



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFRAESTRUTURA E
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO

MARÍLIA DE OLIVEIRA VIEIRA

**AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE AGREGADO MIÚDO RECICLADO NA PRODUÇÃO DE PEÇAS
PRE-MOLDADAS PARA PAVIMENTAÇÃO TIPO “PAVER”**

Belém - Pará

2021

MARÍLIA DE OLIVEIRA VIEIRA

**AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE AGREGADO MIÚDO RECICLADO NA
PRODUÇÃO DE PEÇAS PRE-MOLDADAS PARA PAVIMENTAÇÃO TIPO
“PAVER”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura.

Nome do orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza

Belém - Pará

2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)**

V657a Vieira, Marília de Oliveira.
Avaliação do emprego de agregado miúdo reciclado na
produção de peças pré-moldadas para pavimentação tipo
"paver" / Marília de Oliveira Vieira. — 2021.
11 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Infraestrutura e Desenvolvimento Energético, Tucuruí, 2021.

1. Concreto, agregado, reciclado, paver. I. Título.

CDD 620.136

MARÍLIA DE OLIVEIRA VIEIRA

**AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE AGREGADO MIÚDO RECICLADO NA
PRODUÇÃO DE PEÇAS PRE-MOLDADAS PARA PAVIMENTAÇÃO TIPO
“PAVER”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura.

Nome do Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza

Aprovada em 05 de fevereiro de 2021.

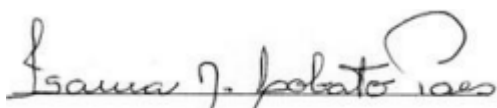
BANCA EXAMINADORA:



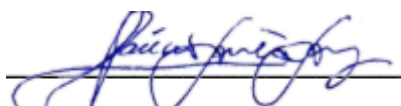
Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza - UFPA - Orientador



Prof. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro - UFPA - Examinadora



Prof. Dra. Isaura Nazaré Lobato Paes - UFPA - Examinadora



Prof. Dr. Laércio Gouvêa Gomes - UFPA – Examinador Externo



Prof. Msc. Luciana Carvalho Queiroz - UFRGS – Examinadora Externa

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Kátia Teresinha Ataíde de Oliveira e
Adilson Salgado Vieira. Pois sem eles,
eu não teria forças para prosseguir.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me abençoado em todos os momentos da minha vida e por sempre estar ao meu lado nos momentos mais difíceis. Sem Ele, NADA é possível. Ele é minha força e minha fortaleza.

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Souza, pela sua incansável e admirável orientação, pelo seu incentivo e parceria. E principalmente por me mostrar que desistir NÃO é uma opção mesmo diante às dificuldades impostas pela vida. Obrigada, Professor.

Aos meus pais e ao meu irmão João Paulo de Oliveira Vieira, que sempre me incentivaram e acreditaram em meu potencial. Obrigada por todo amor e confiança depositados a mim. Eu amo vocês.

Ao meu amor, Thiago Silva de Souza, por todo incentivo, dedicação e paciência. Obrigada por não me deixar desistir e por me mostrar que o estudo é sempre o melhor caminho. Eu amo você.

Aos meus admiráveis colegas de profissão Vitor Hiroshi, Gabriela Maciel, Maurílio Pimentel e Augusto Freitas por toda a ajuda prestada a mim durante a fase experimental desta pesquisa. Vocês foram de extrema importância. Obrigada.

Ao Técnico Joel, e toda equipe profissional do Laboratório de Engenharia Civil.

A Universidade Federal do Pará, em especial ao Programa de Pós Graduação em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético, por toda a estrutura disponibilizada para a realização desta pesquisa.

A empresa PREMAZON por ter me cedido o material e os equipamentos necessários para a realização desta pesquisa, sempre de maneira solidária e amigável. Muito obrigada.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Deixo aqui, os meus mais sinceros e humildes agradecimentos.

RESUMO

Em decorrência da grande geração de resíduos de construção e demolição e seu impacto negativo ao meio ambiente, torna-se necessário a busca por alternativas que reduzam tais impactos, assim como o consumo desregulado dos recursos naturais não renováveis. Esta pesquisa tem como objetivo a análise do desempenho mecânico e físico de *pavers* fabricados com a substituição parcial do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado. Os resíduos utilizados nessa pesquisa são provenientes de artefatos de concreto pré-moldado os quais apresentaram pequenas avarias e não foram aceitos por clientes. Tais resíduos passaram pelo processo de beneficiamento, os quais foram britados e peneirados resultando em materiais semelhantes ao seixo, areia e pedrisco. O material empregado nesta pesquisa foi o semelhante à areia. Em seguida foram confeccionados 7 traços, para cada grupo de resistência (25 MPa, 30 MPa, 35 MPa). Sendo: 1 traço de referência, 3 traços com 25% de substituição de agregado miúdo reciclado e 3 traços com 50% de substituição e suas respectivas taxas de pré-saturação de água (60%, 80% e 100%). Este segundo procedimento foi adotado no intuito de evitar a perda da trabalhabilidade do concreto, decorrente da grande quantidade de água absorvida pelo agregado reciclado. Seguindo das confecções dos concretos foram realizadas análises no seu estado fresco, como: coesão de mistura e trabalhabilidade. Em seguida foram produzidos *pavers* em equipamentos de vibroprensas. Após o endurecimento das peças, as mesmas passaram pelos ensaios de resistência à compressão (em idades de 7 e 28 dias) e absorção de água por imersão (aos 28 dias), conforme a norma específica NBR 9781 (ABNT, 2013). Os resultados adquiridos nestes ensaios foram tratados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA) de duas vias. Em relação ao ensaio de resistência a compressão, obteve-se resultados positivos os *pavers* pertencentes aos grupos de resistência de 25 e 30 MPa. Já as peças comparadas ao traço de referência de 35 MPa, não obtiveram desempenho satisfatórios. No que diz respeito ao ensaio de absorção imersão, todas as amostras fabricadas apresentaram taxas de absorção aceitas pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013).

Palavras-Chave: Resíduos de construção e demolição, agregado reciclado e *pavers*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Principais fontes de RCD no Brasil – SINDUSCON (2012).....	15
Figura 2.1 – Apresentação gráfica de materiais presentes no RCD – Silva <i>et al.</i> (2016).....	26
Figura 2.2 – Peças pré-moldadas com avarias, dispensadas pelo controle de qualidade ou por clientes- A autora (2017).....	30
Figura 2.3 – Concentração de usinas por Estado Brasileiro – ABRECON (2015).....	36
Figura 2.4 – Problemáticas para o uso de agregados reciclados – Silva <i>et al.</i> (2016).....	38
Figura 2.5 – Fluxograma de fabricação de <i>pavers</i>	47
Figura 3.1 – Curva granulométrica do agregado miúdo (areia).....	53
Figura 3.2 – Curva granulométrica do pedrisco.....	55
Figura 3.3 – Curva granulométrica do agregado graúdo.....	56
Figura 3.4 – Britador de mandíbula e material adquirido.....	58
Figura 3.5 – Peneiramento, aspecto da areia e do pedrisco reciclado.....	59
Figura 3.6 – Curva granulométrica do agregado reciclado.....	60
Figura 3.7 – Ensaio de absorção proposto por Leite (2001).....	61
Figura 3.8 – Vibroprensa e pré-saturação do material reciclado.....	66
Figura 3.9 – Dimensões dos <i>pavers</i> produzidos e peças produzidas.....	66
Figura 3.10 – <i>Pavers</i> fabricados e armazenados.....	67
Figura 3.11 – Ensaio de resistência à compressão.....	70
Figura 3.12 – Corpos de prova imersos em água, secagem dos CP's e balança.....	71
Figura 3.13 – Blocos na estufa.....	72
Figura 4.1 – Corpo de prova após ensaio de resistência à compressão.....	75
Figura 4.2 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 25 MPa, comparando as idades (7 e 28 dias).....	78
Figura 4.3 - Comportamento do concreto quanto à resistência à compressão – 25 MPa.....	79

Figura 4.4 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 30 MPa, comparando as idades (7 e 28 dias).....	83
Figura 4.5 - Comportamento do concreto quanto à resistência à compressão – 30 MPa.....	85
Figura 4.6 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 35 MPa, comparando as idades (7 e 28 dias).....	88
Figura 4.7 - Comportamento do concreto quanto à resistência à compressão – 35 MPa.....	89
Figura 4.8 - Comportamento do concreto quanto à taxa de absorção por imersão – 25 MPa.....	94
Figura 4.9 - Comportamento do concreto quanto à taxa de absorção por imersão – 30 MPa.....	98
Figura 4.10 - Comportamento do concreto quanto à taxa de absorção por imersão – 35 MPa.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Quantidade de RCD coletados no Brasil e suas respectivas regiões – ALBREPE (2013).....	28
Tabela 2.2 – Recomendações – Ângulo (2005).....	40
Tabela 3.1 – Características físico-químicas da composição do cimento - Votorantim Cimentos (2018).....	52
Tabela 3.2 – Características da areia.....	53
Tabela 3.3 – Características do pedrisco.....	54
Tabela 3.4 – Características do seixo.....	56
Tabela 3.5 – Características do agregado reciclado semelhante à areia.....	60
Tabela 3.6 – Taxa de absorção média do agregado miúdo reciclado.....	62
Tabela 3.7 – Traços unitários dos traços de referência.....	64
Tabela 3.8 – Traços confeccionados.....	64
Tabela 3.9 – Quantidade de corpos de prova para cada ensaio.....	69
Tabela 3.10 – Item A.4 da NBR 9781 (ABNT, 2013) (Fator multiplicativo “ <i>p</i> ”).....	70
Tabela 4.1 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 25 MPa.....	76
Tabela 4.2 – Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na resistência à compressão – 25 MPa.....	79
Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 30 MPa.....	82
Tabela 4.4 – Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na resistência à compressão – 30 MPa.....	84
Tabela 4.5 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 35 MPa.....	87
Tabela 4.6 – Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na resistência à compressão – 35 MPa.....	89

Tabela 4.7 - Resultados dos ensaios de absorção por imersão para o traço de referência de 25 MPa.....	92
Tabela 4.8 - Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na absorção por imersão – 25 MPa.....	93
Tabela 4.9 - Resultados dos ensaios de absorção por imersão para o traço de referência de 30 MPa.....	96
Tabela 4.10 - Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na absorção por imersão – 30 MPa.....	97
Tabela 4.11 - Resultados dos ensaios de absorção por imersão para o traço de referência de 35 MPa.....	100
Tabela 4.12 - Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na absorção por imersão – 35 MPa.....	101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

NBR – Norma Brasileira

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RC – Resíduos de Concreto

AMR – Agregado Miúdo Reciclado

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RS – Resíduos Sólidos

AR – Agregado Reciclado

AMN – Agregado Miúdo Natural

FR - Fator de Resistência

CP- Corpo de Prova

UE – União Européia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Considerações iniciais.....	17
1.2. Justificativa.....	20
1.3. Objetivo da pesquisa.....	20
1.4. Estrutura do Trabalho.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1. Meio Ambiente e Construção Civil.....	22
2.2. Resíduos da Construção.....	24
2.2.1. Resíduos da Construção e Demolição (RCD).....	24
2.2.2. Resíduos de Concreto (RC).....	29
2.3. Reciclagem de RCD.....	30
2.3.1. O processo de reciclagem de RCD e RC.....	33
2.4. Viabilização do Emprego de Agregado Reciclado na produção de concretos.....	36
2.5. Propriedades do Concreto com o emprego de Agregado Reciclado.....	42
2.6. Peças pré-moldadas para pavimentação.....	45
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	50
3.1. Planejamento dos ensaios.....	50
3.2. Caracterização dos Materiais.....	52
3.2.1. Cimento Portland.....	52
3.2.2. Areia.....	
3.2.3. Pedrisco.....	54
3.2.4. Seixo.....	55
3.2.5. Superplastificante.....	57
3.2.6. Água.....	57

3.2.7. Agregado Reciclado.....	57
3.3. Confeção dos traços e moldagem dos corpos de prova (<i>pavers</i>).....	63
3.4. Ensaio de laboratório.....	68
3.4.1. Coesão da mistura (trabalhabilidade) e compactação.....	68
3.4.2. Ensaio de resistência à compressão.....	69
3.4.3. Ensaio de absorção por imersão.....	71
4. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	73
4.1. Desempenho do Concreto no estado fresco.....	73
4.2. Desempenho do Concreto no estado endurecido.....	75
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS PARA FUTUROS TRABALHOS.....	103
5.1. Considerações finais.....	103
5.2. Propostas para futuros trabalhos.....	105
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

A indústria da construção civil é uma grande consumidora de recursos naturais e grande geradora de resíduos. Com o crescimento e desenvolvimento da população mundial o consumo desses recursos tem aumentado. O que gera, nos dias atuais, uma preocupação em relação ao consumo descontrolado e desorganizado dos recursos provenientes do meio ambiente.

Embora os resíduos sólidos sejam gerados por diferentes atividades domésticas e econômicas, a indústria da construção sempre foi considerada um dos principais produtores de resíduos (Al-Hajj e Hamani, 2011). Tais resíduos são conhecidos como resíduos de construção e demolição (RCD), e quando estes são descartados de maneira irregular acarretam danos ao desenvolvimento sustentável, implicando problemas ambientais, econômicos e sociais (Perdeneiras, 2017).

Cabral *et al.* (2012) divulgou dados da SINDUSCON afirmando que em 2011 os Resíduos de Construção Demolição apresentaram 50% do peso de resíduos nas áreas urbanas do Brasil, sendo divididos segundo a Figura 1.1.

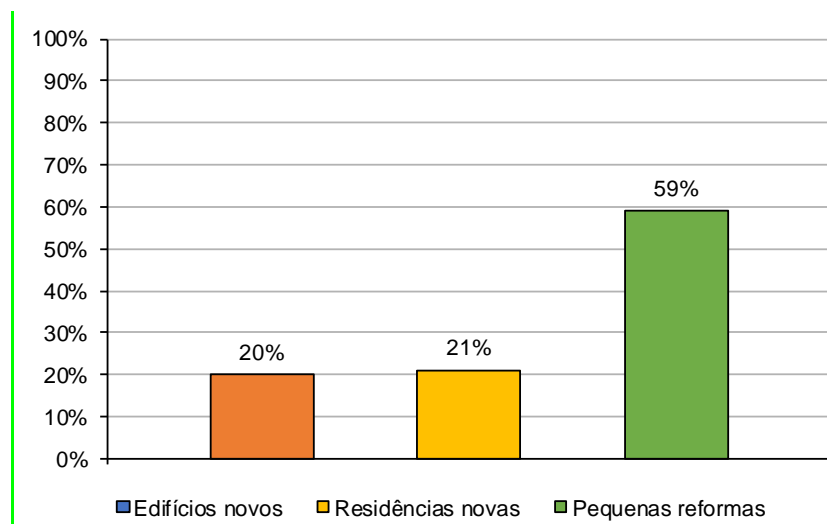


Figura 1.1 – Principais fontes de RCD no Brasil (SINDUSCON-2012).

Depois que a resolução nº 307 do CONAMA (2002) entrou em vigor desde janeiro de 2003, foram observadas mudanças significativas em relação ao gerenciamento de recursos naturais. Colocando o país em posição favorável em relação a outros países da América Latina, contudo, ainda muito distante do estilo de construção ecologicamente sustentável, que outros países, como: Japão, Dinamarca, Bélgica, Inglaterra e Holanda. Com destaque para a Holanda que é considerada exemplar na questão do reaproveitamento de resíduos, onde o governo impede o desperdício e promove políticas de reciclagem, atingindo níveis superiores a 90% segundo Ângulo (2007).

Diante de tal problemática buscou-se novas alternativas de utilização reciclagem desses resíduos. Diversos trabalhos aplicados à utilização de agregados reciclados oriundos de resíduos e demolições são comprovados de acordo com Hansen (1986), Gonçalves (2010) e Agrela *et al.* (2011) como eficientes na substituição parcial ou total de agregados naturais, tornando-se uma alternativa sustentável e de menor custo para confecção de concretos.

Por outro lado a indústria da construção civil também é uma grande consumidora de recursos naturais e grande geradora de resíduos. Ângulo *et al.* (2011) segmenta a construção civil nas seguintes categorias:

- Agente formal de construção: empresas legalizadas, responsáveis pela geração de grandes volumes de resíduos superior a 3 m³;
- Agente informal de grande reforma/Autoconstrução: pessoas ou pequenas empresas que realizem construção, ampliação ou reformas em residências ou empreendimentos já legalizadas e que geram grandes volumes de resíduos superior a 3 m³;
- Agente informal de pequena reforma: pessoas que realizem pequenas alterações, ampliações ou reformas em locais já legalizadas e que gerem pequenos volumes de resíduos inferior a 3 m³.

Segundo Buttler (2007), a fração de concreto presente no RCD, desde que separada de forma correta, apresenta um dos maiores potenciais de utilização como agregado reciclado. As principais geradoras de resíduos de concreto são: as usinas de concreto pré-misturado, fábricas de pré-moldados e pavimentos rodoviários. O

potencial na utilização dessa fração pode ser atribuído aos estudos das suas propriedades físicas e mecânicas e ao menor grau de contaminação por outros rejeitos, especialmente quando se tratam de resíduos de concreto (RC) oriundos de usinas de concreto e fábricas de pré-moldados.

Buscando uma alternativa para reduzir os impactos ambientais ocasionados pelas atividades rotineiras dos seres humanos, a sociedade vem buscando a mudanças de suas formas de produção. Atualmente o Brasil possui empresas do ramo da construção, ou fabricação de concreto, ou produtos pré-moldados, que reciclam os rejeitos de construção dentro das próprias instalações da empresa, como alternativa para reduzir os impactos ambientais e a extração de matéria prima.

1.2. Justificativa

Em meio à crise ambiental que o planeta apresenta nos tempos de hoje, muito se discute sobre a importância da preservação do meio ambiente e a utilização responsável dos recursos naturais. Sabe-se que a construção civil exerce um importante papel no desenvolvimento dos meio urbanos e rurais. Contudo, se tais atividades não forem realizadas de maneira ecologicamente responsável o meio ambiente sofrerá impactos negativos que podem ser irreversíveis, tal como, a escassez de recursos naturais.

Diante deste panorama e pelas exigências impostas à indústria da construção na atualidade é necessário o desenvolvimento de novas ferramentas de gestão, que permitam potencializar os recursos naturais, principalmente em países onde estes recursos são limitados (Gracia e Dzul, 2009). Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (2010) estima-se que a produção anual de agregados no Brasil é de aproximadamente 632 milhões de toneladas, ocasionando impactos negativos referentes à exploração destes recursos naturais. Além desses pontos negativos, Kumbhar *et al.* (2013) afirma que o

descarte de RCD em aterros, leva a contaminação de águas subterrâneas e de águas superficiais

Em acordo com a atualidade, a principal justificativa para a execução desta pesquisa é a preocupação ambiental e a utilização consciente dos agregados naturais fornecidos pela natureza. Principalmente nos dias atuais, onde o processo de reciclagem está ganhando cada vez mais espaço na construção civil.

Mendes (2015) afirma que o setor da construção civil tem papel fundamental no desenvolvimento do país, e desta forma se torna peça chave para o atendimento dos objetivos globais do desenvolvimento sustentável. A indústria da construção é uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais. De acordo com John (2017), estima-se internacionalmente que entre 40% e 75% dos recursos naturais existentes são consumidos por esse setor, resultando assim em uma enorme geração de resíduos. O autor ainda afirma que só no Brasil, a construção gera cerca de 25% do total de resíduos da indústria.

No caso do RCD a adoção de uma política de incentivo ao reaproveitamento pode reduzir a quantidade de minerais extraídos das jazidas e, conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental por meio da reutilização e da reciclagem dos rejeitos minerais (Oliveira, 2001).

Neste contexto temos vários resíduos sendo reaproveitados aplicados na fabricação de concretos, como: escória de alto forno, cinzas volantes, sílica ativa, rejeito de minério de cobre, entre outros. Como exemplo tem-se a pesquisa de Sousa (2019) afirmando que o uso parcial do rejeito de cobre na fabricação de concreto, é uma alternativa viável no que diz respeito as suas propriedades mecânicas, além de conseguir para este rejeito, uma destinação ecologicamente sustentável.

Outro exemplo de reaproveitamento de resíduos têm-se o trabalho de Santana *et al.* (2018) mostrando que tanto o uso da sílica ativa quanto o uso da cinza da casca do arroz, são alternativas favoráveis na confecção de concretos, no que diz respeito aos benefícios técnicos e ecológicos. No caso do RCD, Bedoya e Dzul (2015) afirmam que concretos com a substituição de 50% de agregado graúdo reciclado apresentaram resultados positivos em relação ao traço de referência.

Estes autores explicam que tais resultados servem de incentivos para a produção e o consumo do concreto ecológico.

Para Araújo *et al.* (2016) é possível a substituição de 100% do agregado natural pelo agregado reciclado proveniente de construção e demolição, sem ocasionar prejuízos nas resistências à compressão e à tração do concreto. No entanto, para que isso ocorra, é necessário garantir a qualidade dos agregados reciclados, controlando a massa específica do mesmo, recomendando-se agregado reciclado com baixo teor de resíduos cerâmicos e com massa específica maior que 2,5 kg/dm³.

Tais estudos são importantes, pois incentivam a utilização de agregados reciclados na produção de concretos, ocasionando vantagens ecológicas, como:

- A redução da extração dos recursos naturais;
- Geração de menos poluição, reduzindo emissões relacionadas ao transporte dessas matérias primas;
- Redução da contaminação das águas superficiais, muitas vezes ocasionadas pelos aterros onde os resíduos de construção e demolição são descartados.

Outro escopo desta pesquisa é destinar a reciclagem dos materiais remanescente de fabricas de pré-moldados e entulho para seu próprio consumo em novos materiais como a utilização de *paver* e designar menor custo junto aos materiais como o agregado miúdo e conseqüentemente diminuir a poluição ambiental ao entorno das cidades geradoras de RCD.

Além disso, é válido ressaltar a análise a resistência mecânica e a análise da durabilidade dos produtos que serão fabricados com o concreto reciclado, além da verificação do teor ótimo de substituição. A fim de declarar se o emprego desse concreto, na fabricação das peças pré-moldadas citadas, estará dentro do padrão de qualidade exigida pelos parâmetros científicos.

1.3. Objetivos da pesquisa

O trabalho proposto tem como objetivo avaliar o comportamento dos concretos reciclados, no estado fresco e endurecido (peças pré-moldadas tipo *paver*), que serão fabricados com a substituição parcial de agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado de concreto, proveniente de uma fábrica de pré-moldados.

Como objetivos secundários, temos:

- Avaliar o concreto no estado fresco, analisando a coesão de mistura (trabalhabilidade) e compactação;
- Avaliar a influência do teor de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados nas propriedades do concreto no estado endurecido;
- Avaliar e definir o teor ótimo de substituição em relação às propriedades do concreto no seu estado fresco e endurecido.
- Avaliar a influência do teor de substituição de agregados naturais por agregados reciclados, nos valores de absorção de água nesses concretos;
- Avaliar a influência das taxas de pré-saturação¹ de água aplicada ao agregado reciclado, em relação às propriedades do concreto no seu estado fresco e endurecido.

¹Taxa de pré-saturação é uma alternativa para minimizar a perda de trabalhabilidade do concreto devido à perda de água absorvida pelo agregado reciclado que geralmente possui maior porosidade em relação a agregados naturais.

1.4. Estrutura do Trabalho

A seguir são apresentados os capítulos que fazem parte desta da dissertação:

O primeiro capítulo é composto pela introdução da pesquisa, onde encontra-se uma breve explicação sobre a relação da construção civil com o meio ambiente, Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e reciclagem de resíduos. Através

desta análise apresentou-se a justificativa e os objetivos principais para a realização presente pesquisa.

O segundo capítulo é composto pela revisão bibliográfica composta de explicações sobre assuntos que servirão como base para o desenvolvimento dessa pesquisa.

O terceiro capítulo é composto pelo programa experimental, onde constam as variáveis de controle e de respostas, os materiais e métodos utilizados, juntamente com a caracterização dos materiais e a descrição dos ensaios realizados.

O quarto capítulo é composto pela análise dos resultados adquiridos através dos ensaios realizados no programa experimental do presente trabalho.

No quinto capítulo são apresentadas as considerações finais em relação a esta pesquisa, juntamente com trabalhos futuros.

O sexto capítulo é composto pelas referências bibliográficas que possibilitaram a fundamentação teórica do estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os seguintes estudos e definições são importantes para o melhor entendimento sobre o objeto de pesquisa. É através desses estudos é que são obtidos conhecimentos suficientes para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1. Meio Ambiente e Construção Civil

Para o início deste trabalho é importante um estudo sobre a relação do meio ambiente e a construção civil, afinal, a principal justificativa do mesmo é a preocupação ambiental e a utilização consciente dos agregados naturais fornecidos pela natureza. Ao longo dos anos, o meio ambiente vem sofrendo grandes mudanças através das atividades humanas, além das extrações desordenadas de matérias primas naturais, que vêm diminuindo a disponibilidade desses tipos de materiais, ou seja, a exploração pode tornar-se cada vez mais limitada, gerando grandes preocupações em relação aos suprimentos. Os setores industriais são os grandes responsáveis por esta exploração sem planejamento, pois muitas vezes a aquisição destes produtos é fácil e preços reduzidos.

Dentre estes setores industriais, a construção civil é um dos mais significativos do Brasil. Segundo dados divulgados pelo Sindicato da Construção Civil de São Paulo (SINDUSCON-SP), o PIB da construção civil cresceu 2,0% em 2019, já a previsão de crescimento para 2020 é de 3%. Contudo, é importante ressaltar que, mesmo exercendo um papel fundamental para o crescimento econômico do país, o setor da construção apresenta pontos negativos devido à grande extração de recursos naturais, como: brita, seixo, areia branca, calcário, entre outros. Além de ser um dos maiores produtores de resíduos sólidos.

Simiele (2010) afirma que diante destes problemas, na década de 70 surgiu o termo eco desenvolvimento, atualmente conhecido como, desenvolvimento sustentável. Termo este que começou a ser discutido a partir do Relatório Limites do Crescimento (Clube de Roma) e da Conferência das Nações Unidas para o Meio

Ambiente Humano (I CNUMAD) em Estocolmo, ambos em 1972. Já em 1991 o termo desenvolvimento sustentável entrou em vigor definitivamente, quando a COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, afirmou que:

“A humanidade é capaz de tornar o desenvolvimento, sustentável – de garantir que ele atenda as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem também às suas”.

Já no ano seguinte, entre os dias 3 e 14 de junho foi realizada na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida também como ECO-92, no intuito de buscar melhores alternativas de desenvolvimento sócio econômico junto à preservação do meio ambiente. Foi neste evento, o qual teve a participação de 170 países membros da ONU, que foi consagrado o conceito desenvolvimento sustentável e a criação da Agenda 21.

Silva *et al.*(2016) afirma que as pessoas estão mais preocupadas com os problemas globais, regionais e locais, os indivíduos agora tem uma forte influência na tomada de decisão vinda da mídia e sistemas de comunicação, particularmente sites e blogs. Identificando e entendendo os problemas relacionados aos impactos ambientais buscando desenvolver estudos e pesquisas para a diminuição de tais impactos. Atualmente, as organizações que utilizam conceitos de sustentabilidade, como parte de seus sistemas de gerenciamento, tendem a ser mais conscientes do desenvolvimento de tendências sendo mais flexíveis e adaptáveis à mudanças, tornando-as mais competitivas.

Prevenção, reutilização e reciclagem são questões de suma importância para o gerenciamento de resíduos. As técnicas de demolição e a gestão dos resíduos de construção e demolição dos edifícios são questões-chave no desenvolvimento da construção sustentável. As técnicas de demolição vêm recebendo atenção e em vários países formam um setor importante, sendo considerada uma disciplina dentro do campo da engenharia civil, para a qual estão sendo buscadas atividades mais planejadas, objetivando práticas mais seguras (KAMRATH, 2013).

Tendo em vista os problemas ambientais causados pelo setor construtivo e o crescente consumo de matéria prima já escassa em alguns países, vários estudos

foram desenvolvidos nos últimos anos com o objetivo de reaproveitar ou reciclar os resíduos gerados pela construção dentro do próprio setor. Algumas utilizações dos resíduos de construção já são bem difundidas, como a produção de concretos magros sem fins estruturais, aproveitamento em base e sub-base de pavimentos, produção de blocos de concreto (Fonseca, 2002; Ulsen, 2011; Coelho e Brito, 2013).

Como exemplo de medidas sustentáveis tem-se a reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Vale ressaltar que com o passar dos anos, tal atividade vem tornando-se cada vez mais necessária em decorrência da escassez de recursos naturais e da poluição dos centros urbanos somado ao aumento dos aterros sanitários.

2.2. Resíduos da Construção

Nesta pesquisa é importante enfatizar a diferença entre resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos provenientes de concreto (RC). Segundo Angulo *et al.* (2001), o RCD tem no mínimo duas fontes de geração típicas, sendo elas: construção e demolição.

2.2.1. Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

Neste trabalho é muito importante conceituar os resíduos de construção e demolição (RCD), além de pontuar suas origens e características.

Gonçalves (2011), afirma que os resíduos derivados das construções geralmente apresentam-se na forma sólida, formados de materiais densos, com características físicas variáveis, dependentes do processo gerador. Estes resíduos possuem características bastante heterogêneas em relação aos demais resíduos industriais, sendo compostos por uma mistura de restos de praticamente todos os

materiais e componentes utilizados pela construção civil. Estas características promovem dificuldades para aplicação em larga escala dos RCD's como agregados para novos concretos.

A CONAMA (2002) define RCD como todo resíduo produzido durante as atividades de construção, demolição, reparo e reforma de obras da construção civil e os produzidos durante a preparação e escavação de terrenos. Já Angulo (2005) afirma que os resíduos de construção e demolição incluem todo e qualquer resíduo, proveniente das atividades de construção, sejam eles, de novas construções, reformas, demolições, obra de arte e limpeza de terrenos com presença de solos e vegetação.

O RCD surge de atividades como construção e demolição total ou parcial de prédios e infraestrutura, restos de desastres, planejamento de estradas e atividades de manutenção. Estes consistem de materiais que incluem concreto, tijolos, solo escavado, metais, vidro, gesso, madeira, plástico, amianto e vários polímeros, muitos dos quais podem ser reciclados. Contudo, a falta de conhecimento sobre a composição e outras características (como por exemplo: quantidade, qualidade, tipo e custo real), daqueles que gerenciam RCD, geralmente resulta no despejo de enormes quantidades de material potencialmente reutilizável/reciclável, que poderiam ser uma alternativa de matéria prima para a produção de concretos e pavimentação de rodovias, explica Silva *et al.* (2016). Observamos na Figura 2.1 as quantidades de materiais presentes no RCD.

■ Concreto 14% ■ Plástico 0,7% ■ Têxtil 0,2% ■ Alvenaria 15% ■ Metais 3,9%
 ■ Solos 29,1% ■ Madeira 27,5% ■ Papel 0,8% ■ Diversos 8,9%

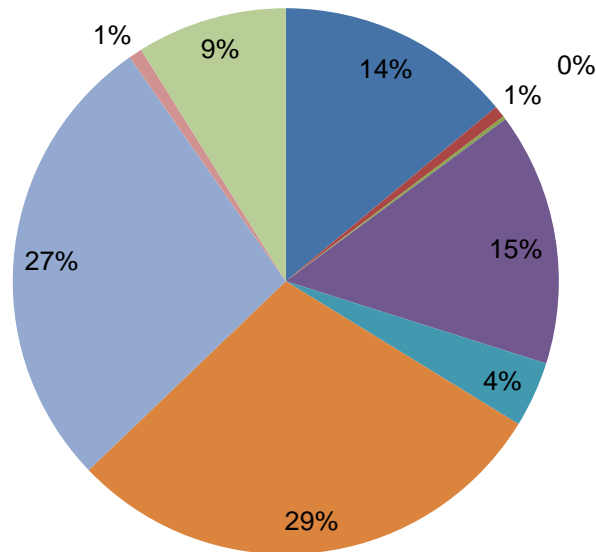


Figura 2.1 – Apresentação gráfica de materiais presentes no RCD (Silva *et al.*2016).

O resíduo de construção e demolição (RCD) possui características bastante peculiares como a resistência mecânica, de modo geral, menor do que o concreto convencional como afirma Moreira (2010), com uma gama muito grande de aspectos que interferem na quantidade, na composição e nas características desse resíduo. Destacam-se, entre esses aspectos, o nível de desenvolvimento da indústria da construção local, a qualidade e o treinamento da mão-de-obra disponível, as técnicas de construção e demolição empregadas, a adoção de programas de qualidade e redução de perdas, adoção de processos de reciclagem e reutilização no canteiro, os tipos de materiais predominantes na região, o desenvolvimento de obras especiais na região (metrô, esgotamento sanitário, restauração de centros históricos, entre outros), o desenvolvimento econômico da região e a demanda por novas construções.

Nesse sentido, as propriedades físico-químicas dos resíduos de construção e demolição (RCD) estão condicionadas a parâmetros específicos da região geradora do resíduo e à ação de agentes agressivos ao longo do tempo (Oliveira,

2001). Segundo Buttler (2007), na Europa os RCD's são constituídos de alvenaria, concreto, asfalto e resíduos mistos de construção e demolição.

Angulo (2005) relata que os resíduos de construção e demolição (RCD) representam cerca de 50%, em massa, dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Além disso, o mesmo afirma que o emprego dos agregados reciclados provenientes do RCD em concretos, constitui uma alternativa altamente viável. No entanto, as normas para uso de agregados provenientes dos RCD's na confecção de concretos não são facilmente aplicáveis em usinas de reciclagem devido a apresentação de características heterogêneas e grande variabilidade nas propriedades dos seus agregados reciclados, essas características decorrem do fato desse resíduo apresentar além do concreto, outros materiais, como: tinta, vidro, madeira, entre outros, exigindo um maior controle nas operações de seu processamento, para então, tentar garantir a homogeneidade do produto final.

- **Grandes geradores de RCD**

A indústria da construção é conhecida mundialmente como geradora potencial de resíduos, a quantidade de resíduos produzidos por esta indústria pode chegar a 65 milhões de toneladas por ano, segundo Capello (2006). Na União Européia, o RCD representa cerca de 30% do total de resíduos sólidos gerados no continente (Eurostat, 2015). A produção de resíduos de construção e demolição (RCD) era de cerca de 170 milhões de toneladas nos EUA, enquanto na China era de 120 milhões de toneladas em 2006 (Zhao e Rotter, 2008).

Segundo a ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e resíduos especiais), aproximadamente 48% da massa total de resíduos sólidos gerados durante o ano de 2013, é constituído por RCD. Esta associação divulgou em 2013 uma estimativa do total de RCD coletado nas cinco regiões do Brasil, entre os anos de 2010 a 2013 (Tabela 2.1). Tais coletas foram realizadas somente por órgãos públicos.

Tabela 3.1 – Quantidade de RCD coletados no Brasil e suas respectivas regiões (ALBREPE, 2013).

Região	2010	2011	2012	2013
	RCD Coletado mil t/ano	RCD Coletado mil t/ano	RCD Coletado mil t/ano	RCD Coletado mil t/ano
Norte	1096	1218	1278	1335
Centro-Oeste	3596	3816	4003	4193
Sul	4598	4666	4771	5013
Nordeste	5616	6129	6531	6914
Sudeste	1609	1741	1843	1918
Brasil	30998	33244	35022	36640

Os principais geradores de resíduos de construção e demolição são as obras de infraestrutura, estradas, pontes e rodovias, sendo geradores de grande escala, edifícios, condomínios habitacionais, pequenas e grandes reformas. O prolongamento da vida útil das edificações e seus componentes, o incentivo para que os proprietários façam modernizações, reformas e não demolições e o investimento em técnicas que permitam a reutilização são fatores relevantes para a redução da geração de resíduos, afirma John (2000). Outro procedimento eficiente no caso de reaproveitamento de resíduos é a desconstrução controlada, pois esse tipo de procedimento facilita a reciclagem dos resíduos gerados e reduz a energia necessária para o reprocessamento dos materiais, explica Buttler (2007). Segundo estudos de Tam e Lu (2016) relativo as operações de gerenciamento de resíduos praticadas na Austrália, União Européia, Hong Kong e no Reino Unido, foi possível observar que houve uma significativa diminuição na quantidade de resíduos gerados, como resultado dos crescentes esforços direcionados à uma indústria de construção ‘mais verde’”

Segundo Jadovski (2005) a quantidade de resíduos gerados durante a etapa de construção é influenciada pela qualidade inferior dos materiais e componentes da construção disponíveis no mercado, a não definição e o detalhamento falho dos projetos, falta de mão de obra qualificada e a falta de procedimentos operacionais e

mecanismos de controle de execução e inspeção. O mesmo autor também explica que, ao considerar os resíduos gerados na construção, demolição e reformas a composição destes resíduos depende do tipo de fase da obra.

2.2.2. Resíduos de Concreto (RC)

Os resíduos de concreto são os rejeitos oriundos da demolição de estruturas de concreto, resíduos de usina de concreto ou de fábricas de elementos pré-moldados e pavimentos de concreto (Buttler, 2003), este rejeito possui uma maior homogeneidade, o que possibilita um melhor conhecimento das propriedades mecânicas do resíduo.

Partindo deste mesmo raciocínio, Buttler (2007) afirma que, o processo de reciclagem dos resíduos de usinas de concreto pré-misturado e fábricas de pré-moldados, pode ser considerado simplificado e pode ser realizado no próprio local de geração. Esses resíduos são constituídos basicamente de elementos rejeitados pelo controle de qualidade, sobras de concreto fresco e unidades danificadas durante o transporte de estocagem (figura 2.2). Essas características dos resíduos de concreto facilitam seu emprego nas aplicações de alto valor agregado, tais como, a produção de concreto estrutural e elementos pré-moldados.



Figura 2.2– Peças pré-moldadas com avarias dispensadas pelo controle de qualidade ou por clientes (a Autora).

Entre os resíduos gerados pela construção civil, os resíduos de concreto são aqueles que possuem a maior possibilidade de reciclagem, tendo em suas características básicas a menor heterogeneidade e menor contaminação com outros materiais. A utilização do material reciclado, proveniente de peças de concreto descartadas, para a composição de novos compósitos de concretos reciclados, contribuirá para a redução da extração de recursos naturais (FRANCISCO, 2017).

2.3. Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição

A primeira aplicação significativa de agregados reciclados ocorreu após a segunda guerra mundial, na construção das cidades europeias, que tiveram seus edifícios demolidos e o entulho resultante, foi britado para produção de agregados visando atender a demanda de consumo da época (Levy, 2001).

Considerando pesquisa realizada pelo IBGE em 2014, o Brasil possui 202.033.670 de habitantes e a massa unitária RCD produzido é de 1200 kg/m³,

estima-se que a geração anual de RCD seja de 84.180.696 m³. Na União Européia, segundo Bravo *et al.*(2015), o setor de construção é também o que consome mais matérias-primas e energia do que qualquer outra atividade econômica e é o maior gerador de resíduos. Todos os anos, cerca de 3000 milhões de toneladas de resíduos são produzidos na UE. A indústria da construção na UE gera cerca de 900 milhões de toneladas de resíduos por ano, afirma o mesmo autor.

Os países que apresentam uma elevada porcentagem de resíduos efetivamente reciclados, tais como, Holanda, Dinamarca e Alemanha possuem uma política ambiental eficiente e leis severas que punem a deposição inadequada de resíduos, além disso, premiam iniciativas que tem como objetivo o reaproveitamento e reciclagem desses materiais (Buttler, 2007).

Segundo Oikomono (2005), na União Européia, são gerados cerca de 500 Kg de RCD/Habitante/Ano. Apesar de existirem países com elevadas taxas de reciclagem (superiores a 80%), há nações que reciclam menos de 20% dos resíduos gerados, tais como, Irlanda, Itália e Noruega. Pinto (1999) afirma que, países como a Holanda e o Reino Unido, investem em um sistema formal de gerenciamento, e que quase todas as políticas, incluem a reciclagem de resíduos, visto que a mesma reduz: a utilização de aterros, a ocorrência de deposições irregulares, o consumo de recursos naturais não renováveis e os impactos ambientais das atividades de mineração.

Segundo a Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental (2016), países como Bélgica, Dinamarca, Japão e Holanda, possuem uma agenda política com destaque para a reciclagem de resíduos, devido à uma grande cobrança dos cidadãos desses países que são contra a utilização de áreas para a deposição de resíduos e a exploração de recursos naturais.

Na Noruega, a disponibilidade de recursos naturais e abundância de locais para a deposição dos resíduos são fatores que justificam as baixas taxas de reciclagem, estas estão situadas entre 10% e 20% (PETROVICK *et al.* 2004). Buttler, (2007) afirma que para contornar essa situação a administradora pública de estradas da Noruega iniciou em 2002, um projeto com o intuito de promover a

utilização de materiais reciclados nas sub-bases de estradas e nas obras de pavimentação.

Em 2001, o ministério do meio ambiente Espanhol publicou um Plano Nacional de Resíduos com o objetivo de alcançar, em cinco anos, aproximadamente 25% de reciclagem de RCD e redução de 10% na geração desses resíduos. Com essas medidas, o governo espanhol espera atingir taxas de reciclagem próximas à média da comunidade europeia (28%), afirma Alaejos *et al.* (2004). Por outro lado, Coelho e Brito (2013), afirmam que em Portugal 76% do RCD são depositados em aterros, 11% é reutilizado, 9% é reciclado e 4% é incinerada. A quantidade de RCD reciclados/reutilizados é pequena quando comparado com outros países, como o Reino Unido (52%), a Holanda (92%), a Bélgica (89%), a Áustria (48%) e a Dinamarca (81%).

Segundo Muller (2006), na Alemanha, é gerado 900 kg/hab.ano (333 Hab/km²) de RCD o que representa 19% de todo lixo gerado no país. Em Hong Kong, são geradas 1700 kg/Hab.ano (6126 Hab/Km²) de RCD. Segundo a pesquisadora, a densidade populacional influencia significativamente na quantidade de resíduos gerados. Sendo que diariamente são geradas cerca de 40 x 10³ t de RCD, representando aproximadamente 4 vezes o volume de sólidos urbanos.

Tratando-se dos Estados Unidos, Silva *et al.* (2014) afirmam que segundo dados da Agência de Proteção Ambiental (EPA, 2014) no ano de 2013, neste país foi produzido cerca de 170 milhões de toneladas de RCD, onde 140 milhões de toneladas foram reciclados (EPA, 2014). Segundo dados da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2019), no Brasil são produzidos aproximadamente 290,5 toneladas de RCD, diariamente, sendo que, apenas 21% desse total são reciclados.

De acordo com Nawa (2015), no Japão, anualmente são gerados aproximadamente 80 milhões de toneladas de resíduos da construção e demolição. Vale ressaltar que este país possui grande dificuldade em relação à reserva de agregado natural e falta de aterros para destinação correta dos resíduos. Segundo Brasileiro e Matos (2015) o Japão adotou um instrumento de política regulatória de RCD, que consiste na triagem desses resíduos nos próprios canteiros de obra,

seguindo de sua entrega em unidades de reciclagens. A reciclagem de RCD no país chega a 57% do volume produzido. Sendo que a maioria deste material reciclado é destinada para sub-base de estradas e uma pequena parcela para aterros (Noguchi e Tamura, 2001).

2.3.1. O processo de reciclagem de RCD e RC

a) A deposição de RCD e RC nas cidades e o incentivo a reciclagem

Tanto no Brasil como no mundo há um déficit no que se refere à deposição de RCD e RC. Geralmente esses resíduos são depositados irregularmente em vales, margens de rios, terrenos baldios, a céu aberto, em estradas ou em aterros sem qualquer tipo de tratamento específico, ocasionando vários problemas socioambientais, como:

- Entupimento dos bueiros e galerias da rede pluvial;
- Obstrução de vias urbanas;
- Assoreamento dos rios;
- Degradação das áreas urbanas;
- Erosão;
- Poluição visual;
- Maior preocupação com a saúde pública.

Além disso, tem-se também o aumento no gasto do gerenciamento desses resíduos depositados irregularmente. Como exemplo, temos a cidade de São Paulo, que tem o custo estimado em R\$ 45.000.000,00/ ano com o gerenciamento de resíduos, pois, mais de 20% dos RCD e RC são depositados de forma ilegal dentro da cidade (SCHNEIDER, 2003).

Leite (2001) explica que o RCD consiste em materiais pesados e de grande volume, que quando depositados de forma indiscriminada tornam-se verdadeiros

setores para depósitos de outros tipos de resíduo, havendo possibilidade de geração de contaminação em decorrência da lixiviação ou solubilização de certos componentes nocivos. Ainda que a Resolução nº 307 do CONAMA (Brasil, 2002) e de algumas iniciativas setoriais proíbam a deposição ilegal de resíduos, essa ainda é uma prática frequente nas cidades brasileiras. Assim, a única forma de prevenir essa prática, é a aplicação de multas.

No que diz respeito às características do RCD e o seu potencial de contaminação, Pinto (2004), afirma que o entulho pode ser considerado um material não deteriorável e que teoricamente não oferece risco de contaminação. Assim também expõe a NBR10004 (ABNT, 2004), descrevendo os resíduos como materiais inertes. No entanto, diante de um estudo bibliográfico internacional, Angulo *et al.*(2001) diz que componentes orgânicos como tintas, plásticos, óleos, asfaltos, madeiras, podem contaminar aterros ou colocar em risco a saúde das pessoas. Além disso, a construção de edificações pode produzir até 20 kg de resíduos químicos ou perigosos que podem contaminar os outros materiais presentes no RCD.

Uma das soluções para a redução dos impactos ocasionados pelos resíduos de construção e demolição e resíduos de concreto, são a reciclagem e o beneficiamento desses resíduos. Haja vista que o processo de produção é alimentado, em grande parte, por recursos naturais não renováveis, e a reciclagem de resíduos permite a redução do impacto ambiental.

b) Usinas de reciclagem no Brasil e no Mundo

Segundo Buttler (2007), em 2007 no Brasil existiam poucas usinas de reciclagem. Apenas 18 instalações de pequena produção (menor que 100 t/dia de resíduos processados). Considerando isto, mais a taxa de 445 kg/hab.ano de geração de RCD, pode-se dizer que o país precisaria de no mínimo, 2300 usinas para que todo esse resíduo produzido fosse processado. Na Alemanha, existem cerca de 4600 usinas de reciclagem de RCD, as quais 3000 são móveis e 1600 são fixas (MIRANDA *et al.* 2016).

Em muitos países da Europa, nos EUA e no Japão, as usinas de reciclagem são uma realidade efetiva. Nesses países o processo de reciclagem está cada dia mais avançado e eficiente (Leite, 2001).

Miranda (2009), afirma que após a resolução CONOMA 307 de 2002 foi constatado um crescimento de 9 usinas por ano até 2008. Diferente da taxa de crescimento antes da publicação da resolução, taxa essa que chegava ao máximo em 3 usinas por ano. O mesmo autor ao realizar uma série de levantamentos constatou que existiam 48 usinas instaladas no país, onde, metade eram públicas e a reciclagem de RCD era estimada em torno 4,8%.

Miranda *et al.* (2016) explica que com o crescimento das atividades da construção civil entre os anos de 2007 e 2013 e com a aprovação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos nº 13305, de 02 de agosto de 2010, foi criado a ABRECON – Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição. Associação esta, que surgiu no intuito de criar projetos e leis no que diz respeito à reutilização de resíduos de construção e demolição, a fim de alertar governo e sociedade sobre o descarte irregular dos resíduos de construção e os danos que eles trazem ao meio ambiente.

Segundo dados adquiridos pela ABRECON (2015), através de estudos realizados no ano de 2014, constatou-se que atualmente o Brasil possui ao menos 310 usinas de reciclagem. A maior parte delas está localizada no Estado de São Paulo, 54% do total, resultado de grande atividade da construção civil juntamente com o maior volume de geração de resíduos. Observa-se na Figura 2.3 a distribuição percentual dessas usinas.

avaliação da forma, avaliação da textura e a granulometria do agregado que será reciclado.

De acordo com a resolução CONAMA nº 307, os resíduos de construção e demolição são classificados em quatro classes, de acordo com as possibilidades de reciclagem, que são:

- Recicláveis como agregados;
- Recicláveis em outras cadeias, como os plásticos;
- Sem tecnologia de reciclagem e economicamente viável;
- Resíduo com periculosidade.

Simiele (2010) caracteriza os agregados reciclados quanto à origem. Tal caracterização é determinante em relação ao consumo de cimento na fabricação de concretos com agregados reciclados, pois, buscando obter um concreto com resistência superior a 30 MPa, será necessário o aumento no consumo do cimento, tornando a utilização do agregado reciclado uma alternativa inviável.

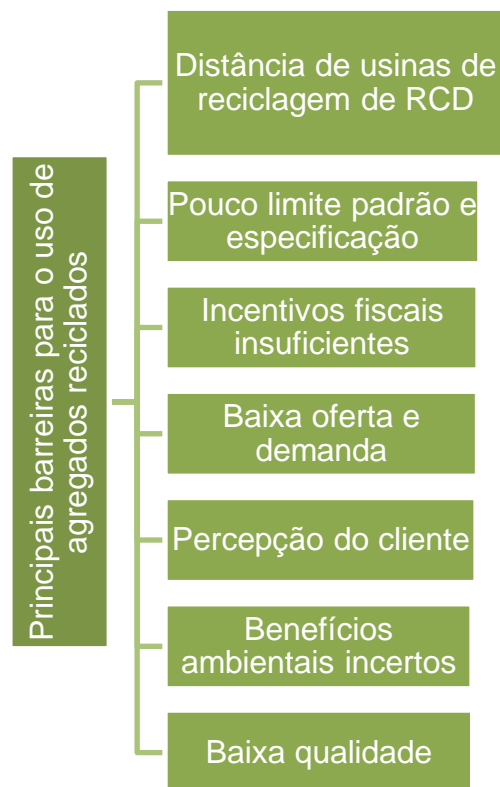
Temos como exemplo os agregados resultantes da britagem dos resíduos de demolição e construção que podem estar contaminados com restos de tinta, gipsita e outras substâncias. Levy (2001), afirma que os concretos confeccionados com este tipo de agregado geralmente apresentam resistência à compressão inferior à compressão de agregados naturais e poderão, ou não, de acordo com sua qualidade e granulometria, desenvolver reação pozolânica. Outro exemplo são os agregados reciclados provenientes da britagem de resíduos de estruturas ou artefatos de concreto, assim como concretos frescos, endurecidos e rejeitados – concretos esses muito comuns em fábrica de pré-moldados e usinas de concreto – que podem estar contaminados por agentes como cloretos ou sulfatos, de acordo com a origem destes resíduos. Já a resistência à compressão dos concretos fabricados com esse tipo de agregados dependerá da resistência à compressão dos agregados naturais utilizados na produção do concreto original, afirma Levy (2001).

Na maioria dos casos, a desconfiança relativa à técnicas de viabilidade de agregados reciclados é alegada, pelos clientes, produtores de concreto e empreiteiros. Da mesma forma acontece em muitos outros campos científicos, a falta

de confiança é consequência da falta de esclarecimento no assunto, por isso é tão importante este tipo de pesquisa.

No entanto, o uso de agregado reciclados em concretos vem sendo cada vez mais estudado no Brasil e no mundo. A confecção de concretos com esses agregados é regida por normas técnicas e regulamentações nacionais e internacionais. Neste tópico será exposta uma análise sobre o uso de agregados reciclados na confecção de concreto, além de algumas normas e regulamentações importantes para essa confecção.

Segundo Ângulo (2005) o emprego dos agregados reciclados em concretos constitui uma alternativa altamente viável. No entanto, as normas para o uso de agregados provenientes de RCD na fabricação de concretos, não são facilmente aplicáveis em usinas de reciclagem. Por outro lado, Silva *et al.* (2016) afirma que existem algumas barreiras que impedem uma maior utilização de agregado reciclado em concretos. Tais barreiras estão expostas na Figura 2.4.



Figuras 2.4 – Problemáticas para o uso de agregados reciclados (Silva *et al.* 2016).

Outros autores também explicam algumas dificuldades no que se refere ao uso de AR na confecção de concretos. Ângulo (2005) afirma que para a produção de artefatos de concreto, provoca um aumento no custo de fabricação fazendo com que o AR seja mais utilizado na aplicação de base e sub-base de rodovias. Fernandes (2016) também afirma que o uso de agregados reciclados se justifica somente do ponto de vista ecológico, no qual o entulho pode ser utilizado na fabricação de blocos de concreto da categoria de vedação, para fins sociais como creches ou habitações populares de baixo custo. O custo do produto final é praticamente igual ao bloco comum uma vez que o baixo custo do agregado se dilui no maior consumo de cimento necessário. Na fabricação do *paver* este recurso somente é viável quando se quer alcançar valores de resistência entre 25 MPa e 30 MPa. Para alcançar um maior fator de resistência seria necessário um maior consumo de cimento.

Segundo Ângulo (2005) na Europa, o agregado reciclado é utilizado em grande parte nas atividades de pavimentação em *pavers* de concreto ou base e sub-bases. No entanto, vale ressaltar que esses agregados são empregados desta forma porque apresentam valor agregado e qualidade inferior.

- Normas e recomendações

A produção desses concretos é regida por normas e recomendações a nível nacional e internacional. O uso da fração miúda dos agregados reciclados de RCD está previsto nas normas Holandesa, Alemã e Brasileira. No trabalho de Ângulo (2005) foram expostas algumas recomendações, as quais são colocadas a seguir e organizadas na tabela 2.2.

- Japão: BCSJ (*Building Contractors Society of Japan*). Esta é a mais antiga. Datada no ano de 1977. Ela prevê concretos com o máximo de 18 MPa quando esses forem fabricados com agregados reciclados.
- Holanda: Recomendação Holandesa é importante por conter resultados de pesquisas experimentais na década de 80 (Ângulo 2005). Além disso, diferentemente da recomendação BCSJ que só aceita a utilização de agregados provenientes de concreto, a recomendação Holandesa aceita, agregados reciclados provenientes de alvenaria.

- Europa, Estados Unidos e Japão: RILEM (*Rilem Recommendation*, 1994). É a única que prevê concretos com resistência mecânica acima de 20 MPa. No entanto, isso só é admitido quando os agregados reciclados que serão utilizados na confecção do concreto sejam resíduos de concreto triturados como agregados graúdos. E também, com o emprego de até 20% de substituição de agregados reciclados provenientes de RCD, dependendo da origem da fração mineral, para a produção de qualquer tipo de concreto.

- A recomendação Brasileira:

- Lima (1999): Apresenta características mais conservadoras, assim como a recomendação japonesa, pois, as duas recomendações limitam a resistência mecânica dos concretos em 16MPa.

Tabela 2.2–Recomendações segundo (Ângulo, 2005).

Exigências	BCSJ	Holanda		RILEM		LIMA (1999)	
Max fck (MPa)	18	nd	nd	50 a 60	16 a 20	16	12
Natureza do Agregado	Concreto	Concreto	Alvenaria ³	Concreto	Alvenaria	Concreto	Alvenaria
Aplicação	Fundações de edifícios térreos	Sem restrição		Sem restrição		Contra pisos, bases, vergas, blocos	
Massa Específica (kg/m ³)>	2200	2100	nd	2000	1500	nd	nd
Absorção (% em massa)<	7	nd	nd	10	20	7	12
Teores em fase ² (em massa)<	A (10 kg/m ³)	5% de outras	A (25%) CE (20%)	10% (d< 2,2 kg/d ³)	10% (d< 1,8 kg/d ³)	A (105%) CE (5%)	A (50%) CE (50%)
Máx. de contaminantes ¹ (em massa)	2 kg/m ³ ou 1%	1% de betume 0,5% de outros	1%	1%	5%	Solo (5%)	Solo (5%)

¹ Contaminantes são materiais betuminosos, madeira, vidro e outros que não fases, como concretos, argamassas, cerâmicas.

² A significa fase argamassa e CE fase cerâmica.

³ É possível que se trate de alvenaria com blocos de concreto.

No que diz respeito à normalização Internacional para agregados reciclados despontam com destaque: a proposta japonesa de normalização BCSJ de (1977), a norma britânica 6543, a norma holandesa CUR45 (1986), o adendo à norma dinamarquesa DIF 46 (1989), as diretrizes da RILEM TC 121 DRG (Conjunto de Pesquisas Realizadas nos Estados Unidos, Europa e Japão) apresentadas no 3º Simpósio Internacional sobre Demolição e Reutilização de Concreto e Alvenaria (1993), a norma alemã DIN 4226-100 (2002) e no âmbito nacional a NBR 15116 (ABNT, 2004). A norma brasileira NBR 15116 (ABNT, 2004) é mais conservadora e só recomenda o emprego de agregados reciclados de RCD em concretos com resistência de até 15 MPa. As demais normas admitem o uso em concretos com resistência acima de 25 MPa (SILVA, 2014).

Quanto às propriedades físicas dos agregados, a especificação alemã limita os valores de massa específica aparente bem como os valores de absorção, já a especificação brasileira, como as propriedades massa específica aparente e absorção são variáveis dependentes, selecionou-se a propriedade no qual o método de caracterização era mais simples, no caso a massa específica aparente.

Todas as normas citadas exigem a classificação da fração mineral dos RCD em resíduos de concreto, de alvenaria ou mistos, além de controlar os teores das fases presentes na fração graúda dos agregados de RCD reciclados. A norma brasileira não separa o concreto e argamassa em duas fases pela dificuldade de distinção visual através da catação, sendo uma única fase chamada cimentícia. A norma brasileira, diferentemente das especificações estrangeiras, é menos restritiva quanto ao teor de finos presentes nos agregados de RCD reciclados, por considerar interessante na fabricação de determinados produtos cimentícios pré-fabricados que geralmente empregam a fração fina dos resíduos de pedreiras. Entretanto, para limitar os teores de argilominerais presentes nos solos que eventualmente se misturam no processo de reciclagem, os torrões de argila presentes nestes agregados são limitados em 2% em massa.

Existem diversas pesquisas que avaliam o uso de uma grande variedade de resíduos, em diferentes aplicações. Tais pesquisas analisam o uso do agregado reciclado (AR) utilizado no concreto, através do estudo da composição destes agregados, realizando testes físicos e químicos. No entanto, a maioria desses

estudos é focada no desempenho mecânico. Em suma, o conhecimento existente sobre desempenho de durabilidade do concreto com AR é de fato muito limitado (BRAVO *et al.* 2015).

2.5. Propriedades do Concreto com o emprego de AR

Muitos estudos já foram realizados em relação à utilização do AR na fabricação de concretos, sejam eles estruturais ou não.

Estudos realizados por Cordeiro (2013), concluem que concretos produzidos com agregado graúdo reciclado (AGR) de boa qualidade, geram resultados positivos referentes à resistência à compressão. A autora ainda afirma que é possível produzir concretos com resistências superiores a 30 MPa, quando estes forem fabricados com 100% de substituição de agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado. No entanto, para um melhor desempenho do material, seria necessário realizar estudos específicos que respeitem suas características intrínsecas. E mesmo diante à variações de logística e armazenamento, e as misturas serem realizadas em diferentes tipos de betoneiras, a resistência a compressão não sofreu influência significativa.

No trabalho de Prado (2006), foram obtidos resultados satisfatórios para a substituição 100% do pedrisco por agregado graúdo reciclado (AGR) proveniente de vigotas, de 50% de substituição do pedrisco por AGR derivados de blocos. No que diz respeito ao aumento de resistência em relação ao tempo de cura, foi observado que os blocos com agregados naturais tem maior tendência à este aumento. Isso foi verificado tanto dos 7 aos 28 dias como dos 28 aos 120 dias. Segundo o autor, isto ocorreu por que os agregados reciclados são menos resistentes que os naturais. Já a taxa de absorção inicial dos blocos com AR apresentou melhores resultados do que os blocos de referência (sem AR), mostrando uma capacidade dos agregados reciclados de produzir blocos de concretos com menor sucção da água da argamassa.

Leite (2001), afirma que o uso de AR (miúdo e graúdo) é perfeitamente viável para a produção de concretos, pelo menos do ponto de vista das propriedades mecânicas avaliadas. No entanto, é importante ressaltar que, para relações A/C baixas, a combinação das duas frações (graúdo e miúdo) de AR merece uma atenção especial, visto que foram observadas reduções das resistências mecânicas. Para a produção de concretos com altas relações a/c, o uso das frações de AR é bastante satisfatório, devendo ser observados apenas cuidados com a trabalhabilidade. Além disso, é perfeitamente possível utilizar a fração miúda do material reciclado sem maiores prejuízos ao desempenho mecânico dos concretos.

No que se refere à durabilidade dos concretos confeccionados com AR, Bravo *et al.* (2015) afirma que tal substituição apresenta resultados negativos em concretos endurecidos. Contudo, há uma grande variação nesses resultados, pois estes dependem da origem dos agregados reciclados utilizados na mistura.

Ainda em relação à durabilidade, nos estudos de Dhir *et al.* (2015) foram realizadas pesquisas em relação a incorporação de agregados reciclados em concreto, avaliando o comportamento de carbonatação do componente estrutural. Vários aspectos foram avaliados pelos autores, em relação ao uso de AR, como o nível de substituição, tamanho e origem, influência do tempo de cura e a utilização de misturas químicas e adições. Os resultados apontam que a relação entre a resistência à compressão e o coeficiente de aceleração à carbonatação é semelhante entre as misturas de concreto com agregado reciclado e a amostra padrão de referência feita com agregados naturais. No entanto, o grau de carbonatação é maior no concreto com agregado reciclado.

Dal Molin *et al.* (2004) explica que a durabilidade dos concretos, reciclados ou convencionais, está sujeita a uma diminuição caso sejam utilizados concretos com relação água/cimento de 0,6 e 0,8. Afinal, altas relações a/c resultam em um concreto com porosidade e permeabilidade altas, diminuindo o desempenho do concreto diante aos agentes agressivos.

Perdeneiras (2017) peças pré-moldadas do tipo *paver*, fabricadas com concretos com substituição de agregado miúdo reciclado, apresentaram um desempenho satisfatório. No entanto, as propriedades das peças revelaram variações em decorrência das condições em que o agregado reciclado foi introduzido na

mistura. Quando estes agregados passaram pelo processo de pré-molhagem, os concretos fabricados com os mesmos apresentaram desempenho mecânico mais satisfatório.

Bittencourt (2012), afirma que após 28 dias de cura, o concreto fabricado com até 40% de substituição de areia reciclada, apresenta melhor desempenho em relação ao concreto confeccionado com substituição de agregado graúdo reciclado. Tal resultado deve-se ao fato da areia reciclada não apresentar alteração no comportamento mecânico. Confirmando tal fato através de indícios estatísticos, constatando que houve aumento na resistência à compressão, de 96% nos traços com 20% de AMR, e 121% nos traços com 40% de AMR.

Simiele (2010) afirma que o emprego do AMR, proveniente de blocos de alvenaria, na fabricação de novos concretos destinados à produção de *pavers*, de acordo com testes realizados, mostra-se uma alternativa viável e favorável, visto que a adição deste agregado provocou melhorias no comportamento mecânico do concreto em seu estado endurecido somado a um consumo de aditivo superplastificante dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante. No entanto, destacou-se que os blocos de concreto para alvenaria certamente apresentaram composições distintas, de acordo com cada método produtivo, da região em que estes foram confeccionados, dos materiais utilizados na composição dos mesmos, fato este que pôde influenciar no comportamento do concreto confeccionado a partir dos agregados reciclados derivados de tais blocos.

No trabalho de Hood (2006) foi realizada a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado na confecção de peças pré-moldadas para pavimentação. Foram realizadas substituições com diferentes teores e os ensaios realizados para avaliar o comportamento dos *pavers* foram resistência a compressão, resistência a abrasão e absorção de água. Diante dos resultados encontrados através dos ensaios verificou-se que o teor ideal de substituição de material reciclado é de até 25%.

Com base em estudos obtidos por Araújo *et al.* (2016) afirma-se que é possível a substituição de 100% do agregado natural pelo agregado reciclado de construção e demolição sem que tal substituição traga prejuízos às resistências à compressão e à tração do concreto. O mesmo autor ainda afirma que para tal

resultado positivo é necessário a garantia da qualidade dos agregados reciclados, o que pode ser realizado pelo controle da massa específica do agregado reciclado. No entanto as normas brasileiras ainda não permitem essa substituição para concretos com fins estruturais.

2.6. Peças pré-moldadas para pavimentação

Segundo Simiele (2010) a pavimentação intertravada por peças pré-moldadas de concreto, constitui, tanto por sua versatilidade, quanto por sua facilidade de execução, uma excelente alternativa técnica e economicamente viável. Este tipo de pavimentação é aplicado com os mais variados tipos de peças, as quais se diferenciam tanto pelo formato, material empregado ou pela coloração aplicada.

Pra quem busca uma alternativa economicamente viável para pavimentação o piso intertravado é uma ótima opção, pois além de possuir uma ótima aparência o mesmo possui boa resistência e apresenta bom desempenho em áreas externas que irão receber um grande tráfego de veículos e pessoas. Este tipo de pavimentação possui uma simples execução, pois, os blocos de concreto (*pavers*) são assentados sobre uma camada de areia, próximos um do outro e de maneira que todos apresentem perfeito encaixe.

Simiele (2010) afirma que tanto a aparência estética quanto o desempenho do pavimento sofrerão influência direta do tipo de sequência de assentamento escolhida. Não existe um consenso entre os pesquisadores sobre as interferências do tipo de assentamento na durabilidade do pavimento, mas há concordância de que o desempenho é influenciado pelo tipo de assentamento.

Existem no mundo mais de 100 modelos de *pavers*, cada um deles com suas devidas finalidades. Além das peças tradicionais utilizadas para calçamento, existem também os pisos ecológicos que possibilitam a utilização com grama, e pisos com

finalidades específicas como os permeáveis, drenantes, segregadores de tráfego, orientação para deficientes visuais, entre outros (FERNANDES, 2016).

No que diz respeito ao modo de fabricação os *pavers*, ou peças de concreto, existem diversos processos produtivos. Fernandes (2016) afirma que os principais deles são: *paver* prensado, *paver* dormido, *paver* virado, *paver* drenante, *paver* dupla capa, *paver* colorido, *paver* mesclado, *paver* envelhecido e *paver* ecológico.

Em relação ao formato, os pavimentos pré-fabricados ou pisos intertravados tem uma grande variedade e podem até ser feito de acordo com o projeto do cliente, os modelos comuns no mercado são; onda 16 faces, retangular, raquete, bloquete sextavado, pisograma e permeável. Todos os tipos de *paver* possuem especificações de resistência e especificações de utilização ideal e podem variar suas formas e espessuras.

Vantagens do uso de pavimentos com *pavers*

São diversos os benefícios na utilização de pavimentos com *pavers* intrínsecas as próprias características do material utilizado no concreto, dentre elas estão

- A produção desses materiais consome menor energia comparada ao concreto asfáltico, constituindo melhor uniformidades nas medidas, principalmente pelo uso de máquinas vibro-compressoras;
- Uso de materiais e ferramentas simples no processo construtivo, uso de varias frentes de trabalho e não necessita de mão de obra especializada;
- Adaptável a diferentes geometrias de pavimentação como curvas
- Detém capacidade estrutural, resistência a abrasão, produtos químicos;
- Capacidade de manter a forma com acomodações do subleito;
- Variedade em formatos, cores e texturas;
- Índice de aderência próxima a outros pavimentos;
- Melhor acessibilidade a instalações de hidrossanitárias e elétricas;
- Fácil armazenamento e imediata liberação de trafego após a instalação.

Classificação e fabricação das peças

A classificação das peças de *pavers* de acordo com a fabricação é composta por três modos distintos:

- Vibroprensada: A produção é mecânica, onde os *pavers* são confeccionados com concreto seco e o uso de vibroprensas mecânicas ou hidráulicas para moldagem, adensamento e retirada das formas mais precocemente;
- Peças dormidas: Os *pavers* são produzidos de forma manual. As peças são resultantes da utilização de concreto convencional, porém sem plasticidade convencional, onde o concreto é adensado com mesas vibratórias, porém com desmoldagem realizada após 24 horas;
- Peças viradas: São peças confeccionadas manualmente onde o concreto usado tem trabalhabilidade plástica com a utilização de formas individuais ou conjuntas e adensadas a partir de mesas vibratórias e a desmoldagem feita em uma superfície plana e impermeável com objetivo de formar *pavers* com estética mais agradável e superfície lisa.

As fabricações de blocos a partir do método de vibroprensagem são mais comuns na região norte. No presente trabalho o *paver* fabricado será o *paver* prensado. Esses são fabricados em vibroprensas e possui ótimos acabamentos. A seguir, é ilustrado um fluxograma do processo de fabricação dos *pavers* com concreto seco.

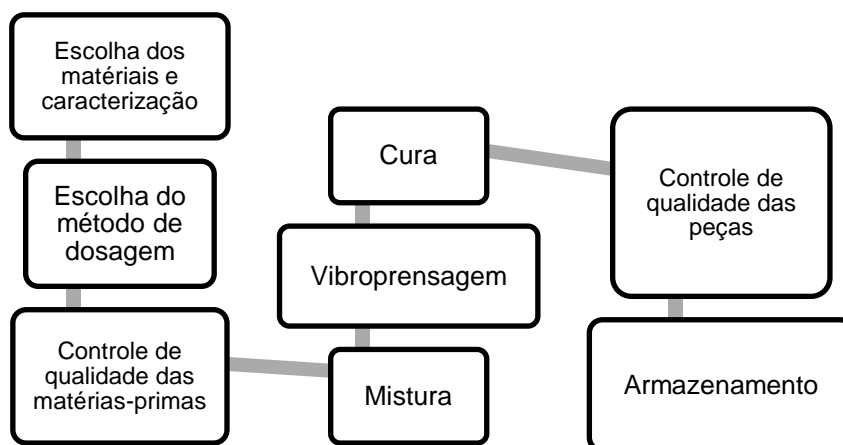


Figura 2.5 – Fluxograma de fabricação de *pavers* (a Autora).

Após as etapas citadas na Figura 2.5, inicia o processo de conformação do concreto seco nos equipamentos de vibro-compressão para prosseguir com a prensagem e vibração das peças nas formas.

A prensagem consiste em uma operação onde a massa contida em uma matriz rígida ou flexível (molde) é conformada através da aplicação de pressão. O objetivo dessa operação é obter peças uniformes com geometria pré-estabelecida e microestrutura adequada às necessidades do produto final. Para atingir este objetivo é desejável que a massa apresente ótima coesão e trabalhabilidade, facilitando o enchimento do molde, e elevada densidade de preenchimento para que seja máxima a quantidade de ar a ser expulsa no processo de prensagem (ALBERO, 2000).

No processo vibroprensado, a prensagem é responsável por aplicar a carga de compressão no concreto para retirar o ar aprisionado e a função da vibração é acomodar melhor os agregados e facilitar o enchimento da fôrma (OLIVEIRA, 2004). A vibração é transmitida aos componentes da mistura do concreto, reduzindo as forças de atrito, fluidificando a mistura e liberando as bolhas de ar aprisionadas, explica Rixner *et al.*(2001).

No caso específico do processo de vibroprensagem o excesso de água também dificulta a alimentação dos moldes. Dessa forma, deve ser utilizado um teor de umidade ótimo para atender as duas condições: facilidade de alimentação e prensagem, devendo ser o maior teor de água possível sem afetar a trabalhabilidade da mistura. Uma mistura com água insuficiente pode perder até 60% de sua resistência por dificuldade de compactação, além do desgaste do molde, que pode ser acelerado pelo atrito excessivo entre a mistura e o molde do equipamento.

O tipo de equipamento tem grande influência no teor de água, pois equipamentos de grande porte exigem um teor de água menor para compactar a peças, enquanto equipamentos de menor porte necessitam de misturas com mais água para atingir a compacidade adequada (FERNANDES, 2008).

Outro fator que deve ser considerado na prensagem é a recuperação elástica, ou seja, a expansão do material que ocorre após a retirada da carga devido à energia elástica que permanece armazenada na peça. Essa expansão gera tensões de tração na peça e pode ocasionar fissuras e está relacionada principalmente com

a distribuição granulométrica das partículas da mistura. O teor de umidade também influencia neste fator, sendo que, misturas com maior plasticidade apresentam menor recuperação (ALBERO, 2001). Dessa forma, para garantir uma recuperação elástica mínima podem ser alterados parâmetros no processo de prensagem ou na formulação da peça, buscando granulometrias que apresentem melhor empacotamento de partículas.

Segundo Albero (2001), também são importantes as características da peça no estado “verde”, ou seja, logo após a conformação, quanto necessita de coesão para resistir às etapas seguintes no processo produtivo, neste caso, transporte interno, processo de cura e a armazenagem.

Outra questão associada à prensagem é a falta de uniformidade da compactação nas peças, que pode ser ocasionada pela fricção das partículas, entre estas e as paredes do molde, ou do preenchimento não uniforme deste, (ALBERO, 2001). Por este motivo é muito importante que no processo de fabricação o concreto seja muito bem compactado.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste trabalho experimental, realizou-se o estudo sobre o emprego de resíduos de concreto na produção de novos concretos destinados à fabricação de peças para pavimentação tipo “*paver*”. Com o objetivo de avaliar o desempenho desses concretos, este programa experimental seguiu os seguintes passos:

- Planejamento dos ensaios;
- Aquisição e caracterização dos materiais;
- Dosagem dos concretos e moldagem dos corpos de prova;
- Ensaio de laboratório;
- Análise dos resultados.

3.1. Planejamento dos ensaios

As definições das variáveis de estudo, são de grande importância para o desenvolvimento do presente trabalho. Visto que são elas que determinam os parâmetros e resultados a serem analisados. Desta forma, são apresentadas a seguir as variáveis adotadas no presente trabalho.

a) Variáveis de controle

As variáveis de controle apresentadas abaixo foram mantidas durante todo o trabalho experimental, no intuito de avaliar as suas influências nos resultados que foram adquiridos de acordo com as variáveis de respostas.

- Teor de substituição: foram adotados os teores de 0%, 25% e 50% de substituição de agregado miúdo natural (AMN) por agregado miúdo reciclado (AMR). Estes teores foram adotados com base em outras pesquisas

similares Simiele (2010), Hood (2006), nas quais apresentaram resultados mais satisfatórios;

- Taxas de pré-saturação de água: as taxas de pré-saturação de água dos agregados reciclados foram de 60%, 80% e 100%, por cada mistura de cada traço. Estes percentuais foram adotados na intenção de testar se as taxas de pré-saturação interferem no desempenho do concreto, seja de maneira satisfatória ou não;
- Idade de ruptura: as idades de ruptura dos corpos de prova foram de 7 e 28 dias. Estas idades foram escolhidas sabendo-se que o sétimo dia é a idade inicial da cura do concreto, permitindo avaliar o comportamento preliminar do ganho de resistência, já no vigésimo oitavo dia é a idade padrão na qual é definida a resistência do concreto. Vale ressaltar que estas idades são as utilizadas em diversos trabalhos e ambas estão de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013).

b) Variáveis de resposta

Definidas as variáveis de controle partiu-se para a definição das variáveis de resposta a fim de avaliar as propriedades físicas e mecânicas do concreto. As variáveis de resposta definidas para o estado fresco foram a avaliação da coesão e trabalhabilidade, que foi feita visualmente e por meio de análise táctil da mistura. No estado endurecido adotaram-se os ensaios de resistência à compressão e de absorção de água por imersão, realizados de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013).

3.2. Caracterização dos Materiais

3.2.1. Cimento Portland

O cimento utilizado na confecção dos concretos foi o **CPII-F-40** (Cimento Portland Composto por Fíler), por possuir excelente desempenho na fabricação de artefatos de concreto. Suas características físico-químicas foram fornecidas pelo fabricante de acordo com a NBR 11578 (ABNT, 1991) e estão na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características físico-químicas da composição do cimento (Fornecidos pelo fabricante, 2018).

	Ensaio Químicos				Ensaio Físicos e mecânicos									
	Teores (%)				Finura (%)		Blaine (cm ² /g)	Água de consis. (%)	Tempo de pega		Resist. a compressão			
	PF	MgO	SO ₃	RI	#200	#400			Início (min)	Fim (min)	3 dias	7 dias	28 dias	
Limites de Norma	≤ 12,5	≤ 6,5	≤ 4,5	≤ 7,5	≤ 10,0	N/A	≥ 2800	N/A	≥ 60	≤ 600	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40	
Média	7,30	2,25	2,87	4,89	0,2	2	4560	46,1	235	298	27,6	35,4	47,2	
Desvio Padrão	0,43	0,22	0,10	0,49	0,2	0,3	135	49,3	19	15	1,3	1,5	1,8	
Mínimo	6,87	1,77	2,72	4,30	0	1,4	4310	30,4	210	280	26	33,9	44,3	
Máximo	8,19	2,48	3,04	5,77	0,5	2,5	4770	210	280	325	30,1	38,7	50,2	

3.2.2. Areia

A areia utilizada é proveniente dos areais da cidade de Ourém, localizada no Estado do Pará. Neste material foram realizados os ensaios de composição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima de acordo com a NBR 248

(ABNT, 2003), massa específica, pela NBR NM 52 (ABNT, 2003) e massa unitária NM 45 (ABNT, 2002). Os resultados dos ensaios são apresentados na tabela 3.2., seguida da curva granulométrica apresentada na tabela 3.1.

Tabela 3.2 - Características da areia.

Peneira (mm)	Massa retida (g)	Retida na peneira (%)	Retida acumulada (%)
4,8	5	0	0
2,4	5	0	1
1,2	17	2	3
0,6	87	9	11
0,3	464	46	58
0,15	308	31	89
Fundo	114	11	100
Total	1000	100	-
Massa Unitária (g/cm³)	1,57		
Massa Específica (g/cm³)	2,63		
Diâmetro máximo (mm)	1,2		
Módulo de finura	1,62		

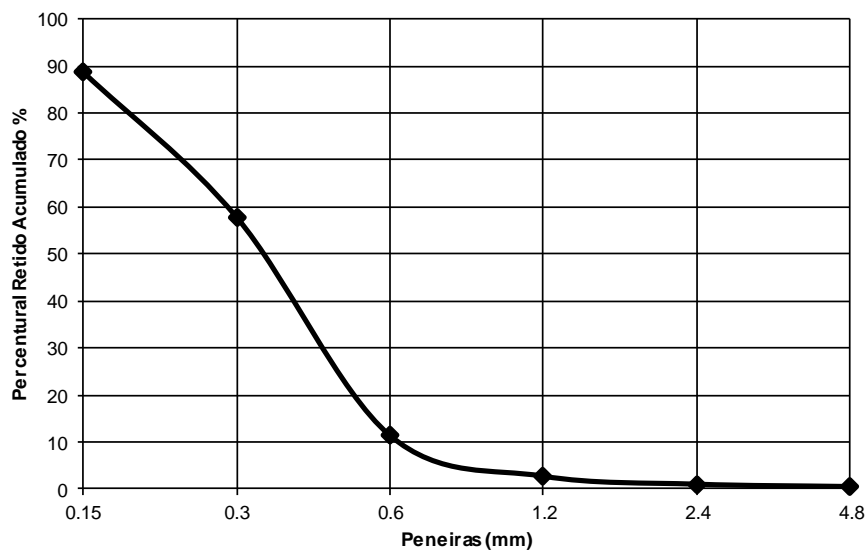


Figura 3.1 – Curva granulométrica do agregado miúdo (areia).

3.2.3. Pedrisco

O pedrisco utilizado também é proveniente das jazidas localizadas na cidade de Ourém localizada no Estado do Pará. Neste material também foram realizados ensaios regidos pelas normas mencionadas anteriormente para areia. Os resultados dos ensaios são apresentados na tabela 3.3., seguida da curva granulométrica apresentada na tabela 3.2.

Tabela 3.3 - Características do pedrisco.

Peneira (mm)	Massa retida (g)	Retida na peneira (%)	Retida acumulada (%)
6,3	4	0	0,4
4,8	6	1	1
2,4	190	19	20
1,2	414	41	61
0,6	222	22	84
0,3	96	10	93
0,15	34	3	97
Fundo	34	3	100
Total	1000	100	-
Massa Unitária (g/cm³)		1,40	
Massa Específica (g/cm³)		2,63	
Diâmetro máximo (mm)		4,80	
Módulo de finura		3,56	

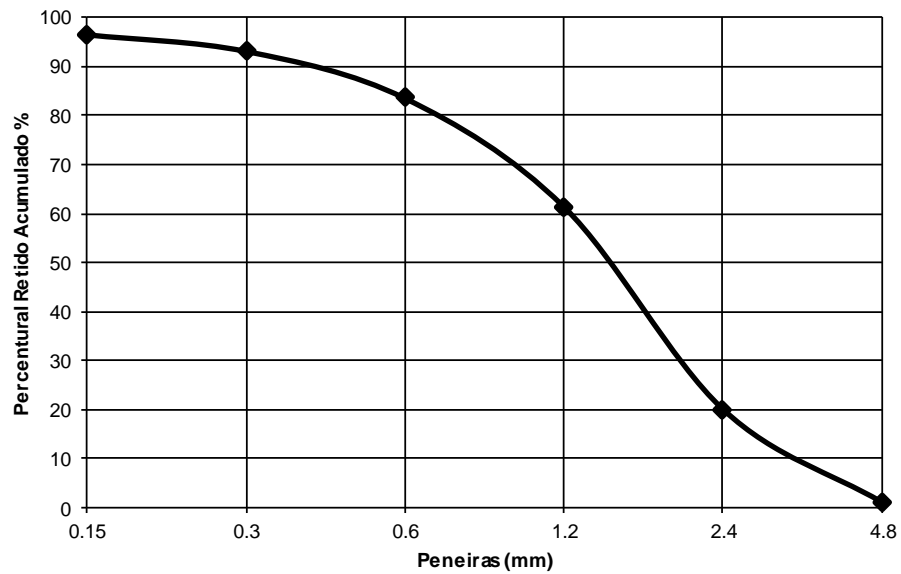


Figura 3.2 – Curva granulométrica do pedrisco.

3.2.4. Seixo

O seixo utilizado é proveniente da região de Ourém e São Miguel do Guamá localizadas no Estado do Pará. Neste material foram realizados os ensaios de composição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima de acordo com a NBR 248 (ABNT, 2003), massa específica, pela NBR NM 53 (ABNT, 2003) e massa unitária NM 45 (ABNT, 2002). Os resultados dos ensaios são apresentados na tabela 3.4., seguida da curva granulométrica apresentada na tabela 3.3.

Tabela 3.4 – Características do seixo.

Peneira (mm)	Massa retida (g)	Retida na peneira (%)	Retida acumulada (%)
19	0	0	0
12,5	704	14	14
9,5	970	19	33
6,3	1330	27	60
4,8	864	17	77
2,4	890	18	95
1,2	134	3	98
0,6	40	1	99
0,3	20	0	99
0,15	10	0	100
Fundo	30	0	100
Total	5000	100	-
Massa Unitária (g/cm³)		1,54	
Massa Específica (g/cm³)		2,64	
Diâmetro máximo (mm)		19	
Módulo de finura		6	

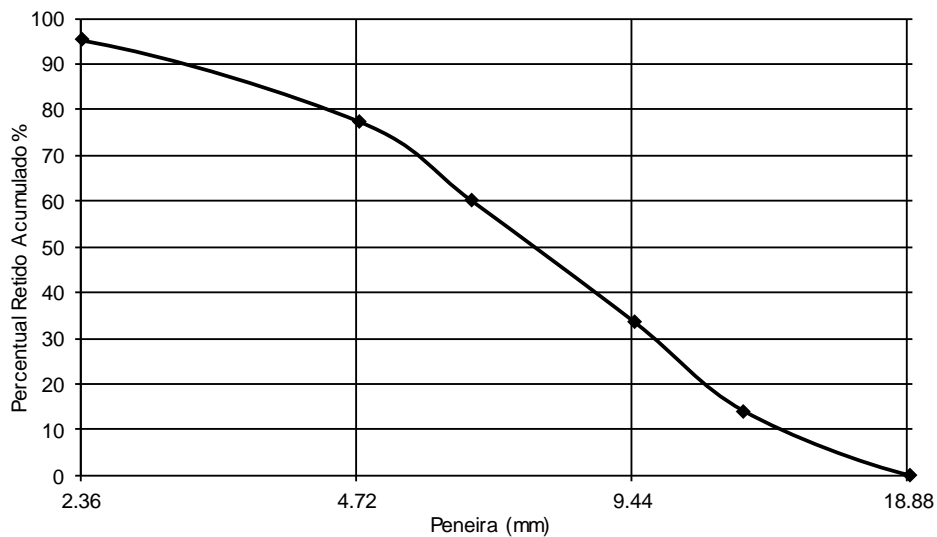


Figura 3.3 – Curva granulométrica do agregado graúdo.

3.2.5. Superplastificante

Utilizou-se no concreto para confecção dos *pavers* aditivo superplastificante de terceira geração de pega normal, apropriado para pré-moldados atendendo aos requisitos da norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019). Este aditivo é a base depolicarboxilato em meio aquoso com densidade variando entre 1,06 g/cm³ e 1,10 g/cm³ com pH entre 4 e 6. A dosagem recomendada pelo fabricante está compreendida entre 0,3% e 1,5% sobre o peso do aglomerante e adições minerais se houver.

3.2.6. Água

Utilizou-se água potável da central de pré-moldados com pH de aproximadamente 6,0 e temperatura em torno de 29 °C sendo adequada para o adensamento do traço e pré-saturação dos agregados reciclados para a produção das peças de *pavers*.

3.2.7. Agregado Reciclado

Os materiais reciclados utilizados na produção dos concretos e dos *pavers* foram provenientes de blocos de concretos que não seriam utilizados pela fabrica por apresentarem algum tipo de avaria ou não terem sido aprovados pelo controle de qualidade. Tais blocos estavam empilhados em palete, armazenados na fábrica e foram utilizados como alternativa de reciclagem a fim de diminuir a utilização de agregados e utilizar a área de armazenamento, para armazenar produtos sem avarias.

Para sua utilização como agregado no concreto, foi necessário a realização do processo de beneficiamento destes materiais. Este beneficiamento foi constituído de dois processos, sendo eles: britagem e peneiramento. Na utilização dos resíduos de concreto como agregado miúdo reciclado foi realizado o seu beneficiamento seguindo alguns procedimentos, a fim de alcançar a granulometria desejada para que fosse substituída a areia na confecção dos concretos.

A britagem foi executada no britador de mandíbula do laboratório de química da UFPA (figura 3.4). O britador foi ajustado com abertura de 19 mm, no intuito de fabricar materiais semelhantes ao agregado miúdo. A partir disso foi adquirido um material de granulometria não homogênea. Todo material adquirido após o processo de britagem foi armazenado em tonéis de ferro os quais foram transportados para a fábrica de pré-moldados.



Figura 3.4 – Britador de mandíbula e material obtido.

Após o britamento, o material passou pelo processo de peneiramento. O objetivo do peneiramento do agregado reciclado é produzir um material com características similares ao agregado natural que será substituído nas confecções dos traços experimentais.

Este processo foi realizado com peneiras com faixas granulométricas segundo a NM 248 (ABNT, 2003), segundo o esquema apresentado na figura 3.5. A partir dele obteve-se material semelhante à areia, semelhante ao pedrisco e semelhante ao seixo, os quais foram armazenados separadamente. Vale ressaltar que para o desenvolvimento da presente pesquisa foi utilizado o material semelhante à areia.



Figura 3.5 – Peneiramento e aspecto da areia e pedrisco reciclado.

No material semelhante à areia foram realizados os ensaios de caracterização, os quais seguiram os mesmos preceitos das normas utilizadas para os agregados naturais, com resultados apresentados na tabela 3.5. No caso do ensaio de absorção do agregado, adotou-se o procedimento preconizado por LEITE (2001).

Tabela 3.5 – Características do agregado reciclado semelhante à areia.

Peneira (mm)	Massa retida (g)	Retida na peneira (%)	Retida acumulada (%)
4,8	5	0,5	0,5
2,4	5	0,5	1
1,2	17	1,7	2,7
0,6	87	8,7	11,4
0,3	464	46,4	57,8
0,15	308	30,8	88,6
Fundo	114	11,4	100
Total	1000	100	-
Massa Unitária (g/cm³)		1,57	
Massa Específica (g/cm³)		2,63	
Diâmetro máximo (mm)		1,20	
Módulo de finura		1,62	
Pulverulento (%)		2,8	

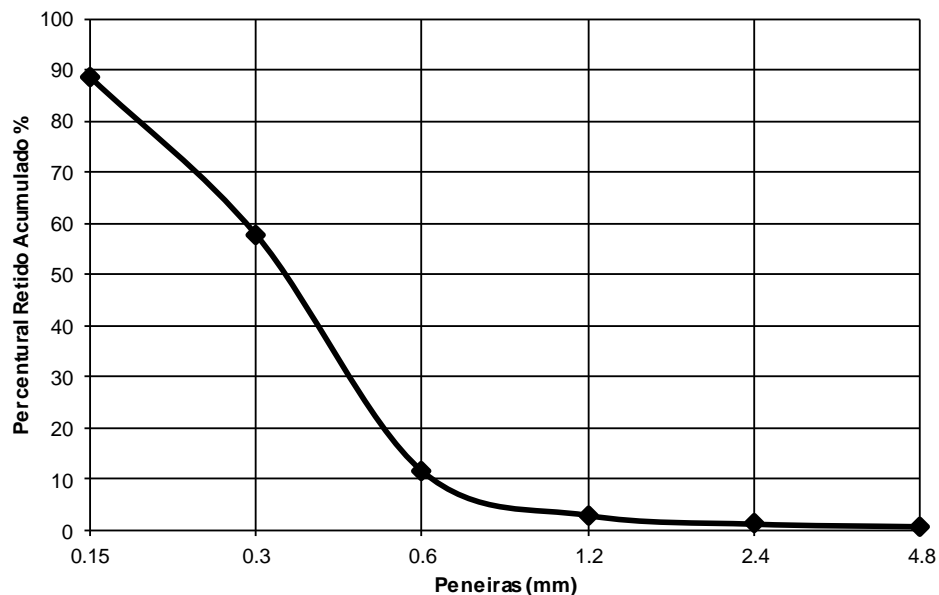


Figura 3.6 - Curva Granulométrica do agregado reciclado.

Dessa forma, o agregado reciclado semelhante à areia foi seco em estufa, por 24 horas, à temperatura de 110 °C e colocados em recipiente com tampa o qual a malha apresenta a abertura de 0,044 mm. Em seguida o conjunto foi submerso em

água, e a partir deste instante foi monitorado o ganho de massa do material submerso com o auxílio de uma balança com precisão de 0,01 g, dotada de um dispositivo para medida hidrostática de massa (figura 3.7). Antes de cada leitura, o recipiente foi cuidadosamente agitado facilitando a saída de ar presente na amostra. O monitoramento do ganho de massa do material ocorreu ao longo de 24 horas, organizando da seguinte forma:

- Nos primeiros 10 minutos: uma leitura a cada 2 minutos;
- Entre 10 e 30 minutos: uma leitura a cada 5 minutos;
- Entre 30 minutos e 1 hora: uma leitura a cada 10 minutos;
- Entre 1 hora e 2 horas: uma leitura a cada 15 minutos;
- A partir das 2 horas até que se completassem 9 horas depois do instante inicial: uma leitura a cada uma 1 hora;
- Passada às 24 horas da submersão do material em água foi feita a última leitura.



Figura 3.7 - Ensaio de absorção proposto por Leite (2001).

Através deste ensaio foi determinada a absorção do material reciclado em relação à massa do material seco, chamada de absorção do material seco. Determinou-se também a absorção do material em relação à leitura inicial do material submerso, a qual foi chamada de absorção do material submerso.

Adotou-se a média entre os valores de absorção do material submerso, acreditando-se em uma boa aproximação do valor real. Deste modo, as taxas de absorção foram calculadas de acordo com a Equação 1 e 2 descritas à seguir:

$$A_{seca}(\%) = \frac{M_{sub-f} - M_{sub-0}}{M_{seca}} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

$$A_{sub}(\%) = \frac{M_{sub-f} - M_{sub-0}}{M_{sub-0}} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Onde:

$A_{seca}(\%)$: taxa de absorção do material seco;

$A_{sub}(\%)$: taxa de absorção do material submerso;

M_{sub-f} : massa do material submerso no instante final;

M_{sub-0} : massa do material submerso no instante inicial;

M_{seca} : massa do material seco em estufa.

Os resultados das taxas de absorção calculadas através da Equação 3.1 e 3.2, bem como a taxa de absorção média estão presentes na tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Taxa de absorção média do agregado miúdo reciclado

	Agregado miúdo reciclado	
	Seco	Submerso
Absorção (%)	2,5	4,2
Absorção média (%)	3,35	

É possível afirmar que o agregado analisado nesta pesquisa, apresentou taxa de absorção média menor que 50% da taxa apresentada pelo AMR (8,60%)

ensaiado por Leite (2001). À partir da taxa de absorção de água do agregado reciclado (A) expressa em porcentagem (%) foram determinadas as quantidades de água a serem compensadas nas misturas e o tempo necessário para que fosse realizada a pré-saturação do agregado reciclado. A quantidade de água de pré-saturação foi calculada de acordo com a Equação 3.3:

$$Q_a = A_r \cdot T_x \cdot A \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Onde:

Q_a : Quantidade de água para a pré-saturação (ml);

A_r : Quantidade de agregado reciclado (kg);

T_x : Taxa de pré-saturação (%);

A : Taxa de absorção de água do agregado reciclado (%).

3.3. Confeção dos traços e moldagem dos corpos de prova (pavers)

Para cada grupo de resistência (25 MPa, 30 MPa e 35 MPa) foram confeccionados 7 traços. Organizados da seguinte forma:

- 3 traços de referência (tabela 3.7), o qual o traço unitário foi fornecido pela empresa de pré-moldados (sem substituição de agregado miúdo natural);
- 9 traços com 25% de substituição de agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado, com suas determinadas taxas de pré-saturação;
- 9 traços com 50% de substituição de agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado, determinadas taxas de pré-saturação.

Tabela 3.7 – Traços unitários dos traços de referência.

	Cimento	Areia	Pedrisco	Seixo	a/c	Consumo de Cimento (kg/m ³)
25 MPa	1	2,73	1,35	1	0,42	370
30 MPa	1	2,53	1,25	0,93	0,37	395
35 MPa	1	2,35	1,16	0,87	0,37	420

Tabela 3.8 – Traços confeccionados.

Variáveis de resistência	Substituição de agregado graúdo (%)	Substituição de agregado miúdo (%)	Taxa de pré-saturação (%)
25 MPa/ 30 MPa/ 35 MPa	0%	0%	-
		25%	60%
			80%
			100%
		50%	60%
			80%
Total de traços por fator de resistência			7

Neste trabalho, nas substituições de areia natural por areia reciclada foi necessária aplicar a mesma teoria de ajuste de massa utilizada por LEITE (2001), em função das diferenças de massas específicas entre os agregados miúdos naturais e os agregados miúdos reciclados, tal ajuste foi baseado no volume e massa dos materiais através da Equação 3.4:

$$M_{ar} = M_{an} \cdot \frac{\gamma_{ar}}{\gamma_{an}} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Onde:

M_{ar} : massa de agregado reciclado;

M_{an} : massa de agregado natural;

γ_{ar} : massa específica do agregado reciclado;

γ_{an} : massa específica do agregado natural.

Para a produção dos corpos-de-prova, utilizou-se o misturador e a vibroprensa (figura 3.8). Os traços e os corpos de prova foram confeccionados com o auxílio de funcionários especializados fornecido pela empresa de pré-moldados. Todo material reciclado utilizado em cada mistura, foi pré-saturado por 10 minutos, antes de ser lançado no misturador de acordo com Albero (2001). O processo de saturação é necessário, pois agregados reciclados, por apresentarem alta porosidade, necessitam de mais água para alcançar a mesma trabalhabilidade de concretos com agregados naturais. Para Perdeneiras (2017), o processo de molhagem do agregado reciclado antes da confecção dos concretos, pois esse procedimento diminui a quantidade de material pulverulento presente no agregado. Desta forma, tem-se a diminuição da quantidade de água nessas misturas não altere o bom desempenho destes concretos no estado fresco.



Figura 3.8 – Vibroprensa e pré-saturação do material.

Para a moldagem dos corpos de prova, que são *pavers* retangulares com medidas apresentadas na figura 3.9, foi utilizado um conjunto de forma fixada na vibroprensa, tal forma tem a capacidade de moldar 10 *pavers* por vez. No desenvolvimento deste trabalho, foram moldados 10 *pavers* a cada traço (figura 3.8), totalizando a quantidade de 210 corpos de prova.

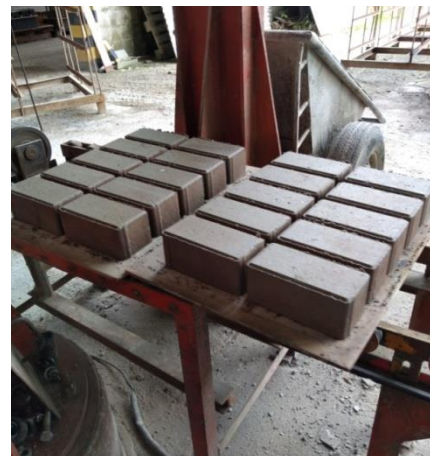
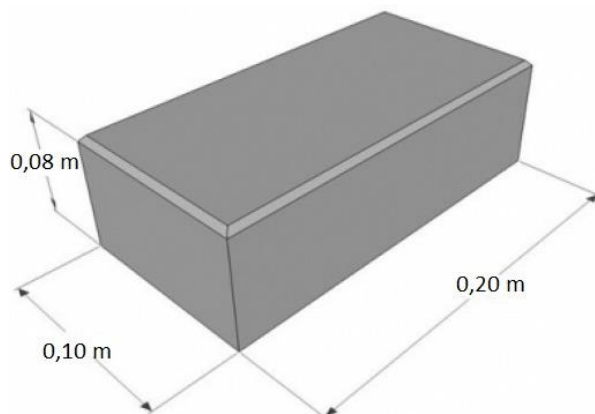


Figura 3.9 – Dimensões dos *pavers* produzidos e produzidos.

Após a fabricação dos *pavers*, os mesmos foram armazenados em espaço fabril, em estufa, por aproximadamente 72 horas. Após este período eles foram empilhados em palete (figura 3.10), organizados levados ao laboratório de engenharia civil da UFPA para que fossem preparados de acordo com seus respectivos ensaios.



Figura 3.10 – *Pavers* fabricados e armazenados.

3.4. Ensaio de laboratório

Após a chegada dos corpos de prova no laboratório de engenharia civil da UFPA, os mesmos foram preparados e organizados para cada tipo de ensaio. Os ensaios realizados nesta pesquisa foram organizados da seguinte forma:

- Concreto no estado fresco

Após todo o processo de mistura, o concreto foi avaliado em seu estado fresco, seguindo os preceitos utilizados rotineiramente na fábrica, observando a textura do concreto visualmente e o pressionando com as mãos, no intuito de verificar se o mesmo possui trabalhabilidade e compactação satisfatória.

3.4.1. Coesão da mistura (trabalhabilidade) e compactação

Segundo Fernandes (2016) a coesão da mistura é responsável por manter a peça íntegra após a sua moldagem e desforma. Tal característica permite com que a peça resista aos impactos decorrentes da movimentação da bandeja e do transporte, além de proporcionar satisfatória definição das arestas das peças. Esta característica é consequência da adequada distribuição granulométrica dos agregados, adequada presença de finos, da ótima umidade da mistura, do equilibrado consumo de aglomerante, e de um bom processo de mistura somado ao adensamento adequado.

Sabe-se que no concreto convencional a resistência está diretamente ligada à relação água/cimento empregada na mistura. Diferentemente, no concreto seco, a sua resistência está diretamente ligada ao grau de compactação que o equipamento proporciona as peças fabricadas. Para avaliar esta compactação foi realizado o ensaio de densidade dessas peças. Na presente pesquisa utilizou-se o teste do “dedo duro” proposto por Fernandes (2016), que consiste na pressão razoável, com a ponta do dedo, aplicada na superfície das peças. Se após tal pressão na superfície da peça a mesma não apresentar nenhuma deformação, significa que ocorreu compactação adequada no processo de fabricação.

- Concreto no estado endurecido

No concreto no estado endurecido, foram realizados os ensaios de resistência à compressão e absorção por imersão, conforme a NBR 9871 (ABNT, 2013). Estes ensaios foram realizados em corpos de prova estilo *pavers*, com idades de 7 e 28 dias, organizados segundo a tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Quantidade de corpos de prova para cada ensaio.

	Ensaio de compressão axial		Ensaio de absorção por imersão	Total de corpos de prova por traço
	7 dias	28 dias	28 dias	
Quantidade de corpos de prova para cada ensaio	3	3	3	9

3.4.2. Ensaio de resistência à compressão

Para a determinação da resistência à compressão foram seguidos os preceitos da NBR 9781 (ABNT, 2013). Primeiramente foi realizado o capeamento/regularização da superfície das peças, no intuito de evitar que durante o ensaio a carga aplicada seja distribuída de maneira desuniforme. Após este procedimento todas as peças foram saturadas e dispostas sobre placas auxiliares de ensaio com 8 cm de diâmetro, de modo que a superfície de rolamento ficasse em contato com a placa superior da máquina de ensaio e que o eixo vertical que passa pelo seu centro coincida com o eixo vertical passante pelo centro das placas (figura 3.11).



Figura 3.11 – Ensaio de resistência à compressão.

Ainda de acordo com a referida norma, a resistência à compressão da peça (MPa) é obtida dividindo-se a carga de ruptura pela área de carregamento, multiplicando o resultado pelo fator “ p ” (fornecido por meio da tabela apresentada no item A.1 da NBR 9781 (ABNT, 2013) (tabela 3.11), em função da altura da peça, segundo a Equação 3.5.

Tabela 3.10 – Item A.4 da NBR 9781 (ABNT, 2013) (fator multiplicativo “ p ”).

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

$$R (MPa) = \frac{Cr (N)}{Ac (mm^2)} \cdot p \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Onde:

$R (MPa)$: Resistência a compressão;

$Cr (N)$: Valor de Carga de ruptura em *kgf* multiplicado por 10;

$Ac (mm^2)$: Área do carregamento (*cm*²) multiplicado por 100;

p : Fator multiplicativo.

3.4.3. Ensaio de absorção de água por imersão

Para obter dados referentes à porcentagem de absorção de água, foi realizado o ensaio de absorção por imersão, seguindo os procedimentos da NBR 9781 (ABNT, 2013). Para este ensaio utilizou-se peças de concreto (*pavers*) completas, as quais passaram por limpeza com escova de cerdas macias com a finalidade de retirar todo o pó e partículas que estavam soltas nas peças. Após o processo de limpeza os corpos foram imersos em água (figura 3.12) por um período de 24 horas. Após este processo as mesmas foram colocadas em grade e pesadas individualmente logo após 1 min. Depois, repetiu-se o processo a cada 2 horas, anotando-se então a massa saturada **m₂**.



Figura 3.12 – Corpos de prova imersos em água, secagem dos CP's e balança.

Após serem pesados individualmente, os corpos de prova foram colocados em estufa (figura 3.13) com temperatura ajustada em 110 ± 5 °C, mantendo-se esta condição por 24 horas. Passadas às 24 horas as peças foram pesadas individualmente, depois foram colocadas novamente na estufa. Repetiu-se este procedimento a cada 2 horas, até que em dois valores sucessivos os corpos de prova não registrassem diferença de massa superior a 0,5% anotando-se o valor de massa seca **m1**.



Figura 3.13 – Blocos na estufa.

Obtendo-se os valores de **m1** e **m2** foi calculado o valor da absorção (%) através da fórmula:

$$A = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Onde:

A: é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m1: é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m2: é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

No presente capítulo, serão apresentados os resultados dos ensaios realizados no programa experimental desta pesquisa. A confecção dos traços com teores de substituição da areia natural por areia reciclada tem como principal objetivo a análise do desempenho destes concretos, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

4.1. Desempenho do Concreto no estado fresco

- **Coesão da mistura (trabalhabilidade)**

De acordo com o exposto no trabalho de Araújo *et al.* (2016), devido ao maior grau de absorção do agregado reciclado, o mesmo retira parte da água presente na pasta do concreto, prejudicando a coesão da mistura, o que não ocorreu nesta pesquisa. Pois, no que se refere à coesão da mistura dos traços confeccionados, sejam eles de referência ou com substituição, observou-se que todos os 21 traços apresentaram ótimo desempenho. Tal comportamento deve-se principalmente ao fato do agregado miúdo reciclado ter passado pelo processo de pré-saturação, antes de ser misturado aos outros componentes do concreto.

No desejo de manter constante relação água/cimento, se faz necessário um ajuste no teor de aditivo. Portanto, na realização deste trabalho, optou-se pela alteração na quantidade de aditivo superplastificante, tanto nos traços de referências quanto nos traços com substituição. Seguindo preceitos da pesquisa de Reis (2013), optou-se por alterar a quantidade de água presente na mistura, através do processo de pré-saturação do AMR delimitando 3 taxas de compensação, sendo elas de 60%, 80% e 100%. Após o processo de pré-saturação do AMR, verificou-se de maneira visual e tátil a aparência e a textura do mesmo. Este foi adicionado na mistura juntamente com os outros materiais constituintes do concreto, observando a textura da mistura, a fim de definir a quantidade de água necessária que seria adicionada na mesma, buscando o melhor desempenho do traço em relação à trabalhabilidade e coesão. É importante enfatizar que a quantidade de água adicionada ao concreto

seco é extremamente determinante para a sua trabalhabilidade e para aparência das peças fabricadas a partir dele.

Na pesquisa desenvolvida por Perdeneiras (2017), foi constatado que as misturas com areia reciclada lavada apresentaram melhor trabalhabilidade e melhor aspecto visual do produto final. A autora explica que o material pulverulento presente no AMR, demanda mais água para lubrificar os grãos. No entanto, quando a areia reciclada é previamente molhada ela passa a não apresentar material pulverulento, permitindo que a quantidade de água necessária para as misturas seja reduzida e suficiente para promover um bom desempenho no estado fresco do concreto. É possível afirmar que o processo de pré-saturação realizado neste trabalho resultou em um ótimo desempenho no *quis* diz respeito à trabalhabilidade e a coesão dos traços.

- **Compactação**

Sabe-se que geralmente concretos destinados à fabricação de pré-moldados apresentam aparência seca, podendo prejudicar a aparência dos artefatos que serão fabricados. No entanto, após o processo de vibroprensagem, os *pavers* fabricados nesta pesquisa apresentaram textura lisa, uniforme e ótima aparência. Desta forma, pode-se afirmar que tais peças foram muito bem compactadas no processo de fabricação. Este resultado satisfatório em relação à compactação do concreto deve-se também ao fato do equipamento de vibroprensa, o qual foi utilizado na fabricação dos *pavers*, apresentar elevada eficácia na fabricação de artefatos pré-moldados.

Ainda em relação ao teste de compactação, observou-se que as superfícies dos *pavers* não apresentaram deformação ou tiveram o seu aspecto visual prejudicado, todas as amostras passaram no teste de padrão de qualidade. Tal resultado positivo está relacionado à qualidade do equipamento de vibroprensa, juntamente com a grande quantidade de finos presentes no AMR, propiciando maior fechamento dos vazios (DAL MOLIN *et al.*, 2014). Tal fato não ocorreu no trabalho de Perdeneiras (2017). Pois, segundo a autora os *pavers* fabricados com AR apresentaram alterações nos aspectos visuais e tiveram sua textura prejudicada, se comparados aos blocos derivados dos traços de referência. A autora ainda afirma que, tal fato ocorreu decorrente do equipamento utilizado na pesquisa, não

apresentar alto desempenho no que se refere ao processo de prensagem e compactação dos blocos.

4.2. Concreto no estado endurecido

- **Resultados do ensaio de resistência à compressão**

Neste tópico são apresentados os resultados referentes ao ensaio de resistência à compressão, realizados segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013). Para este ensaio, foram moldados 6 corpos de prova (*pavers*) para cada um dos traços do programa experimental, sendo 3 ensaiados na idade de 7 dias e 3 na idade de 28 dias. A figura 4.1, apresenta o estado do corpo de prova após o seu rompimento



Figura 4.1 – Corpo de prova após o ensaio.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados nos corpos de prova provenientes do traço de referência e dos traços com substituição estão apresentados nas tabelas 4.1, 4.3 e 4.5. A partir dos resultados dos ensaios foram construídos respectivos gráficos (Figuras 4.2, 4.4 e 4.6) na intenção de agrupar estes resultados de acordo com as idades de ruptura dos corpos-de-prova,

facilitando a análise comparativa entre estes. Após a análise desses dados, os mesmos passaram por tratamento estatístico, através da ferramenta ANOVA (análise de variância) de duas vias, seguidos pela comparação múltipla de médias envolvendo todos os resultados, no intuito de avaliar se a substituição de AMR na mistura do concreto possui de fato, significância estatística. Os resultados estão apresentados nas tabelas 4.2, 4.4 e 4.6, seguidas dos gráficos (figuras 4.3, 4.5 e 4.7). As células preenchidas com a cor cinza apresentam significância estatística, as quais são determinadas pelo nível de significância, que é estabelecido em 5%. Portanto, se " p " < 0,05, então há significância estatística.

Tabela 4.1– Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 25 MPa.

25 MPa								
Traço	Idade 7 dias				Idade 28 dias			
	CP1	CP2	CP3	Valor adotado	CP1	CP2	CP3	Valor adotado
Referência	19,24	17,48	19,38	19,38	25,31	24,86	26,53	26,53
25% Sub., 60% de Tx.	13,96	12,29	13,89	13,96	17,23	16,4	18,16	18,16
25% Sub., 80% de Tx.	21,34	18,19	21,71	21,71	21,17	19,51	23,03	23,03
25% Sub., 100% de Tx.	19,24	18,81	22,28	22,81	20,03	19,42	22,9	22,90
50% Sub., 60% de Tx.	24,14	23,33	22,05	22,14	24,84	23,53	23,15	23,53
50% Sub., 80% de Tx.	25,06	22,68	22,22	25,06	25,65	25,83	23,65	25,83
50% Sub., 100% de Tx.	19,6	19,71	19,57	19,71	21,75	22,24	21,55	22,24

* 25% Sub.: 25 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado;
* 50% Sub.: 50 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado;
* 60% de Tx.: 60 por cento de taxa de compensação de água;
* 80% de Tx.: 80 por cento de taxa de compensação de água;
* 100% de Tx.: 100 por cento de taxa de compensação de água;

Após analisar os resultados presentes na tabela 4.1, observou-se que, além do traço de referência, o traço com 50% de substituição e 80% de taxa de compensação, também alcançou o patamar de resistência de 25 MPa aos 28 dias.

Concluindo que este traço apresentou a melhor porcentagem de substituição e taxa de pré-saturação. Tal resultado positivo pode ser fator de ordem física, devido a um possível efeito *filler* atribuído ao material finamente moído (PERDENEIRAS, 2017). Também foi possível observar que no vigésimo oitavo dia, o traço que apresentou os menores valores de resistência, foi com 25% de substituição e 60% de taxa de compensação, que não alcançou 19 MPa. Contrário aos resultados apresentados por Bittencourt (2012), onde os traços com 20% de areia reciclada não apresentaram diferença significativa em relação ao traço padrão (traço sem substituição de AMR), demonstrando desempenho satisfatório. Por outro lado, o trabalho apresentou indícios estatísticos de que a substituição de 40% de AMN por AMR proporcionou alterações no comportamento mecânico dos *pavers*, reduzindo a resistência à compressão. Segundo a autora (Bittencourt, 2012), este resultado deve-se ao fato de que, quanto maior a porcentagem de AMR presente na mistura, maior será a relação *a/c*. Ocasionalmente assim, um aumento na porosidade do concreto, quando no estado endurecido. Ressalta-se também que, o aumento da quantidade de água na mistura do concreto, é decorrente da falta do processo de pré-saturação da areia reciclada.

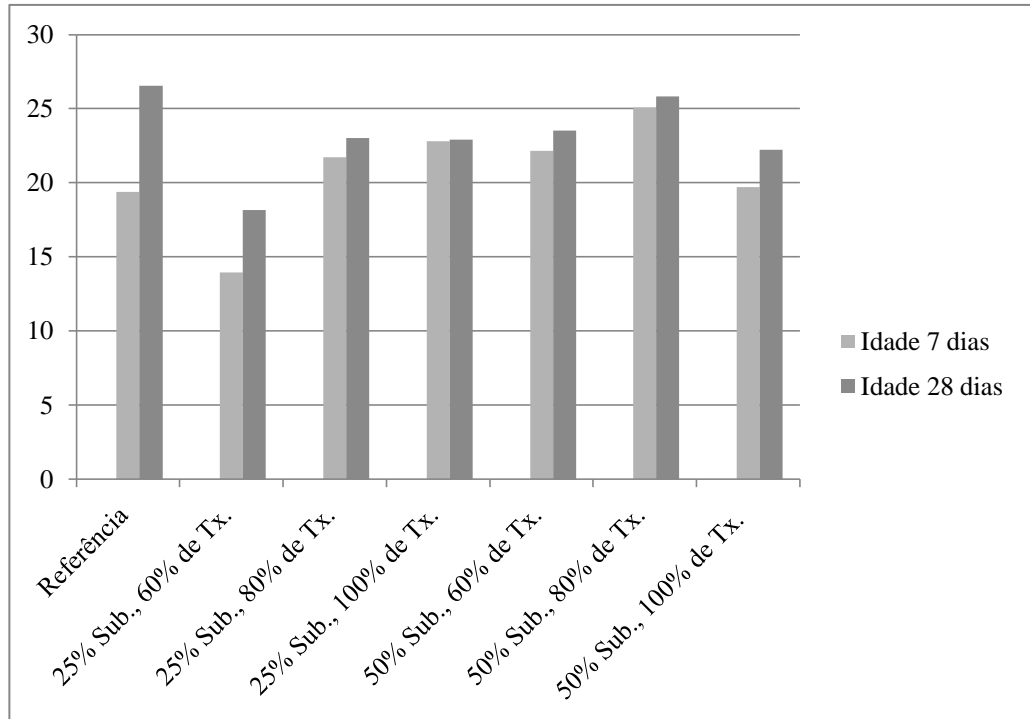


Figura 4.2 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 25 MPa, comparando as idades (7 e 28 dias).

De acordo com o Figura 4.2 foi possível observar que no intervalo entre as idades 7 e 28 dias, somente o traço de referência apresentou aumento superior a 5 MPa. Desta forma constata-se que todos os traços com agregado reciclado atingiram quase que 100% da resistência, após os 7 dias de cura do *paver*. Este comportamento evidencia que a cura não proporcionou aumento da resistência dos *pavers* após os 7 dias. Continuando o tratamento dos resultados, fez-se a análise de significância dos traços através da ANOVA e da interação entre os traços (tabela 4.2).

Tabela 4.2. – Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na resistência à compressão – 25 MPa.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Teor de Substituição (%)	65,51309	1	65,51309	40,4999	3,59E-05	4,747225
Taxa de pré-saturação (%)	21,22554	2	10,61277	6,560769	0,01188	3,885294
Interações	22,79781	2	11,39891	7,046753	0,00946	3,885294
Dentro	19,41133	12	1,617611			

GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrados Médios; F = Valor estatístico de F considerando erro de 5%; p = valor em relação ao nível de significância (p<0,05);

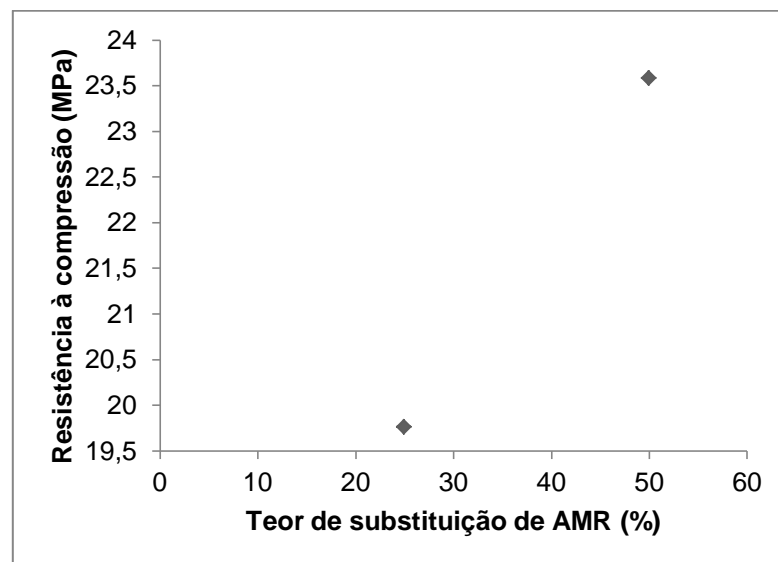
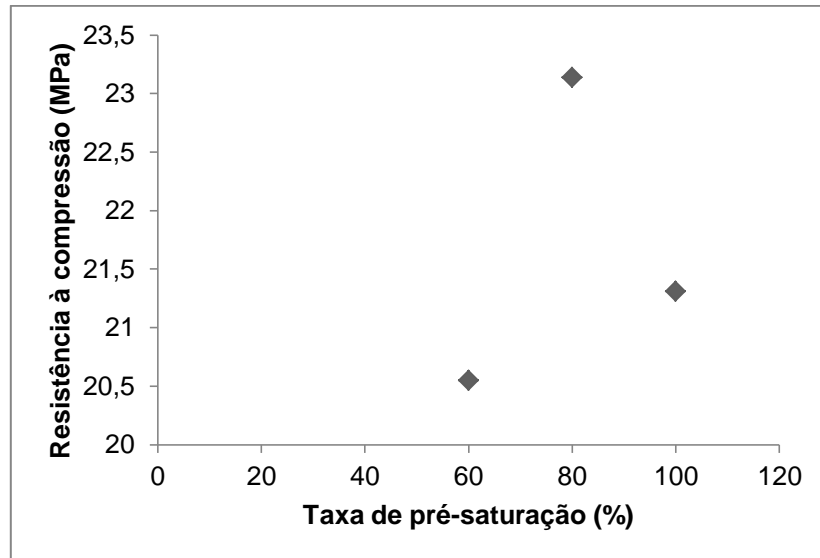
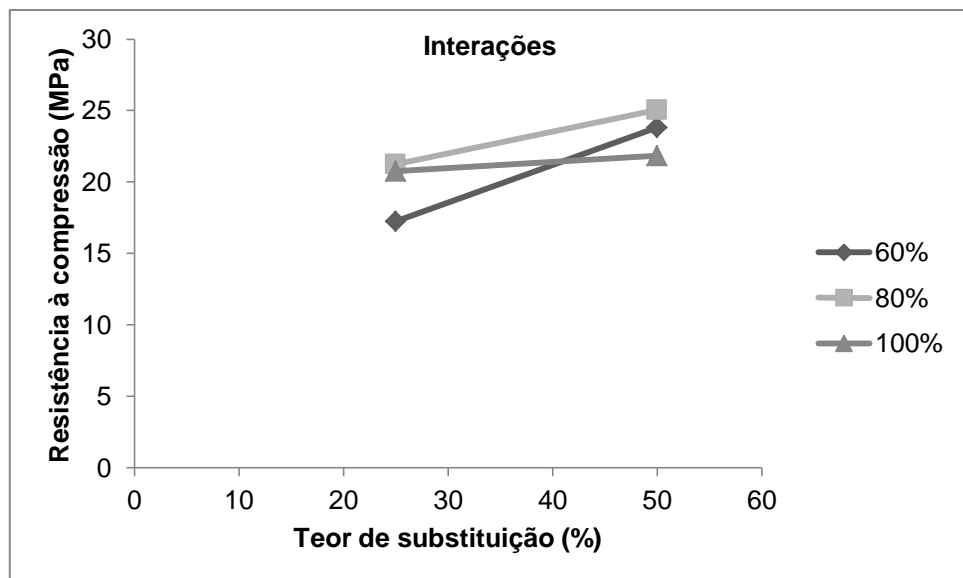


Figura 4.3 – Comportamento do concreto quanto à resistência à compressão – 25 MPa.

a) em função do teor de substituição de AMR (%).



b) em função da taxa de pré-saturação (%).



c) em função da interação entre os fatores teor de substituição e taxa de pré-saturação.

A partir dos resultados da tabela 4.2, observou-se que houve significância entre os resultados (células cinzas), tanto em relação ao teor de substituição de AMN por AMR, quanto em relação à taxa de pré-saturação, juntamente com suas interações.

De acordo com a figura 4.3 (a) a resistência média do grupo com 25% de substituição é de aproximadamente 20 MPa. Já nos traços com 50% de substituição

a média é aproximadamente 24 MPa. Confirmando que o aumento do teor de substituição de AMR ocasionou uma melhora na resistência do concreto.

Em relação à pré-saturação na figura 4.3 (b) pode-se observar que o grupo dos traços com 80% de taxa de pré-saturação apresentaram a maior média de resistência (23,14 MPa). No que diz respeito à interação entre os teores de substituição e a taxa de pré-saturação, a figura 4.3 (c) mostra que a menor média dentre as interações foi na combinação 25% de substituição de 60% de pré-saturação (17,26 MPa) e a maior média foi na interação 50% de substituição de 80% de taxa de pré-saturação (25,04 MPa).

A análise dos resultados em relação ao traço de referência de 30 MPa e dos respectivos traços com substituição, estão presentes na tabela 4.3 e na figura 4.4, seguidos da ANOVA (tabela 4.4) seguida dos gráficos (figura 4.5).

Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 30 MPa.

30 MPa								
Traço	Idade 7 dias				Idade 28 dias			
	CP1	CP2	CP3	Valor adotado	CP1	CP2	CP3	Valor adotado
Referência	22,87	22,98	20,64	22,98	29,86	30,07	30,65	30,65
25% Sub., 60% de Tx.	14,25	14,54	15,23	15,23	19,22	23,51	19,69	23,51
25% Sub., 80% de Tx.	19,13	18,64	16,13	19,13	21,95	19,89	19,32	21,95
25% Sub., 100% de Tx.	21,12	23,12	22,69	23,12	22,88	24,89	23,98	24,89
50% Sub., 60% de Tx.	21,52	23,18	21,08	23,18	25,23	24,14	27,34	27,34
50% Sub., 80% de Tx.	21,76	20,63	22,35	22,35	25,25	24,74	26,49	26,49
50% Sub., 100% de Tx.	17,93	17,89	17,89	17,93	31,57	26,19	27,39	31,57
* 25% Sub.: 25 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado; * 50% Sub.: 50 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado; * 60% de Tx.: 60 por cento de taxa de compensação de água; * 80% de Tx.: 80 por cento de taxa de compensação de água; * 100% de Tx.: 100 por cento de taxa de compensação de água;								

Analisando os resultados apresentados na tabela 4.3 foi possível observar que, passados os 28 dias, além do traço de referência, o traço com 50% de substituição e 100% de taxa de compensação também apresentou fator de resistência maior que 30 MPa, apresentando um valor de resistência igual a 31,57 MPa, tornando-se o teor ótimo de substituição. Tal resultado positivo deve-se ao fato de uma melhor distribuição granulométrica apresentada pelo agregado reciclado, afirma Simiele (2010). É importante destacar que esta melhoria na distribuição granulométrica possibilita um maior fechamento de vazios, proporcionando uma maior capacidade do concreto e contribuindo para o aumento de resistência, afirma Perdeneiras (2017). Segundo a mesma autora, outra explicação para este resultado é o fato do AR desenvolver tanto o efeito *filler* quanto o efeito pozolânico. Este primeiro ocasionando o melhor preenchimento dos vazios e melhorando a trabalhabilidade do concreto, e este segundo diminuindo a porosidade e

aumentando a dureza do concreto consequente de um efeito químico. Foi observado também, que os traços com 25% de substituição de AMR atingiram os menores valores de resistência à compressão. Comprovando o estudo de Dal Molin *et al.* (2004), o qual afirma que, quanto maior o teor de substituição de agregado miúdo reciclado no concreto, maior será a resistência mecânica obtida.

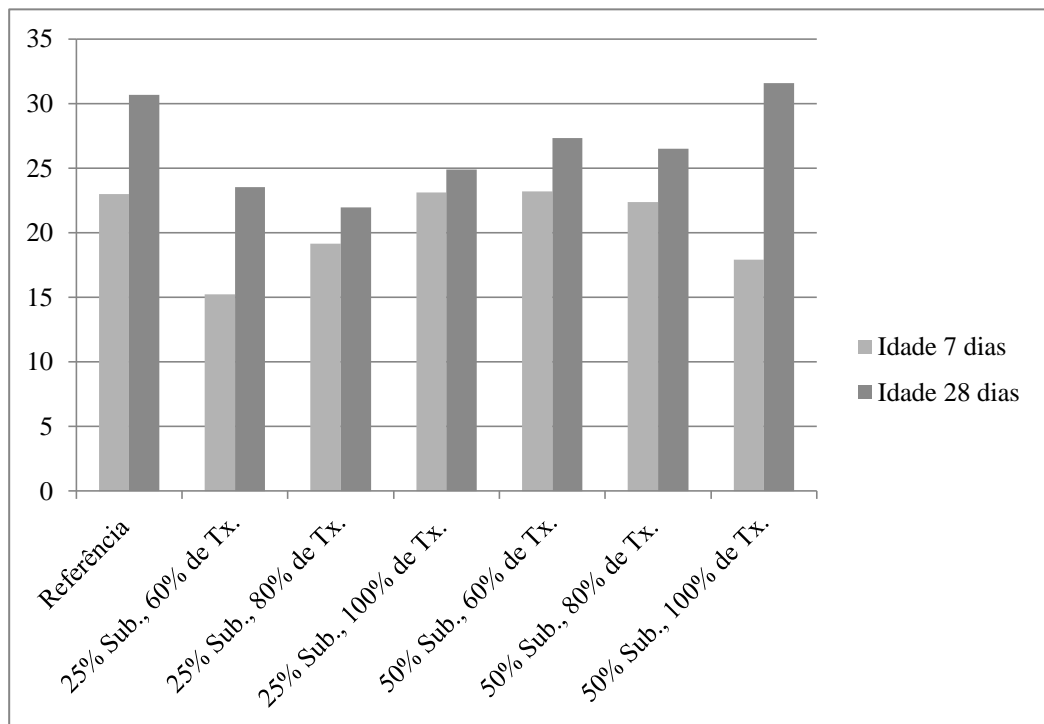


Figura 4.4 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 30 MPa, comparando as idades (7 e 28 dias).

Através da análise da Figura 4.4, observou-se que o traço de referência e o traço com 25% de substituição e 60% de taxa de compensação de água apresentaram aumento de resistência no valor de 5 MPa, no intervalo entre as idades. Em relação ao traço com 50% de substituição e 100% de taxa de pré-saturação, observou-se que este, no que diz respeito ao valor de resistência, apresentou um ganho maior que 10 MPa entre o sétimo e o vigésimo oitavo dia. Neste caso, é possível afirmar que o aumento do tempo de cura produziu aumento na resistência dos *pavers* fabricados com este traço. Bittencourt (2012), afirma que o

aumento do tempo de cura proporciona ganho de resistência nos concretos com substituição de AMR.

Afirma-se também que no sétimo dia, o traço com 25% de substituição e 60% de taxa de compensação apresentou o pior desempenho mecânico. Após os 28 dias, o traço que apresentou o menor fator de resistência foi de 25% de substituição e 80% de taxa de compensação. Em média, os traços com 25% de substituição foram os que apresentaram o pior desempenho mecânico. Seguindo o tratamento dos resultados, analisou-se a significância dos traços através da ANOVA (tabela 4.4) e os gráficos de interação (figura 4.5).

Tabela 4.4. - Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na resistência à compressão – 30 MPa.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Teor de Substituição (%)	102,77	1	102,77	30,99159	0,000122	4,747225
Taxa de pré-saturação (%)	38,27448	2	19,13724	5,771075	0,017539	3,885294
Interações	0,307744	2	0,153872	0,046402	0,954828	3,885294
Dentro	39,79273	12	3,316061			
GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrados Médios; F = Valor estatístico de F considerando erro de 5%; p = valor em relação ao nível de significância (p<0,05);						

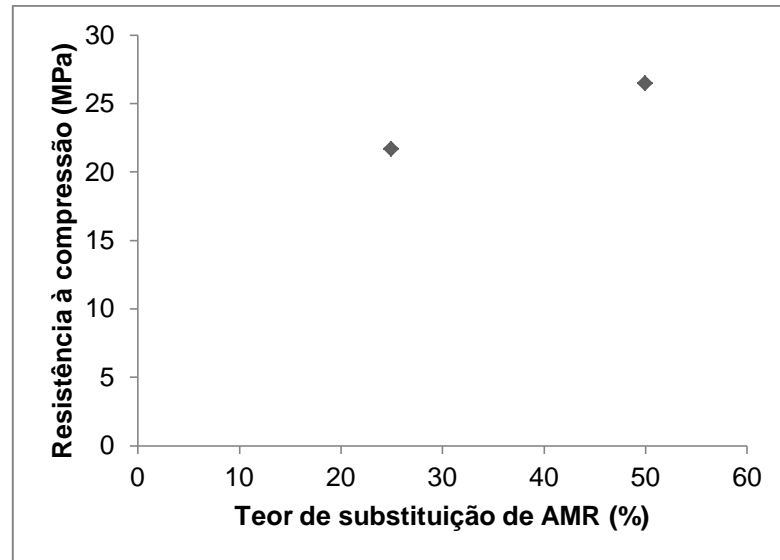
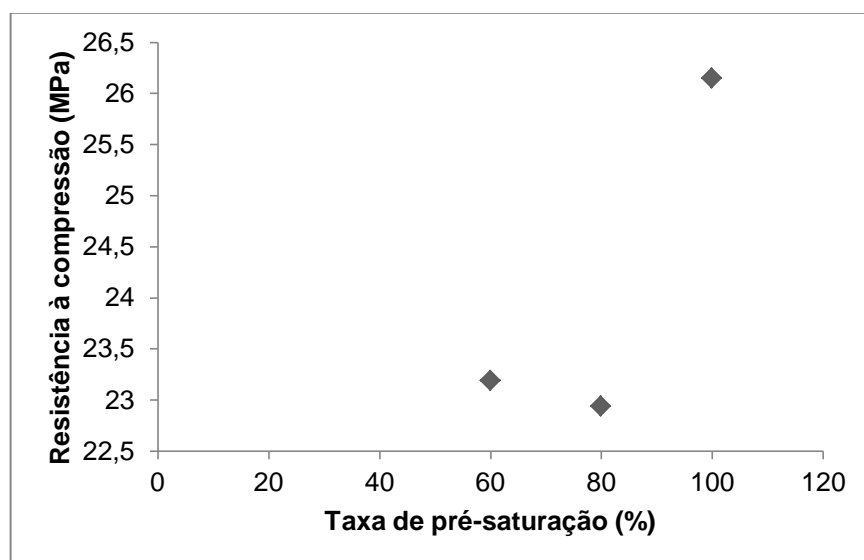
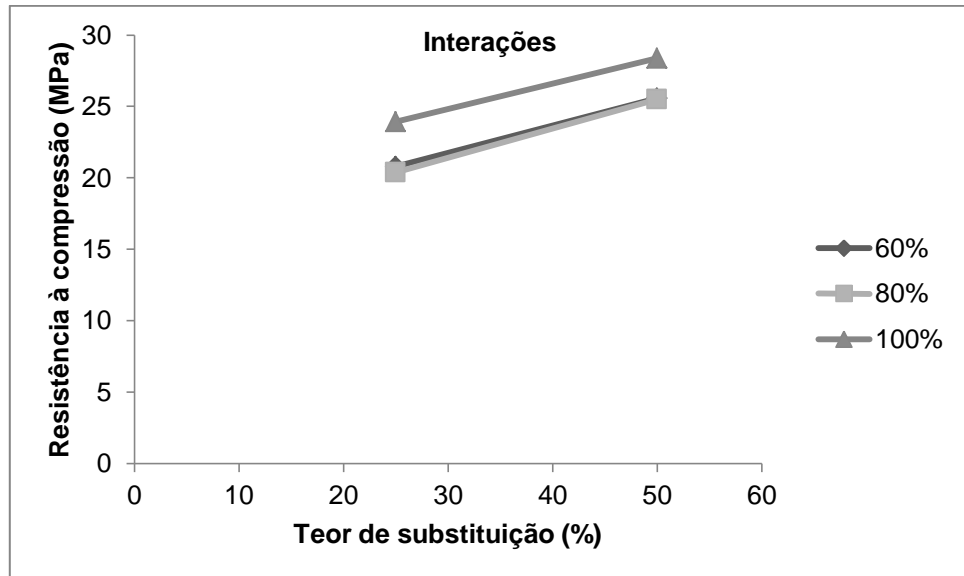


Figura 4.5 – Comportamento do concreto quanto à resistência à compressão – 30 MPa.

a) em função do teor de substituição de AMR (%).



b) em função da taxa de pré-saturação (%).



c) em função da interação entre os fatores teor de substituição e taxa de pré-saturação.

A partir dos resultados da tabela 4.4, observou-se que houve significância entre os resultados (células cinzas), tanto em relação ao teor de substituição de AMN por AMR, quanto em relação à taxa de pré-saturação. No entanto tratando-se das interações não ocorreu significância estatística.

De acordo com a figura 4.5 (a) a resistência média do grupo com 25% de substituição é de 21,27 MPa já nos traços com 50% de substituição a média é de 26,48 MPa. Confirmando que o aumento do teor de substituição de AMR ocasionou uma melhora na resistência do concreto, mesmo que este não tenha alcançado o valor de 30 MPa.

Em relação à pré-saturação na figura 4.5 (b) pode-se observar que o grupo dos traços com 100% de taxa de pré-saturação apresentaram a maior média de resistência (26,15 MPa), já os traços com 80% de taxa apresentou a menor média (22,94 MPa). Tratando-se da interação entre as duas variáveis de controle (teores de substituição e a taxa de pré-saturação), a figura 4.5 (c) mostra que a menor média dentre as interações foi decorrente da combinação 25% de substituição de 80% de pré-saturação (20,39 MPa) e a maior média foi na interação 50% de substituição de 100% de taxa de pré-saturação (28,38 MPa).

Seguindo com os estudos dos resultados, examinou-se os dados para o traço de referência de 35 MPa juntamente com os traços com substituição, estes dados estão presentes na tabela 4.5 e na figura 4.6, seguidos da análise de variância (tabela 4.6) e os gráficos de interação (figura 4.7).

35 MPa								
Traço	Idade 7 dias				Idade 28 dias			
	CP1	CP2	CP3	Valor adotado	CP1	CP2	CP3	Valor adotado
Referência	27,84	28,37	28,23	28,37	34,75	34,7	33,05	34,75
25% Sub., 60% de Tx.	15,27	17,34	17,4	17,4	24,23	24,8	24,21	24,8
25% Sub., 80% de Tx.	23,56	24,31	20,77	24,31	27,27	28,93	23,96	28,93
25% Sub., 100% de Tx.	21,87	21,83	22,07	22,07	22,43	22,54	26,27	26,27
50% Sub., 60% de Tx.	26,79	27,88	27,88	27,88	28,33	28,88	29,71	29,71
50% Sub., 80% de Tx.	25,67	26,41	24,02	26,41	26,64	27,85	29,5	29,5
50% Sub., 100% de Tx.	20,42	20,12	18,83	20,42	25,5	25,19	23,04	25,5
* 25% Sub.: 25 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado; * 50% Sub.: 50 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado; * 60% de Tx.: 60 por cento de taxa de compensação de água; * 80% de Tx.: 80 por cento de taxa de compensação de água; * 100% de Tx.: 100 por cento de taxa de compensação de água;								

Tabela 4.5 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 35 MPa.

Analisando os dados presentes na tabela 4.5, verificou-se que aos 28 dias, somente o traço de referência alcançou a resistência aproximada de 35 MPa (34,75 MPa). Outros traços não apresentaram desempenho satisfatório, pois os mesmos apresentaram valor de resistência menor que 35 MPa. Tal resultado também aconteceu nos trabalhos de Cavalcanti (2011) e Perdeneiras (2017). Tais autores afirmam que, os blocos derivados dos traços com substituição de AR, não

apresentaram resistência mínima exigida pela norma (35 MPa). Este fato também é enfatizado por Fernandes (2016), o mesmo explica que, para que os *pavers* fabricados com agregado reciclado alcançassem os 35 MPa de resistência, seria necessário o aumento do consumo de cimento, implicando no aumento no custo do produto e juntamente com a perda das vantagens ecológicas.

Vale ressaltar que, na presente pesquisa não houve aumento do consumo de cimento nos traços com substituição de AR, pois, para se obter vantagens ecológicas, o possível aumento da quantidade deste aglomerante, deve ser uma alternativa descartada.

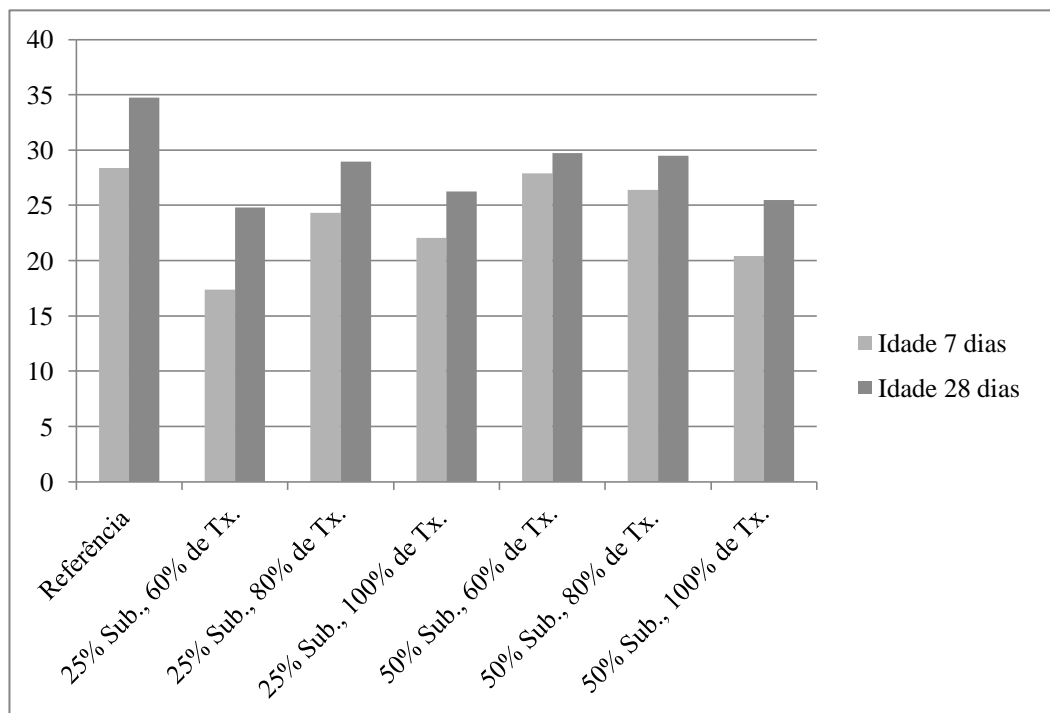


Figura 4.6- Resultados dos ensaios de resistência à compressão para o traço de referência de 35 MPa, comparando as idades (7 e 28 dias).

Na Figura 4.6 verificou-se que, no intervalo entre as idades, além do traço de referência, o traço com 25% de substituição e 60% de taxa de compensação de água, também apresentou aumento de resistência maior que 5 MPa. No entanto, após os 28 dias, este traço não apresentou resistência aproximada ou igual a 35

MPa. Este mesmo traço apresentou o menor desempenho mecânico no sétimo e no vigésimo oitavo dia.

Em relação ao valor de resistência de acordo com o tempo de cura (7 e 28 dias), foi possível observar que a maioria dos traços com substituição não apresentaram aumento significativo na resistência à compressão. Para a continuação do tratamento dos resultados, foi realizada a análise de variância dos traços, através da ANOVA de via dupla (tabela 4.6).

Tabela 4.6. - Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na resistência à compressão – 35 MPa.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Teor de Substituição (%)	32,56245	1	32,56245	6,996024	0,021376	4,747225
Taxa de pré-saturação (%)	4,717433	2	2,358717	0,506769	0,614774	3,885294
Interações	18,8697	2	9,43485	2,027072	0,174407	3,885294
Dentro	55,85307	12	4,654422			

GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrados Médios; F = Valor estatístico de F considerando erro de 5%; p = valor em relação ao nível de significância (p<0,05);

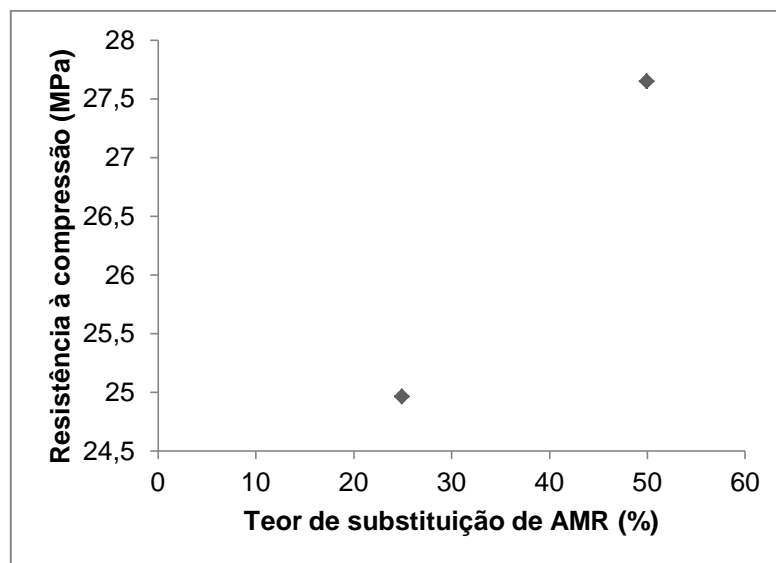
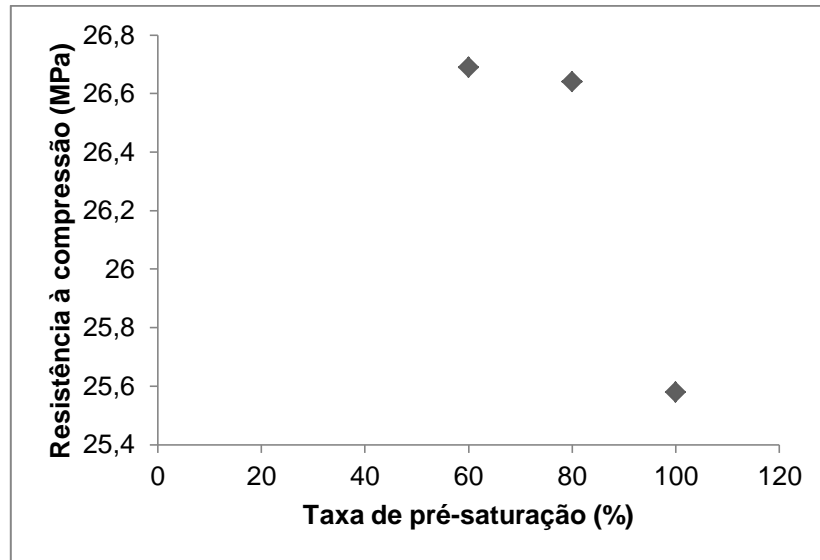
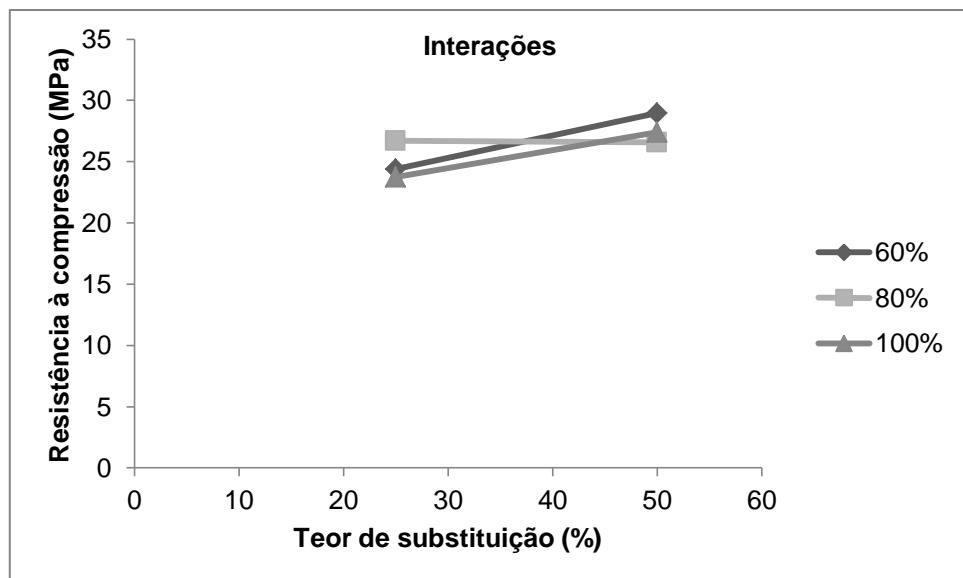


Figura 4.7 – Comportamento do concreto quanto à resistência à compressão – 35 MPa.

a) em função do teor de substituição de AMR (%).



b) em função da taxa de pré-saturação (%).



d) em função da interação entre os fatores teor de substituição e taxa de pré-saturação.

De acordo com os resultados da tabela 4.6, constatou-se que houve significância estatística (célula cinza), somente nos resultados relacionados ao teor de substituição de AMN por AMR. De acordo com a figura 4.7 (a) a resistência média do grupo com 25% de substituição é de 24,96 MPa. Já nos traços com 50% de substituição a média é de 27,65 MPa. Confirmando mais uma vez que o aumento do

teor de substituição de AMR provocou uma melhora na resistência do concreto, mesmo que este não tenha alcançado o valor de 35 MPa.

No que se refere à pré-saturação observa-se na figura 4.7 (b) que o grupo dos traços com 60% e 80% de taxa de pré-saturação apresentaram a maior média de resistência, 26,69 MPa e 26,62 MPa, respectivamente, já os traços com 100% de taxa apresentaram a menor média (25,58 MPa). Em relação à interação entre as duas variáveis de controle (teores de substituição e a taxa de pré-saturação), a figura 4.7 (c) demonstra que a menor média dentre as interações foi derivado do traço 25% de substituição de 100% de pré-saturação (23,75 MPa) e a maior média foi na interação 50% de substituição de 60% de taxa de pré-saturação (28,97 MPa). De todo modo foi possível constatar que não houve significância estatística entre as interações.

- **Resultados do ensaio de absorção por imersão**

Segundo a norma de peças de concretos para pavimentação, NBR 9781 (ABNT, 2013), a absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

No presente tópico serão apresentados os resultados referentes ao ensaio de absorção por imersão. Com base no que foi dito anteriormente, para este ensaio foram moldados 3 corpos de prova (*pavers*) para cada um dos traços, tanto para os traços de referência quanto para os traços com substituição parcial de agregado. Os 3 *pavers* foram ensaiados na idade de 28 dias, seguindo a norma NBR 9781 (ABNT, 2013). Seus resultados podem ser verificados nas tabelas 4.7, 4.9 e 4.11. Após a análise desses dados, os mesmos foram tratados estatisticamente através da ferramenta ANOVA (análise de variância) de via dupla, juntamente com suas interações, no intuito de avaliar isoladamente se a substituição de AMR na confecção do concreto possui de fato, significância estatística. Os resultados estão expostos nas tabelas 4.8, 4.10 e 4.12 e seus respectivos gráficos (figura 4.8, 4.9,

4.10), as células preenchidas na cor cinza, são aquelas em que ficou manifestada a significância estatística, as quais são determinadas pelo nível de significância, que é estabelecido em 5%. Portanto, toda vez que o valor de “ p ” for menor que 0,05 assegura-se que houve significância estatística.

25 MPa				
Traço	Valores de taxa de Absorção (%)			Média
	CP1	CP2	CP3	
Referência	6,82	3,92	4,55	5,1
25% Sub., 60% de Tx.	3,56	2,46	3,38	3,13
25% Sub., 80% de Tx.	1,65	3,17	3,23	2,68
25% Sub., 100% de Tx.	1,34	1,85	1,96	1,72
50% Sub., 60% de Tx.	4,11	1,89	1,56	2,52
50% Sub., 80% de Tx.	1,25	1,51	2,34	1,7
50% Sub., 100% de Tx.	2,61	1,72	2	2,11
<p>* 25% Sub.: 25 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado;</p> <p>* 50% Sub.: 50 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado;</p> <p>* 60% de Tx.: 60 por cento de taxa de compensação de água;</p> <p>* 80% de Tx.: 80 por cento de taxa de compensação de água;</p> <p>* 100% de Tx.: 100 por cento de taxa de compensação de água;</p>				

Tabela 4.7 – Resultados dos ensaios de absorção por imersão para o traço de referência de 25 MPa.

Após a análise da tabela 4.7 foi possível observar que os *pavers* provenientes dos traços com 50% de substituição apresentaram as menores médias de taxa de absorção. Tal resultado deve-se ao fato da areia reciclada apresentar um alto teor de material pulverulento, cujo valor é igual a 2,8% (página 60 do programa

experimental), contribuindo para que os grãos presentes no concreto obtivessem melhor empacotamento, favorecendo a capacidade do bloco e dificultando a passagem de água (PERDENEIRAS, 2017).

Compreendeu-se também que, os blocos com 25% de substituição e 100% de taxa de compensação e 50% de substituição e 80% de taxa de compensação apresentaram os menores valores de absorção, sendo de 1,72% e 1,70%, respectivamente. Já as amostras provenientes do traço de referência, apontaram a maior taxa de absorção média (5%). Em desacordo com algumas pesquisas realizadas com agregados reciclados (LEITE, 2001; SIMIELE, 2010; HOOD, 2006), que revelam um aumento da absorção de água nos corpos de prova, em consequência da substituição de AMN por AMR. Tal resultado positivo deve-se ao fato de o agregado reciclado, utilizado nessa pesquisa, ter passado pelo processo de pré-molhagem (pré-saturação).

Em geral, o resultado encontrado na tabela 4.7 pode estar relacionado ao processo de pré-molhagem do agregado miúdo reciclado (AMER *et al.* 2019). Uma vez que, tal processo impede que o agregado reciclado absorva maior quantidade de água no processo de confecção do traço, somado ao aumento da quantidade de água necessária para a mistura, o que resultaria na produção de blocos mais porosos. Na tabela 4.8 pode-se analisar o nível de significância dos traços, através da análise de variância ANOVA juntamente com os gráficos (figura 4.8).

Tabela 4.8 - Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na absorção por imersão – 25 MPa.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Teor de Substituição (%)	0,724006	1	0,724006	0,919139	0,35662	4,747225
Taxa de pré-saturação (%)	0,399211	2	0,199606	0,253403	0,780205	3,885294
Interações	1,728478	2	0,864239	1,097168	0,365088	3,885294
Dentro	9,4524	12	0,7877			

GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrados Médios; F = Valor estatístico de F considerando erro de 5%; p = valor em relação ao nível de significância (p<0,05);

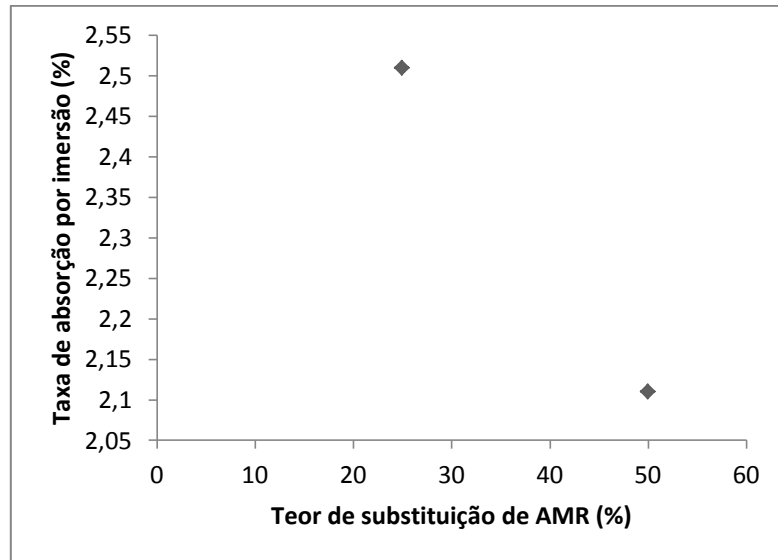
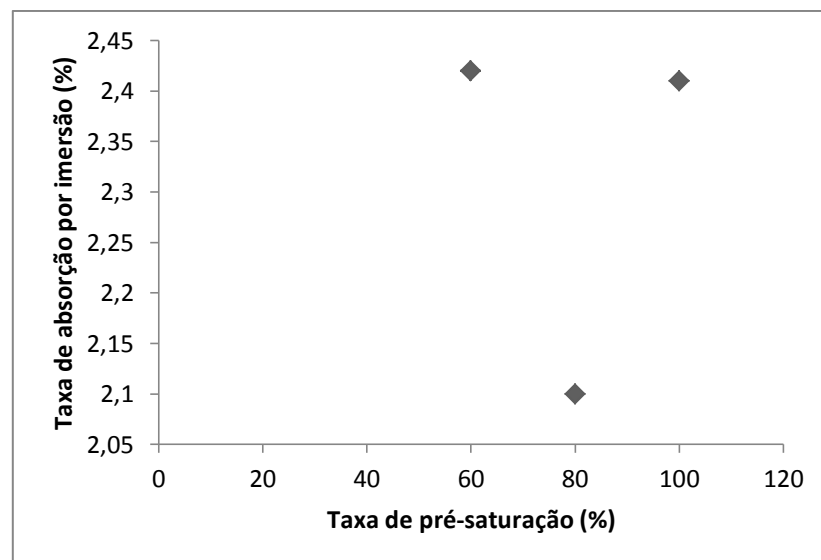
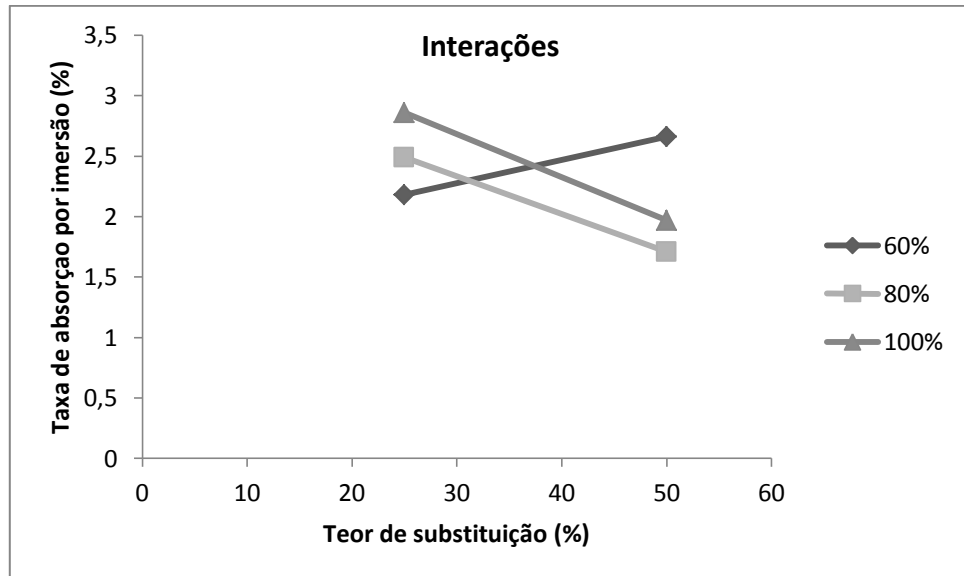


Figura 4.8 – Comportamento do concreto quanto à resistência à taxa de absorção por imersão – 25 MPa.

a) em função do teor de substituição de AMR (%).



b) em função da taxa de pré-saturação (%).



c) em função da interação entre os fatores teor de substituição e taxa de pré-saturação.

Diante dos resultados apresentados na tabela 4.8, foi possível observar que não houve significância em nenhuma das fontes de variação (teor de substituição e taxa de pré-saturação).

De acordo com a figura 4.8 (a) a taxa de absorção média do grupo com 25% de substituição é de 2,51%, já nos traços com 50% de substituição a média é de 2,11%. Mostrando que o aumento do teor de substituição de AMN por AMR proporcionou um aumento na densidade física, dificultando a passagem de água no concreto.

Em relação à pré-saturação na figura 4.8 (b) pode-se observar que os grupos dos traços com 60% e 100% de taxa de pré-saturação apresentaram as maiores médias de taxa de absorção de água, sendo 2,42% e 2,41%, respectivamente, já os traços com 80% de taxa de pré-saturação, apresentou uma média de absorção igual a 2,10%. No que diz respeito à interação entre os teores de substituição e a taxa de pré-saturação, a figura 4.8 (c) mostra que a menor média de absorção dentre as interações foi na combinação 50% de substituição e 80% de pré-saturação (1,71%) e a maior média foi na interação 25% de substituição e 100% de taxa de pré-saturação (2,86%). Mostrando mais uma vez que o aumento do teor de substituição diminui a taxa de absorção de água do concreto.

Para a análise dos resultados do traço de referência de 30 MPa e dos respectivos traços com substituição, verificou-se a tabela 4.9, seguida da análise de variância, ANOVA de duas vias (tabela 4.10) e seus gráficos (figura 4.9).

Tabela 4.9 – Resultados dos ensaios de absorção por imersão para o traço de referência de 30 MPa.

30 MPa				
Traço	Valores de taxa de Absorção (%)			Média
	CP1	CP2	CP3	
Referência	3,54	2,55	3,24	3,11
25% Sub., 60% de Tx.	4,2	5,03	4,35	4,53
25% Sub., 80% de Tx.	3,71	3,15	3,5	3,45
25% Sub., 100% de Tx.	3,75	2,54	3,03	3,11
50% Sub., 60% de Tx.	2,58	4,38	4,19	3,72
50% Sub., 80% de Tx.	3,06	3,79	2,35	3,07
50% Sub., 100% de Tx.	3,92	3,09	2,66	3,22
* 25% Sub.: 25 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado; * 50% Sub.: 50 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado; * 60% de Tx.: 60 por cento de taxa de compensação de água; * 80% de Tx.: 80 por cento de taxa de compensação de água; * 100% de Tx.: 100 por cento de taxa de compensação de água;				

A partir da análise da tabela 4.9 certifica-se que a menor taxa de absorção é do bloco com 50% de substituição e 80% de taxa de compensação de água. Também se observou que os blocos confeccionados com 60% de taxa de pré-saturação, foram os que apresentaram maior taxa de absorção. Tal ocorrido deve-se ao fato desta taxa de pré-saturação (60%) não ter sido suficiente para impedir o aumento da absorção de água no bloco.

Em média, as peças com substituição de AMN por AMR apresentaram maiores taxas de absorção, sendo 3,70% para *pavers* com 25% de substituição e 3,34% para *pavers* com 50% de substituição, no entanto tais resultados foram satisfatórios de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), estesaumentos nas taxas de absorção dos concretos reciclados corroboram com os resultados apresentados por Leite (2001). Afinal a autora explica que os agregados reciclados apresentam taxas de absorção de água, maiores do que as taxas apresentadas pelos agregados naturais. Portanto, tal circunstância poderá influenciar nos valores de absorção dos concretos confeccionados com AR.

Tabela 4.10 - Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na absorção por imersão – 30 MPa.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Teor de Substituição (%)	0,5832	1	0,5832	0,863041	0,3712	4,747225
Taxa de pré-saturação (%)	0,304844	2	0,152422	0,22556	0,801377	3,885294
Interações	0,6708	2	0,3354	0,496337	0,62072	3,885294
Dentro	8,109	12	0,67575			
GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrados Médios; F = Valor estatístico de F considerando erro de 5%; p = valor em relação ao nível de significância (p<0,05);						

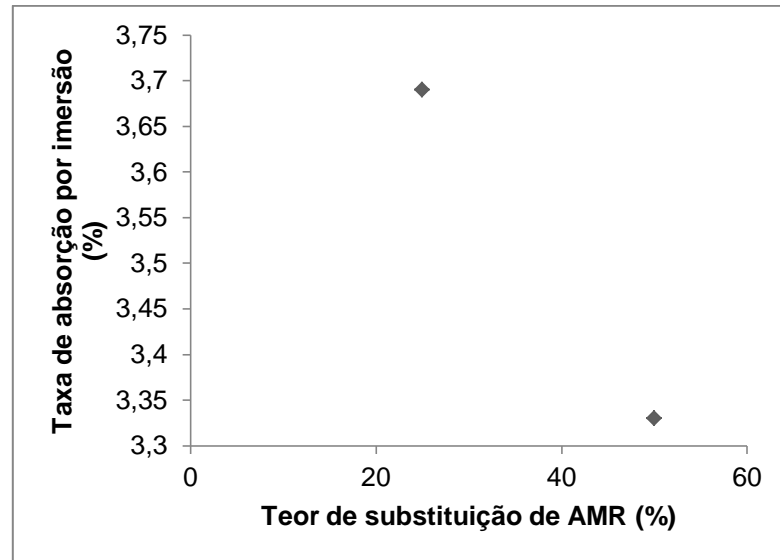
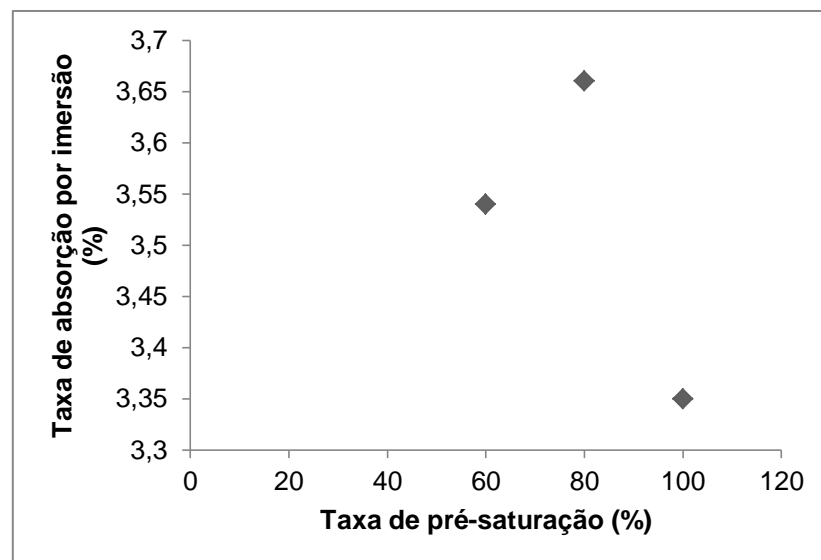
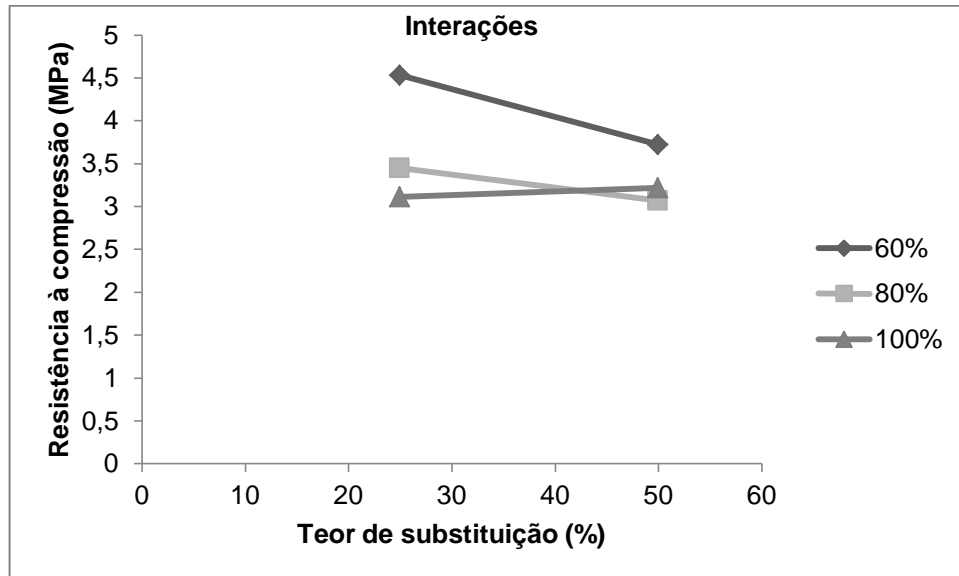


Figura 4.9 – Comportamento do concreto quanto à resistência à taxa de absorção por imersão – 30 MPa.

a) em função do teor de substituição de AMR (%).



b) em função da taxa de pré-saturação (%).



c) em função da interação entre os fatores teor de substituição e taxa de pré-saturação.

Diante dos resultados apresentados na tabela 4.10, foi possível observar que não houve significância em nenhuma das fontes de variação (teor de substituição e taxa de pré-saturação).

De acordo com a figura 4.9 (a) a absorção média do grupo com 25% de substituição é de 3,69% já nos traços com 50% de substituição a média é de 3,33%. Mostrando que o aumento do teor de substituição de AMN por AMR proporcionou uma diminuição na taxa de absorção, mesmo que esta tenha sido pequena.

Em relação à pré-saturação na figura 4.9 (b) pode-se observar que o grupo dos traços com 80% de taxa de pré-saturação apresentaram a maior média de absorção (3,66%), já os traços com 100% de taxa apresentaram a menor média (3,35%). Tratando-se da interação entre as duas variáveis de controle (teores de substituição e a taxa de pré-saturação), a figura 4.9 (c) mostra que a menor média de absorção de água, dentre as interações foi decorrente da combinação 50% de substituição de 60% de pré-saturação (3,19%) e a maior média foi na interação 25% de substituição de 60% de taxa de pré-saturação (3,89%).

A análise dos resultados do traço de referência de 35 MPa e dos respectivos traços com substituição, estão presentes na tabela 4.11, seguida da análise da ANOVA de duas vias (tabela 4.12) e seus gráficos (figura 4.10).

Tabela 4.11 – Resultados dos ensaios de absorção por imersão para o traço de referência de 35 MPa.

35 MPa				
Traço	Valores de taxa de Absorção (%)			Média
	CP1	CP2	CP3	
Referência	2,69	2,51	1,95	2,38
25% Sub., 60% de Tx.	3,55	3,58	4,33	3,82
25% Sub., 80% de Tx.	3,09	2,41	3,39	2,96
25% Sub., 100% de Tx.	3,75	3,83	4,05	3,88
50% Sub., 60% de Tx.	3,68	2,89	3,78	3,45
50% Sub., 80% de Tx.	3,51	2,94	2,67	3,04
50% Sub., 100% de Tx.	3,19	3,47	3,49	3,38
* 25% Sub.: 25 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado; * 50% Sub.: 50 por cento de substituição do agregado miúdo natural (areia) por agregado miúdo reciclado; * 60% de Tx.: 60 por cento de taxa de compensação de água; * 80% de Tx.: 80 por cento de taxa de compensação de água; * 100% de Tx.: 100 por cento de taxa de compensação de água;				

Na tabela 4.11 pode-se observar que o corpo de prova proveniente do traço de referência, apresentou a menor taxa de absorção (2,38%), em média, os *pavers* com substituição de AMN por AMR apresentaram maiores taxas de absorção, sendo 3,55% para *pavers* com 25% de substituição e 3,29% para peças com 50% de substituição. Comprovando que a capacidade de absorção de água dos agregados reciclados é maior, quando comparada aos agregados naturais (LEITE, 2001). Somando-se ao fato do uso do AR ter diminuído a capacidade do bloco (HOOD, 2006) visto que, nenhum dos *pavers* fabricados à partir dos traços com

substituição, alcançaram a resistência igual ou aproximada à 35 MPa (Tabela 4.5). Prosseguindo com o tratamento dos resultados, foi verificada a significância dos traços através da ANOVA de via dupla (tabela 4.12).

Tabela 4.12 - Resultados da ANOVA da influência do teor de substituição e da taxa de pré-saturação, na absorção por imersão – 35 MPa.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Teor de Substituição (%)	0,309422	1	0,309422	1,308585	0,274958	4,747225
Taxa de pré-saturação (%)	0,573011	2	0,286506	1,211668	0,33166	3,885294
Interações	0,293811	2	0,146906	0,621282	0,553675	3,885294
Dentro	2,837467	12	0,236456			

GL = Graus de Liberdade; SQ = Soma de Quadrados; QM = Quadrados Médios; F = Valor estatístico de F considerando erro de 5%; p = valor em relação ao nível de significância (p<0,05);

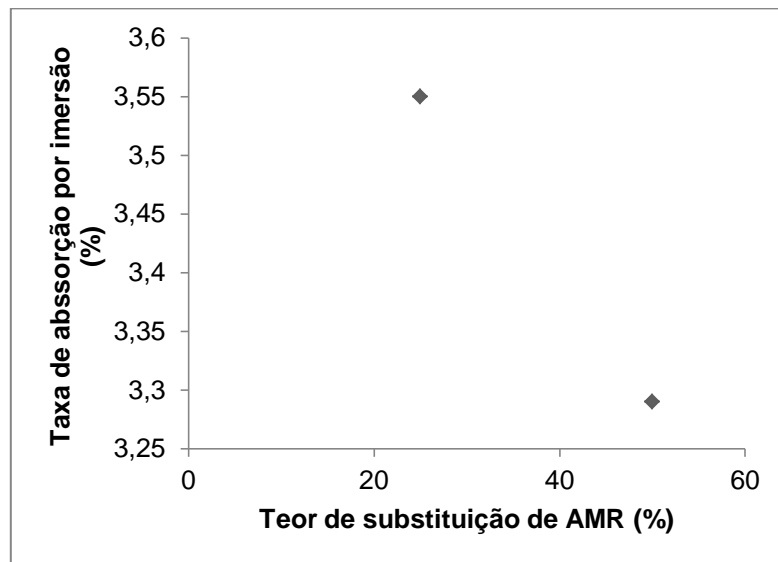
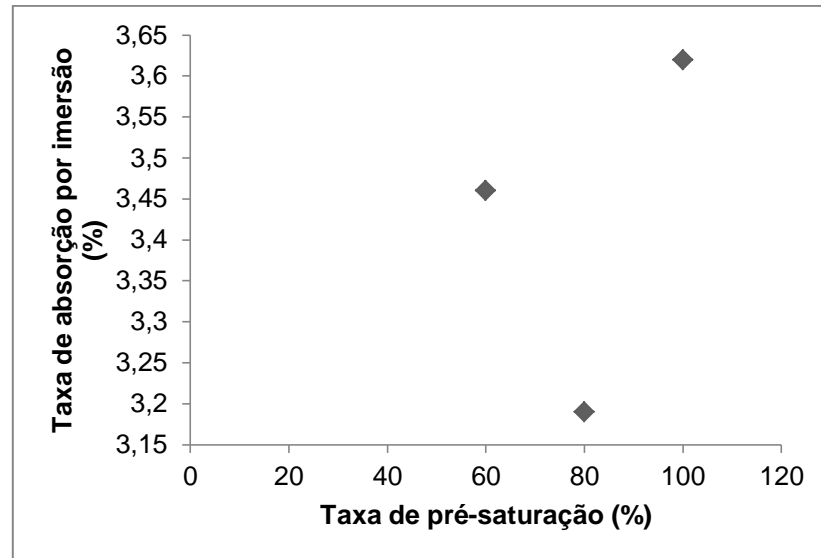
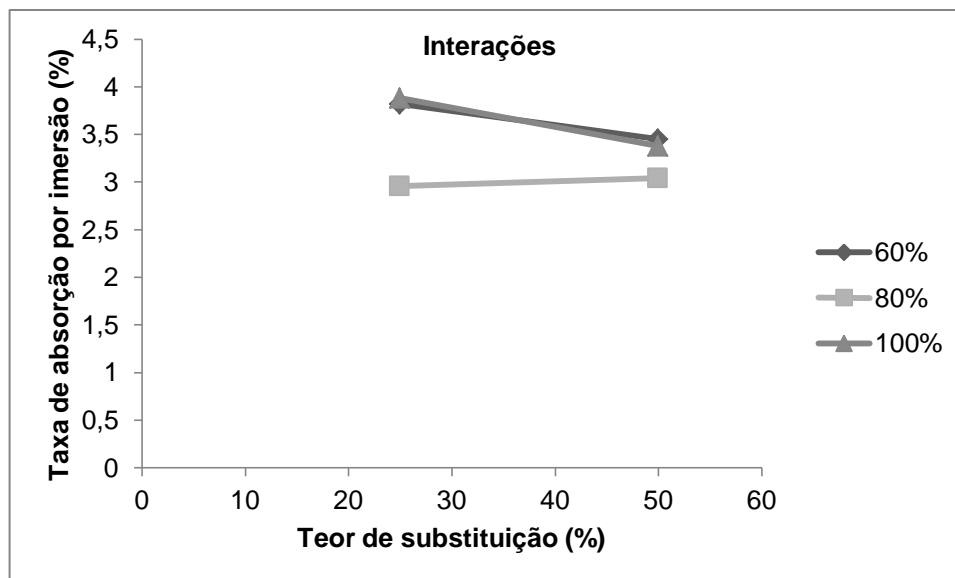


Figura 4.10 – Comportamento do concreto quanto à resistência à taxa de absorção por imersão – 35 MPa.

a) em função do teor de substituição de AMR (%).



b) em função da taxa de pré-saturação (%).



c) em função da interação entre os fatores teor de substituição e taxa de pré-saturação.

Diante dos resultados apresentados na tabela 4.12, foi possível observar que não houve significância em nenhuma das fontes de variação (teor de substituição e taxa de pré-saturação).

No que se refere à pré-saturação observa-se na figura 4.10 (b) que os grupos dos traços com 60% e 100% de taxas de pré-saturação apresentaram as maiores médias de absorção de água, sendo, 3,46% e 3,62%, respectivamente, já os traços com 80% de taxa apresentaram a menor média (3,19%). Em relação à interação entre as duas variáveis de controle (teores de substituição e a taxa de pré-saturação), a figura 4.10 (c) demonstra que a menor média dentre as interações foi derivada do traço 25% de substituição de 80% de pré-saturação (2,96%) e a maior média foi na interação 25% de substituição de 100% de taxa de pré-saturação (3,92%).

- **Panorama geral dos resultados do ensaio de absorção por imersão**

Sabe-se que segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013), as peças de concreto devem apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%. Diante disto, pode-se afirmar que todos os *pavers* ensaiados apresentaram taxas de absorção de acordo com o exigido pela norma, tais valores ficaram entre 1,70% e 5,10%, sendo maior nas menores resistências.

Este resultado positivo é consequência da grande quantidade de material pulverulento presente no AMR utilizado neste trabalho (2,8%), viabilizando o efeito fíler, o que proporciona o melhor preenchimento dos vazios (PERDENEIRAS, 2017), somado a isso, temos a redução da relação *a/c*, garantida pelo processo de pré-saturação do agregado reciclado (AMER *et al.*, 2019), propiciando a redução da porosidade dos concretos produzidos com esse material.

Comparando com resultados de outras pesquisas, têm-se que os resultados adquiridos por Hood (2006), os quais apresentaram maiores taxas de absorção nos blocos com AR, quando os mesmos foram comparados aos blocos fabricados somente com AN. Estes valores estão entre 6% e 12%, é provável que isto tenha ocorrido devido a não aplicação do método de pré-saturação do agregado reciclado.

5. CONCLUSÕES

5.1. Considerações finais

Neste capítulo serão abordadas as principais conclusões, do presente trabalho, que teve como objetivo, avaliar o emprego parcial de agregado miúdo reciclado, na confecção de blocos pré-moldados tipo *paver*. Após análise dos resultados (capítulo 4), tomaram-se as seguintes conclusões:

No que se refere às **características físicas** do AMR, foi observado que os mesmo apresentam características compatíveis com as do AMN, de acordo com os ensaios de caracterização de agregados miúdos. Este resultado positivo deve-se ao fato do material reciclado ter passado pelo processo de peneiramento (Figura 3.4), com base na norma NBR 248 (ABNT, 2003), resultando em um produto semelhante à areia natural.

No **estado fresco** o concreto fabricado com AMR apresentou ótimos resultados em relação à trabalhabilidade e coesão da mistura. Tal resultado é consequência do controle da quantidade de água que foi adicionada aos traços. Além de ter sido aplicado o método de pré-molhagem (pré-saturação) dos agregados reciclados utilizados nas misturas.

No **estado endurecido** observaram-se diferentes comportamentos de acordo com cada traço de referência e suas respectivas substituições parciais.

- Resultados do ensaio de **Resistência à compressão**:

De acordo com o traço de referência de **25 MPa**, além do traço de referência, o traço com 50% de substituição e 80% de taxa de pré-saturação, também apresentou desempenho satisfatório no que diz respeito à resistência à compressão. Pois o mesmo apresentou valor igual a 25,83 MPa. Também foram constatados resultados positivos relacionados ao traço de referência de **30 MPa** e em sua variação com 50% de substituição e 100% de taxa de pré-saturação, a qual apresentou valor de resistência igual à 31,57 MPa.

No que se refere aos resultados de acordo com o traço de referência de **35 MPa** e suas variações, somente o traço de referência apresentou valor de resistência aproximada à 35 MPa (34,75 MPa). Todos os *pavers* derivados de traços com substituição parcial, apresentaram resistência à compressão menor que 30 MPa. Dessa forma, para esta propriedade, em função dos resultados obtidos, tem-se que o melhor teor de substituição de AMR é 50%, e o melhor taxa de pré-saturação é de 100%.

- Resultados do ensaio de **Absorção por imersão**:

De acordo com o traço de referência de **25 MPa**, o traço de referência foi o que apresentou a maior média de absorção por imersão (5,10%). Já o menor valor médio (1,70%) foi derivado do traço com 50% de substituição e 80% de taxa de pré-saturação. Em relação ao traço de referência de **30 MPa** a maior média de absorção (4,53%) é decorrente do traço com 25% de substituição e 60% de taxa de pré-saturação, no que diz respeito a menor média de absorção o traço que apresentou o menor valor (3,07%) foi o traço com 50% de substituição e 80% de taxa de pré-saturação. No que se refere aos resultados extraídos do traço de referência de **35 MPa** e suas variações, as peças derivadas do traço com 25% de substituição e 100% de taxa de pré-saturação são as que apresentam a maior média de absorção (3,88%). Já a menor média de absorção (2,38%) é derivada do traço de referência. Em geral, todas as médias de absorção apresentaram valores abaixo de 6%, que é o maior valor permitido pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

Vale ressaltar que neste trabalho, os traços com substituição de AMN por AMR não obtiveram aumento na quantidade de cimento. Estes mantiveram a mesma quantidade dos seus respectivos traços de referência. Se após o uso parcial de AMR, o concreto ainda apresentar resultado satisfatório em relação às propriedades mecânicas e físicas (no seu estado fresco ou endurecido), tem-se que a utilização de AMR na confecção de concretos é uma alternativa viável economicamente e benevolente para o meio ambiente. Pois, reduz a extração de recursos naturais não renováveis.

Observou-se que quando as misturas são realizadas com 50% de substituição de AMR e 80% ou 100% de taxa de pré-saturação, as mesmas apresentam ótima trabalhabilidade. Além disso, as peças fabricadas com estes concretos

apresentaram resistência à compressão maior ou igual aos seus respectivos traços de referência. Outro benefício resultante da pré-saturação é a diminuição da absorção de água nos *pavers*. Em relação aos aspectos visuais, os *pavers* com AR não apresentaram diferenças se comparados às peças derivadas dos traços de referência. Acredita-se que este fator positivo, é consequência da qualidade do AR utilizado para realizar este trabalho, pois verificou que a presença deste não alterou a qualidade estética dos blocos.

Por fim, mesmo os blocos que obtiveram os melhores resultados, não atingiram o valor mínimo (35 MPa) exigido pela NBR 9781 (ABNT, 2013). No entanto, isto não descarta a viabilidade de sua utilização em calçadas, jardins, praças e ruas com pouco movimento. Principalmente do ponto de vista ecológico e sustentável.

5.2. Propostas para futuros trabalhos

- Avaliar a durabilidade dos *pavers* através do ensaio de desgaste por abrasão com base na norma internacional C 1138 – 97: Método de Teste Padrão para Resistência à abrasão do concreto (método subaquático);
- Testar outras porcentagens de substituição de agregado reciclado na produção de *pavers*;
- Analisar a viabilidade econômica da utilização dos traços estudados na presente pesquisa;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248 – Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 52 – Agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 45 – Agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 53 – Agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7219 – Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11578 – Cimento Portland Composto: Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11768-1 – Aditivos Químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

Agrela, F.; Sánchez de Juan, M.; Ayuso, J.; Geraldts, V. L.; Jiménez, J. R. Limiting properties in the characterization of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete. *Construction and Building Materials*, v. 25, n.10, p. 3950-3955. 2011.

Alaejos, P. G.; Sánchez, M. J. Utilization of recycled concrete aggregate for structural concrete. In: International RILEM Conference on the use of recycled materials in buildings and structures. Proceedings, v.2, p. 693-702. Barcelona, Espanha. 2004.

Albero A. J. L., A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial – Parte I – O preenchimento das cavidades do molde. Cerâmica Industrial, v.5, n.1, p. 23, São Carlos, São Paulo. 2000.

Albero, A.J.L. A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial ParteIII: Variáveis do Processo de Compactação. Cerâmica Industrial. v. 6, n. 1, p. 26-27. São Carlos, São Paulo. 2001.

Al-Hajj, A., & Hamani, K. Material waste in the UAE construction industry: Main causes and minimization practices. Architectural Engineering and Design Management, v. 7, p. 221-235. 2011.

Angulo, S. C.; Zordan, Z. E.; John, V. M. Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na construção Civil. In: Simpósio Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – Materiais Reciclados e suas Aplicações, IBRACON, p. 43-56. São Paulo. 2001.

Angulo, S. C. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos. Tese de Doutorado (Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

Ângulo, S. C.; Zordan, S. E.; John, V. M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. PCC – Departamento de Engenharia da construção civil da Escola Politécnica, São Paulo. 2007.

Ângulo, S.; Figueiredo, A. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1. Ed. G. C. Isaias, v. 2. São Paulo. 2011.

Araújo, D. L.; Felix, L. P.; Silva L. C.; Santos T. M. Influência de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção nas Propriedades Mecânicas do Concreto. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 11, n. 1, p. 16-34. 2016.

Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON). Pesquisa Setorial de Reciclagem de Resíduos da Construção 2014/2015. Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2015. Disponível em <https://www.passeidireto.com/arquivo/36611356/abrecon-2015> Acesso em março de 2019.

Bittencourt, S. F. Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição. Dissertação

de Mestrado (Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia. Limeira, São Paulo. 2012.

Brasileiro, L. L., Matos, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica* v. 61, p. 178-189. São Paulo. 2015.

Brito, J. D.; Gonçalves, P. Recycled aggregate concrete (RAC) - comparative analysis of existing specifications. *Magazine of Concrete*, v. 62, n. 5, p. 339-346. 2010.

Bravo, M.; De Brito, J.; Pontes, J.; Evangelista, L. Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants. *Construction and Building Materials*, v. 77, p. 357-369. Lisboa, Portugal. 2015.

Buttler, A. M. Concreto com Agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.

Buttler, A. M. Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural. Tese de Doutorado (Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.

Cabral A. E. B., Moreira K. M. V., Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil, Sinduscon-CE. Fortaleza, Ceará. 2011.

Cabral, A. E. B.; Moreira, K. M. V. Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil. SINDUSCON, Fortaleza. 2012.

Capello, G. Entulho vira matéria-prima. *Téchne*, ed. 112, São Paulo. 2006. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo2870811.aspx> Acesso em janeiro de 2018.

Coelho, A; Brito, J. Preparation of concrete aggregates from construction and demolition waste (CDW). *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*. Capítulo 9. Civil and Structural Engineering, p. 210–245. Portugal. 2013.

Coelho, A.; de Brito J. Economic viability analysis of a construction and demolition wastes recycling plant in Portugal – Part I: Location, materials, technology and economic analysis, v. 39, p. 339-352. 2013.

CONAMA (2002) – Conselho Nacional do Meio Ambiente – Resolução CONAMA 307 de 05 de julho de 2002. Brasília. 2002.

Federação das Indústrias do Distrito Federal (FIBRA). (2017). Construção Civil representa 6,2% do PIB. Disponível em: <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil>. Acesso em Janeiro de 2018.

Fernandes, I. Blocos e pavers: produção e controle de qualidade. São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais LTDA. 2008.

Fernandes, I. (2016). Blocos e Pavers – produção e controle de qualidade. Ribeirão Preto, São Paulo.

Fonseca, F. B. Desempenho estrutural de paredes de alvenaria de blocos de concreto de agregados reciclados de rejeitos de construção e demolição. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, São Paulo.2002.

Gracia e Dzul (2009). Contexto actual de los sistemas de costes de La calidaddes arrollados y aplicados a proyectos de construcción: La necesidad de medición de La cálida den El diseño. Informes de La Construcción, Vol. 61, 514, p. 41-50. Barcelona. 2009.

Hansen, T. C. Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945-1985. Materials and Structures, v. 19, n. 3, p. 201-246. 1986.

Jadovski, I. Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

John, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. (Tese de Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

Kamrath, P.; GmbH. P. K. I. Demolition techniques and production of construction and demolition waste (CDW) for recycling In: PACHECO-TORGAL F. *et al.* Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste. 1st Edition. Wood head Publishing, cap. 8, p. 186 – 209. Germany. 2013.

Leite, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

Levy, S. M. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria. Tese de Doutorado (Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.

Mendes, H. (2015). A construção civil e seu impacto no meio ambiente. Disponível em: <http://greendomus.com.br/a-construcao-civil-e-seu-impacto-no-meio-ambiente> Acesso em setembro de 2019.

Miranda, L. F. R.; Ângulo S. C.; Careli, E. D. A Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil: 1986 – 2008. Revista Ambiente Construído. Edição 7, p. 57-71. Porto Alegre. 2009.

Miranda, L. F. R.; Torres, L.; Vogt, V.; Brocardo, F. L. M.; Bartoli, H. Panorama atual do setor de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. Anais: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Meio Ambiente Construído. São Paulo. 2016.

Muller, A. Closed loop of concrete rubble. In: Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Anais, IBRACON, n. 7. São Paulo. 2006.

Nawa, T. Recycling of Concrete. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação Engenharia Civil), Universidade de Hokkaido, Divisão de Engenharia Sustentável. Japão. 2015.

Noguchi, T.; Tamura, M. Concrete design towards complete recycling. Structural Concrete, v. 2, n. 3, p. 155-167. 2001.

Oliveira, M. T. E. *et al.* Resíduos de concreto: classe III versus classe II. In: Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Edição: 4. Anais: IBRACON/IPEN, p. 87-96. São Paulo. 2001.

Oliveira, A. L. Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação. Tese de doutorado (Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

Omary S.; Ghorbelm E.; Wardeh, G. Relationships between recycled concrete aggregates characteristics and recycled aggregates concretes properties. Construction and Building Materials, v. 108, p. 163-174, 2016.

Perdeneiras, C. M. Avaliação de blocos intertravados com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição de obras do município de Natal/RN. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2017.

Petkovic, G.; Engelsen, C. J.; Haoya, A.; Breedveld, G. Environmental impact from the use of recycled materials in road construction: method for decision-making in Norway. *Resources Conservation & Recycling*, v. 42, n. 3, p. 249-264. 2004.

Pinto, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. Tese de Doutorado (Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

Pinto, T. P. A nova legislação para resíduos de construção. *Revista Técnica*, n. 82, p. 62-64. 2004.

Rixner, S., Schindelbeck, H., Weissig, D. Fundamentos sobre La compactación Del hormigón. Wacker. Munique, Alemanha. 2002.

Santos, W. F.; Quattrone, M.; John, V. M.; ANGULO, S. C. Roughness, wettability and water absorption water repellent treated recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, v. 146, p. 502-513. 2017.

Schneider, D. M. Deposição irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo. Dissertação de mestrado. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. 2003.

Schulz, R.R.; Hendricks, F. Recycling of masonry rubble. *Recycling of demolished concrete and masonry. Part 2.* (editado por T. C. Hansen). E&FN Spon, Londres. 1992.

Silva, R. V.; de Brito, J.; Dhir, R. K.. Availability and processing of recycled aggregates with in the construction and demolition supply chain: A review. *Journal of Cleaner Production*, Edição: 143, p.598-614. Lisboa, Portugal. 2016.

Simiele, D. Aproveitamento de Resíduos de Concreto na Confecção de Peças para Pavimento Intertravado de Concreto. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira. 2010.

Tam, V.W.Y., Lu, W. Construction waste management profiles, practices, and performance: a cross-jurisdiction analysis in four countries. *Sustainability* . Edição 8 (2), p. 190-205. Suíça. 2016.

Ulsen, C. Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição. Tese de Doutorado (Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

Zhao, W., Rotter, S. The Current Situation of Construction & Demolition Waste Management in China. In: 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, p. 4747- 4750. Shanghai. 2008.