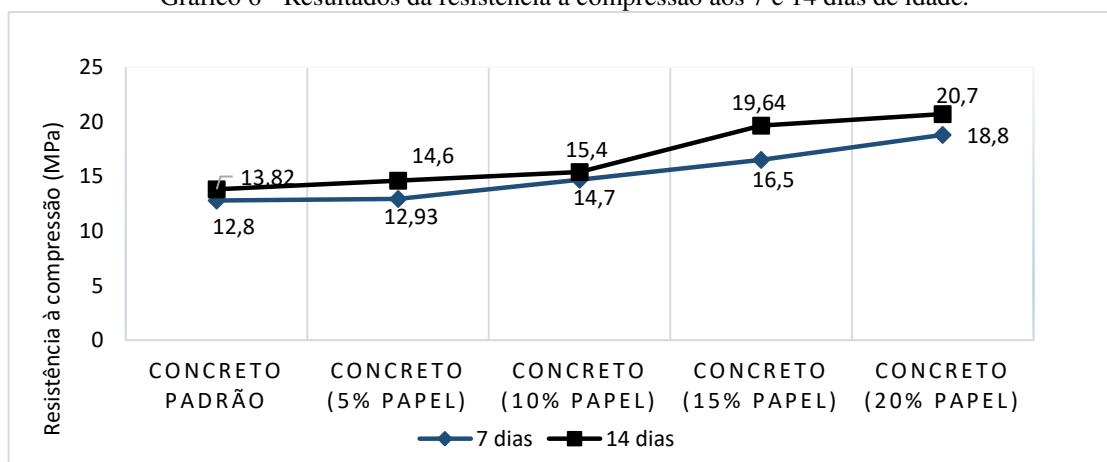
Gráfico 5 - Resistência à compressão aos 14 dias de idade.



Fonte: AUTOR, 2018.

No gráfico 6, a diferença existente entre as resistências, além da evolução dos resultados para os 7 e 14 dias de rompimento é mais nítida.

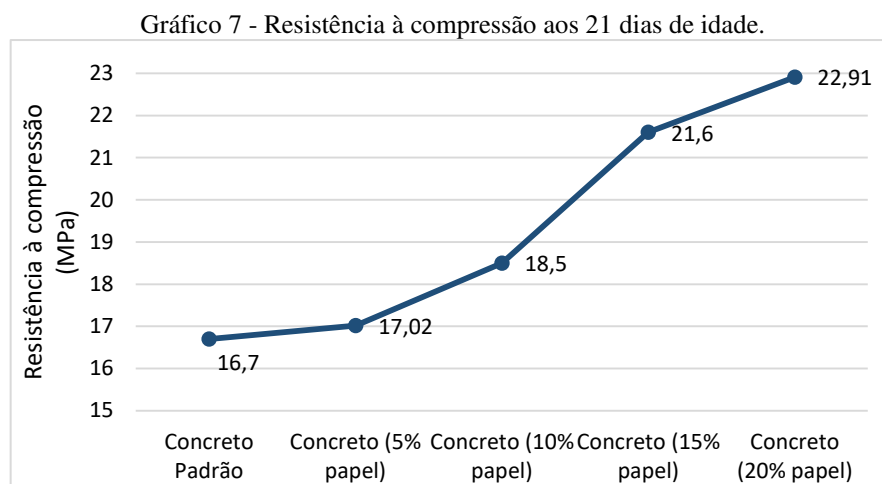
Gráfico 6 - Resultados da resistência à compressão aos 7 e 14 dias de idade.



Fonte: AUTOR, 2018.

Tem-se que pelos resultados também apresentados na tabela 6 e no gráfico 3 observa-se que, aos 21 dias, a adição de papel reciclado nas proporções de 5% e 10% apresentaram um acréscimo de 1,92% e de 10,78 %, respectivamente, em relação a resistência característica do concreto padrão. Já a adição de papel reciclado em relação ao volume do cimento nas proporções de 15% e 20% apresentaram um aumento de 29,34% e de 37,18%, respectivamente, em relação ao concreto padrão também aos 21 dias de cura. Assim, para melhor entendimento, tem-se o gráfico 7, abaixo. Logo, a resistência também se mostra

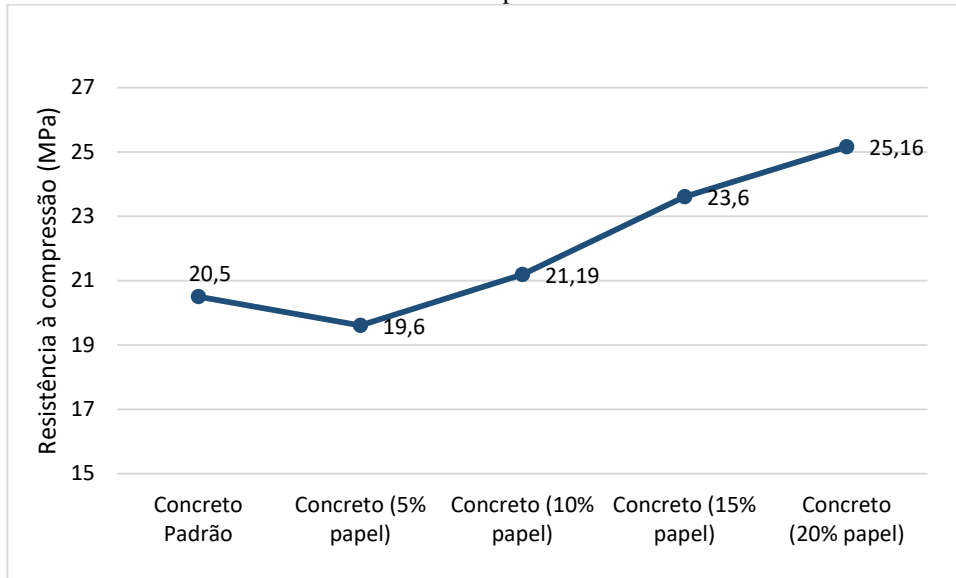
crecente e quase que constante. Ressalta-se que quando comparado ao gráfico 5 (Resistência à compressão aos 14 dias de idade), percebe-se que o maior crescimento também foi no intervalo do concreto 10% para o concreto 15%, apresentando um crescimento de 16,76%.



Fonte: AUTOR, 2018.

Aos 28 dias, a adição de papel reciclado no concreto nas proporções de 10%, 15% e 20% do volume de cimento apresentam um acréscimo de 3,4%, 15,12%, e de 22,73% respectivamente, em relação ao concreto padrão (sem adição do papel reciclado). Por outro lado, na proporção de 5%, o resultado foi divergente dos demais, apresentando no concreto adicionado de papel um decréscimo na resistência no valor de 4,4% em relação ao concreto de referência (concreto padrão). A justificativa para tal resultado se deve ao fato de que por se tratar de um estudo experimental pode ter ocorrido algumas falhas no processo de moldagem e compactação dos corpos de prova. Nesta etapa, a falha pode ter ocorrido principalmente na compactação mecânica, uma vez que a máquina disponibilizada pelo LABCOM necessita de auxílio manual para o início e o fim da compactação, não apresentando tempos exatos para a realização do processo. Logo, o tempo de compactação de uns corpos de prova podem ter sido diferentes e essa diferença, mesmo que mínima, pode ter influenciado no aparecimento de vazios, o que acaba afetando na diminuição da resistência. Abaixo, para melhor entendimento, tem-se o gráfico 8 referente aos 28 dias de idade. Analisando o gráfico, observa-se que aos 28 dias os resultados encontrados foram os maiores se comparados com os outros resultados. E mais, a maior taxa de crescimento foi de 11,37% e também ocorreu no intervalo do concreto 15% para concreto 20%. Assim, com 20% estes valores foram os máximos encontrados, portanto para este percentual, a utilização do concreto seria ideal em relação à resistência.

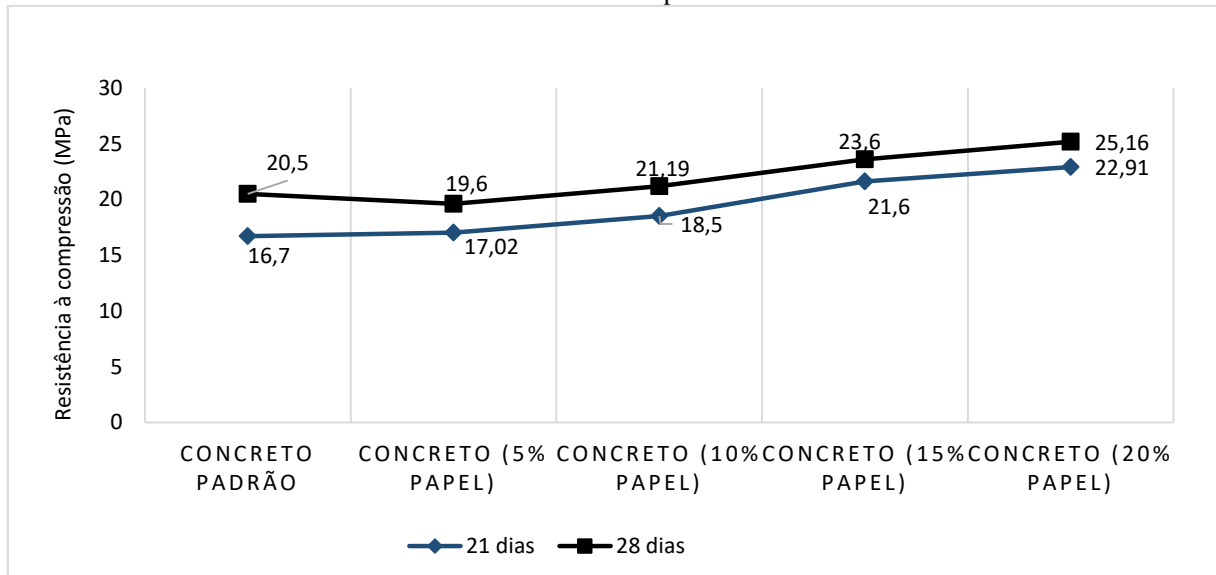
Gráfico 8 - Resistência à compressão aos 28 dias de idade.



Fonte: AUTOR, 2018.

No gráfico 9, a diferença existente entre as resistências, além da evolução dos resultados para os 21 e 28 dias de rompimento é mais nítida.

Gráfico 9 - Resultados da resistência à compressão aos 21 e 28 dias de idade.



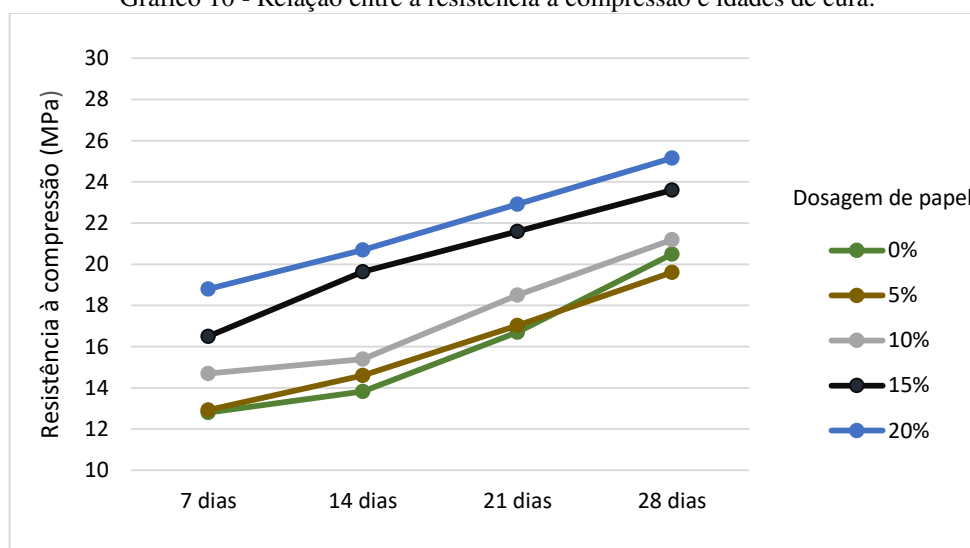
Fonte: AUTOR, 2018.

Ao observar os gráficos acima, percebe-se que o concreto padrão, sem adição do papel apresentou um aumento gradativo da resistência até chegar aos 28 dias. Tal resultado demonstra que os procedimentos executados foram corretos, e que a resistência do concreto aumenta com a idade. Isso se deve ao fato de que com o passar do tempo as partículas de

cimento sofrem o processo de hidratação, que tendem a reduzir o tamanho e o volume total de vazios, aumentando a resistência.

Ao analisar a evolução do aumento da resistência em relação aos dias de cura no gráfico 10, observa-se que para todas as porcentagens o aumento foi evidente. Confirma-se ainda que o aumento da resistência se fez presente em todos os intervalos de dias de rompimento, ou seja, a medida que os dias de cura foram passando, ocorreu a devida hidratação das partículas cimentícias, mesmo com o aumento da porcentagem de papel. Fica evidenciado, portanto, que ocorre um grande crescimento logo nas idades iniciais (intervalo de 7 aos 14 dias de idade). Crescimento este que é facilmente visualizado observando as inclinações das retas. Assim, o crescimento além de ser de grande intensidade nas fases iniciais, também é visivelmente perceptível ao longo de todo o processo de cura do concreto.

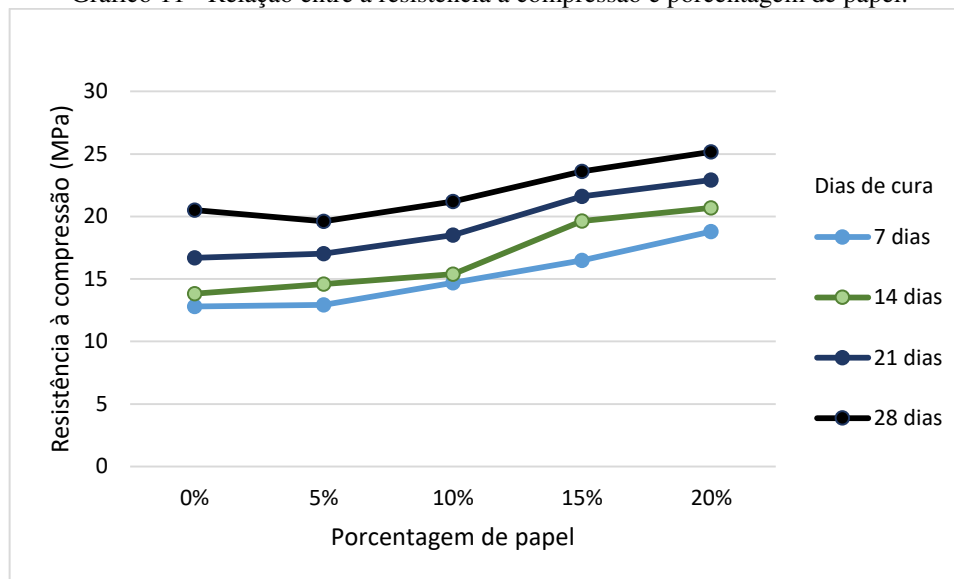
Gráfico 10 - Relação entre a resistência à compressão e idades de cura.



Fonte: AUTOR, 2018.

Já em relação ao gráfico 11, onde ocorre a relação da resistência à compressão com porcentagem de papel, observa-se que o aumento da resistência é gradativo e quase que constante à medida que a porcentagem de papel aumenta, apresentando um gráfico linear, com poucas oscilações no comportamento. Esta observação confirma que a adição do papel realmente foi essencial para o ganho de resistência à compressão do concreto. Excluindo assim a hipótese de aumento de resistência devido apenas a boa compactação ou até mesmo ao bom acabamento das superfícies dos corpos de prova cilíndricos.

Gráfico 11 - Relação entre a resistência à compressão e porcentagem de papel.



Fonte: AUTOR, 2018.

Em relação a adição do papel reciclado, possivelmente, as melhorias obtidas com o emprego dele para os traços de 5%, 10%, 15% e 20% estejam ligadas ao fato de que o material, à medida que foi passando pelo processo de reciclagem, teve sua dimensão diminuída. Esta dimensão foi diminuída tanto pelo processo de picotagem, quanto pelo processo de betonagem na fabricação do concreto. Logo, o papel foi adicionado em forma de pelotas de granulometria pequena e junto a essas pelotas, apresentou como resíduo, o seu pó, permitindo assim na hora da mistura um melhor empacotamento com as partículas de cimento e com o agregado graúdo, ocasionando um maior fechamento dos vazios, conseqüentemente uma maior compacidade à microestrutura da pasta cimentícia, aumentando assim a resistência mecânica. Outro fator que influenciou para o aumento da resistência foi o fato de que o papel apresenta fibras celulósicas que favorecem a coesão da mistura, facilitando assim a compactação, conseqüentemente aumentando a resistência.

#### 4.1.2 Absorção

O ensaio de absorção de água para os corpos de prova cilíndricos foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 9778:1987 com amostras de 3 corpos de prova para cada traço: concreto padrão, 5%, 10%, 15% e 20% de papel reciclado, totalizando 15 corpos de prova. Lembrado que o resultado final foi a média entre os três valores de cada traço. Como a

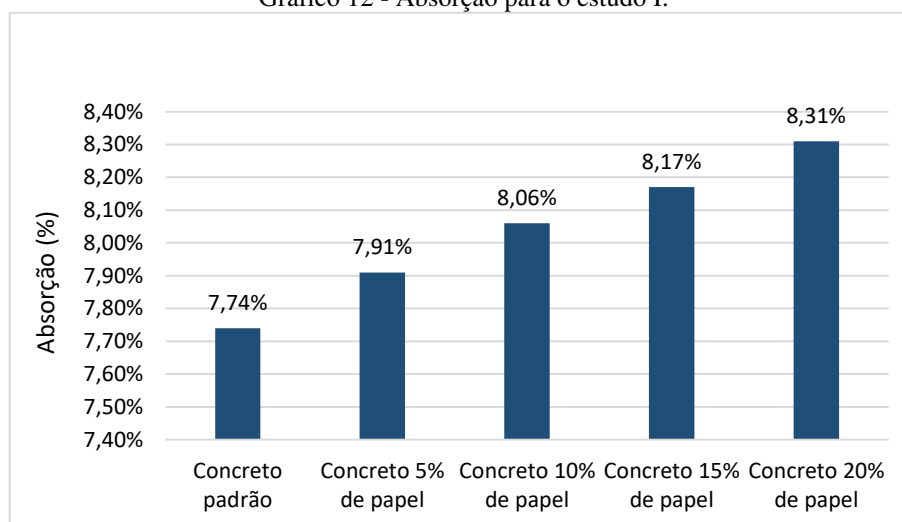
norma não especifica qual a data exata para realização do ensaio, optou-se por realizar logo após a moldagem. Os resultados estão representados na tabela 7 e gráfico 12.

Tabela 7 - Absorção para o estudo I.

<b>Absorção</b>	
<b>Concreto padrão</b>	<b>7,74%</b>
<b>Concreto 5% de papel</b>	<b>7,91%</b>
<b>Concreto 10% de papel</b>	<b>8,06%</b>
<b>Concreto 15% de papel</b>	<b>8,17%</b>
<b>Concreto 20% de papel</b>	<b>8,31%</b>

Fonte: AUTOR, 2018.

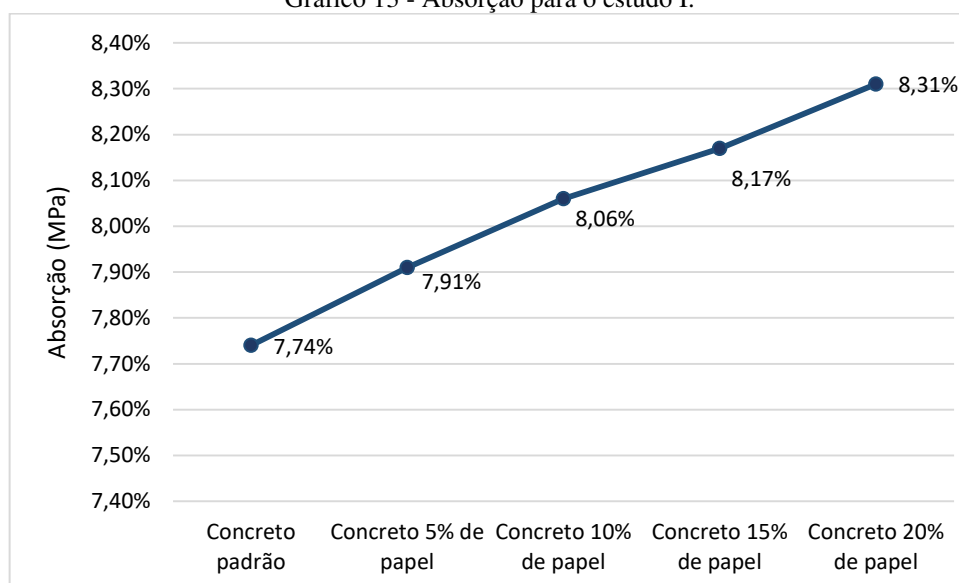
Gráfico 12 - Absorção para o estudo I.



Fonte: AUTOR, 2018.

A análise dos resultados obtidos demonstra que o concreto padrão (sem adição do papel) apresentou uma absorção média de 7,74% aos 28 dias. O concreto com adição de 5% de papel apresentou uma absorção de 7,91%, enquanto que os concretos com adição de papel em 10%, 15% e 20% apresentaram, respectivamente, absorções nos valores de 8,06%, 8,17% e 8,31%. Analisou-se também que as diferenças de porcentagem entre o concreto padrão e o concreto de 5%, 10%, 15% e 20%, são respectivamente 0,17%, 0,32%, 0,43% e 0,57%. A partir do gráfico 13 abaixo, tem-se um melhor entendimento da evolução da absorção com o aumento da quantidade de papel.

Gráfico 13 - Absorção para o estudo I.



Fonte: AUTOR, 2018.

Desse modo, percebeu-se que o papel é um material bastante absorvente. Isso ocorre devido a sua composição. Ele possui como principais componentes as fibras celulósicas, que por sua vez, apresentam características hidrofílicas, ou seja, apresentam afinidade com as moléculas de água. A característica hidrofílica entre a celulose e a água se dá devido a presença das ligações químicas chamadas de pontes de hidrogênio.

Apesar de o aumento da absorção do concreto padrão (formado por areia, cimento, água e brita) ser diretamente associada à perda da resistência, na pesquisa em questão observou-se que a adição do papel reciclado não afetou na perda desta propriedade. Nota-se que ocorreu um aumento na absorção quase que desprezível de apenas 0,57% do concreto 20% de papel em relação ao concreto padrão. Neste estudo, porém, pelo concreto possuir uma maior absorção devido a presença do papel, o material reciclado permitiu uma maior aderência entre a pasta cimentícia e o agregado graúdo (brita), favorecendo o crescimento da resistência. Outro fato que possivelmente pode ter ocorrido e que vale a pena ser destacado é que como o papel é absorvente, ao adicionar a água na mistura, ele acaba adquirindo uma certa quantidade dessa água, o que ocasiona uma redução momentânea do fator água cimento, uma vez que com o passar do tempo, a água disponível no papel vai sendo transferida às partículas de cimento, hidratando-as, melhorando assim as características do concreto. Apesar de fornecer parte da sua água para a mistura, o papel ainda vai possuir uma certa quantidade, significando que houve a redução do fator água cimento da mistura, o que consequentemente contribui para uma melhor resistência.



#### 4.1.3 Consistência

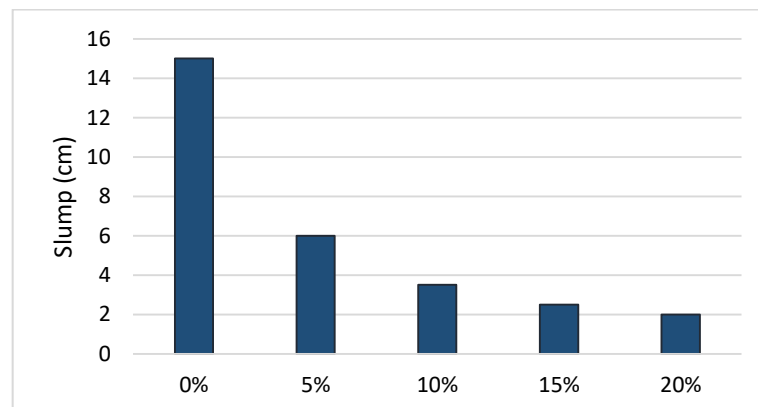
Como visto na revisão bibliográfica, a consistência é a capacidade de fluidez da mistura do concreto fresco, que está diretamente relacionado com a mobilidade da pasta. A ABNT NBR NM 67:1998 regulamenta o ensaio responsável pela determinação da consistência do concreto. O ensaio é o Slump Test ou abatimento do tronco de cone. A tabela 8 e os gráficos 14 e 15 apresentam os resultados obtidos nos ensaios para todos os tipos de concreto produzidos neste estudo.

Tabela 8 - Slump Test para o estudo I.

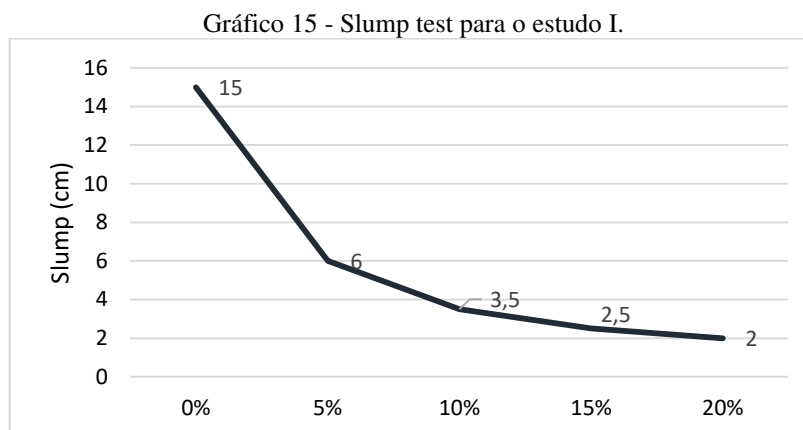
SLUMP TEST	
%	Slump (cm)
0%	15
5%	6
10%	3,5
15%	2,5
20%	2

Fonte: AUTOR, 2018.

Gráfico 14 - Slump para o estudo I.



Fonte: AUTOR, 2018.



Fonte: AUTOR, 2018.

Analisando a tabela e os gráficos acima, é possível afirmar que a adição de papel resulta na diminuição do abatimento. Esta diminuição pode ser melhor visualizada no gráfico 15, que apresenta uma curva decrescente, ou seja, a medida que a quantidade de papel aumenta, o abatimento diminui. A diminuição do abatimento causa perda de trabalhabilidade que ocorreu devido a presença das fibras celulósicas do papel. Estas fibras aumentam a aderência da mistura, contribuindo assim, para obter uma mistura com maior consistência e viscosidade. Dessa forma, com o crescimento da viscosidade, a consistência conseqüentemente cresce também, portanto, reduz o abatimento. Além do fato de que o papel acaba reduzindo a quantidade de água pela absorção na mistura contribuindo para diminuição do abatimento.

Destaca-se ainda que o concreto no estado fresco de 20% ficou visualmente próximo, mas não semelhante ao concreto utilizado (concreto virado) para fabricação de blocos, o que torna o estudo ainda mais viável.

Após a análise das três propriedades do concreto (resistência à compressão, absorção e consistência) para o estudo I, observou-se que o concreto em porcentagem de 20% foi o que obteve melhores resultados, apesar da perda da trabalhabilidade, que pode ser melhorada com o uso de aditivos, como os plastificantes, por exemplo. A porcentagem apresentou uma maior resistência à compressão e uma absorção satisfatória. Salienta-se que até a quantidade máxima analisada no estudo de 20% de papel, a resistência aumentou, chegando-se a conclusão que ocorreu a hidratação de todas as partículas do cimento para esta quantidade de papel.

Assim, para o estudo II, diminui-se o fator água cimento para 0,45 com o objetivo de analisar o comportamento do concreto com a adição do papel com outras quantidades de água na mistura, além de que com a redução do fator, deduz-se que o concreto no estado fresco será semelhante àquele utilizado na fabricação de blocos de concreto virado.

## 4.2 Estudo II (Corpos de prova cilíndricos)

Como exposto na metodologia desta pesquisa, o estudo II visa analisar o comportamento do concreto também em corpos cilíndricos com a adição de papel reciclado com a porcentagem que obteve resultados mais favoráveis no primeiro estudo, que foi a de 20%. A produção do concreto neste estudo ocorreu com um traço experimental de 1:2:3 com fator água cimento de 0,45 para analisar o comportamento do concreto com a adição do papel com outras quantidades de água na mistura, além de que com a redução do fator, deduz-se que o concreto no estado fresco será semelhante àquele utilizado na fabricação de blocos de concreto virado.

### 4.2.1 Resistência à compressão axial

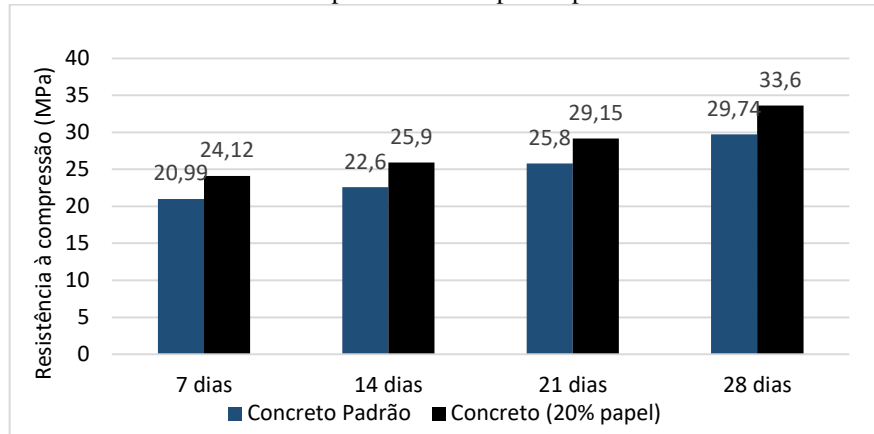
Neste segundo estudo foram rompidos 8 corpos de prova cilíndricos para cada traço (totalizando 16): 0% de papel e 20%. Destaca-se que a resistência final para um determinado dia é resultado da média entre duas amostras ensaiadas (apêndice G). As rupturas dos corpos de prova também foram em forma de cisalhamento de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2007. Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial do estudo II estão apresentados na tabela 9 e no gráfico 16.

Tabela 9 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo II.

Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)	
	Concreto Padrão	Concreto (20% papel)
7 dias	20,99	24,12
14 dias	22,6	25,9
21 dias	25,8	29,15
28 dias	29,74	33,6

Fonte: AUTOR, 2018.

Gráfico 16 - Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos do estudo II.

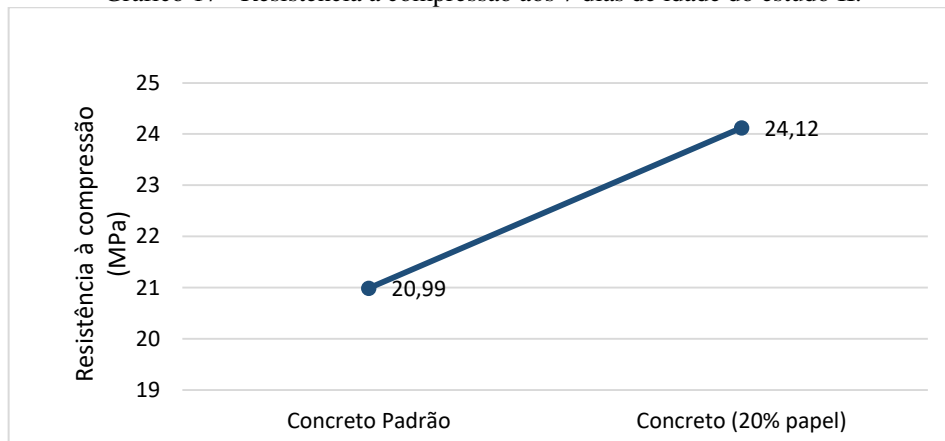


Fonte: AUTOR, 2018.

Pelos resultados apresentados na tabela 9 e no gráfico 16 observa-se que, aos 7 dias, a adição de papel reciclado na proporção de 20% de papel apresentou um acréscimo de 14,9 % em relação a resistência característica do concreto padrão. Aos 14 dias, a adição de papel reciclado no concreto na mesma proporção de 20 % do volume de cimento apresentou um acréscimo de 14,6 % em relação ao concreto padrão (sem adição do papel reciclado). Já para 21 dias e 28 dias, o acréscimo foi de 12,98 % e 13%, respectivamente.

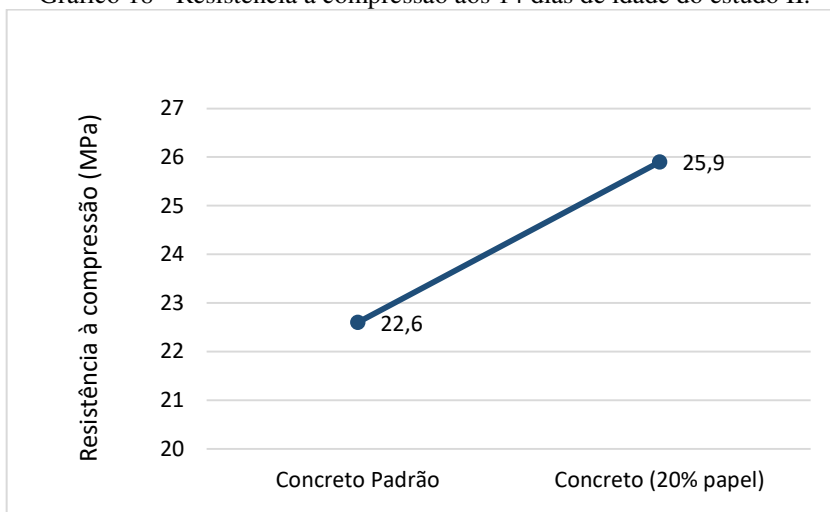
Para melhor avaliar o crescimento da resistência para esse estudo, tem-se os gráficos 17, 18, 19 e 20 abaixo.

Gráfico 17 - Resistência à compressão aos 7 dias de idade do estudo II.



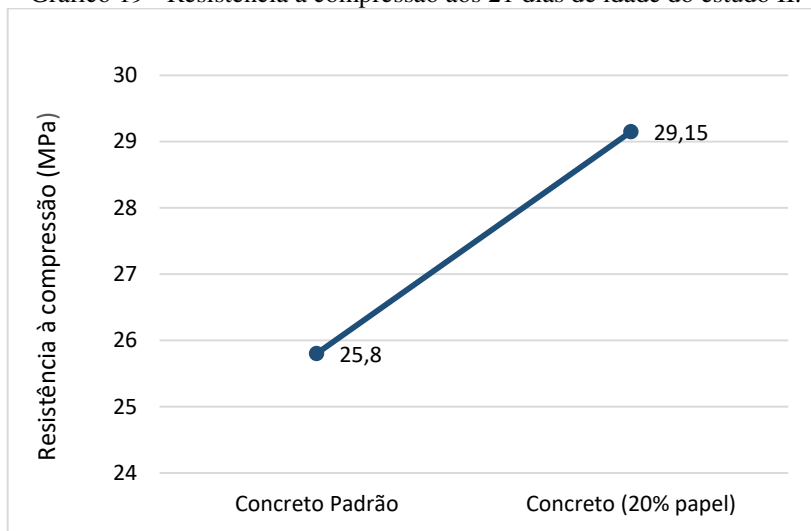
Fonte: AUTOR, 2018.

Gráfico 18 - Resistência à compressão aos 14 dias de idade do estudo II.



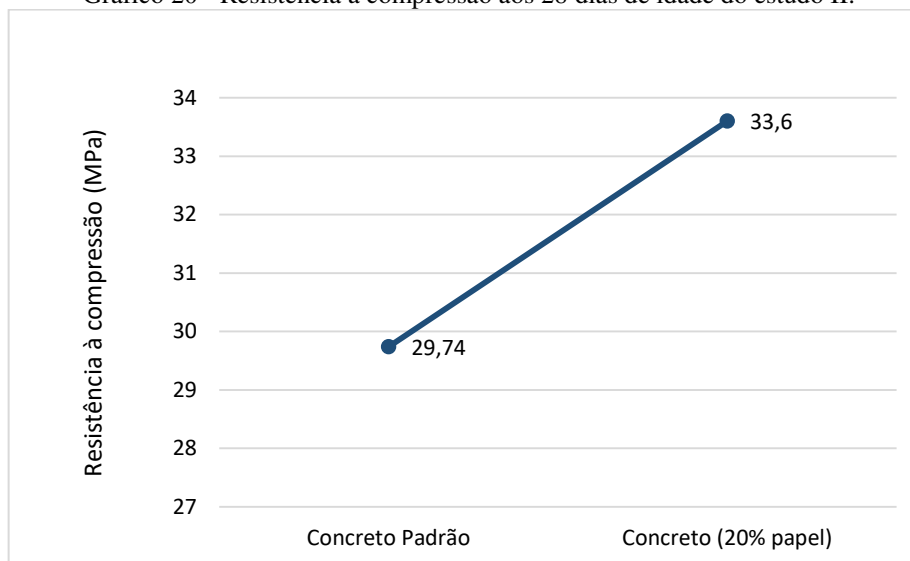
Fonte: AUTOR, 2018.

Gráfico 19 - Resistência à compressão aos 21 dias de idade do estudo II.



Fonte: AUTOR, 2018.

Gráfico 20 - Resistência à compressão aos 28 dias de idade do estudo II.



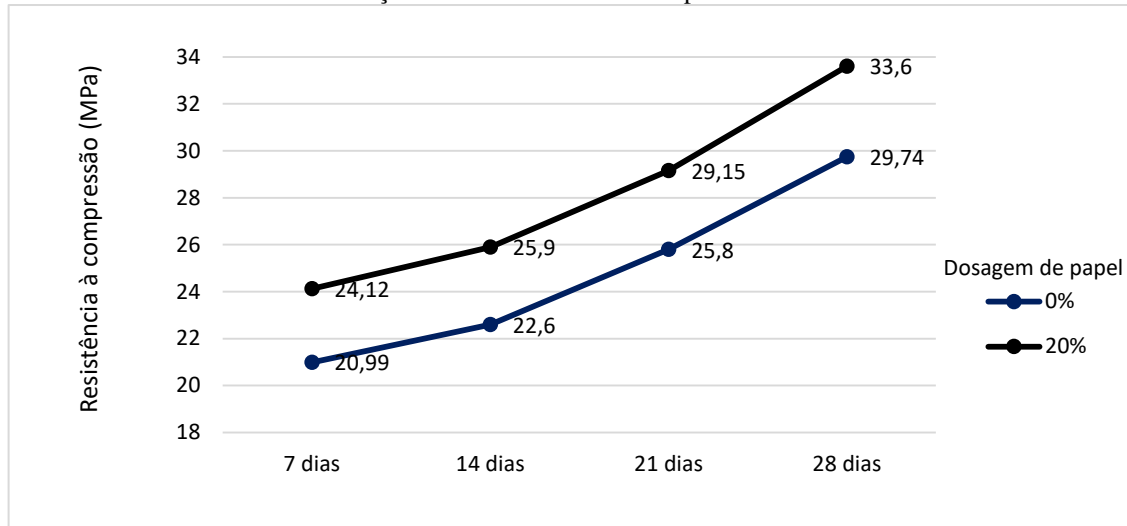
Fonte: AUTOR, 2018.

Ao observar o gráfico 20 acima, percebe-se que a adição do papel, assim como no estudo I, também resultou em um aumento crescente na resistência à compressão, chegando aos 28 dias com os maiores resultados. Tal acréscimo da resistência com a adição do papel é explicada pelos mesmos motivos expostos nos resultados do estudo I. Percebeu-se que com a redução do fator água cimento de 0,6 para 0,45, houve um acréscimo na resistência tanto do concreto padrão, quanto do concreto adicionado de papel, como pode ser visto na tabela 10, inferindo que para o fator 0,45, o efeito da adição do papel no concreto continua o mesmo (aumento da resistência). O aumento da resistência também confirma que quanto menor o fator água cimento, maior a resistência. Os gráficos 17, 18, 19 e 20 mostram que a resistência do concreto se comportou de forma quase constante e crescente. Destaca-se que neste estudo, o comportamento foi semelhante ao estudo I, porém com valores maiores de resistência devido a diminuição do fator água cimento de 0,6 para 0,45. Isso demonstra que mesmo com a redução do fator ac, a adição do papel continuou contribuindo para o aumento da resistência.

Ao analisar a evolução do aumento da resistência em relação aos dias de cura no gráfico 21, observa-se que para todas as porcentagens o aumento foi evidente. Confirma-se ainda que o aumento da resistência se fez presente em todos os intervalos de dias de rompimento, ou seja, à medida que os dias de cura foram passando, ocorreu a devida hidratação das partículas cimentícias, mesmo com o aumento da porcentagem de papel. Fica evidenciado, portanto, que ocorre um grande crescimento logo nas idades iniciais (intervalo de 7 aos 14 dias de idade). Crescimento este que é facilmente visualizado observando as inclinações das retas.

Assim, o crescimento além de ser de grande intensidade nas fases iniciais, também é visivelmente perceptível ao longo de todo o processo de cura do concreto.

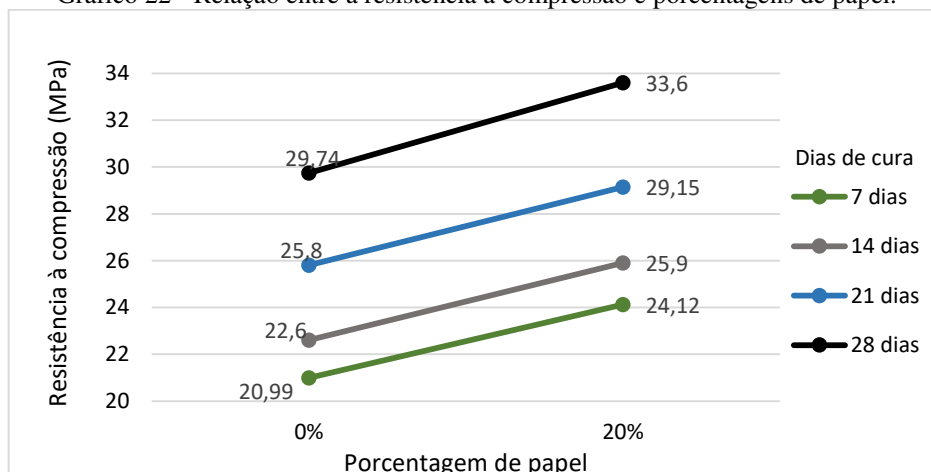
Gráfico 21 - Relação entre a resistência à compressão e idades de cura.



Fonte: AUTOR, 2018.

O gráfico 22, pertencente a este estudo relaciona a resistência à compressão com porcentagens de papel. Assim, analisando este gráfico, observa-se que possui o comportamento semelhante ao estudo II. O aumento da resistência também é gradativo e quase que constante à medida que a porcentagem de papel aumenta, apresentando um gráfico totalmente linear, sem curvas. Esta observação confirma que a adição do papel realmente foi essencial para o ganho de resistência à compressão do concreto. Excluindo assim a hipótese de aumento de resistência devido apenas a boa compactação ou até mesmo ao bom acabamento das superfícies dos corpos de prova cilíndricos.

Gráfico 22 - Relação entre a resistência à compressão e porcentagens de papel.



Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 10 - Comparação das resistências do estudo I e II.

	Resistência (MPa)		Idade (dias)
	Concreto Padrão	Concreto 20 %	
<b>ESTUDO I</b> <b>(1:2:3:0,6)</b>	12,8	18,8	7 dias
	13,8	20,7	14 dias
	16,7	22,91	21 dias
	20,5	25,16	28 dias
<b>ESTUDO II</b> <b>(1:2:3:0,45)</b>	20,99	24,12	7 dias
	22,6	25,9	14 dias
	25,8	29,15	21 dias
	29,74	33,6	28 dias

Fonte: AUTOR, 2018.

#### 4.2.2 Absorção

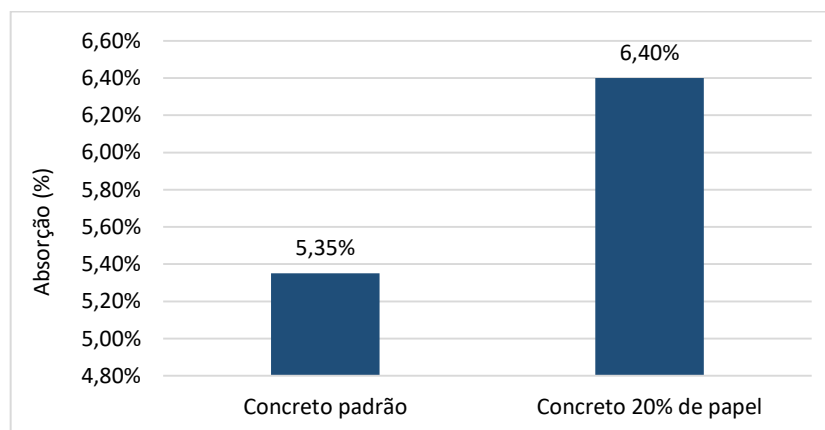
Para o estudo II também foram utilizadas amostras de 3 corpos de prova para cada traço: concreto padrão e concreto de 20% de papel reciclado, totalizando 6 corpos de prova. Lembrado que o resultado final também foi a média entre os três valores de cada traço. Como a norma não especifica qual a data exata para realização do ensaio, optou-se por realizar logo após a desmoldagem. Os resultados estão representados na tabela 11 e gráficos 23 e 24.

Tabela 11 - Absorção para o estudo II.

Absorção	
Concreto padrão	5,35%
Concreto 20% de papel	6,40%

Fonte: AUTOR, 2018.

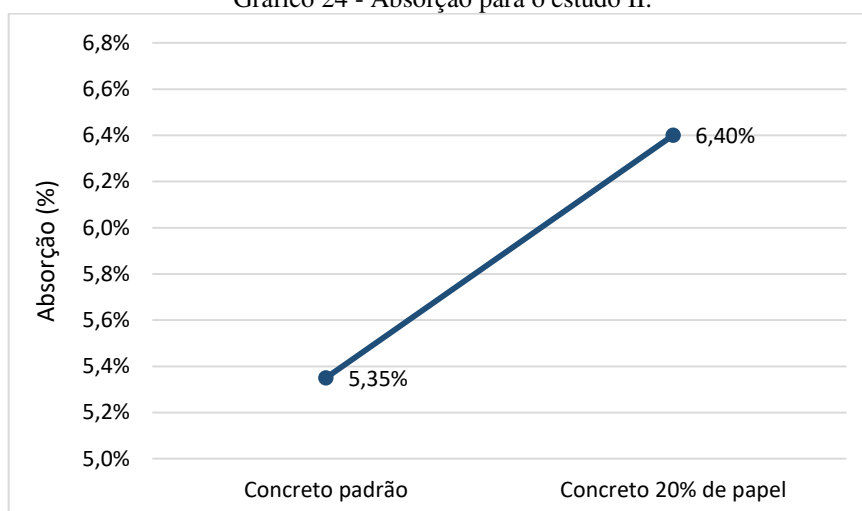
Gráfico 23 - Absorção para o estudo II.



Fonte: AUTOR, 2018.



Gráfico 24 - Absorção para o estudo II.



Fonte: AUTOR, 2018.

A análise dos resultados obtidos demonstra que o concreto padrão (sem adição do papel) apresentou uma absorção média de 5,35% aos 28 dias. Por outro lado, o concreto com adição de 20% de papel apresentou uma absorção de 6,40%. Sendo assim, houve uma diferença de apenas 1,05% de absorção entre os materiais analisados. Observa-se, portanto, que com a diminuição do fator  $a/c$  ocorreu a diminuição da porcentagem da absorção aos 28 dias se comparado com o fator  $a/c$  de 0,6, uma vez que este apresentou uma absorção de 8,31% aos 28 dias. Destaca-se, portanto, que com um fator  $a/c$  de 0,45 e com 20% de adição do papel reciclado, a resistência continuou aumentando, portanto, para esse parâmetro, deduz-se que ocorreu a hidratação de todas as partículas do cimento e o comportamento do concreto foi semelhante ao estudo I.

#### 4.2.3 Consistência

Para o estudo II, o ensaio de abatimento de tronco de cone resultou em um abatimento próximo a 0 cm. Isso ocorreu devido a capacidade de absorção do papel e da aderência das fibras celulósicas, como explicado nos resultados do estudo II. Como houve uma diminuição do fator  $a/c$  de 0,6 (estudo I) para 0,45 (estudo II), o Slump no concreto fresco de 20% diminuiu de 2 cm (estudo I) para 0 cm (estudo II). Apesar da perda da trabalhabilidade, o concreto fresco do estudo II foi o que mais se assemelhou com o concreto virado para a produção dos blocos de pavimento intertravado pré-moldados, que pode ser analisado nos resultados do estudo III.

### 4.3 Estudo III (Blocos de concreto)

Depois de analisados os resultados do estudo II, observou-se que o concreto estudado apresentou características do concreto utilizado na produção de blocos. Lembrando que os valores apresentados neste item são resultados da avaliação do comportamento dos blocos de concreto moldados a partir das composições que apresentaram melhores resultados nos estudos em corpos de prova cilíndricos, que no caso foi o concreto com 20% da adição de papel reciclado.

#### 4.3.1 Ensaio de resistência à compressão axial

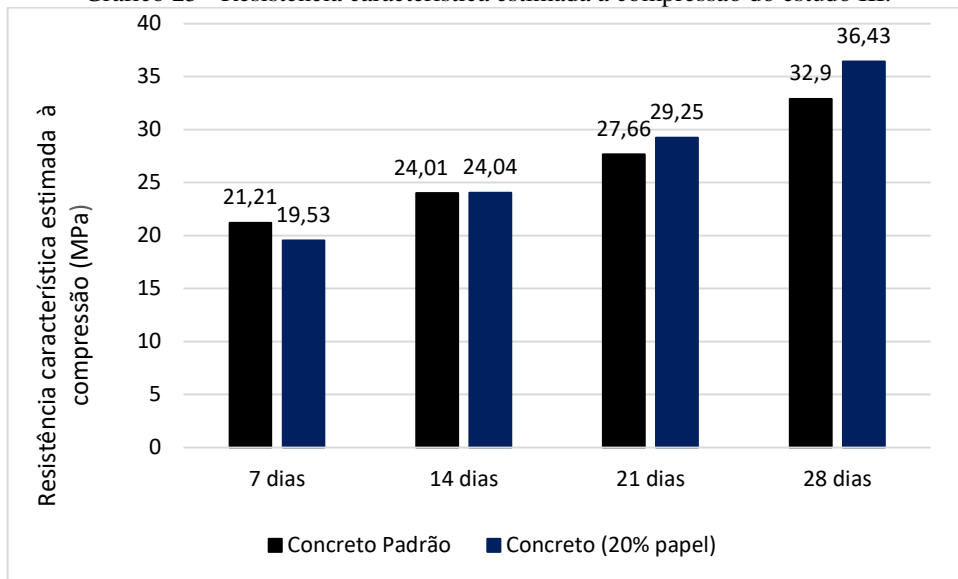
Neste terceiro estudo foram rompidos 24 blocos de concreto para cada traço (totalizando 48): 0% de papel e 20%. Destaca-se que a resistência final para um determinado dia é a resistência característica estimada à compressão ( $f_{pk,est}$ ) e é resultado de uma série de cálculos determinados pela NBR 9781:2013, que foram detalhados na metodologia desta pesquisa. Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial do estudo III estão apresentados na tabela 12 e no gráfico 25.

Tabela 12 - Resistência característica estimada à compressão do estudo III.

Idade (dias)	Resistência característica estimada à compressão (MPa)	
	Concreto Padrão	Concreto (20% papel)
7 dias	21,21	19,53
14 dias	24,01	24,04
21 dias	27,66	29,25
28 dias	32,9	36,43

Fonte: AUTOR, 2018.

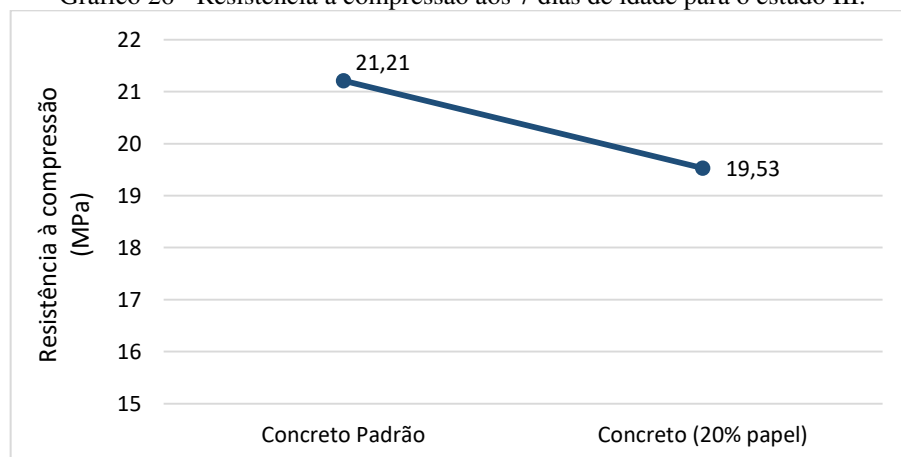
Gráfico 25 - Resistência característica estimada à compressão do estudo III.



Fonte: AUTOR, 2018.

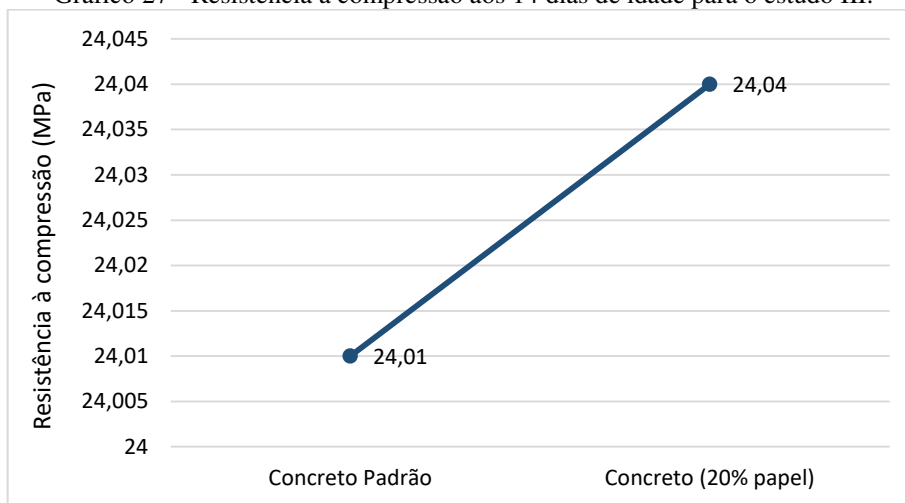
Pelos resultados apresentados na tabela 12 e no gráfico 25 observa-se que, aos 7 dias, a adição de papel reciclado na proporção de 20% de papel apresentou uma queda de 7,92 % em relação a resistência característica do concreto padrão. Aos 14 dias, a adição de papel reciclado no concreto na mesma proporção de 20 % do volume de cimento apresentou um acréscimo de 0,12 % em relação ao concreto padrão (sem adição do papel reciclado). Já para 21 dias e 28 dias, o acréscimo foi de 5,74 % e 10,73%, respectivamente. Para melhor avaliar o crescimento da resistência para esse estudo, tem-se os gráficos 26, 27, 28 e 29 abaixo, que analisa o comportamento individual dos dias de cura.

Gráfico 26 - Resistência à compressão aos 7 dias de idade para o estudo III.



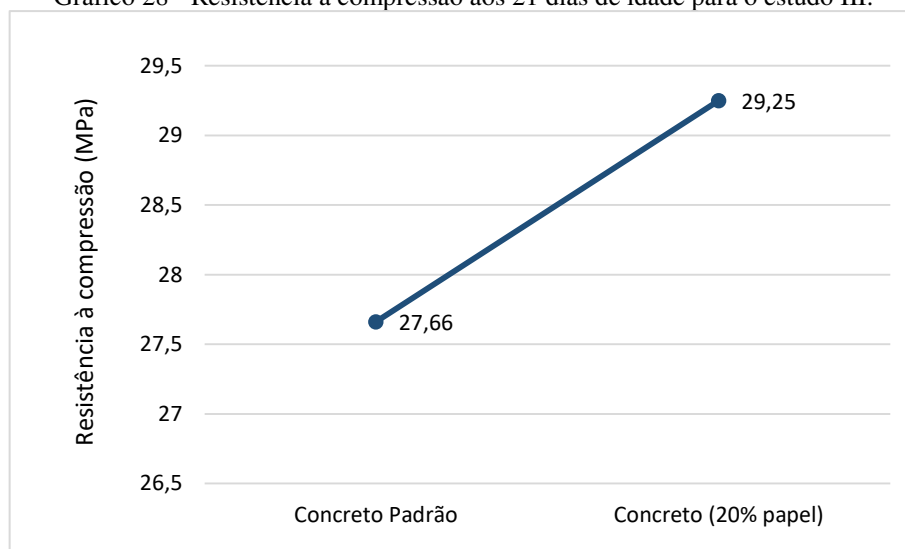
Fonte: AUTOR, 2018.

Gráfico 27 - Resistência à compressão aos 14 dias de idade para o estudo III.



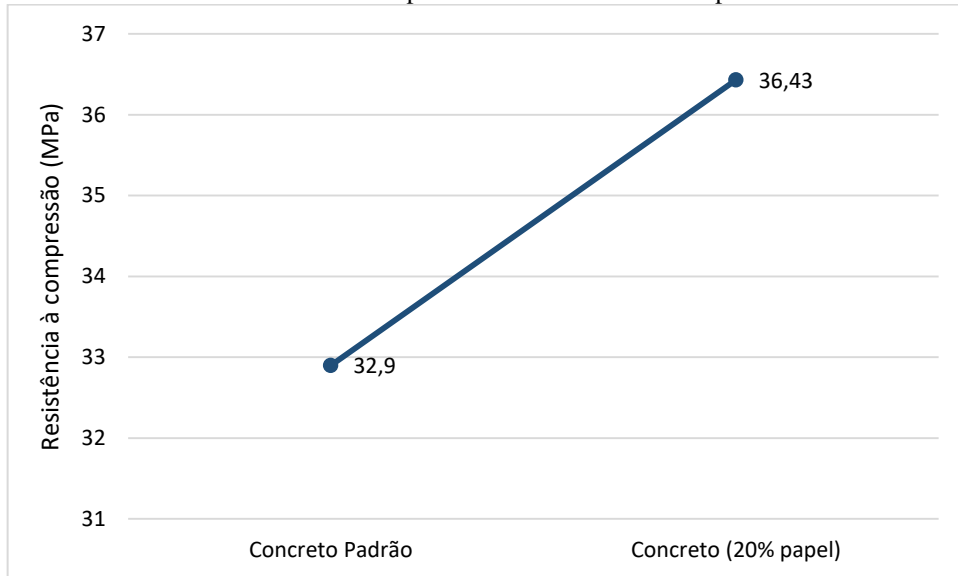
Fonte: AUTOR, 2018.

Gráfico 28 - Resistência à compressão aos 21 dias de idade para o estudo III.



Fonte: AUTOR, 2018.

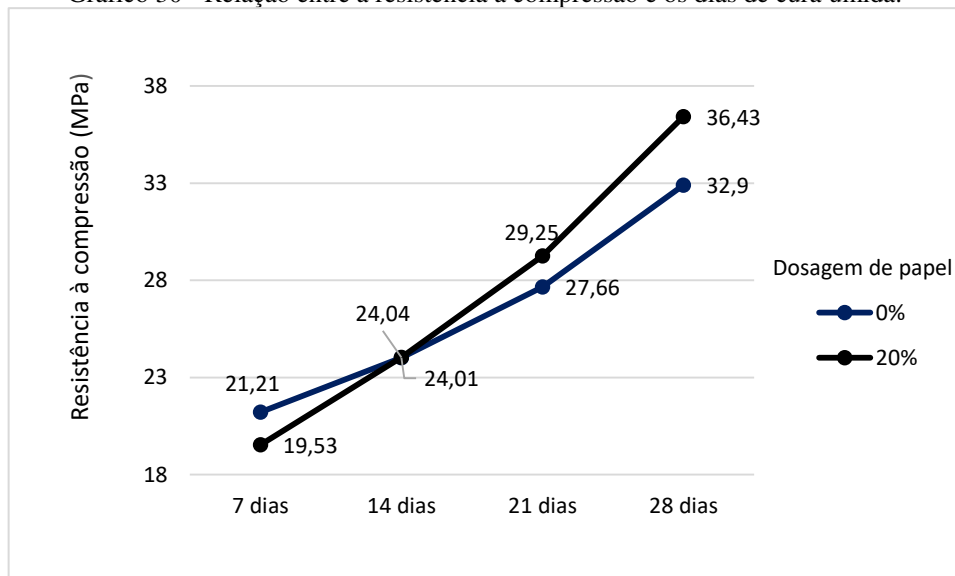
Gráfico 29 - Resistência à compressão aos 28 dias de idade para o estudo III.



Fonte: AUTOR, 2018.

Ao analisar a evolução do aumento da resistência em relação aos dias de cura no gráfico 30, observa-se que para todas as porcentagens o aumento foi evidente, exceto para os 7 dias, onde houve uma pequena queda. Confirma-se ainda que a medida que os dias de cura foram passando, ocorreu a devida hidratação das partículas cimentícias, mesmo com o aumento da porcentagem de papel. Fica evidenciado, portanto, que ocorre crescimento na resistência cada idade ensaiada. Crescimento este que é facilmente visualizado observando as inclinações das retas.

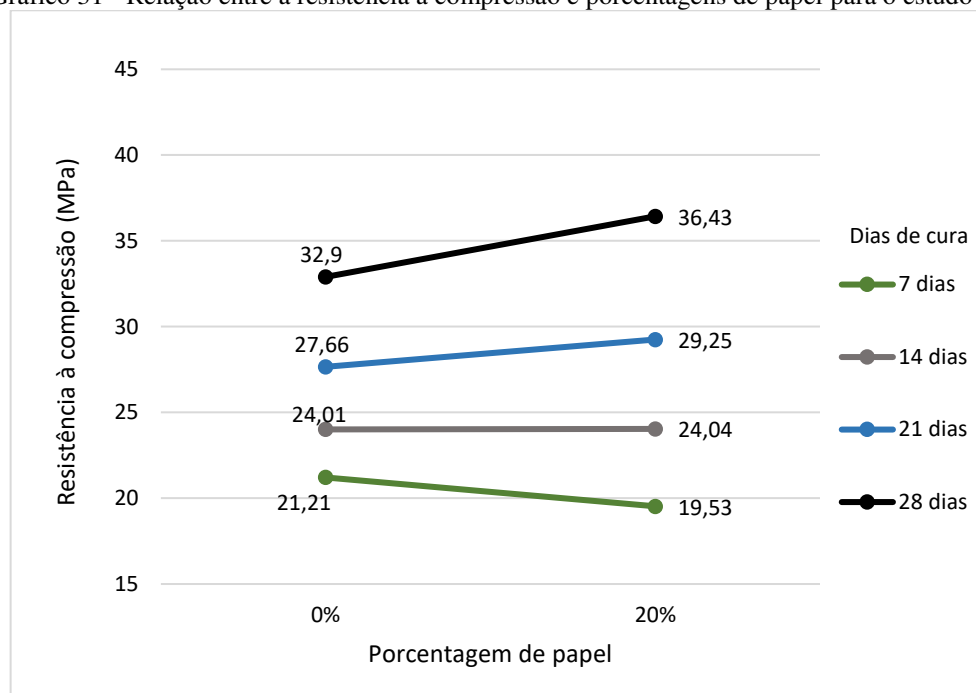
Gráfico 30 - Relação entre a resistência à compressão e os dias de cura úmida.



Fonte: AUTOR, 2018.

O gráfico 31 pertencente a este estudo relaciona a resistência à compressão com porcentagens de papel. Assim, analisando este gráfico, observa-se que possui o comportamento semelhante aos outros estudos realizados. Em síntese, prevalece o aumento da resistência que também é gradativo e quase que constante à medida que a porcentagem de papel aumenta, apresentando um gráfico totalmente linear, sem curvas. Esta observação confirma que a adição do papel realmente foi essencial para o ganho de resistência à compressão do concreto. Excluindo assim a hipótese de aumento de resistência devido apenas a boa compactação, por exemplo.

Gráfico 31 - Relação entre a resistência à compressão e porcentagens de papel para o estudo III.



Fonte: AUTOR, 2018.

Os gráficos acima mostram que a resistência do concreto se comportou de forma quase constante e crescente, exceto no gráfico 26, onde ocorreu uma pequena queda que será explicada mais adiante. Destaca-se que neste estudo, o comportamento foi semelhante ao estudo I e estudo II, porém com valores maiores de resistência.

A pequena queda na resistência aos 7 dias de idade pode ser justificada pelo mesmo motivo da queda de resistência no estudo I, além de que o capeamento realizado nos blocos foi improvisado, uma vez que o LABCOM não ofereceu recursos adequados para o capeamento correto do bloco, podendo então, ter afetado na diminuição da resistência. Outro fato que pode ter ocorrido é a homogeneidade dos materiais. Muitas vezes a mistura na betoneira não é igual

para todas as betonadas realizadas, podendo assim, ocorrer pequenos erros, fazendo com que a mistura não fique totalmente igual para a produção de todos os blocos.

Logo, apesar de uma pequena queda aos 7 dias, a resistência aumentou gradativamente com o passar do tempo. Aos 28 dias, por exemplo, o bloco fabricado com papel atingiu 36,43 MPa, ultrapassando o limite mínimo de 35 MPa para as solicitações de tráfegos de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, conforme especificações da ABNT NBR 9781:2013. Assim, este bloco é totalmente viável tecnicamente em relação a sua resistência para uso em locais com tráfego de carros e pedestres.

Sabe-se que o acréscimo da resistência com a adição do papel é explicado pelos mesmos motivos expostos nos resultados dos outros dois estudos. Neste resultado, o que vale a pena ser destacado é que apesar de os materiais possuírem as mesmas características do estudo II (traço de 1:2:3:0,45), a resistência tanto do concreto padrão quanto do concreto com 20% de papel foram maiores, como mostra a tabela 13.

Tabela 13 - Comparação das resistências do estudo II e III.

	Resistência estimada (MPa)		Idade (dias)
	Concreto Padrão	Concreto 20 %	
<b>ESTUDO II (1:2:3:0,45)</b>	20,99	24,12	7 dias
	22,6	25,9	14 dias
	25,8	29,15	21 dias
	29,74	33,6	28 dias
<b>ESTUDO III (1:2:3:0,45)</b>	21,21	19,53	7 dias
	24,01	24,04	14 dias
	27,66	29,25	21 dias
	32,9	36,43	28 dias

Fonte: AUTOR, 2018.

As diferenças observadas podem ser justificadas, dentre outros fatores, pelas características intrínsecas de cada elemento e pela dispersão dos resultados individuais dos blocos. As características intrínsecas podem ser representadas por exemplo, pelo formado de cada material de estudo. Os blocos, por exemplo, apresentam uma área de aplicação de força diferente da que é aplicada em corpos de prova cilíndricos. O cálculo da resistência deles é realizado com base nas suas dimensões, através do fator multiplicativo “p”, além do coeficiente de student, que é determinado de acordo com a quantidade de amostra estudada. Sendo assim, chega-se à conclusão que para avaliar o concreto de blocos de pavimento intertravado, a análise deste concreto em corpos de prova cilíndrico não é recomendável, uma vez que de acordo com

os resultados obtidos nesta pesquisa, as resistências apresentaram dados diferentes. Assim, para analisar o real comportamento do concreto, deve-se estudar ele no formato de sua aplicação.

#### 4.3.2 Ensaio de Absorção

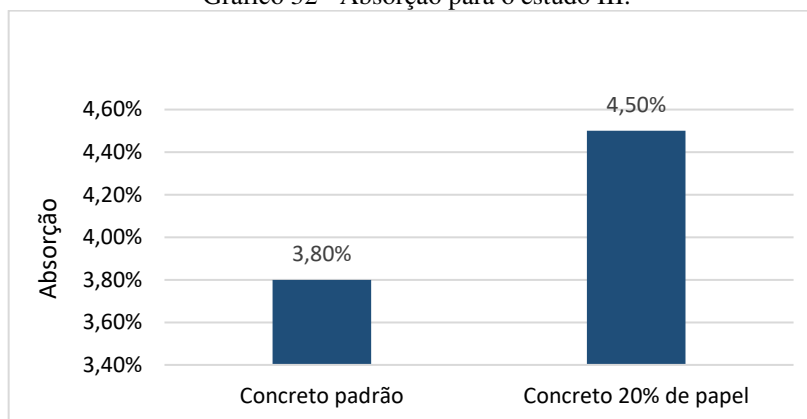
Para o estudo III foram utilizadas amostras de 6 corpos de prova para cada traço: concreto padrão e concreto de 20% de papel reciclado, totalizando 12 corpos de prova. Lembrado que o resultado final foi a média entre os três valores de cada traço. Como a norma não especifica qual a data exata para realização do ensaio, optou-se por realizar logo após a desmoldagem. Os resultados estão representados na tabela 14 e gráfico 32.

Tabela 14 - Absorção para o estudo III.

<b>Absorção</b>	
<b>Concreto padrão</b>	3,80%
<b>Concreto 20% de papel</b>	4,50%

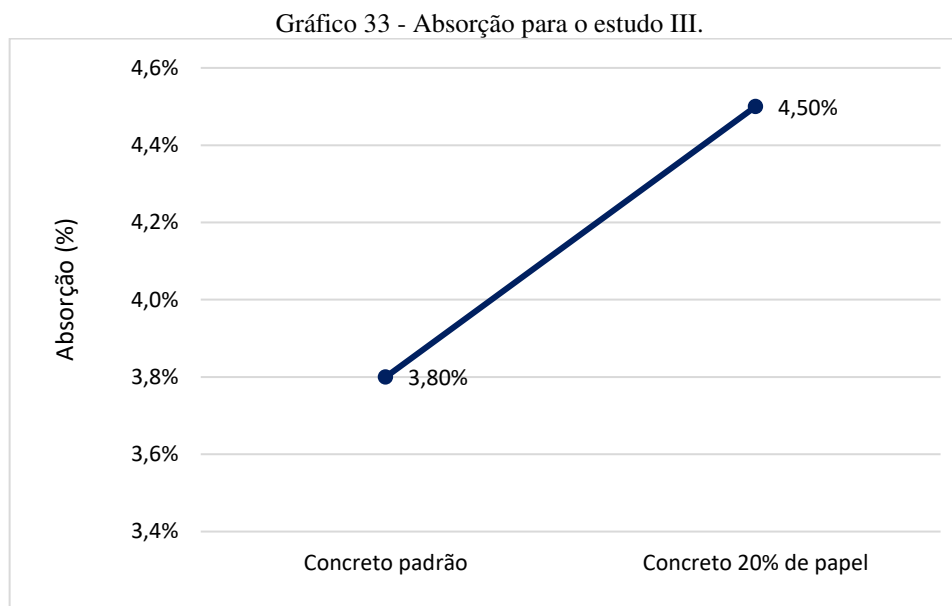
Fonte: AUTOR, 2018.

Gráfico 32 - Absorção para o estudo III.



Fonte: AUTOR, 2018.





Fonte: AUTOR, 2018.

A análise dos resultados obtidos demonstra que o concreto padrão (sem adição do papel) apresentou uma absorção média de 3,8%. Por outro lado, o concreto com adição de 20% de papel apresentou uma absorção de 4,5%. Sendo assim, houve uma diferença de apenas 0,7% de absorção entre os materiais analisados. Diferença quase que desprezível. Percebe-se que mesmo com o mesmo traço do estudo II, a absorção resultou em valores diferentes. Isso se deve ao fato de que as características intrínsecas são diferentes, como por exemplo, o formato da peça. Logo, esse resultado ratifica o fato de que para avaliar concreto para blocos, este deve ser avaliado no formato dos blocos e não no formato de corpos de prova cilíndricos.

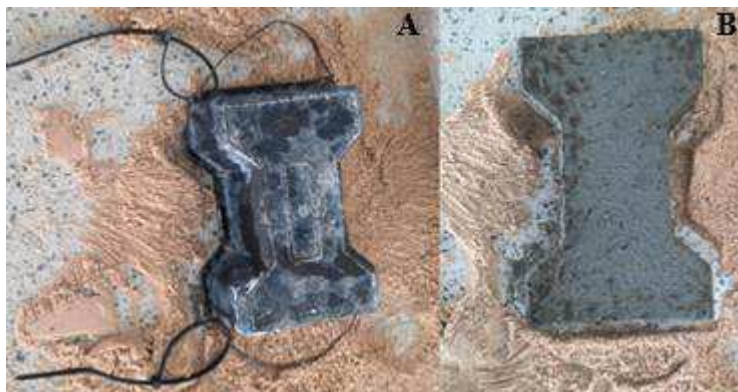
De acordo com a NBR ABNT 9781:2013, a amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não podendo ser aceito nenhum valor individual maior do que 7 %, o que ocorreu com o bloco estudado.

#### 4.3.3 Ensaio de consistência (Slump Test)

Para o estudo III, o ensaio de abatimento de tronco de cone resultou em um abatimento próximo a 0 cm, semelhante ao estudo II. Isso ocorreu devido a capacidade de absorção do papel e a capacidade de promover uma maior aderência entre os materiais da mistura. Apesar da perda da trabalhabilidade, o concreto fresco do estudo II e III foi o que mais se assemelhou com o concreto virado para a produção dos blocos de pavimento intertravado pré-moldados.

Ao aplicar este concreto em formas de blocos e realizar o desmolde momentos depois da moldagem, o concreto se moldava de forma correta, sem escorregamentos, como ocorria com o slump de 2 cm. Dessa forma, a produção de blocos foi mais rápida, além do aumento da resistência. Abaixo, a figura 64 demonstra como foi a desmoldagem do concreto logo após a moldagem para esse estudo.

Figura 64 – Desmoldagem do bloco. (A): início da desmoldagem (B): bloco já desmoldado.



Fonte: AUTOR, 2018.

#### 4.4 Análise dimensional dos blocos de concreto

Para que o bloco seja utilizado é necessário que ocorra a análise de suas dimensões. Tais dimensões devem estar de acordo com o permitido pela norma ABNT NBR 9781:2013. Para o ensaio de análise dimensional apresenta-se alguns dos resultados individuais nas tabelas 15, 16 e 17 abaixo, obtidos durante o ensaio realizado no LABCOM/UEMA. O ensaio foi realizado em 54 blocos de concreto. Sendo 27 com traço 1:2:3:0,45 (com 0% de papel) e 27 com traço 1:2:3:0,45 (com 20% de papel).

Tabela 15 - Análise dimensional em blocos que serão utilizados no ensaio de resistência à compressão (0% de papel).

Estudo	Traço / Fator a/c	Quantidade de papel	Dias de cura úmida	Bloco de concreto	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	IF (Índice de forma)
III	1:2:3 / 0,45	0%	7 dias	B1	250	150	80	3,125
				B2	250	150	77	3,25
				B3	252	150	80	3,15
				B4	250	149	80	3,125
				B5	249	150	80	3,112
				B6	250	150	80	3,125
			14 dias	B7	251	148	79	3,17
				B8	250	150	80	3,125
				B9	250	150	80	3,125
				B10	248	148	83	2,98
				B11	250	150	80	3,125
				B12	249	150	80	3,112
			21 dias	B13	250	150	80	3,125
				B14	250	150	80	3,125
				B15	250	150	80	3,125
				B16	251	149	79	3,17
				B17	250	150	80	3,125
				B18	250	150	80	3,125
			28 dias	B19	249	148	78	3,2
				B20	250	150	80	3,125
				B21	251	147	80	3,13
				B22	249	150	82	3,04
				B23	250	150	80	3,125
				B24	251	150	80	3,13

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 16 - Análise dimensional em blocos que serão utilizados no ensaio de resistência à compressão (20% de papel).

Estudo	Traço / Fator a/c	Quantidade de papel	Dias de cura úmida	Bloco de concreto	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	IF (Índice de forma)
III	1:2:3 / 0,45	20%	7 dias	B25	250	150	80	3,125
				B26	250	150	80	3,125
				B27	252	150	80	3,15
				B28	250	149	80	3,125
				B29	249	150	80	3,112
				B30	250	150	80	3,125
			14 dias	B31	250	150	80	3,125
				B32	250	150	80	3,125
				B33	250	150	80	3,125
				B34	250	150	80	3,125
				B35	250	150	80	3,125
				B36	250	150	80	3,125
			21 dias	B37	251	148	79	3,17
				B38	250	150	80	3,125
				B39	250	150	80	3,125
				B40	248	148	83	2,98
				B41	250	150	80	3,125
				B42	250	150	80	3,125
28 dias	B43	250	150	80	3,125			
	B44	251	147	80	3,13			
	B45	249	150	80	3,112			
	B46	250	150	80	3,125			
	B47	251	150	80	3,13			
	B48	250	150	80	3,125			

Fonte: AUTOR, 2018.

Tabela 17 - Análise dimensional em blocos que serão utilizados no ensaio de absorção (0% e 20% de papel).

Estudo	Traço / Fator a/c	Quantidade de papel	Bloco de concreto para absorção	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	IF (Índice de forma)
III	1:2:3 / 0,45	0%	B49	249	150	80	3,112
			B50	250	150	80	3,125
			B51	252	150	80	3,15
	1:2:3 / 0,45	20%	B52	250	149	80	3,125
			B53	249	150	80	3,112
			B54	250	150	80	3,125

Fonte: AUTOR, 2018.

Como relatado na revisão bibliográfica, a medida do comprimento deve ser de no máximo 250 mm, a largura deve ser no mínimo de 87 mm e a espessura deve possuir no mínimo 60 mm., com tolerância de  $\pm 3$  mm para ambas as medidas. Além do IF (índice de forma), que para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser menor ou igual a 4.

Analisando as tabelas acima, tem-se que a maioria das dimensões dos blocos são àquelas iguais às formas de plástico (250 x 150 x 80). Porém, observa-se que alguns resultados se apresentam diferentes, como por exemplo, os blocos B2, B3, B4, B5, B10, B16, B 21, B28, B37, entre outros. Percebe-se, no entanto, que essas divergências não são tão significantes, uma vez que a norma estabelece tolerância de 3 mm para mais ou para menos. Além de que o valor do índice de forma permaneceu menor que 4.

Portanto, os resultados obtidos quanto a análise dimensional, permitem afirmar que os blocos de concreto das amostras analisadas (54 blocos, sendo 27 com 0% de papel e 27 com 20% de papel prontos para serem ensaiados quanto a compressão e a absorção), estão de acordo com as especificações dimensionais exigidas pela ABNT NBR 9781:2013. Logo, pode-se inferir que não ocorreu interferência significativa da adição de papel reciclado, independente de teor utilizado, nos traços avaliados para este ensaio e que os blocos estão aptos a realizarem os outros ensaios.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este estudo buscou analisar e avaliar a viabilidade técnica do concreto com adição de papel reciclado para blocos de pavimentação intertravada, através do comportamento de algumas propriedades do material, como por exemplo, a resistência à compressão axial, a absorção e a consistência. Ambas as propriedades foram analisadas através de um comparativo entre um concreto padrão e um concreto adicionado de papel em 5%, 10%, 15% e 20% do volume do cimento.

- **RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

A partir dos estudos elaborados, conclui-se que a adição do papel reciclado no concreto interferiu nos resultados das propriedades analisadas neste projeto. Para o estudo I (realizado em corpos de prova cilíndricos), por exemplo, que possuía o traço de 1:2:3:0,6 e adições de papel em porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20%, observou-se que a medida que a porcentagem de papel aumentava, a resistência à compressão também aumentava.

Aos 7 dias de idade, por exemplo, as resistências para o concreto padrão e 5%, 10%, 15% e 20% de papel foram respectivamente, 12,8, 12,93, 14,7, 16,5 e 18,8 MPa. Já aos 28 dias, os valores tiveram grandes crescimentos, chegando a 20,5 MPa, 19,6, 21,19, 23,6 e 25,16 MPa. Fato esse justificado pelo preenchimento dos vazios causado pelo pó da matéria prima (papel) e pelotas de papel, o que permitiu um melhor empacotamento da mistura, melhorando a compactação e conseqüentemente aumentando a resistência. Logo, como pode ser visto, os valores da resistência do concreto com 20% de papel foram os melhores. Portanto, esta porcentagem foi a escolhida para ser utilizada no estudo II. Claro que em relação às outras propriedades, essa porcentagem também apresentou resultados satisfatórios, como será visto mais adiante.

Já em relação ao estudo II, que foi realizado com um traço de 1:2:3:0,45, observou-se um crescimento satisfatório na resistência. Para o concreto padrão, aos 28 dias, a resistência atingiu 29,74 MPa, enquanto que para o concreto adicionado de papel reciclado, atingiu 33,6 MPa, ou seja, o papel mais uma vez provou ser responsável pelo aumento da resistência do concreto. Sabe-se que apesar da redução do fator ac (de 0,6 no estudo I para 0,45 no estudo II) ter favorecido para o ganho de resistência, o papel também foi de fundamental importância devido a sua atuação no preenchimento dos vazios. Vale destacar também que apesar da redução do fator ac, a quantidade de água ainda foi suficiente para hidratar todas as partículas cimentícias.

E por fim, tem-se o estudo III. Para esse estudo, em relação ao concreto padrão, a resistência atingida aos 28 dias foi de 32,9 MPa, enquanto que o concreto adicionado de 20% de papel apresentou valores de 36,43 MPa. Em relação ao estudo II, houve um pequeno aumento de 2,83 MPa para os 28 dias do concreto adicionado de papel (20%). Apesar de possuírem o mesmo traço (1:2:3:0,45), a diferença na resistência se deu devido às características intrínsecas de cada material, ou seja, o concreto do estudo II foi analisado em corpos de provas cilíndricos, já o do estudo III, foi analisado em blocos de pavimento. Assim, chega-se à conclusão que para analisar um concreto que será utilizado em blocos de pavimento, é mais recomendável que se analise o formato da sua aplicação e não somente corpos de prova cilíndricos.

Dessa forma, aos 28 dias, o bloco fabricado com papel atingiu 36,43 MPa e ultrapassou o limite mínimo de 35 MPa para as solicitações de tráfegos de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, conforme especificações da ABNT NBR 9781:2013. Assim, este bloco é totalmente viável tecnicamente em relação a sua resistência para uso em locais com tráfego de carros e pedestres.

- **ABSORÇÃO**

Para a absorção, à medida que a porcentagem de papel aumentava, a absorção do concreto também aumentava. Apesar de ser um fator que geralmente contribui para redução da resistência, para a pesquisa em questão o aumento da absorção surtiu um efeito contrário. Por possuir uma maior absorção, ocorreu uma melhor aderência entre a pasta e os agregados, melhorando a compactação, permitindo assim o aumento da resistência.

Para o estudo I, os valores de absorção do concreto padrão e adicionado de papel foram respectivamente 7,74% e 8,31%, apresentando uma diferença de apenas 0,57%. Para o estudo dois, tais valores foram de 5,35% e 6,4%, com diferença de 1,05%. E para o estudo III, os valores foram de 3,8% e 4,5%, com uma diferença de 0,7%. Os resultados mostram que para ambos os estudos a adição do papel fez com que a absorção aumentasse, porém, não o bastante para afetar na diminuição da resistência.

Destaca-se que a medida que o fator ac foi diminuindo, os valores de absorção para ambos os concretos também diminuíram. Fato esse que demonstra realmente que o teor de água na mistura foi reduzido. Apesar de apresentarem o mesmo traço, o concreto do estudo III (blocos de pavimento) apresentaram valores menores. Isso se deve ao fato de que o formato do concreto é diferente, logo, mais uma vez fica provado que é recomendável realizar teste no formato da aplicação do concreto simples.

Assim, de acordo com a NBR ABNT 9781:2013, a amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não podendo ser aceito nenhum valor individual maior do que 7 %, o que ocorreu com o bloco estudado no estudo III. Portanto, em relação a absorção os blocos estão dentro dos limites estabelecidos pela norma.

- **CONSISTÊNCIA**

Para a consistência do concreto, no estudo I a adição de papel resulta na diminuição do abatimento. A diminuição do abatimento causa perda de trabalhabilidade que ocorreu devido a presença das fibras celulósicas do papel. Estas fibras aumentam a aderência da mistura, contribuindo assim, para obter uma mistura mais viscosa. Dessa forma, com o crescimento da viscosidade, a consistência conseqüentemente cresce também, portanto, reduz o abatimento. Em relação a esse estudo, a medida que a quantidade de papel aumentava, o abatimento diminua, chegando a 2 cm com concreto adicionado de 20%. Destaca-se que o concreto no estado fresco de 20% ficou visualmente próximo, mas não semelhante ao concreto utilizado (concreto virado) para fabricação de blocos.

Para o estudo II, o ensaio de abatimento de tronco de cone resultou em um abatimento próximo a 0 cm. Isso ocorreu devido a capacidade de absorção do papel e da aderência das fibras celulósicas, como explicado nos resultados do estudo II. Como houve uma diminuição do fator ac de 0,6 (estudo I) para 0,45 (estudo II), o Slump no concreto fresco de 20% diminuiu de 2 cm (estudo I) para 0 cm (estudo II). Apesar da perda da trabalhabilidade, o concreto fresco do estudo II foi o que mais se assemelhou com o concreto virado para a produção dos blocos de pavimento intertravado pré-moldado. O resultado para o estudo III foi igual ao II.

Ao aplicar este concreto em formas de blocos e realizar o desmolde momentos depois da moldagem, o concreto se moldava de forma correta, sem escorregamentos, como ocorria com o slump de 2 cm. Dessa forma, a produção de blocos foi mais rápida, além do aumento da resistência.

- **ANÁLISE DIMENSIONAL**

Em relação aos resultados da análise dimensional dos blocos, os resultados mostraram que todos os blocos foram aprovados e estavam de acordo com o determinado pela norma, ressaltando que não se detectou a interferência da adição do papel reciclado nas amostras ensaiadas.



Assim, os estudos apresentados provaram que a adição de papel reciclado em forma de pelotas é completamente viável para a produção de blocos de pavimento intertravado, uma vez que a resistência do bloco aos 28 dias de 36,43 MPa ficou dentro do limite estabelecido pela NBR 9781:2013, que é de 35 MPa. A absorção dos blocos e a análise dimensional também ficaram dentro dos limites estabelecidos e a consistência foi totalmente eficaz na produção do objeto de estudo.

Vale a pena destacar que a adição do papel, mesmo que em pequenas quantidades, alterou de forma positiva algumas das propriedades do concreto. Esta adição faz com que ocorra um ganho no volume de concreto, trazendo assim, mais economia para as obras civis e consequentemente, ainda tem grande importância no que tange à questão ambiental.

O produto, papel branco A4 mostrou-se com grande potencial para ser reciclado e empregado em compostos cimentícios, atribuindo assim uma destinação adequada para ele. Com a reciclagem de um material que geralmente causa um grande volume em lixões, intensificando a poluição, o seu uso acaba sendo uma solução sustentável aceitável e que contribui para a preservação do meio ambiente. Conclui-se também que o processo de reciclagem do papel A4 utilizado nesse trabalho mostrou-se viável (pela sua simplicidade) em escala de laboratório. Outro fator é a produção dos blocos, que foi completamente viável, uma vez que não necessitou de modificações significativas na linha de produção existente.

#### • **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se citar:

- Analisar outras propriedades, tais como: durabilidade, propriedades térmicas e acústicas, permeabilidade e resistência ao fogo;
- Estudar novos traços e novas porcentagens (maiores que 20%) de adição de papel na produção dos blocos;
- Analisar as propriedades do concreto com uso do papel em outro formato físico, como em tiras, por exemplo;
- Avaliar o desempenho do concreto adicionado de papel em outros dias de cura;
- Avaliar, quantitativamente, a redução do impacto ambiental ao utilizar esses resíduos;
- Analisar a viabilidade econômica da produção dos blocos com a adição do papel;
- Analisar a microestrutura do concreto com a adição do papel.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR 11768**. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- \_\_\_\_\_. **NBR 14931**. Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15900**. Água para amassamento do concreto - Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7211**. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7223**. Determinação da Consistência pelo abatimento do Tronco de Cone. SLUMP TEST. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9776**. Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9781**. Peças de concreto para pavimentação -Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 23**. Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 53**. Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 1. Ed. [S.I.]: [s.n], 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 67**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone Rio de Janeiro, 1998.
- ALMEIDA, L.C. **Concreto AU414 - Estruturas IV– Concreto armado**. São Paulo, 2002. Disponível: < <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2018.

ALVES, L. **Composição química do papel.** Disponível em: < <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/composicao-quimica-papel.htm> >. Acesso em: 20 jun. 2018.

BASÍLIO, F.A. **Considerações Gerais sobre a Dosagem do Concreto.** In: COLÓQUIO SOBRE DOSAGEM DO CONCRETO, maio de 1977, São Paulo. São Paulo: IBRACON, 1977.

BERNARDI, Tiago. **Laboratório de materiais de construção agregados.** 2006. Disponível em:<[http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmcc/materiais/mcc\\_ii\\_prof\\_tiago/Apostila%20MCC-II.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmcc/materiais/mcc_ii_prof_tiago/Apostila%20MCC-II.pdf)>. Acesso em: 15 de set. 2018.

BITTENCOURT, S.F. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição.** 2012. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável.** Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>>. Acesso em: 15 set. 2018.

CASTRO, C. **Piso intertravado: vantagens que vão muito além da estética.** São Paulo, 2013.

COUTO, J.A.S. et al. **O concreto como material de construção.** Sergipe, 2013.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento.** 2003. 281f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

DNER. ME 213. **Solos - determinação do teor de umidade: método de ensaio.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR. Rio de Janeiro, 1994.

ELLOVITCH, M.S. et al. **Sustentabilidade.** Ecodebate. Belo Horizonte, 2010.

FIORITI, C.F. et al. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 43-54, out./dez. 2007.

FREITAS, JOSÉ. **Materiais de construção (TC-031) agregados.** 2016. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/00/TC031\\_Agregados\\_.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/00/TC031_Agregados_.pdf)>. Acesso em: 20 Jun. 2018.

GUERRA, R.S.T. **A relação água cimento.** Disponível em: < <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/08/a-relacao-aguacimento-abrams.html>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Estatísticas da Indústria Brasileira de árvores.** São Paulo, 2018. Disponível em: < <http://iba.org/pt/> >. Acesso em: 30 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO - **IBRACON** (2009). Disponível em: < <http://www.site.ibracon.org.br/> >. Acesso em: 30 jan. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. IPAM. **Desmatamento da Floresta Amazônica**. 2016. Disponível em: < <http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2017/01/desmatamento-na-floresta-amazonica-cresceu-30-em-2016.html> >. Acesso em: 10 set. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Desmatamento da Floresta Amazônica**. Disponível em: < [http://www.cbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=4778](http://www.cbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4778)>. Acesso em: 10 set. 2018.

KOHL, Mauricio Angelo et al. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE EM CONCRETOS COM E SEM ADIÇÃO DE PRODUTOS DE PROTEÇÃO. **Seminário de Iniciação Científica**, p. 208.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI. 1994.

MOREIRA, Maria Rejane. **Natureza das interações celulose-água**. 2009. 83f. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

MULLER, R. M. **Avaliação de transmissão de esforços de pavimentos intertravados de blocos de Concreto**. 2005. 234f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

NEVES, M.R. et al. **A indústria de celulose e papel no Brasil**. Curitiba, 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução Salvador E. Giamamusso, 2ª ed. São Paulo, PINI, 1997.

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

O MUNDO DO CIMENTO. **Cimento no Brasil**. Disponível em: < <https://cimento.org/>> Acesso em: 22 mar. 2018.

O PAPEL. **Principais propriedades do papel**. Disponível em: < <https://www.celuloseonline.com.br/quais-sao-as-principais-propriedades-que-devem-ser-medidas-em-um-papel/>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

PEDROSO, F. L. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. **Revista Concreto & Construções**. 37. ed. São Paulo, 2009 Disponível em: < [http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/revista\\_concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf) > Acesso em: 30 jan. 2018.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1998.

PETTERMANN, R. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para pavimentação com Metacaulim e Sílica ativa**. 2006. 71 f. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PINHEIRO, L. M. et al., **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Cap. 1. São Carlos, 2007. Disponível em: <

[http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost\\_EESC\\_USP\\_Libanio.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2018.

PONTE, A.G. et al. **Manual técnico de piso intertravado de concreto**. Fortaleza, 2004.

RAY, C.C. **Reciclagem do papel**. Disponível em: < <https://noticias.uol.com.br/ciencia/ultimas-noticias/redacao/2010/12/24/quantas-vezes-um-papel-pode-ser-reciclado.htm>>. Acesso em: 20 set. 2018.

RECIPAC. **Reciclagem do papel**. Disponível em: < <http://recipac.pt/o-ciclo-do-papel/ciclo-do-papel/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

RESENDE, Carlos. **A forma de rompimento do CP é importante?** Disponível em: <<http://propriedadesdoconcreto.blogspot.com/2016/12/a-forma-de-rompimento-do-cp-e-importante.html>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

RESÍDUOS SÓLIDOS. **Reciclagem do papel**. Disponível em: < <https://portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-papel-2/> >. Acesso em: 16 ago. 2018.

RODRIGUES, E. C. **Concreto fresco e as suas propriedades**. Rio Grande do Norte, 2017. Disponível:< <https://www.webartigos.com/>> Acesso em: 10 jun. 2018.

SANTOS, V. R.S. **Análise do desempenho de pisos táteis, intertravados, produzidos com agregados de resíduos de construção civil – rcc e fibras de aço**. 2014. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

SCHWEITZER, V.R. **Origem do “lenho anormal de compressão” e efeitos sobre a qualidade da madeira de pinus taeda da região serrana de Santa Catarina**. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SILVA, D. et al. A importância da sustentabilidade para a sobrevivência das empresas. Empreendedorismo, gestão e negócios. **Goiânia**, v. 5, n. 5, p. 74-91, 2016. São Paulo, Guarulho, 2016.

SILVA, P.A.M. **Avaliação de alguns inibidores de corrosão do aço em concreto**. Natal, 78f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DO CIMENTO - SNIC. **Resultados preliminares**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: < <http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares-ver.php?id=22> >. Acesso em: 30 mar. 2018.

TANGO, C.E.S. **Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade**. 1 ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1984, v.1.

VARELA. **Materiais de construção**. Disponível: <<http://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/materiais-de-construcao>>. Acesso em: 30 Ago. 2018.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Cura do concreto**. Disponível em: < <https://www.votorantimcimentos.com.br/produtos/cimentos-tocantins/>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

YOSHIMURA, K. S. O.; YOSHIMURA, H. N.; WIEBECK, H. Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica à base de papel reciclado. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7, n. 2, 2012.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DA BRITA

Quadro 1 – Granulometria da brita

Diâmetros (mm)	Peso Retido(g)	Peso Acumulado (g)	Peso Passante (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Retida Acumulada (%)	Porcentagem Passante (%)
75	0	0	988,3	0	0	100
63	0	0	988,3	0	0	100
50	0	0	988,3	0	0	100
37,5	0	0	988,3	0	0	100
31,5	0	0	988,3	0	0	100
25	0	0	988,3	0	0	100
19	0	0	988,3	0	0	100
12,5	36,83	36,83	951,47	3,73	3,73	96,27
9,5	283,72	320,55	667,75	28,71	32,43	67,57
6,3	466,25	786,8	201,5	47,18	79,61	20,39
4,75	152,3	939,1	49,2	15,41	95,02	4,98
2,36	49,1	988,2	0,1	4,97	99,99	0,01
Fundo	0,1	988,3	0	0,01	100,00	0,00
Somatório	988,3			100,00		

Fonte: AUTOR, 2018.



## APÊNDICE B – GRANULOMETRIA DA AREIA

Quadro 2 – Granulometria da areia

Diâmetros (mm)	Peso Retido(g)		Peso Acumulado (g)	Peso Passante (g)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Acumulada (%)	Porcentagem Passante (%)
	Retido(g)	Acumulado (g)					
9,5	0	0	1926,1	0,00	0,00	100,00	
6,3	0,18	0,18	1925,92	0,01	0,01	99,99	
4,75	2,14	2,32	1923,78	0,11	0,12	99,88	
2,36	23,37	25,69	1900,41	1,21	1,33	98,67	
1,18	56,66	82,35	1843,75	2,94	4,28	95,72	
0,6	104,51	186,86	1739,24	5,43	9,70	90,30	
0,3	1238,24	1425,1	501	64,29	73,99	26,01	
0,15	352,4	1777,5	148,6	18,30	92,28	7,72	
Fundo	148,6	1926,1	0	7,72	100,00	0,00	
Somatório	1926,1			100,00			

Fonte: AUTOR, 2018.

## APÊNDICE C – ABSORÇÃO (ESTUDO I)

Quadro 3 – Absorção (padrão).

LEITURA NA BALANÇA	CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS (PADRÃO)	ABSORÇÃO	ABSORÇÃO MÉDIA
3390,2 g	MASSA SECA	7,87%	7,74%
3657,0 g	MASSA SATURADA		
3305,8 g	MASSA SECA	7,54%	
3555,2 g	MASSA SATURADA		
3380,2 g	MASSA SECA	7,82%	
3644,4 g	MASSA SATURADA		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 4 – Absorção (5% papel).

LEITURA NA BALANÇA	CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS (5 % PAPEL)	ABSORÇÃO	ABSORÇÃO MÉDIA
3560,0 g	MASSA SECA	7,75%	7,91%
3304,1 g	MASSA SATURADA		
3418,9 g	MASSA SECA	8,08%	
3695,1 g	MASSA SATURADA		
3426,4 g	MASSA SECA	7,92%	
3697,9 g	MASSA SATURADA		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 5 – Absorção (10% papel)

LEITURA NA BALANÇA	CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS (10 % PAPEL)	ABSORÇÃO	ABSORÇÃO MÉDIA
3292,0 g	MASSA SECA	8,29%	8,06%
3565,0 g	MASSA SATURADA		
3221,8 g	MASSA SECA	7,94%	
3477,7 g	MASSA SATURADA		
3346,18 g	MASSA SECA	7,96%	
3612,4 g	MASSA SATURADA		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 6 – Absorção (15% papel).

<b>LEITURA NA BALANÇA</b>	<b>CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS (15 % PAPEL)</b>	<b>ABSORÇÃO</b>	<b>ABSORÇÃO MÉDIA</b>
3399,2 g	MASSA SECA	8,05%	8,17%
3672,8 g	MASSA SATURADA		
3386,8 g	MASSA SECA	8,08%	
3659,6 g	MASSA SATURADA		
3363,53	MASSA SECA	8,38%	
3645,4 g	MASSA SATURADA		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 7 – Absorção (20% papel).

<b>LEITURA NA BALANÇA</b>	<b>CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS (20 % PAPEL)</b>	<b>ABSORÇÃO</b>	<b>ABSORÇÃO MÉDIA</b>
3363,6 g	MASSA SECA	8,50%	8,31%
3650,1 g	MASSA SATURADA		
3353,4 g	MASSA SECA	8,40%	
3634,7 g	MASSA SATURADA		
3280,2 g	MASSA SECA	8,03%	
3543,6 g	MASSA SATURADA		

Fonte: AUTOR, 2018.

## APÊNDICE D – ABSORÇÃO (ESTUDO II)

Quadro 8 – Absorção (20% papel).

LEITURA NA BALANÇA	CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS (20 % PAPEL)	ABSORÇÃO	ABSORÇÃO MÉDIA
3571,4 g	MASSA SECA	6,44%	6,40%
3801,4 g	MASSA SATURADA		
3545,4 g	MASSA SECA	6,28%	
3768,2 g	MASSA SATURADA		
3545,6 g	MASSA SECA	6,34%	
3770,3 g	MASSA SATURADA		

Fonte: AUTOR, 2018

Quadro 9 – Absorção (padrão).

LEITURA NA BALANÇA	CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS (PADRÃO)	ABSORÇÃO	ABSORÇÃO MÉDIA
3596,4 g	MASSA SECA	5,30%	5,35%
3787,0 g	MASSA SATURADA		
3614,0 g	MASSA SECA	5,40%	
3808,6 g	MASSA SATURADA		
3616,0 g	MASSA SECA	5,36%	
3809,6 g	MASSA SATURADA		

Fonte: AUTOR, 2018.

### APÊNDICE E – ABSORÇÃO (ESTUDO III)

Quadro 10 – Absorção (20% papel).

LEITURA NA BALANÇA	CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS (20% PAPEL)	ABSORÇÃO	ABSORÇÃO MÉDIA
5186,5 g	MASSA SECA	4,34%	4,50%
5412,0 g	MASSA SATURADA		
5159,1 g	MASSA SECA	4,38	
5385,1 g	MASSA SATURADA		
5211,9 g	MASSA SECA	4,86	
5465,4 g	MASSA SATURADA		

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 11 – Absorção (padrão).

LEITURA NA BALANÇA	CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS (PADRÃO)	ABSORÇÃO	ABSORÇÃO MÉDIA
5240,5 g	MASSA SECA	3,78%	3,80%
5438,3 g	MASSA SATURADA		
5154,2 g	MASSA SECA	3,81%	
5350,7 g	MASSA SATURADA		
5311,2 g	MASSA SECA	3,80%	
5513,0 g	MASSA SATURADA		

Fonte: AUTOR, 2018.

## APÊNDICE F – RESISTÊNCIAS DO ESTUDO I

Quadro 12 – Resistência à compressão do estudo 1.

Estudo	Agregado gráudo	Traço	Fator a/c	Quantidade de papel	Dias de cura úmida	Resistência à compressão (MPa)	
I	Brita 0	01:02:03	0,6	0%	7 dias	12,3	13,3
					14 dias	13,0	14,64
					21 dias	16,4	17
					28 dias	20,3	20,7
				5%	7 dias	12,8	13,06
					14 dias	14,3	14,9
					21 dias	16,9	17,14
					28 dias	19,5	19,7
				10%	7 dias	14,3	15,1
					14 dias	15,1	15,7
					21 dias	18,3	18,7
					28 dias	21,1	21,08
				15%	7 dias	16,2	16,8
					14 dias	19,4	19,88
					21 dias	21,2	22
					28 dias	23,2	24
				20%	7 dias	18,5	19,1
					14 dias	20,2	21,2
					21 dias	22,1	23,72
					28 dias	24,9	25,42

Fonte: AUTOR, 2018.

## APÊNDICE G – RESISTÊNCIAS DO ESTUDO II

Quadro 13 – Resistência à compressão do estudo 2.

Estudo	Agregado graúdo	Traço	Fator a/c	Quantidade de papel	Dias de cura úmida	Resistência à compressão (MPa)	
II	Brita 0	01:02:03	0,45	0%	7 dias	20,8	21,18
					14 dias	22,3	22,9
					21 dias	24,9	26,7
					28 dias	29,2	30,28
				20%	7 dias	24,01	24,23
					14 dias	25,7	26,1
					21 dias	28,9	29,4
					28 dias	33,2	34

Fonte: AUTOR, 2018.

## APÊNDICE H – RESISTÊNCIAS DO ESTUDO III

Quadro 14 – Resistência (padrão).

CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS (PADRÃO)		fpi (Mpa)	fp (Mpa)	(fp-fpi <sup>2</sup> )	t	s	fpk,est (Mpa)
7 DIAS	13,45	20,73	22,0	1,672711	0,92	0,884707	<b>21,21</b>
	13,96	21,52		0,253344			
	15,06	23,21		1,408178			
	14,68	22,63		0,368044			
	14,07	21,7		0,104544			
	14,5	22,35		0,106711			
		<b>SOMA</b>		3,913533			

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 15 – Resistência (padrão).

CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS (PADRÃO)		fpi (Mpa)	fp (Mpa)	(fp-fpi <sup>2</sup> )	t	s	fpk,est (Mpa)
14 DIAS	15,96	24,6	24,93333	0,111111	0,92	0,999393	<b>24,01389</b>
	15,6	24,04		0,798044			
	15,45	23,81		1,261878			
	16,2	24,97		0,001344			
	16,75	25,82		0,786178			
	17,1	26,36		2,035378			
		<b>SOMA</b>		4,993933			

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 16 – Resistência (padrão).

CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS (PADRÃO)		fpi (Mpa)	fp (Mpa)	(fp-fpi <sup>2</sup> )	t	s	fpk,est (Mpa)
21 DIAS	18,9	29,13	29,005	0,015625	0,92	1,456939	<b>27,66462</b>
	17,95	27,67		1,782225			
	19,1	29,44		0,189225			
	19,65	30,29		1,651225			
	19,85	30,6		2,544025			
	17,45	26,9		4,431025			
		<b>SOMA</b>		10,61335			

Fonte: AUTOR, 2018.



Quadro 17 – Resistência (padrão).

CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS (PADRÃO)		fpi (Mpa)	fp (Mpa)	(fp-fpi <sup>2</sup> )	t	s	fpk,est (Mpa)
28 DIAS	21,95	33,84	35,03117	1,418878	0,92	2,32002	32,89675
	23,4	36,071		1,081253			
	21,95	33,84		1,418878			
	23,65	36,466		2,058747			
	24,8	38,22		10,16866			
	20,6	31,75		10,76605			
		<b>SOMA</b>		26,91247			

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 18 – Resistência (20 % papel).

CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS ( 20 % PAPEL)		fpi (Mpa)	fp (Mpa)	(fp-fpi <sup>2</sup> )	t	s	fpk,est (Mpa)
7 DIAS	13,9	21,43	20,6	0,714025	0,92	1,142151	19,53
	14,5	22,35		3,115225			
	12,5	19,27		1,729225			
	12,95	20		0,342225			
	12,85	19,8		0,616225			
	13,4	20,66		0,005625			
		<b>SOMA</b>		6,52255			

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 19 – Resistência (20 % papel).

CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS ( 20 % PAPEL)		fpi (Mpa)	fp (Mpa)	(fp-fpi <sup>2</sup> )	t	s	fpk,est (Mpa)
14 DIAS	15,87	24,5	24,54833	0,002336	0,92	0,542307	24,04941
	16,1	24,81		0,068469			
	15,65	24,12		0,183469			
	15,78	24,32		0,052136			
	15,6	24,04		0,258403			
	16,34	25,5		0,905669			
		<b>SOMA</b>		1,470483			

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 20 – Resistência (20 % papel).

CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS ( 20 % PAPEL)		fpi (Mpa)	fp (Mpa)	(fp- fpi^2)	t	s	fpk,est (Mpa)
21 DIAS	20,5	31,6	30,34833	1,566669	0,92	1,19141	29,25224
	18,5	28,52		3,342803			
	19,95	30,75		0,161336			
	20,3	31,3		0,905669			
	19,95	30,6		0,063336			
	19,02	29,32		1,057469			
		<b>SOMA</b>		7,097283			

Fonte: AUTOR, 2018.

Quadro 21 – Resistência (20 % papel).

CORPOS DE PROVA INTERTRAVADOS ( 20 % PAPEL)		fpi (Mpa)	fp (Mpa)	(fp- fpi^2)	t	s	fpk,est (Mpa)
28 DIAS	24,06	37	36,93167	0,004669	0,92	0,543964	36,43122
	23,6	36,4		0,282669			
	23,58	36,35		0,338336			
	23,98	36,96		0,000803			
	24,2	37,03		0,009669			
	24,56	37,85		0,843336			
		<b>SOMA</b>		1,479483			

Fonte: AUTOR, 2018.