

FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA- FDC

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL - BEC

JHONATAS SIMPLICIO SILVA

ROMULO RAFAEL DE SOUZA

**ANÁLISE QUALITATIVA DAS PROPRIEDADES DE
COMPRESSÃO, TRAÇÃO NA FLEXÃO, VAZÃO E PERCOLAÇÃO
DO CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM DIFERENTES
AGREGADOS**

Caratinga

Dezembro de 2017

JHONATAS SIMPLICIO SILVA

ROMULO RAFAEL DE SOUZA

**ANÁLISE QUALITATIVA DAS PROPRIEDADES DE
COMPRESSÃO, TRAÇÃO NA FLEXÃO, VAZÃO E PERCOLAÇÃO
DO CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM DIFERENTES
AGREGADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Faculdade Doctum de
Caratinga, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia do Concreto

Orientador: Prof.º Exp. José Nelson Vieira da
Rocha

Caratinga

Dezembro de 2017



FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

FICHA DE APROVAÇÃO

O trabalho de conclusão de curso intitulado, ANÁLISE QUALITATIVA DAS PROPRIEDADES DE COMPRESSÃO, TRAÇÃO NA FLEXÃO, VAZÃO E PERCOLAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM DIFERENTES AGREGADOS, elaborado pelos alunos JHONATAS SIMPLICIO SILVA e ROMULO RAFAEL DE SOUZA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga, como requisito parcial de obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga, _____ de _____ 20____

Prof. Exp. José Nelson Vieira da Silva

Prof. Exp. José Salvador Alves

Prof. Mest. Camila Alves da Silva

Dedicamos este trabalho de conclusão de curso primeiramente ao nosso Deus, ao escritor dos nossos passos, pois graças a ele que sempre nos acompanhou e nos deu força, sabedoria e companheirismos para estarmos sendo capazes de chegar até aqui, esta luta também é dedicado a pessoas maravilhosas sendo elas nossos pais, nossas famílias de sangue e coração, a nossas companheiras e amigos que nos acompanhou até esta etapa.

“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho. ”

Dalai Lama

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e sabedoria, que foi me concedido nesta etapa da minha vida, pois sem ele não teria conseguido vencer os obstáculos aparecidos em meu caminho e também ter alcançado os meus objetivos.

Agradecer aos meus pais Eli Edson Silva e Antonia Evaneide, a minha irmã Geovanna Silva, por toda dedicação, carinho, compressão e por ter ajudando-me a vencer e realizar meu sonho.

Agradeço também a minha namorada Sabrina por ter sempre me ajudado e acompanhado a minha luta, dando-me força nos momentos difíceis.

Além dessas pessoas agradeço à amigos e professores que sempre estive disposto a me ouvi e ajudar, a cada passo dado nesta etapa da minha vida.

A todos meu muito obrigado!

(Jhonatas Simplicio Silva)

Neste momento de extrema alegria na conclusão de um bacharelado tão importante, venho me expressar numa exclusiva satisfação de chegar no final deste currículo de título para minha vida.

Agradeço primeiramente a Deus pelo fortalecimento a cada momento de cansaço e ousadia.

Venho agradecer aos meus pais, meus irmãos pelo apoio, e em especial à minha mulher e meus filhos, onde debaixo de tanta luta nós vencemos juntos.

Abraços a todos!

Meus erros os guardei na gaveta, para onde eu caminhar não faça dos mesmos absurdos, pois eu posso tê-los como ensinamento para não os repetir!

(Romulo Rafael de Souza)

RESUMO

O crescimento nos centros urbanos teve como consequência o aumento das áreas impermeáveis, diminuindo a capacidade de drenagem natural que reabastece o lençol freático. Através dos avanços na tecnologia do concreto, desenvolveu-se estudos para continuar utilizando este mecanismo como revestimento e criou-se concretos porosos de resistência aproximada ao concreto convencional, o que é conhecido hoje por todo mundo como concreto permeável. Esta pesquisa buscou analisar as características básicas para o concreto poroso, sendo elas a resistência a compressão axial, tração na flexão, índice de vazios, massa específica seca e saturada do concreto e a vazão por l/s/m². Para desenvolver o concreto foram usados três tipos diferentes de agregados graúdo sendo: brita 0, seixo rolado e misto (50 % de cada agregado), que estão disponíveis em Caratinga- MG, analisando se há viabilidade na aplicação destes ensaios em laboratórios.

Palavras-chave: Concreto permeável, Compressão, Tração, Percolação, Resistência.

ABSTRACT

The growth in urban centers has resulted in the increase of impermeable areas, reducing the natural drainage capacity that replenishes the water table. Through advances in concrete technology, studies have been developed to continue using this mechanism as a coating and created porous concrete of approximate resistance to conventional concrete, which is known today as permeable concrete. This research sought to analyze the basic characteristics of porous concrete, such as axial compressive strength, flexural tensile strength, void index, specific dry and saturated mass of the concrete and the flow rate per l / s / m². To develop the concrete, three different types of aggregates were used: gravel 0, rolled pebble and mixed (50% of each aggregate), which are available in Caratinga- MG, analyzing if there is feasibility in the application of these tests in laboratories.

Keywords: Permeable concrete, Strength, Compression, Traction, Percolation.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Amostra de concreto permeável</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2: Tipos de cobertura e área pavimentável em três categorias de uso.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3: Amostra de uma placa do concreto permeável.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4: Amostra de Cimento Portland</i>	<i>36</i>
<i>Figura 5: Curvas granulométricas típicas de misturas de concreto permeável.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6: Amostra do Seixo Rolado.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 7: Amostra da mistura de 50% dos agregados.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8: Amostra de brita 0.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 9: Aditivo super-plastificantes</i>	<i>39</i>
<i>Figura 10: Água potável para consumo.....</i>	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
<i>Figura 11: Exemplo de diferentes tipos de pavimento com reservatório estrutural</i>	<i>40</i>
<i>Figura 12: Pavimento com Revestimento constituído por peças de concreto com juntas alargadas</i>	<i>42</i>
<i>Figura 13: Pavimento com revestimento em concreto vazado.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 14: Pavimento de bloco Inter travado poroso</i>	<i>44</i>
<i>Figura 15: Revestimento permeável com placas de concreto</i>	<i>44</i>
<i>Figura 16: Pavimentação de concreto permeável moldado no local</i>	<i>45</i>
<i>Figura 17: Sistema de Pavimento Permeável com Infiltração Total.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 18: Sistema de Pavimento Permeável com Infiltração Parcial</i>	<i>47</i>
<i>Figura 19: Sistema de Pavimento Permeável sem Infiltração</i>	<i>47</i>
<i>Figura 20: Imagem ilustrativa de um revestimento com duas camadas</i>	<i>50</i>
<i>Figura 21: Sobre camada porosa aplicada no revestimento convencional</i>	<i>51</i>
<i>Figura 22: Mistura de todos os componentes no concreto permeável</i>	<i>54</i>
<i>Figura 23: Modelo de concreto permeável após 24 h de prepara já desenformado, formato cilíndrico.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 24: Modelo de concreto permeável após 24 h de prepara já desenformado, formato prismático.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 25: Exemplo para verificação da área de percolação da junta alargada.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 26: Cimento CP III - 40 RS.....</i>	<i>73</i>

<i>Figura 27: Amostra do primeiro ensaio, usando somente brita 0</i>	<i>76</i>
<i>Figura 28: Os três agregados usados como o mesmo traço para o concreto permeável</i>	<i>76</i>
<i>Figura 29: Objetos usados para o ensaio no Slump Test</i>	<i>78</i>
<i>Figura 30: Execução do Slump Test</i>	<i>78</i>
<i>Figura 31: Molde do Slump Test</i>	<i>79</i>
<i>Figura 32: Corpo de prova cilíndrico em seu estado fresco</i>	<i>81</i>
<i>Figura 33: Corpo de prova do bloco em seu estado fresco</i>	<i>81</i>
<i>Figura 34: Corpos de provas prismáticos para o ensaio de tração na flexão e placas de concreto</i>	<i>82</i>
<i>Figura 35: Corpo de prova aos 7 (Brita 0)</i>	<i>84</i>
<i>Figura 36: Corpo de prova rompido com 14 dias (Mista 50%)</i>	<i>84</i>
<i>Figura 37: Imagem ilustrativa do bloco na peça onde será feito o ensaio</i>	<i>86</i>
<i>Figura 38: O bloco já colocado na plataforma bi apoiada</i>	<i>86</i>
<i>Figura 39: Modo de ruptura a menos de um terço</i>	<i>88</i>
<i>Figura 40: Corpo de prova prismático aos 14 dias, rompido no 1/3 interno do bloco.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 41: Amostra do preparo do corpo de prova para os ensaios</i>	<i>91</i>
<i>Figura 42: Ilustração do método de ensaio no local</i>	<i>93</i>
<i>Figura 43: Ensaio de percolação da placa de concreto permeável em laboratório</i>	<i>94</i>
<i>Figura 44: Ensaio em Campo, com a aplicação de blocos Inter travados.</i>	<i>94</i>
<i>Figura 45: Aplicação da areia no rejunte nos blocos para o ensaio de percolação</i>	<i>95</i>
<i>Figura 46: Aplicação do pó de pedra no rejunte nos blocos para o ensaio de percolação</i>	<i>95</i>
<i>Figura 47: Amostra da capacidade de absorção</i>	<i>97</i>
<i>Figura 48: Comparativo em gráfico de barras dos três concretos fabricados no ensaio de Compressão Axial</i>	<i>100</i>
<i>Figura 49: Comparativo em gráfico de barras dos três concretos fabricados no ensaio de Tração na Flexão</i>	<i>103</i>
<i>Figura 50: Ensaio de percolação na receita federal de Caratinga-MG</i>	<i>110</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Consumo e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável.</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 2: Terminologia geralmente aplicada a pavimentos porosos</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 3: Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 4: Especificação para o material de sub-base e/ou base.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 5: Distribuição granulométrica recomendada para o material de sub-base e/ou base</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 6: Especificação para o material de assentamento</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 7: Distribuição granulométrica recomendada para o material de assentamento</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 8: Especificações do material de rejuntamento</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 9: Distribuição granulométrica recomendada para o material de rejuntamento.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 10: Proporção de material usado.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 11: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 12: Determinação da massa de água para ensaio</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 13: Resultados finais de cada ensaio</i>	<i>117</i>

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1: Principais passos para a definição do traço com o método IBRACON.....</i>	<i>61</i>
<i>Quadro 2: Ensaio de compressão axial com 7 dias com brita 0.....</i>	<i>124</i>
<i>Quadro 3: Ensaio de compressão axial com 7 dias com Seixo Rolado.....</i>	<i>125</i>
<i>Quadro 4: Ensaio de compressão axial com 7 dias de 50% de Cada Agregados... </i>	<i>125</i>
<i>Quadro 5: Ensaio de compressão axial com 14 dias com brita 0.....</i>	<i>126</i>
<i>Quadro 6: Ensaio de compressão axial com 14 dias com Seixo Rolado.....</i>	<i>126</i>
<i>Quadro 7: Ensaio de compressão axial com 14 dias de 50% de Cada Agregados. </i>	<i>127</i>
<i>Quadro 8: Ensaio de compressão axial com 28 dias com brita 0.....</i>	<i>127</i>
<i>Quadro 9: Ensaio de compressão axial com 28 dias com Seixo Rolado.....</i>	<i>126</i>
<i>Quadro 10: Ensaio de compressão axial com 28 dias de 50% de Cada Agregados.....</i>	<i>129</i>
<i>Quadro 11 Comparativo da Resistência a Compressão Axial.....</i>	<i>100</i>
<i>Quadro 12: Ensaio de tração na flexão com 7 dias com brita 0.....</i>	<i>131</i>
<i>Quadro 13: Ensaio de tração na flexão com 7 dias com Seixo Rolado.....</i>	<i>131</i>
<i>Quadro 14: Ensaio de tração na flexão com 7 dias de 50% de Cada Agregados... </i>	<i>132</i>
<i>Quadro 15: Ensaio de tração na flexão com 14 dias com brita 0.....</i>	<i>133</i>
<i>Quadro 16: Ensaio de Tração na Flexão com 14 Dias com Seixo Rolado.....</i>	<i>134</i>
<i>Quadro 17: Ensaio de tração na flexão com 14 dias de 50% de Cada Agregados. </i>	<i>132</i>
<i>Quadro 18: Ensaio de tração na flexão com 28 dias com brita 0.....</i>	<i>134</i>
<i>Quadro 19: Ensaio de tração na flexão com 28 dias com Seixo Rolado.....</i>	<i>135</i>
<i>Quadro 20: Ensaio de tração na flexão com 28 dias de 50% de Cada Agregados. </i>	<i>137</i>
<i>Quadro 21: Comparativo da Resistência a Tração na Flexão.....</i>	<i>103</i>
<i>Quadro 22: Ensaio realizado após 24 horas dos corpos de prova imersos em água com brita 0.....</i>	<i>136</i>
<i>Quadro 23: Resultado de média e desvio padrão de brita 0 com 24 h.....</i>	<i>105</i>
<i>Quadro 24: Ensaio realizado após 24 horas dos corpos de prova imersos em água com seixo rolado.....</i>	<i>136</i>
<i>Quadro 25: Resultado de média e desvio padrão de seixo rolado com 24 h.....</i>	<i>105</i>
<i>Quadro 26: Ensaio realizado após 24 horas dos corpos de prova imersos em água de mista.....</i>	<i>137</i>
<i>Quadro 27: Resultado de média e desvio padrão de 50% de cada agregado na mistura com 24 h.....</i>	<i>106</i>

<i>Quadro 28: Ensaio realizado após 48 horas dos corpos de prova imersos em água de brita 0.....</i>	<i>138</i>
<i>Quadro 29: Resultado de média e desvio padrão de brita 0 com 48 h.....</i>	<i>106</i>
<i>Quadro 30: Ensaio realizado após 48 horas dos corpos de prova imersos em água com seixo rolado.....</i>	<i>130</i>
<i>Quadro 31: Resultado de média e desvio padrão de seixo rolado com 48 h.....</i>	<i>107</i>
<i>Quadro 32: Ensaio realizado após 48 horas dos corpos de provas imerso em água de mista.....</i>	<i>139</i>
<i>Quadro 33: Resultado de média e desvio padrão de 50% de cada agregado na mistura com 48 h.....</i>	<i>107</i>
<i>Quadro 34: Quadro de comparação entre o 24 e 48 hs com cada ensaio.....</i>	<i>107</i>
<i>Quadro 35: Coeficiente de permeabilidade com a brita 0 em placas.....</i>	<i>140</i>
<i>Quadro 36: Coeficiente de permeabilidade com o seixo rolado em placas.....</i>	<i>140</i>
<i>Quadro 37: Coeficiente de permeabilidade com o agregado misto.....</i>	<i>141</i>
<i>Quadro 38: Coeficiente de permeabilidade com a brita 0 em placas aplicado no solo.....</i>	<i>141</i>
<i>Quadro 39: Coeficiente de permeabilidade com o seixo rolado em placas aplicadas ao solo.....</i>	<i>142</i>
<i>Quadro 40: Coeficiente de permeabilidade com o agregado misto aplicado no solo.....</i>	<i>143</i>
<i>Quadro 41: Coeficiente de permeabilidade de blocos de concreto permeável com brita 0.....</i>	<i>141</i>
<i>Quadro 42: Coeficiente de permeabilidade de blocos de concreto permeável com seixo rolado.....</i>	<i>143</i>
<i>Quadro 43: Coeficiente de permeabilidade de blocos de concreto permeável com agregado misto.....</i>	<i>144</i>
<i>Quadro 44: Vazão somente da placa de concreto permeável de brita 0</i>	<i>112</i>
<i>Quadro 45: Vazão somente da placa de concreto permeável de seixo rolado</i>	<i>112</i>
<i>Quadro 46: Vazão somente da placa de concreto permeável de agregado misto.....</i>	<i>113</i>
<i>Quadro 47: Vazão da placa de concreto permeável de brita 0 com aplicação no solo.....</i>	<i>113</i>
<i>Quadro 48: Vazão da placa de concreto permeável de seixo rolado com aplicação sobre o solo.....</i>	<i>114</i>
<i>Quadro 49: Vazão da placa de concreto permeável misto com aplicação sobre o solo</i>	<i>114</i>

Quadro 50: Vazão do bloco de concreto permeável de brita 0 em diferentes situações.....115

Quadro 51: Vazão do bloco de concreto permeável de seixo rolado em diferentes situações.....115

Quadro 52: Vazão do bloco de concreto permeável misto em diferentes situações.....116

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	América Concrete Instituto
AASHTO	Association of State Highway and Transportation Officials
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BMPs	Best Management Practices
CBR	California Bearing Ratio
CCP	Concreto de Cimento Portland
CPA	Concreto Poroso de Atrito
D _{máx}	Dimensão Máxima Característica
DNER	Departamento Nacional de Estrada de Rodagem
EPA	Environmental Protection Agency
EUA	Estados Unidos da América
LID	Low Impact Developmel
MG	Minas Gerais
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
N°	Número

PEAD	Polietileno de Alta Densidade
a/c	Água e Cimento
Apec	Área de Percolação
Aint	Área Interna
Aesp	Área do Espaçador
Aext	Área Externa
fct	Força Característica Tracionada
Kg	Quilograma
F	Força máxima
K	Coeficiente de Permeabilidade
l	Litro
l'	Distância entre apoios
a	Distância entre 1/3 e a fissura
b	Largura do corpo de prova
d	Diâmetro interno do corpo de prova
d'	Altura do corpo de prova
d''	Diâmetro do corpo de prova
fc	Resistência a Compressão
Fctd	Resistencia a tração na flexão
m	Metro
m'	Massa de água

mm	Milímetro
m/s	Metro por segundo
min	Minuto
Ms	Massa seca
Mi	Massa de corpo de prova imerso
Msat	Massa saturada
s	Segundo
t	Tempo
C	Fator de conversão de unidade do sistema
PVC	Poli Cloreto de Vinila
FDC	Faculdade Doctum de Caratinga
BEC	Bacharelado em Engenharia Civil
N	Newton
P	Força Aplicada
°C	Celsius
H	Horas
Qv	Vazão Volumétrica
V	Volume
Tnf	Tonelada Força

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	21
1.2	OBJETIVOS.....	25
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	<i>25</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>26</i>
1.3	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	28
2.1	CONTEXTO DO CONCRETO PERMEÁVEL E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	28
2.1.1	<i>Composição do concreto permeável.....</i>	<i>33</i>
2.1.2	<i>Tipos de pavimentação de concreto permeável.....</i>	<i>40</i>
2.1.3	<i>Princípios de funcionamento e tipologia de revestimento</i>	<i>41</i>
2.1.4	<i>Pavimentos para a detenção e armazenamento</i>	<i>45</i>
2.1.5	<i>Sistemas de infiltração.....</i>	<i>46</i>
2.2	COMPONENTES DO PAVIMENTO PERMEÁVEL	48
2.2.1	<i>Revestimento, sub-base e base</i>	<i>49</i>
2.2.2	<i>Revestimento, sobre camada</i>	<i>50</i>
2.2.3	<i>Reservatórios</i>	<i>51</i>
2.2.4	<i>Preparação do subleito.....</i>	<i>52</i>
2.3	CARATERÍSTICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL EM SEU ESTADO FRESCO	53
2.4	CARATERÍSTICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL EM SEU ESTADO ENDURECIDO	54
2.5	ANÁLISES MECANICISTAS	56
2.5.1	<i>Compressão axial.....</i>	<i>56</i>
2.5.2	<i>Resistência mecânica e espessura mínima.....</i>	<i>56</i>
2.5.3	<i>Tração na flexão</i>	<i>57</i>
2.5.4	<i>Índice de vazios.....</i>	<i>58</i>
2.5.5	<i>Capacidade de Vazão</i>	<i>59</i>
2.5.6	<i>Método IBRACON.....</i>	<i>59</i>
2.6	VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CONCRETO PERMEÁVEL	62

2.6.1	<i>Vantagens</i>	62
2.6.2	<i>Desvantagens</i>	62
2.7	PROBLEMATIZAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO.....	63
2.8	MÉTODOS DE APLICAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL	64
2.8.1	<i>Requisitos da camada de sub-base e/ou base</i>	65
2.8.2	<i>Requisito da camada de assentamento</i>	67
2.8.3	<i>Requisitos do material de rejuntamento</i>	68
2.8.4	<i>Requisitos para juntas alargadas ou áreas vazadas</i>	69
2.8.5	<i>Requisitos do revestimento</i>	70
2.9	MÉTODOS DE MANUTENÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL	71
2.9.1	<i>Manutenção</i>	71
2.9.2	<i>Limpeza</i>	71
3	METODOLOGIA	72
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS USADOS.....	72
3.1.1	<i>Cimento Portland CP III - 40 RS</i>	72
3.1.2	<i>Agregados graúdos usados</i>	73
3.1.3	<i>Água</i>	74
3.2	DEFINIÇÃO DO TRAÇO INICIAL PELO MÉTODO IBRACON	74
3.3	PREPARO DO CONCRETO.....	74
3.3.1	<i>Preparação das amostras de concreto</i>	74
3.3.2	<i>Slump test</i>	77
3.3.3	<i>Moldagem do corpo de provas</i>	79
3.4	ENSAIOS REALIZADOS.....	82
3.4.1	<i>Ensaio de resistência à compressão axial</i>	82
3.4.2	<i>Ensaio de resistência à tração na flexão</i>	85
3.4.3	<i>Ensaio do índice de vazios</i>	88
3.4.4	<i>Ensaio de percolação</i>	91
3.4.5	<i>Método de Vazão</i>	96
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	98
4.1	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	98
4.1.1	<i>Resultado do Ensaio de Resistência a Compressão</i>	98

4.1.2	<i>Resultado do ensaio de tração na flexão</i>	<i>100</i>
4.1.3	<i>Resultado do ensaio de índice de vazios.....</i>	<i>103</i>
4.1.4	<i>Resultado do ensaio de percolação</i>	<i>108</i>
4.1.5	<i>Vazão volumétrica do concreto permeável</i>	<i>111</i>
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	116
5.1	CONCLUSÕES	116
5.2	RECOMENDAÇÕES.....	117
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
	APÊNDICE A	124
	APÊNDICE B	131
	APÊNDICE C	136
	APÊNDICE D	140
	ARCEVO DE IMAGEM	146
	IMAGENS DESENVOLVIDAS NO TRABALHO	146

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente número de pessoas ocupando as cidades, as construções, muitas vezes sem planejamento não atendendo aos planos diretores, ocupando todo o terreno, leva a diminuição das áreas permeáveis, e faz com que as águas das chuvas não se infiltrem, gerando alagamentos e possíveis enchentes nas cidades.

Na busca de soluções para a situação da impermeabilização dos solos, surge o concreto permeável, que objetiva melhorar a drenagem urbana, diminuindo os impactos ambientais e econômicos gerados por tal situação.

1.1 Contextualização

Dentre as várias aplicações do concreto permeável, este trabalho foca no seu uso em áreas de circulação como praças, calçadas, vilas, escadarias e estacionamentos de veículos leves. Existem vários tipos de pavimentos, desde pré-moldados até pavimentos asfálticos, são adotados há muitos anos pelo homem (PINTO, 2011).

Todas cidades precisam de infraestrutura de saneamento básico, dentre os quais podemos citar abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos urbano (coleta e disposição final do lixo) e o sistema de drenagem urbana, de acordo com a Lei nº 11.445/2007, que estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico.

Um dos principais problemas nas zonas urbanas é a falta de drenagem, com locais onde há aglomeração maior de pessoas, que aumenta a impermeabilização dos solos, pelas edificações que surge no decorrer do tempo, a maior parte delas pela falta do uso do código de obra local. No passar dos anos, houve a necessidade de melhorar o concreto, com incorporação à tecnologia a eficiência na drenagem urbana, o que causa um menor impacto ambiental, provocado pelas construções que acabam impermeabilizando o solo. O uso de sistemas de drenagem urbana, é usado não somente no Brasil, mas em todo mundo como umas das necessidades básicas.

A drenagem urbana é um direito de todos, a Lei nº 11.445/2007-Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico, ampara todas as necessidades básicas da população, desde a água potável até como um sistema de drenagem eficiente.

Pinto (2011) afirma que a falta de planejamento que se alia à urbanização descontrolada, na maioria das vezes, ocorrida pelo aspecto econômico e por falta de áreas para se implantar as moradias da população de baixa renda, junto a zona rural e indústrias que se expandem, o que provoca um grande aumento de áreas impermeáveis, pelas faltas de praças, parques e jardins nos espaços urbanos, que melhoram a infiltração da água no solo e reabastecendo os lençóis freáticos.

Batezini (2013) afirma que um dos motivos que levou aos impactos que o desenvolvimento urbano causou pela falta de uma ordem cronológica no seu crescimento, provocando nos processos hidrológicos (circulação e distribuição da água), com a impermeabilização no solo, onde junta a ocupação indevida juntamente nas margens dos rios e córregos, fez com que aumentassem os danos no tempo de cheias (épocas de chuvas), gerando problemas como inundações, enchentes, produzindo um desconforto ambiental e agregado a doenças entre outros danos, com perdas materiais e chegando até a perda da vida.

Batezini (2013) afirma que já nos últimos anos houve o início de controle hidrológico alternativo em relação aos já existentes, que vem sendo usado em espaços brasileiros. Por volta dos anos 80, perceberam que havia necessidade da mudança de sistema na gestão da drenagem urbana, pois ficaram totalmente claras as questões técnicas desenvolvidas nos aspectos econômicos, sociais e ambientais. Uma situação muito questionada foi a qualidade da água drenada, com o uso do sistema de infiltração pela porosidade do concreto permeável.

Tucci (2007), afirma que, por mais que seja rápido o escoamento superficial das águas pluviais do montante até a jusante tem sido reconhecido como erro nos sistemas de drenagem, devido à falta de permeabilidade, o que fez com que não o reabastecesse o lençol freático. Entende-se que há necessidade de se adequar a novos conceitos que empregam questões sócio-econômico-ambientais.

McCuen et al (1989) afirma que as *Best Management Practices* (BMPs)¹ são técnicas que tem o propósito básico de ajudar a eliminar os problemas do

¹*Best Management Practices* (BMPs) é um termo que descreve um controle de poluição da água, com auxílio de controle nas águas industriais, tanto nas zonas urbanas como rurais junto com o controle de saneamento do esgoto (Agência de Controle de Poluição de Minnesota, 2000).

escoamento superficial causado no decorrer do percurso de montante para a jusante, por meio de escoamento na bacia mais próxima de sua fonte, e não no curso d'água. Inicialmente este conceito começou a se desenvolver nos Estados Unidos da América (EUA) pela *Environmental Protection Agency* (EPA)² nos anos 80 se baseou em planejar mecanismos de controle das águas pluviais até as bacias, no processo de armazenamento temporário e infiltração no escoamento (reservatórios subterrâneos, trincheiras de infiltração ou canaletas, pavimentos permeáveis), com intenção de compensar os efeitos do crescimento desordenado da população.

Devido as superfícies impermeáveis há uma quantidade maior no volume de escoamento superficial, levando consigo lixos que são jogados nas ruas, calçadas, a percolação agirá devido à gravidade de acordo com o declínio do revestimento. Claro que isso acontecerá no período chuvoso, não se deve pensar somente neste período, mas sim como um todo, trabalhando a aplicação e manutenção necessários, de forma que o concreto esteja pronto e eficaz para o uso quando for preciso.

Além dos problemas de impermeabilização do solo, os pavimentos convencionais geram outros problemas tais como erosão e assoreamento dos rios, que podem ser causados pela falta de permeabilidade no solo. Devido a impermeabilidade, o solo vem perdendo parcialmente a sua umidade e sua fluidez, quando é saturado por qualquer contato com a umidade acaba aumentando seu peso e realizando um empuxo, assim, levando a erosão.

Esteves (2009) afirma que pode haver problemas dos tipos como erosão e assoreamento de rios, causado no centro das cidades pelo fato do solo estar impermeável, aumentando a velocidade do escoamento superficial em relação ao que seria observado com o solo natural, pois quando chegar na jusante acaba sobrecarregando o solo e levando a erosões, valetas, etc.

Uma das necessidades em relação a preservação e manutenção das águas é a sustentabilidade das bacias hidrográficas reabastecendo os lençóis freáticos. É um mecanismo e meio de trabalhar a drenagem pluvial urbana causando o mínimo

²*Environmental Protection Agency* (EPA) é uma agência do governo americana dos EUA encarregada de trabalhar de proteger a saúde humana e ao meio ambiente: terra, água e ar (Batezini, 2013 apud Agência de Proteção Ambiental, 1993- EUA)

de impacto ambiental, com o concreto permeável pode estar alcançando a máxima vazão entre os poros de acordo como área natural que já existiu.

Jones (2001 et al Pinto, 2011) descreve que nos anos 90 a preocupação com a sustentabilidade já era questionada com muita intensidade, que adotaram um meio de sustentabilidade nas bacias hidrológicas, que foi o conceito *Low Impact Development – LID*³, chamado no Brasil de “Impacto Zero”, e que teve o princípio de anular ou reter os efeitos causados pelas zonas urbanas nas bacias.

Em busca de uma alternativa para solucionar ou reduzir a impermeabilização, com bases em estudos chegou-se ao do pavimento permeável. Este tipo de pavimentação tem como finalidade permitir a passagem de água através da sua camada, trabalhando como um mecanismo de drenagem total ou parcial do escoamento superficial da água. É um sistema de infiltração que tem a capacidade de absorção pela camada de concreto poroso, para uma camada de brita uniforme que funciona como um reservatório temporário. Neste sistema, há duas formas da água drenada se conduzir, com um sistema de drenagem e escoamento submerso a camada de concreto, encaminhando a água para outro lugar (sistema de esgoto), ou ser absorvida para o solo (Virgillis, 2009).

De acordo com Batezini (2013), a sub-base e base do solo onde é aplicado o concreto permeável, é constituída por agregados com poucas quantidades de finos, e há funcionalidade de reservatório temporário.

Conforme Acioli (2005) deve-se adotar um novo sistema de tecnologias que seja eficiente na drenagem urbana:

“Acioli (2005) os atuais sistemas de drenagem se encontram ultrapassados, não atendendo mais as necessidades dos centros urbanos, que claramente se estenderam para além dos seus limites, comprometendo todo fluxo das águas na bacia. O seu funcionamento tem base no rápido afastamento do excedente pluvial, que simplesmente encaminha o problema de M (montante) ponto da cidade a outro J (jusante). As consequências disso são: aumento das vazões de picos, aumentando o volume escoado,

³ O conceito *Low Impact Development – LID*, é um termo usado com o intuito de descrever o planejamento de terras e engenharia gerenciando o escoamento de águas pluviais como parte da infraestrutura verde. Enfatizam a conservação e o uso de recursos naturais para proteger a qualidade da água no local (*Low Impact Development Center*, 2016).

redução do tempo de escoamento e ocorrências de cheias e enxurradas. Todos esses fatores acabam por elevar a gravidade das inundações, devido a uma gama enorme de consequências, desde danos estruturais até problemas de saúde pública. ”

Tucci et al Genz (1995) afirmam que a experiência vem mostrando que o seu uso é eficaz, de baixo custo e colabora para solucionar o problema mais próximo de sua origem, evitando o que pode vir afetar outras regiões.

O dimensionamento da espessura das camadas de um pavimento poroso deve sempre levar em consideração o tipo de tráfego e seu volume, tipo de carregamento que será transitado devido o fluxo de tráfego, mantendo a condutividade hidráulica e a resistência.

Segundo Virgiliis (2009), o concreto permeável deve ser definido de acordo com as normas técnicas corretamente, da infraestrutura de transporte e a drenagem urbana, mantendo e atendendo os aspectos sustentáveis.

NBR 16416:2015 - Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e Procedimento, para áreas que forem revestidas com o concreto poroso deve permitir a percolação de 100% de água precipitada incidente sobre o local que foi aplicado, desta forma deve atingir o percentual exigido com a área permeável mais áreas de contribuição (áreas com inclinação que contribua para o escoamento da água até a área permeável) e deve seguir a norma, respeitando os requisitos mínimos.

Conforme Batezini (2013), no mercado já existem três tipos de materiais genéricos do pavimento permeável: pavimento de concreto asfáltico poroso, pavimento de concreto permeável e pavimento de blocos de concreto Inter travados permeável.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar teste experimental, buscando mostrar a viabilidade da utilização do concreto permeável e suas resistências mecânicas, compressão e tração na flexão, usando brita 0, seixo rolado e uma mistura de 50% de cada componente, realizar um comparativo entre os três materiais, levantando dados de materiais regionais, de fácil acesso na cidade de Caratinga- MG.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos tratam-se de obter dados diferentes e distintos de um agregado para o outro, buscando analisar quantitativamente e qualitativamente a aplicação deste material, com intuito de alcançar uma resistência apropriada para a aplicação e a vazão do concreto permeável utilizando material regional, seguindo os seguintes aspectos:

- Elaborar a revisão bibliográfica sobre o concreto permeável e suas principais características e exigências;
- Definir o traço do concreto permeável, para os três agregados, buscando alcançar as melhores propriedades do material com o uso dos diferentes tipos de agregados;
- Realizar os corpos de provas, para fazer os ensaios e aplicar no estudo de caso do trabalho;
- Analisar sua resistência de compressão e tração na flexão;
- Realizar o teste de percolação do concreto poroso no bloco em si e no solo, comparando com um pavimento Inter travado de concreto, este ensaio feito *in loco*;
- Fazer uma comparação entre os materiais;
- Gerar tabelas dos resultados fazendo comparações dos testes feitos com os corpos de prova e as amostras;
- Analisar nos resultados e conclusões a viabilidade a aplicabilidade do concreto permeável em relação ao estudo desenvolvido;
- Analisar a vazão do concreto em placas e blocos dos diferentes agregados graúdos.

1.3 Estruturação do trabalho

Esta estruturação do trabalho foi dividida em 6 (seis) capítulos, conforme descrito nos itens a seguir:

- Capítulo 1: Contém a introdução, com a contextualização, o objetivo geral e específico e a organização do trabalho;
- Capítulo 2: Contém a revisão bibliográfica, abordando os conceitos de concreto permeável, junto os tipos de drenagem existentes, revisando os tipos de testes de compressão, tração na flexão, vazão do material e percolação, requisitos mínimos que a NBR 16416:2015 exige, sendo amparada em material utilizado para a realização do trabalho;
- Capítulo 3: Contém a metodologia, com os critérios utilizados para a escolha do traço, a realização do concreto desde a definição dos materiais até seu preparo para moldar os corpos de prova, como é realizado seu processo de cura, realizar os ensaios dos corpos de prova atendendo as normas vigentes, realizar os cálculos e mostrar os resultados pelos testes, mostrando a diferença entre os três tipos de mistura;
- Capítulo 4: Contém os resultados e as discussões, apresentando as análises que foram obtidas desde o início da realização do trabalho, resultando nas análises dos corpos de prova na moldagem, detalhando por tabelas a diferença de resistência dos concretos com o uso dos diferentes agregados graúdo; analisando os índices de vazios e vazão de cada material que foi produzido.
- Capítulo 5: Contém as conclusões obtidas através do procedimento que foi realizado, as recomendações necessárias;
- Capítulo 6: Referências bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem a finalidade de mostrar e descrever o desenvolvimento do trabalho, revisando e pesquisando material literário como artigos, dissertações de mestrados e livros. Que foram a base para realizar este trabalho de conclusão de curso.

2.1 Contexto do concreto permeável e suas características

O concreto permeável é um material com alto teor de porosidade, com capacidade de infiltração, que vem sendo analisado e usado já algum tempo, devido seus poros virem juntos, um dos aspectos que o impede de ser usado em áreas que exigem maior resistência como estacionamento de veículos pesados ou de tráfego alto, assim, sua aplicação fica restrita a locais de baixa resistência. Na figura 1, demonstra o concreto permeável.

Figura 1:Amostra de concreto permeável



Fonte: Adaptado de Rhino Pisos, 2017

Com o passar dos anos, logo após a aplicação ser feita nos EUA, Virgiliis, 2011 (FIEL, et al., 192) criaram alguns manuais práticos para o uso do concreto permeável.

Segundo BATEZINI (2013, apud Li, 2009, p. 25), o concreto permeável teve início há 150 anos, sua aplicação veio sendo usada em diversas áreas de aplicação com diferentes finalidades de uso, somente veio apresentar grandes avanços tecnológicos com cerca dos últimos 20 anos aproximadamente, baseando em pesquisas principalmente nos EUA. Com o tempo, o assunto vem sendo cada vez mais estudado, nos aspectos mecânicos e hidráulicos do concreto permeável sendo mais atrativas para os estudos de pavimentação e drenagem urbana, vem se apresentando uma viabilidade maior nos seus requisitos de uso, como durabilidade, resistência e vazão, apresentando um bom desempenho para o revestimento de pavimentações para áreas de veículos leves, calçadas, praças, etc., aliando aos vazios que o concreto permeável, tendo uma grande capacidade de drenagem, permitindo a aplicação desse material como um equipamento de drenagem urbana de mitigação dos níveis de impermeabilização do solo, intensificado pela aglomeração da população nos centros urbanos.

De acordo com Virgiliis (2009) o significado para pavimento, de uma forma genérica, é um tratamento ou uma cobertura que seja referente à superfície com a finalidade desta suportar qualquer tipo de carga. A pavimentação é a cobertura de qualquer superfície, indicado à área descoberta ou direcionada ao solo, referindo-se a vias de terra onde há tráfego de qualquer forma, independente que seja.

O pavimento permeável é um revestimento com uma maior porosidade, tratando-se de técnicas compensatórias em drenagem urbana relacionando-se principalmente em estacionamentos e ruas de tráfegos leves, assim como condomínios residências, praças, calçadas e áreas abertas que necessita de pouca carga aplicada.

Com a aplicação correta e adequada dessa estrutura, e devido a sua capacidade de absorção da água pela sua porosidade, ocorrendo grandes benefícios na época das chuvas, pela questão da vazão evitando o escoamento superficial.

Assim, este tipo de pavimento, com sua característica porosa possui uma grande capacidade de infiltração da água, trabalhando a drenagem, diminuindo o escoamento superficial, claro que dependerá da sua composição, com variações em função dos agregados graúdos, podendo ser usado até mesmo agregados miúdos para um alcance maior de resistência. A utilização desses pavimentos, quando corretamente projetada e implantada, pode ser a maior influência nas

vazões de pico que ocorrem durante épocas chuvosas em determinados locais, diminuindo o acumulo de água na superfície (BATEZINI, 2013).

Para pavimentos que não possuem um alto índice de vazios, compondo-se de uma grande capacidade de vazão ou infiltração, podem ser considerados como um material poroso, respectivamente há vazios interligados, aumentando sua capacidade de drenagem.

Alves (2011) afirma que para qualquer pavimento, para ser considerado uma estrutura permeável, deve ter seus vazios interligados, independente da forma ou do componente usado para a fabricação do concreto.

Baptistas, et al; 2005, afirma com base em resultados obtidos, sendo muito satisfatório em experimentos realizados na França desde a década de 80, é possível aplicação deste concreto poroso em áreas de tráfego de circulação de médio e alto padrão (vias que necessitam de um revestimento com mais resistência a compressão).

Ressaltando estudos que foram citados por Virgiliis (2009), descrito por CAPPIELLA & BROW (apêndice D, 2001) na região de Chesapeake Bay – Maryland – EUA foram realizados em três tipos diferente de áreas que possivelmente pode ser aplicada, como: estabelecimento comerciais (lojas), prédios residenciais e casas comparando às áreas de execução pavimentadas (ruas, calçadas e estacionamento).

O trabalho de Virgiliis (2011) mostra os seguintes aspectos:

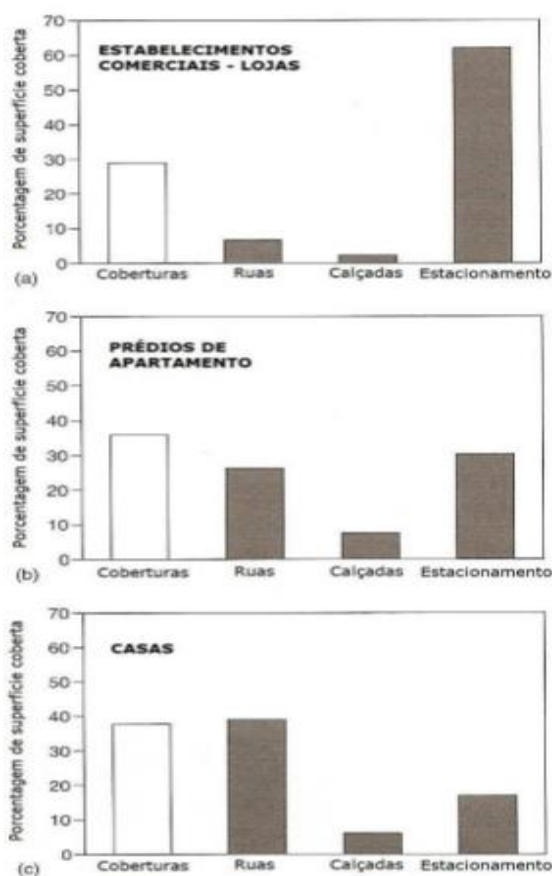
- Zona de uso comercial – descreve que para as áreas de estacionamento é considerado a maior parte da superfície coberta. Calçadas e ruas não possuem importância. Para determinados pontos do estacionamento não recebem carga aplicada, que venham comprometer a estrutura em si ou nela toda, a maior parte está submetida a ponte que receberá veículos de pequeno porte que são denominados como tráfego leves e ficará aplicada por um tempo curto até médio, para pontos do tipo, podem-se estar adotando como uma pavimentação de concreto permeável.
- Zona de prédio residencial – ainda afirma que neste caso em áreas de estacionamento, podem se considerar a mesmas áreas de ruas. Em pontos como calçadas e a maior parte do estacionamento que recebem baixa carga concentrada, adota-se a pavimentação permeável. Já nas áreas

relacionadas ao tráfego intenso, as vias como as cargas variáveis a maior parte do tempo, exige-se uma pavimentação mais resistente.

- Zonas de uso residencial (casas) – Para estes locais o autor afirma que para estacionamentos, referente em áreas de garagem e vias para manobras ou circulação de tráfego leves, de apenas um tráfego local e calçadas somente para usos de pedestres, pode-se estar adotando a pavimentação permeável.

Uma forma mais clara para se notar um percentual destas áreas são as zonas distintas, como demonstrado na figura 2.

Figura 2: Tipos de cobertura e área pavimentável em três categorias de uso



Fonte: Adaptado do apêndice D, Capiella & Brown, (2001)

*American Society of Civil Engineers*⁴ - ASCE, (1992) afirma que normalmente estas estruturas, após serem analisadas pela engenharia hidráulica, tem como principal finalidade a redução do escoamento superficial agindo diretamente sobre os lençóis freáticos onde são instaladas, isso faz com que diminua a área impermeabilizada que se encontra conectada nas extremidades, e assim apresenta uma maior eficiência durante chuvas de pequena intensidade.

Segundo Pinto 2011 apud Schueler, 1987 pag. 13, o pavimento permeável, promove a recarga ou melhor o reabastecimento do lençol freático, o que melhora a qualidade da água pelo processo natural de infiltrar pelo subsolo, mesmo com a possibilidade mínima de contaminação do lençol, o que pode ser considerado desprezível desde que seja feita corretamente a sua aplicação.

Nesse caso, há uma crítica sobre a possível contaminação do lençol freático, pode ser uma variável, considerando desnecessária esta afirmação, isso dependerá muito de local para local, é claro a profundidade do lençol freático. Portanto, a afirmação é um pouco generalizada.

De acordo com SCHUELER (1987), na engenharia de transporte, os revestimentos permeáveis são fundamentais e eficientes no controle de derrapagem, da aquaplanagem, conforme a percolação dentro da estrutura do pavimento, elimina-se a lâmina d'água da superfície, ou seja, do revestimento que se está aplicado. O uso dessa pavimentação exige uma análise importante na geologia e na geotécnica, os pavimentos permeáveis trabalham no controle e na diminuição de erosão do solo urbano.

Com o passar dos anos surgiram estudos voltados para pavimentação permeáveis, drenagem urbana com o uso do concreto permeável, a implantação de um sistema que cause menor impacto ambiental e reabasteça o lençol freático, evitando enchentes e alagamentos em épocas de chuvas.

⁴ *American Society of Civil Engineers* – ASCE, é uma organização privativa sem fins lucrativos que discutem e representam engenheiros civis tanto nacional como internacional. (ASCE, 1996- 2017).

2.1.1 Composição do concreto permeável

O concreto permeável é um material composto por ligante hidráulico, material britado de granulação uniforme, água e pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo (areia ou finos usados em concreto convencional), como demonstrado na figura 3. Pode-se adicionar várias outras combinações de diferentes tipos de adições e aditivos que tem a finalidade de atribuir umas melhorias eficaz no concreto, ajudando na trabalhabilidade, desempenho, durabilidade e resistência mecânica.

Figura 3: Amostra de uma placa do concreto permeável



Fonte: Adaptado de Rhino Pisos, 2017

A composição e preparação do concreto permeável segue a mesma metodologia do concreto de cimento Portland convencional (CCP), menos o uso de agregado miúdo na sua mistura e nem no cálculo do traço, caso houver, será mínima, em muitos dos casos é nula, pois o objetivo do concreto permeável é atingir uma maior vazão e ao mesmo tempo a resistência segundo *American Concrete*

*Institute*⁵ - (ACI, 2006; TENNIS et al., 2004). A quantidade usada na mistura do concreto permeável é, geralmente em relação ao CCP, sendo necessário no momento da mistura um controle visual muito mais rigoroso para se alcançar, uma característica desejada no produto final, sendo mais denso, um material mais sólido (TENNIS et al., 2004).

O preparo deve ser muito bem calculado e deve-se ter muito cuidado com o preparo do concreto permeável, pelo fator de água e cimento, devido ser um dos principais fatores para a realização do material, pois é um dos principais parâmetros que definem a qualidade no resultado final do concreto permeável.

De acordo com BATEZINI (2013), proporções dos materiais variam dependendo dos tipos de insumo a serem usados, deixando claro que o procedimento correto é realizar testes em laboratório para desenvolver a dosagem correta, que servirá como parâmetro para uma fabricação do material (dosagem racional). Na tabela 1 é apresentado o consumo em proporção de matérias nas misturas de concreto permeável.

Segundo ACI (2006) a relação de cimento/agregado e o procedimento de compactação ou adensamento a ser utilizado na proporção de concreto poroso, é de extremas importâncias, pois se mal executado, afetará as características mecânicas do material, uma das partes mais importantes do material.

Tabela 1: Consumo e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável.

Materiais	Consumo/Proporção
Ligante hidráulico (kg/m ³)	270 a 415
Agregado graúdo (kg/m ³)	1.190 a 1.700
Relação água/cimento (a/c) em massa	0,27 a 0,34
Relação cimento/agregado em massa	1:4 a 1:4,5
Continuação...	

⁵ American Concrete Institute- ACI 2006, é uma das autoridades que trabalham em busca de melhorias no desenvolvimento, tendo como base normas técnicas, recursos técnicos, sendo um conselho buscando sempre se adequar e melhor (ACI- 2017).

Relação agreg.	
Miúdo/agregado graúdo em	0 a 1:1
massa	

Fonte: Adaptado de Batezini 2013.

Batezini (2013) afirma que os aditivos superplastificantes são empregados ao concreto permeável para a melhora da trabalhabilidade e tempo de pega das misturas, umas das principais características, dependendo de onde será aplicado há a necessidade de se utilizar tais aditivos.

- Aglomerantes

Para o concreto permeável, o principal ligante hidráulico e aglomerante, é o cimento Portland. Sendo um material suplementar na cor cinza volante, a adição da escória de alto-forno, na sua composição, contribui para o aumento da resistência final do concreto, são aplicados para melhorar a característica mecânica do concreto. Lembrando que o uso dos aditivos a serem incorporados à mistura devem ser cuidadosamente observadas, uma vez que adicionada corretamente, deve garantir no material final um bom índice de vazios e uma boa condutividade hidráulica, sendo de extrema importância para o funcionamento do concreto permeável (Batezini, 2013). Em busca de se realizar não só o concreto, mas junto a sua funcionalidade, no quesito infiltração e resistência para o seu uso.

Segue a figura 4, amostra de cimento que é usado em preparado de concreto permeável e convencional.

Figura 4: Amostra de Cimento Portland



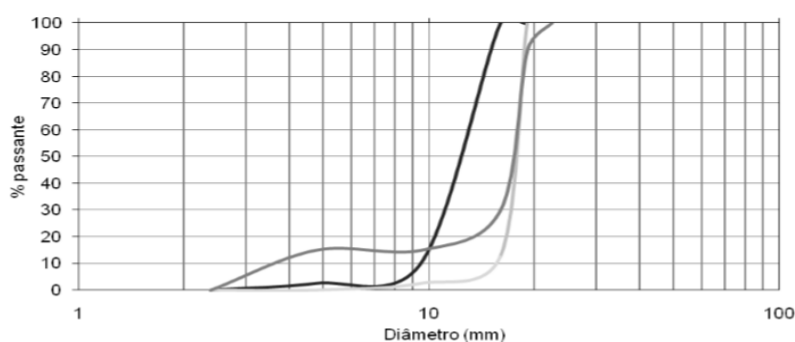
Fonte: Adaptado de Procim, 2017

- Agregados

De acordo com o Tennis et al, (2004), a escolha de agregados, utilizados para as misturas, são normalmente do tipo uniforme (diâmetro único), sendo o diâmetro máximo utilizado é de 19 mm. O autor afirma que para curvas descontínuas (tamanho considerado padrão, porém há uma pequena variação entre cada agregado), com variação do tamanho do agregado, é comumente conhecida e utilizada a variação de 19 mm a 4,8 mm; 9,5 mm a 2,4 mm e 9,5 mm a 1,2 mm (Virgiliis, 2009).

São apresentadas três curvas granulométricas já aplicadas na produção do concreto permeável, sendo o diâmetro máximo de agregado graúdo utilizado é de 19 mm (Li, 2009). A figura 5 apresenta-se, em gráfico, as curvas granulométricas.

Figura 5: Curvas granulométricas típicas de misturas de concreto permeável



Fonte: Adaptada de Li, (2009)

Na realização do concreto poroso utiliza-se agregados de granulação distintas e variação no tamanho, isso para buscar resultados diferentes em utilização de acordo com a NBR 16416:2015, independentemente da superfície onde será aplicado, como se trata de concreto permeável atendendo a sua funcionalidade de percolação e resistência mínima de uso.

As figuras 6, 7 e 8, para mostrar as granulometrias deveria ter ensaiado o peneiramento dos agregados graúdos, sendo a brita 0, seixo rolado e uma mistura dos dois materiais contendo uma variação de diâmetro mesmo sendo uniforme.

Figura 6: Amostra do Seixo Rolado



Fonte: Adaptado de Lena, (2014)

Figura 7: Amostra da mistura de 50% dos agregados



Fonte: Adaptado de Lena, (2014)

Figura 8: Amostra de brita 0



Fonte: Próprio autor

- Aditivos

Afirma Batezini (2013), para se obter o mesmo funcionamento e trabalhabilidade, há os aditivos químicos que são empregados no cimento de concreto Portland- CCP, são também incorporados nas misturas de concretos permeáveis. Aditivos retardadores de pega adicionados à mistura para o controle do tempo de pega do material, para concreto permeável, isso ocorre com mais velocidade. Há outros aditivos como os retardadores de água que também são utilizados, para a relação de A/C (PERVIOUS CONCRETE PAVEMENT, 2011).

Nota-se na figura 9 um exemplo do aditivo super-plastificantes, que pode ser usado tanto no concreto CCP como no concreto permeável, ajudando na sua trabalhabilidade e no seu processo de cura.

Figura 9: Aditivo super-plastificantes



Fonte: Adaptado de Bautech, 2016.

- Água

De acordo com a (NBR) - 15900-1 Água para emassamento do concreto - Parte 1: Requisitos, mostra todos os requisitos que água deve ter para da realização de um CCP ou argamassa, a mais usada e de fácil acesso é água potável, a mesma que a estação de água disponibiliza para o consumo humano. Assim como mostra a figura 10.

Figura 10: Água potável para consumo



Fonte: Próprio autor

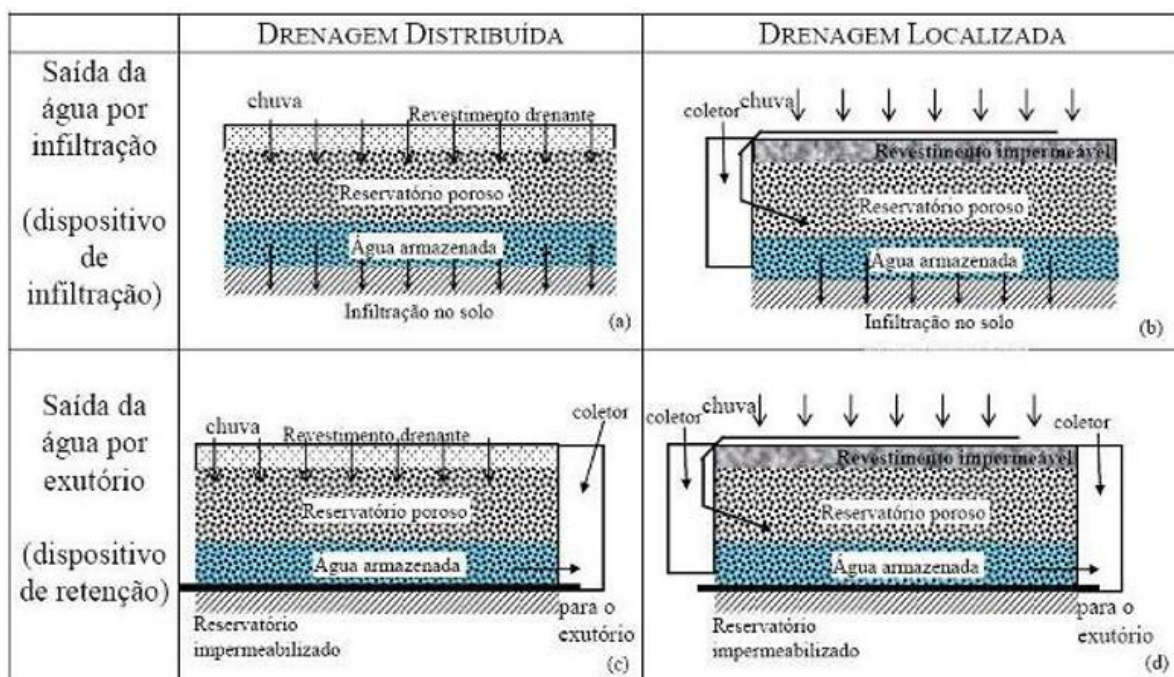
2.1.2 Tipos de pavimentação de concreto permeável

Pavimentos permeáveis são denominados estruturas de reservatórios. Conforme Rimbaldu et al. (2002) e Acioli L.A (2005), esta denominação refere-se aos poros que há no concreto, com seus vazios, constituída da seguinte forma:

- Função mecânica, baseado em termo estrutural, com a finalidade de suportar carregamentos por mecanismos de locomoção, desde bicicleta até veículos, gerando tráfegos.
- Função hidráulica, baseia-se no termo de reservatório, pela sua porosidade retém a água por um determinado tempo, podendo ser retida através de drenos, e se possível infiltração no solo do subleito.

De acordo com Virgiliis (2009) apud Azzout et al. (1994 p.27), em pavimentação permeável pode-se ser caracterizado em quatro tipo: um pavimento com o revestimento drenante ou impermeável, ainda pode haver a função de infiltração ou armazenamento temporário. Como a figura 11, detalha-se os quatro tipos de pavimentos, com a estrutura de armazenamento.

Figura 11: Exemplo de diferentes tipos de pavimento com reservatório estrutural



Fonte: Adaptado de Virgiliis (2009) apud Azzout et al., (1994)

2.1.3 Princípios de funcionamento e tipologia de revestimento

Com base na NBR 16416:2015 Pavimentos Permeáveis de Concreto-Requisitos e Procedimento, os pavimentos permeáveis de concreto são executados com diferentes revestimentos, representadas das seguintes formas: revestimento de pavimento Inter travado permeável, revestimento de pavimento de placas de concreto permeável e revestimento de pavimento de concreto permeável.

Nascimento et al (2005) afirma que os pavimentos que contém as funções compensatórias em drenagem pluvial, são classificados das seguintes formas:

- Pavimentos com revestimentos permeáveis: são os pavimentos que possibilitam o acesso das águas pluviais as camadas inferiores, provocando uma ligeira redução do escoamento superficial.
- Pavimento poroso de retenção: tem a função de reservatórios temporários das águas pluviais, com a evacuação localizada sem a função de infiltração, dividindo-se em duas formas:
 - Pavimentos poroso com retenção de forma direta: são dotados de revestimentos permeáveis.
 - Pavimentos poroso com retenção de forma indireta: são dotados de revestimentos impermeáveis.

De acordo com Virgiliis (2009), para cada tipo de pavimentos citados, apresenta uma forma específica quanto a sua utilização.

Ainda afirma que, a camada superficial, sendo como revestimento impermeável, os pavimentos convencionados novos, realizados em concreto de cimento Portland – CCP ou concreto asfáltico, conhecido como revestimento semipermeável no caso de pavimentos feitos ou aplicados, e conhecido como paralelepípedos, calçamento poliédrico ou blocos de concreto Inter travados, um revestimento renovado a pavimentação permeável, hoje há diferentes tipos, como concreto asfáltico poroso tipo camada poroso de atrito- CPA, peças pré-moldadas de concreto poroso e blocos de concreto vazados.

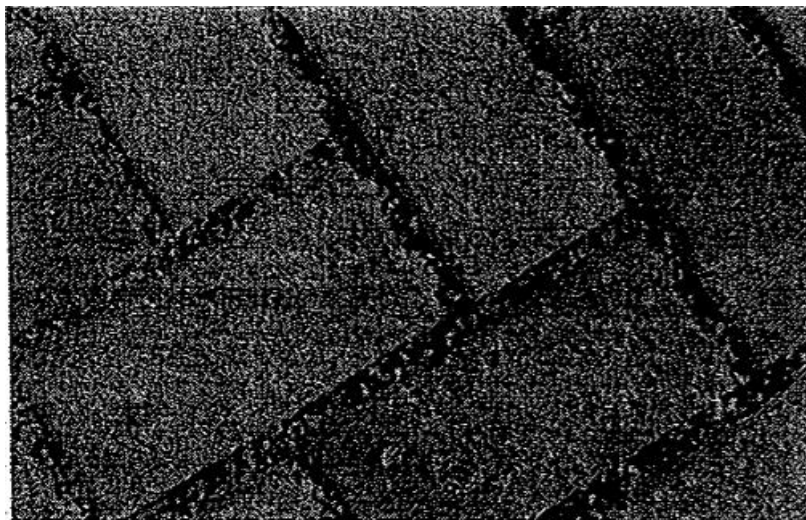
O pavimento poroso na sua estrutura não é diferente dos pavimentos clássicos, sendo geralmente constituídos de brita e ligante. A determinação da sua

característica estar ligado à sua capacidade de armazenamento pelo seu volume de vazios.

De acordo com a NBR 16416:2015, para o pavimento com revestimento Inter travado permeável é constituído nos pontos a baixo:

- Revestimento de peças de concreto com juntas alargadas, cuja a percolação ocorre pelas juntas entre as peças de concreto, as juntas são os meios entre uma peça a outra, com a finalidade de escoamento entre elas. Observa-se o exemplo da figura 12.

Figura 12: Pavimento com Revestimento constituído por peças de concreto com juntas alargadas



Fonte: Adaptado de NBR 16416:2015

- Revestimento de peças de concreto com áreas vazadas- Revestimento permeável cuja percolação é pelas áreas vazadas das peças de concreto, são peças, como próprio nome já descreve, a configuração da forma faz com que o bloco seja todo vazado por onde a água possa percolar pela parte interna. Na figura 13 deixa claro como é este tipo de pavimentação.

De acordo com Virgiliis (2009) os blocos de concreto vazados, são blocos Inter travado com aberturas que dão possibilidade do preenchimento com o solo, agregados ou vegetação. Este tipo de pavimento, não é fabricado em grande escala, ainda no mercado tem um alto custo, sua vida útil, bem como porosidade e

condutividade hidráulica são altas, terão um tempo maior relativamente bons em questão de custo benefícios como custos e durabilidade.

Figura 13: Pavimento com revestimento em concreto vazado.



Fonte: Adaptado de SB Pavimentos (2015)

- Revestimento de peças de concreto permeável: como o próprio nome indica, é um tipo de revestimento que tem capacidade de drenar a água por si mesmo devido ao grande índice de vazios, a infiltração é por meio de seus poros a água tem a capacidade de infiltrar, diminuindo assim o escoamento superficial. A figura 14 representa blocos Inter travados permeáveis.

Virgiliis (2014) afirma que o concreto poroso apresenta uma diferença muito sutil quando comparada com a mistura convencional usada do cimento Portland, conforme os agregados já devem ter uma medida uniforme, ainda relata que a sua aplicação é determinada para tráfego leve e logo após aplicado possibilita uma grande permeabilidade, explicando que pode haver acomodação de agregados miúdos entre os poros, portanto haverá a necessidade de uma manutenção periódica.

Figura 14: Pavimento de bloco Inter travado poroso



Fonte: Adaptado de Rio Forte Soluções de Concreto (2015).

O revestimento de pavimento de placas de concreto permeável, de acordo com a norma NBR 16416:2015 alcança sua funcionalidade de drenagem por meio da própria placa feita de concreto permeável, por parecer um Inter travamento não pode ser comparando-o, cuja a área de ocupação individual da placa é maior que a de um bloco, o mecanismo de esforço não são os mesmos. A figura 15 demonstra como é o revestimento de placa de concreto permeável.

Figura 15: Revestimento permeável com placas de concreto



Fonte: Adaptado de Rhino Pisos (2017).

Segundo a norma da NBR 16416:2015, há também o revestimento com o concreto permeável moldado no local, com o mesmo procedimento das placas, a percolação da água ocorrerá pelo o concreto, de acordo com a figura 16.

Figura 16: Pavimentação de concreto permeável moldado no local



Fonte: Adaptado da Pinto (2011)

2.1.4 Pavimentos para a detenção e armazenamento

Segundo Virgiliis (2009) em áreas urbanas, as superfícies de sistema viários e de estacionamento ocupam aproximadamente 30% da área da bacia de drenagem, sendo áreas densamente ocupadas. O pavimento permeável pode auxiliar no controle do escoamento superficial nos sistemas viários e estacionamentos.

Ainda no trabalho de Virgiliis (2009) ele aponta três níveis distintos de atuação dos pavimentos permeáveis ou porosos para o controle do escoamento superficial, assim são:

- Pavimento usado como revestimentos superficiais permeável, faz com que diminua a velocidade de escoamento, e funciona como uma retenção temporária de volumes pequenos na própria superfície e a infiltração para as camadas inferiores das águas pluviais.
- Tratando-se de pavimento de estruturas porosas, trabalhando a detenção temporária das águas pluviais, amortecendo as vazões.
- Para todos os pavimentos de estruturas porosas assim servirá como um sistema de infiltração, onde é provocado o amortecimento temporário das águas pluviais que escoem e a infiltração para a base do solo, assim reduzindo o volume efetivamente do escoamento.

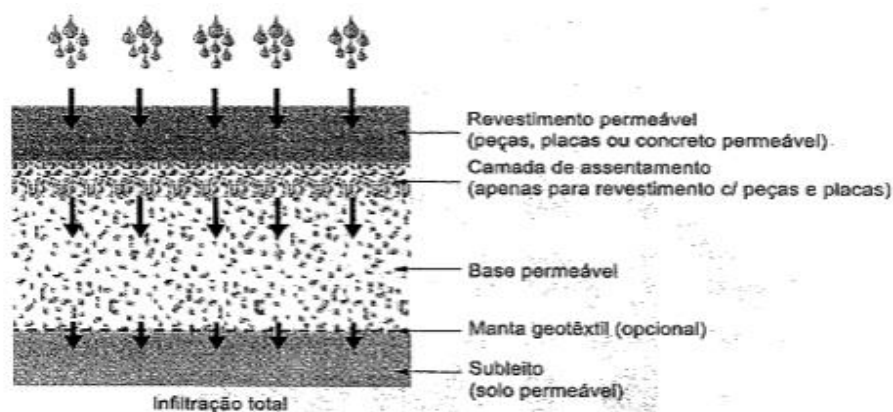
A aplicação dos pavimentos com superfícies permeável não só apresenta um ganho significativo nos sistemas de drenagem, como o caso de revestimento asfálticos tipo CPA (camada porosa de atrito), diminuindo o escoamento superficial, e também o efeito spray (os respingos do asfalto) e aquaplanagem (Virgiliis, 2009). Ainda afirma que isso ocorre pela combinação correta da estrutura porosa junto a base e a sub-base, com o emprego do método BGS (brita graduada simples) de graduação aberta, de tamanho uniforme dos agregados e tendo pouco finos, terá a função de um reservatório temporário das águas pluviais no seu interior, assim melhorando o controle de escoamento e picos de cheias em zona urbana.

2.1.5 Sistemas de infiltração

A NBR 16416:2015 afirma que há três tipos diferentes em relação à infiltração da água locada ou acopladas. A escolha do sistema de infiltração depende do tipo de solo e do projeto. Deve-se classificar o sistema de infiltração das seguintes formas: Infiltração Total; Infiltração Parcial e Infiltração Nula (NBR 16416:2015).

- a. Infiltração Total: Toda a pluviosidade precipitada deve alcançar o subleito, havendo uma infiltração por completo na superfície e nos componentes do pavimento, como demonstrado na figura 17, como exemplo.

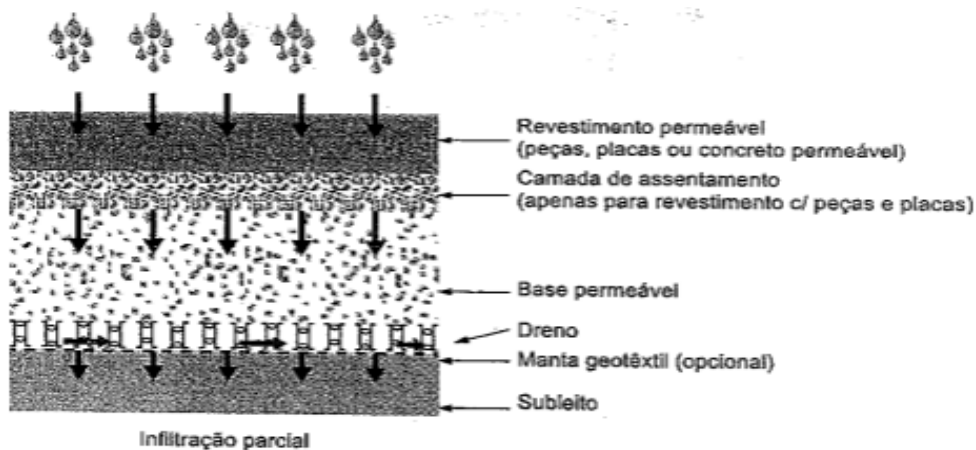
Figura 17: Sistema de Pavimento Permeável com Infiltração Total



Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

b. Infiltração Parcial: Toda a pluviosidade precipitada será absorvida pela camada de revestimento, assim alcançando o subleito e ficando retida temporariamente na base permeável, sendo absorvida ao longo dos drenos. Como pode ver na figura 18 abaixo.

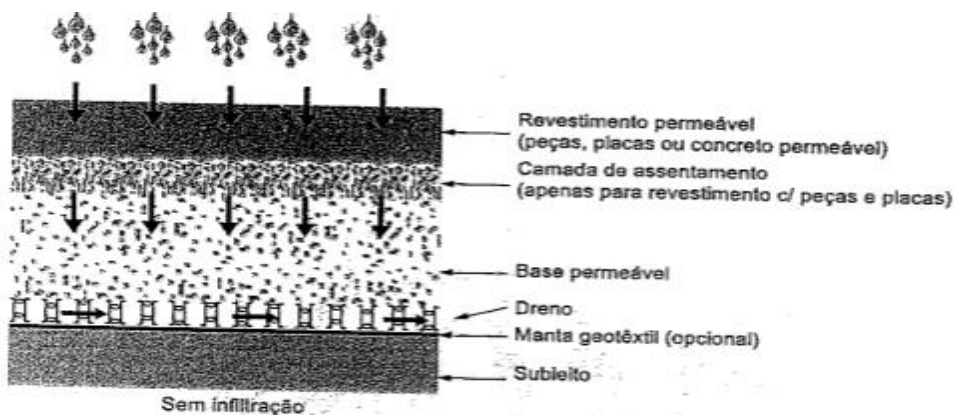
Figura 18: Sistema de Pavimento Permeável com Infiltração Parcial



Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

c. Infiltração Nula: Toda a pluviosidade precipitada absorvida pelo revestimento permeável, não é absorvida pelo subleito e sim sendo escoada através de drenos. A figura 19 mostra um exemplo.

Figura 19: Sistema de Pavimento Permeável sem Infiltração



Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

2.2 Componentes do pavimento permeável

Virgiliis (2009) afirma que tanto os pavimentos convencionais quanto os permeáveis são constituídos pelos mesmos componentes basicamente. Existem pavimentos que possam variar um tipo de componente, assim cada pavimento terá sua combinação específica coerente com as suas próprias necessidades. A tabela 2 demonstra alguns tipos de componentes usados em pavimentações.

Tabela 2: Terminologia geralmente aplicada a pavimentos porosos

Terminologia aplicada a Pavimentos Porosos	
Terminologia	Definição
Camada de Base	Camada colocada abaixo da superfície de revestimento para aumenta a espessura do pavimento. Pode ser simplesmente chamada de Base.
Camada	Espaço ocupado entre dois tipos de materiais na estrutura do pavimento.
Camada Filtrante	Qualquer camada entre outras ou entre o pavimento e o subleito que detenha a migração de partículas para os vazios da camada subjacente.
Geomembrana	Tecido impermeável geralmente plástico ou Polietileno de Alta Densidade (PEAD) utilizada em sistemas impermeabilizantes.
Geotêxtil	Manta não-tecida de filamentos de polipropileno que possibilita a livre passagem das águas de infiltração para o meio drenante.
Pavimento	Qualquer tratamento ou cobertura na superfície que suporte qualquer tipo de tráfego.

Continuação...

Sobre camada	Camada aplicada sobre qualquer tipo de pavimento preexistente.
Estrutura do Pavimento	Combinação de camadas de materiais colocadas sobre o subleito que possibilitam o suporte mecânico do pavimento.
Reservatório	Qualquer parte do pavimento com capacidade de estocagem a condutividade de água. O reservatório pode ser sobreposto ou combinado com outras camadas do pavimento. Também chamado de Reservatório de Base, Camada Drenante ou Colchão drenante.
Sub-base	Camada colocada abaixo da Base a fim de aumentar a espessura do pavimento.
Subleito	Solo natural ou reforçado abaixo da estrutura do pavimento, responsável pela absorção em última instância dos carregamentos.
Revestimento	Camada do pavimento que recebe diretamente a carga de tráfego.

Fonte: Adaptada de Virgiliis (2009)

2.2.1 Revestimento, sub-base e base

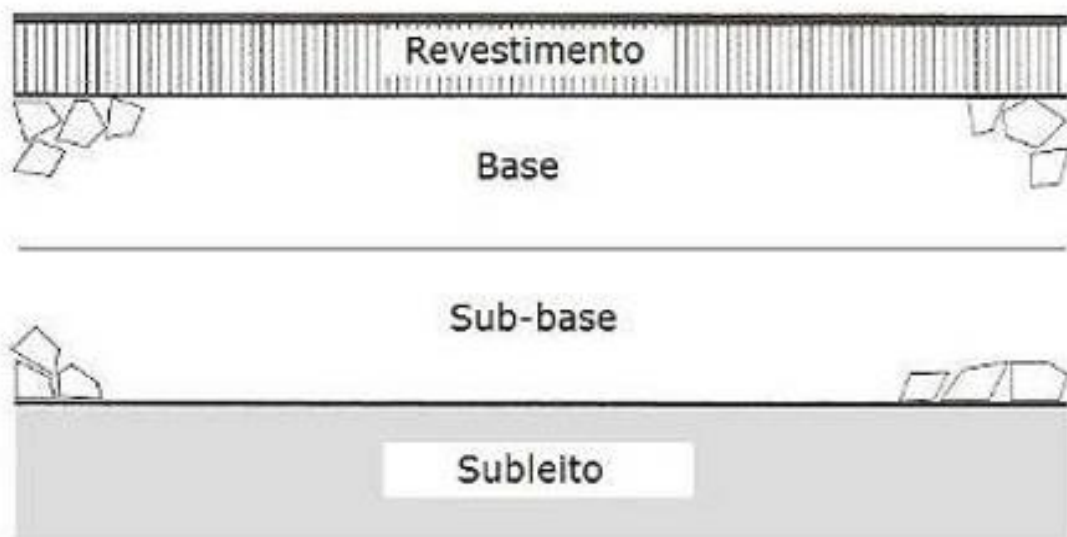
Virgiliis (2009) afirma que para as construções de pavimentos é muito comum haver duas camadas sob o subleito até o revestimento. Podendo existir diferentes camadas implantadas, isso varia de projeto e da implantação do pavimento. Importante salientar que, sendo realizada diferentes combinações de materiais pode-se alcançar pavimentos mais econômico e viáveis.

Ainda destaca que para satisfazer os requisitos de durabilidade, economia, a área de aplicação deve estar totalmente preparada havendo um aspecto necessário de revestimento que facilite a execução, podendo aplicar-se diferentes

matérias no rejuntamento, na base podendo estar alçando uma melhora na durabilidade.

Uma seção típica de pavimento com duas camadas entre o subleito ao revestimento, é apresentado na figura 20 a seguir.

Figura 20: Imagem ilustrativa de um revestimento com duas camadas



Fonte: Adaptado de Virgiliis. 2009

2.2.2 Revestimento, sobre camada

Virgiliis (2009) afirma que para qualquer tipo de pavimento preexistente contendo qualquer camada de revestimento deve haver uma sobre camada usando areia ou pó de pedra, assim considerando uma melhora na aplicação do material para estar revestindo-o. Um exemplo de sobre camada pode ser um tipo de material poroso aplicado sobre um piso de revestimento convencional, podendo ser denso ou impermeável, como mostra a figura 20. Para os departamentos que são responsáveis pelas estradas de rodagem utilizam-na sobre camada, como a figura 21 representa, trabalhando os pré-requisitos de drenagem do escoamento superficial, assim pode-se aumentar a aderência e reduzindo o barulho da circulação de veículos, o reflexo e melhorar a visibilidade. Tratando-se de rodovias,

faz com que seja mais segura ao dirigir por estas vias, ajudando a aumentar a sua capacidade de transporte, e a reduzir custos.

Batezini (2013) afirma que estes tipos de aplicações trazem benefícios relativos à segurança dos usuários, principalmente em épocas de chuvas ou onde há ocorrência de neve e gelo, estas condições são respectivamente consideradas em locais próximos a região polar. Uma vez que o material tem maior coeficiente de atrito atribuí à estrutura com mais rugosidade ou asperidade, com uma diminuição de riscos de hidroplanagem na utilização do concreto permeável. Este fato é proporcionado pela percolação dos poros do concreto permeável, não deixando acumular poças d'água, evitando o escoamento superficial e diminuindo o fenômeno *spray*. *Spray* são respingos de água causado pelo contato e velocidade de qualquer objeto em contato com a superfície do revestimento alagado.

Figura 21: Sobre camada porosa aplicada no revestimento convencional



Fonte: Adaptado de Virgiliis (2009)

2.2.3 Reservatórios

Virgiliis (2009) demonstra em seu trabalho que o reservatório para pavimentos permeáveis pode ser considerado qualquer parte da estrutura que possa estar armazenando e transportando a água para tubos que tem a função de dreno, assim escoam a água para a rede pluvial ou infiltra-a para o lençol freático.

Isso é válido para todo o revestimento permeável que recebe a água e tenha função de absorção.

Tucci et al (1995) afirma que para determinar o volume para o reservatório de detenção, tem um percentual da área contribuinte chamada de área impermeável efetiva, que contribuirá diretamente a um sistema de drenagem público, por sua vez estes reservatórios são subterrâneos, podendo utilizar a área sobre os reservatórios.

A NBR 16416:2015 deixa claro que deve haver uma percolação de 100% de água, ocorrendo através da área total sem e com a área de contribuição, cumprindo as especificações da norma. A superfície considerada como 100% pavimento permeável deve ser considerada a área permeável mais a área de contribuição.

Portanto, o volume da água passa a ser estocado pelos vazios entre agregados, assim o pavimento pode atuar como reservatórios pelas camadas com índice de vazios, por regulamentação específica, (Virgiliis, 2009 apud *American Association of State Highway and Transportation Officials*⁶ - AASHTO, 1993, pag. 36) e o DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem).

Entretanto de acordo com o armazenamento e infiltração para o subleito, isso faz com que haja uma contribuição para a recarga dos aquíferos aumentando o nível dos lençóis freáticos (Virgiliis, 2009).

2.2.4 Preparação do subleito

Batezini (2013) afirma que para uma boa execução de pavimentos permeáveis deve haver uniformidade do subleito. Da mesma forma que é concedido para os pavimentos convencionais, deve ser retirada todas as irregularidades existentes procedendo com a compactação do solo. É sugerido que o grau de compactação para o subleito de 90% a 95% em relação ao peso específico aparente seco teórico obtido em laboratórios. Lembrando, com a consideração do aumento do peso específico do subleito, existe a tendência de

⁶ *American Association of State Highway and Transportation Officials* – AASHTO, Associação Norte-Americana de especialistas rodoviários e de transporte, é o órgão Norte-Americano responsável pela regularização das rodovias e de transporte (AASHTO, 2017).

decréscimo na permeabilidade, onde será desfavorável possivelmente, destacando que o solo precisa de um coeficiente de permeabilidade elevado para que o sistema de permeabilização seja funcional e efetivo.

O autor ainda descreve que os concretos permeáveis contem baixa relação a/c e elevado índice de vazios e para este tipo de pavimentação deve haver um cuidado para não perder água, o subleito necessita precisamente estar umedecido, evitando excesso de água, assim a superfície inferior do concreto não sofrerá o possível movimento da estrutura.

2.3 Caraterísticas do concreto permeável em seu estado fresco

Schaefer et al. (2006) realizaram um estudo com diferentes processos de misturas para a confecção de corpos de prova para o concreto permeável, com os testes feitos em laboratório. Concluíram que a ordem do preparo da mistura altera na característica final do produto, assim estabeleceram um procedimento final pelo qual se obtém um material com melhores propriedades hidráulicas e mecânicas. Seguindo este procedimento na realização deste trabalho, a seguir apresenta-se o procedimento a ser feito:

- Adicionar todo o agregado na betoneira com mais de 5% do peso total do ligante hidráulico (cimento);
- Realizar a mistura por cerca de 1 minuto;
- Adicionar o restante dos materiais;
- Misturar por mais 3 minutos;
- Deixar a mistura em repouso por mais 3 minutos;
- Por último misturar o concreto por mais 2 minutos;

A figura 22 mostra a mistura dos componentes do concreto permeável em uma betoneira CSM - CS145.

Figura 22: Mistura de todos os componentes no concreto permeável



Fonte: Próprio autor

De acordo com Monteiro (2010), o concreto poroso na sua característica no estado fresco apresenta um *slump* zero.

Segundo Batezini (2013), no preparo da mistura do concreto permeável foi realizado uma inspeção visual, um dos métodos utilizados na prática para o controle da produção do concreto, pois no término do tempo deve-se observar se as partículas estão inteiramente cobertas com argamassa, apresentando um aspecto brilhoso. Junto a esta verificação visual, tem um segundo teste tátil visual, no qual segura um pouco da mistura com a mão e aperta, assim notará uma pequena formação de partículas interligadas.

2.4 Caraterísticas do concreto permeável em seu estado endurecido

De acordo com Monteiro (2010), na fase de endurecimento do concreto têm-se o desenvolvimento dos cristais (partículas) que se formam pela pasta de cimento. No seu estado solidificado o concreto permeável apresenta uma média entre 15 % a 35 % de porosidade, com uma média estimada para a resistência a compressão simples variando entre 2,8 MPa a 28 MPa (ACI 522R-10).

Batezini (2013) descreve que o índice de vazios determina diretamente as características do concreto na resistência mecânica do material em seu estado endurecido. O material é considerado de baixa permeabilidade, quando há um

índice de vazios menor que 15%, para um material que contém um índice de vazios maior que 30 % é considerado de alta porosidade. Tennis et al. (2004) sugere que para este material se utilize o índice de vazios aproximados a 20%, assim se alcançará uma boa resistência e permeabilidade do concreto.

Nas figuras 23 e 24 apresenta-se o concreto após as primeiras 24 horas logo após a concretização do material, no formato de corpo de prova cilíndrico e prismáticos.

Figura 23: Modelo de concreto permeável após 24 h de prepara já desenformado, formato cilíndrico



Fonte: Próprio do autor

Figura 24: Modelo de concreto permeável após 24 h de prepara já desenformado, formato prismático



Fonte: Próprio autor

2.5 Análises mecanicistas

2.5.1 Compressão axial

De acordo com ACI 522R-10 a resistência do concreto permeável no seu estado endurecido, de acordo com os 28 dias mínimos para alcançar a resistência desejada varia de 2,8 MPa a 28 MPa.

Segundo Souza (2013), aos 28 dias de cura do concreto, se obteve um resultado médio de 19,7 MPa, sendo realizado a análise nas dependências da empresa Lafarge Concretos.

A NBR 5739:2007- Concreto- Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, descreve como deve-se moldado os corpos de provas cilíndricos e o ensaio de ruptura.

2.5.2 Resistência mecânica e espessura mínima

De acordo com a NBR 16416:2015, deve usar a norma para a resistência mecânica em MPa e espessura mínima de 60mm a 100 mm. Na Tabela 3 a seguir demonstra-se cada situação de exigência.

Quando uma determinada empresa for entregar a um cliente os blocos de concreto ou placas de concreto, e estiverem menos de 28 dias devem apresentar eficiência no mínimo 80% da resistência pois aos 28 dias deve alcançar a resistência projetada ou o mínimo exigido.

Para um concreto moldado no local, a empresa que está fornecendo o material deve atender os requisitos da NBR 7112- Execução do Concreto dosado em central- Procedimento, respeitando as propriedades do concreto de acordo com o projeto.

Tabela 3: Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$	

^a Determinação da resistência à compressão, conforme a ABNT NBR 9781.

^b Determinação da resistência na flexão, conforme a ABNT NBR 15805.

^c Determinação da resistência à flexão, conforme a ABNT NBR 12412.

Fonte: Adaptado da NBR 16416:2015

2.5.3 Tração na flexão

Monteiro (2010), em trabalho apresentado alcançou uma média na resistência a tração na flexão entre 0,5 MPa para um traço estimado, e 0,9 MPa para um segundo traço. Outros trabalhos já apresentados como Azevedo (2007) et al. alcançaram em média de 3,0 MPa, no aspecto de resistência a tração na flexão.

De acordo com a tabela apresentada por Souza (2010), em seus testes de resistência à tração na flexão do concreto permeável, apresentam uma variação média de f_{ct} (Resistência Característica do concreto) de 3,0 MPa.

O concreto permeável que é moldado no local deve ter sua resistência à tração na flexão, sendo ensaiada previamente no ato da execução, fazendo os

corpos de provas prismático de acordo com a NBR 12142:2010- Concreto-Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismático.

Na resistência a tração na flexão, os valores devem estar especificados no projeto, cumprindo o mínimo exigido pela tabela 3 da NBR 16416:2015.

2.5.4 Índice de vazios

Virgiliis (2009) descreve que para a mistura do concreto permeável deve-se trabalhar com o parâmetro principal, o índice de vazios, devido sua característica buscando manter sua funcionalidade nos requisitos de drenabilidade e redução de ruídos, são as zoeiras de contato com das rodas dos veículos sobre o revestimento. Em seu trabalho afirmou que devesse obter no mínimo 20% de índice de vazios na mistura, tendo o teor de ligante inferior, deve promover a coesão entre as partículas do agregado, para o revestimento resistir as solicitações de desagregar.

No trabalho desenvolvido por Castro (2005) o concreto permeável ter a capacidade de reduzir o nível de qualquer ruído, está relacionado ao percentual de vazios, com a disposição da granulometria dos agregados na superfície e suas características (porosidade, desgaste, diâmetro máximo, etc.).

A NBR 9778:1987- Argamassa e concreto endurecidos-Determinação da absorção de água por imersão-Índice de vazios e massa específica, descreve corretamente o modo de execução dos ensaios para determinar a capacidade de absorção de água, a massa específica e índice de vazios, através de processo de imersão.

Para a realização dos ensaios deve-se usar para concreto os corpos de provas de acordo com a NBR 5738, com no mínimo 3 amostras de ensaio, os corpos de provas devem estar isentos de óleo ou quaisquer outros materiais que não seja os componentes utilizados para o ensaio (NBR 9778:87).

Deve seguir todos os requisitos exigidos pela norma, usando como fundamentais para os ensaios:

- Balança Hidrostática;
- Balança de precisão;
- Estufa
- Recipientes

2.5.5 Capacidade de Vazão

Máximo, (2013) apud ACI, (2006, pag. 22), afirma que a principal característica de um concreto permeável é a capacidade de vazios interligados entre os agregados, pois é fundamental para a percolação das águas pluviais. Por este motivo, não se usa agregado miúdo (areia), assim o concreto é realizado apenas com cimento, água e agregado graúdo. Com esta composição o material pode obter um índice de vazios entre 15 % a 25 %, com a vazão média de 200 l/m²/min.

Máximo (2013), em seu trabalho afirma que com o seu traço pode alcançar uma vazão de 120 L/m²/min (2mm/s) a 320 L/m²/min (5,4 mm/s), devido os valores obtidos afirmou que estava dentro dos padrões permitidos.

2.5.6 Método IBRACON

Helene (2011) afirma que o método IBRACON é empírico uma forma de definição por ensaios, onde eventualmente pode-se usar referências de trabalhos ou ensaios realizados por outros autores, assim podendo interpolar os traços e definir um inicial, que deverá ser usado para a concretagem, como será um ponto inicial ou um chute, se assim pode-se dizer, é necessário ter no mínimo três traços possíveis definidos que servirão para facilitar o ajuste do traço. O fato de usar dois traços é para saber se aumentará o fator água/cimento ou agregado, claro que cada nova definição é necessária duas anteriores para diminuir as tentativas de alcançar o traço correto para resistência necessária.

Os principais passos a seguir para iniciar um traço com o método IBRACON, são definir a dimensão máxima característica do agregado graúdo, caso use este método para concretagem estrutural deve-se analisar se a granulometria se adequa a armadura e as formas do projeto. Já com a dimensão de agregado graúdo definido precisa escolher um abatimento compatível, logo em seguida deve-se definir a média de resistência que busca alcançar usando como auxílio a NBR 12655:2006 (Helene, et al, Tutikian 2011).

Iniciando os traços com três traços definidos com o cimento em pó seco, agregado, escolhendo um traço que aproxime da resistência desejada. Após isso já pode realizar a mistura para ensaios em laboratório medindo a sua resistência ou as características que se espera do concreto.

Helene et al Terzian (1992) afirma que em um dos seus trabalhos, há uma sequência detalhada para o método de dosagem que se encontra no manual realizado em sua autoria.

Helene et al Tutikia (2011) afirma que para a introdução dos materiais a betoneira de forma individual, há um processo sequencial de ordem para o lançamento, colocando 80% de água, os 100% do agregado graúdo e os 100% de cimento, quando for um concreto convencional ou com outra finalidade deve ser da mesma maneira, por último os 100% de agregados finos, onde na maioria das vezes não é o caso do concreto permeável, o restante da água deve ser lançando lentamente até verificar que já homogeneizou, após o concreto alcançar a sua característica, deve-se realizar o ensaio de tronco cone (*slump test*).

Helene et al Tutikian (2011) definiram um diagrama como base para os principais passos iniciais usando o método IBRACON, no quadro 1 está a apresentação deste diagrama.

Quadro 1: Principais passos para a definição do traço com o método IBRACON

Escolher dimensão máxima característica do agregado graúdo compatível com os espaços disponíveis entre armadura e fôrmas do projeto da estrutura (depende do desenho estrutural e da obra).
Escolher o abatimento compatível com a tecnologia disponível (depende da obra).
Estabelecer a resistência média que se deseja alcançar na idade especificada, resistência de dosagem (consultar ABNT NBR 12655: 2006).
Continuação ...

Escolher como mínimo três diferentes traços em massa seca de cimento; agregados que contenham ou estejam próximos ao traço resposta pretendido (1: m-1) (1: m) (1: m+1)
Misturar em laboratório, os traços (1: a: p) para o traço intermediário (1: m), com base na busca do traço ideal entre cimento, adições, agregados miúdos, agregados graúdos e aditivos, para lograr uma trabalhabilidade específica, ou seja, um abatimento constante. Para produzir o primeiro traço em laboratório, variar o conteúdo de argamassa seca em massa, começando com $a = 0,30$ e subindo esse conteúdo de 0,02 em 0,02 até encontrar o ponto ótimo por meio de observações visuais do traço, combinadas com manuseio do traço com colher de pedreiro em laboratório. Obtido o conteúdo de argamassa seca ideal, por exemplo $\alpha = 0,50$, moldar os corpos de prova para ensaios em concreto endurecido.
Misturar os demais traços para verificar o mesmo abatimento com distintas relações a/c, mantendo fixo α e H do traço intermediário otimizado anteriormente. Recomendam-se os traços (m-1) e (m+1) nos casos correntes. Nos casos de CAR (HSC), esse intervalo deve ser menor, da ordem de $(m \pm 0,4)$. Moldar os corpos de prova para os ensaios em concreto endurecido.
Verificar resistências e demais requisitos nas idades especificadas.
Construir os Diagramas de Dosagem e de Desempenho (opcional) específicos a essa família de concretos.
Obter o traço otimizado a partir do Diagrama de Dosagem entrando com a resistência média requerida ou outra propriedade ou requisito desejado.
Continuação ...

Opcional: para o caso de certas pesquisas, é aconselhável confeccionar pelo menos dois traços mais (um mais rico e outro mais pobre) com a mesma relação a/c do traço intermediário (m).

Fonte: Adaptado de Helene (2011)

2.6 Vantagens e desvantagens do concreto permeável

Pinto (2011) descreve algumas vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis.

2.6.1 Vantagens

- Reabastece o lençol freático;
- Na qualidade das águas há uma melhora nas que são infiltradas ou nas escoadas pelos sistemas de drenagem;
- Diminui o escoamento superficial, realizando o amortecimento nos picos de cheia com o aumento do tempo de concentração na bacia onde tem o dispositivo instalado;
- Controla a erosão do solo;
- Filtragem de poluentes;
- Para a pavimentação porosa em noites chuvosas promove ofuscamento reduzido, comparando-o com o concreto convencional mais usado (Lopes, 2011, apud Schueler, 1987);
- Custos similares ao do pavimento convencional;

2.6.2 Desvantagens

- Necessidade de mão de obra qualificada para a execução da obra, com a finalidade de prevenir a obstrução prematura do pavimento;

- Manutenção periódica com lavagem à vácuo;
- Necessário Inspeções regulares verificando a eficiência dos pavimentos;
- Para o caso de entupimento tanto da camada superficial quanto a estrutura reservatória, sendo o ajuste do pavimento difícil e cara (Collins et al. 2007);
- Possibilidade de contaminação no lençol freático;

2.7 Problematização da impermeabilização

De acordo com a NBR 9575:2010- Impermeabilização – Seleção e projeto, a impermeabilização é um sistema com um conjunto de componentes, que integra ou não a sistemas construtivos que garantem a estanqueidade de fluidos, vaporização e umidade.

Tucci et al. (1995), diz que a urbanização descontrolada nas cidades brasileiras tem provocado muitos impactos ambientais, o agravamento de enchentes naturais e com a aplicação da impermeabilização do solo com frequência tem criados vários novos pontos de alagamentos. A impermeabilidade do solo tem promovido vários impactos, como o aumento do volume pluvial e o aumento da velocidade no escoamento superficial, reduzindo o amortecimento da pluviosidade, com isso houve o aumento de vazões máximas podendo ser representada seis vezes a vazão da pré-urbanização (Tucci et al., 1995).

Nas grandes metrópoles, com o alto índice de impermeabilização do solo e a ocupação das várzeas, faz com que ocorra as inundações com maior frequência em tempos de pico de hidrogramas diminuam e a vazão aumente (Lopes, 2011).

Esteves (2006), explica que uma das causas dos impactos na qualidade da água pela alteração do ciclo hidrológico é a superfície impermeável, devidamente aumentar o volume de escoamento superficial e diminui a infiltração e a evapotranspiração. É um dos principais fatores que vêm agravando as enchentes e alagamentos. Os principais responsáveis pela poluição é sedimentos que ficam depositados sobre a superfície que são transportadas pelo escoamento de águas das chuvas. Há outros problemas como erosões e assoreamento de rios nas

encostas de córregos também podem vir ser causados pela impermeabilização das superfícies.

2.8 Métodos de aplicação do concreto permeável

De acordo com NBR 16416:2015 um projeto permeável deve sempre levar em consideração o local e o uso da implantação, respectivamente os materiais a serem usados e as espessuras das camadas a serem executados deve atender os dimensionamentos mecânicos e hidráulicos.

Batezini (2013) informa que as propriedades mecânicas são as resistências e módulo de elasticidade, a hidráulica é a permeabilidade e volume de vazios. E quando for realizar um projeto para pavimentação de tráfego deve ser projetada para receber o carregamento com um controle de escoamento superficial proveniente de intempéries.

A NBR 16416:2015 especifica um parâmetro no qual deve conter as informações atendendo no mínimo as seguintes especificações:

- Condições para implantação, utilização do pavimento e interferência em geral;
- Condição do carregamento quanto ao tipo que for solicitada, se móvel ou estática, frequência, magnitude e com a configuração que o projeto deve estar;
- Capacidade de suporte do solo, conforme a NBR 9895- Solo – Índice de suporte Califórnia – Método de ensaio;
- Coeficiente de permeabilidade do subleito, conforme a NBR 13292-Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga variável ou a NBR 14545 - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável, isso será de acordo com o solo que for usado;
- Consideração da condição da saturação do solo no caso dos sistemas de infiltração sendo total ou parcial;
- Medição do nível do lençol freático, sendo necessário que a parte inferior da base do pavimento deve estar no mínimo a 0,6 m de distância para o nível mais alto do lençol freático;

- As áreas de contribuição não podem exceder até 5 vezes as áreas permeáveis do pavimento;
- Declividade máximo para as áreas permeáveis de 5%;
- Declividade máxima para as áreas de contribuição de 20%, cabe ao projetista determinar a necessidade de implantar dispositivos de redutores de velocidade;
- Resistência mecânica mínima do revestimento;
- Massa específica do concreto permeável moldado no local;
- Detalhamento das juntas longitudinais e transversais, quando for o caso, do concreto permeável moldado no local;
- Avaliação do risco de contaminação do lençol freático d'água, mantendo-se a distância mínima de no mínimo 30 m de fontes de captação de água subterrâneas.

Na norma ainda deixa uma observação caso haja risco de contaminação do lençol freático, recomenda-se o uso do sistema sem infiltração no projeto de pavimento permeável.

2.8.1 Requisitos da camada de sub-base e/ou base

Com relação do solo do subleito, deve-se tomar algumas precauções nos solos argilosos e expansivos. Algumas disposições especiais no projeto devem considerar que se complementa o subleito com significados de quantidade de solos expansíveis ou compressíveis (Batezini, 2013).

Requisitos da camada de sub-base e/ou base devem estar constituída de materiais pétreos de granulometrias abertas, assim deve-se cumprir as especificações da tabela 4, de acordo com a NBR 16416:2015.

Tabela 4: Especificação para o material de sub-base e/ou base

Propriedade	Método	Especificação
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40%
Continuação...		

Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	$\geq 32\%$
Índice de suporte Califórnia (CBR)	ABNT NBR 9895	$\geq 80\%$
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm	ABNT NBR NM 46	$\leq 2\%$

Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

A NBR 16416:2015 recomenda a seguinte distribuição granulométrica para a matéria da sub-base e/ou base de acordo com a tabela 5.

Tabela 5: Distribuição granulométrica recomendada para o material de sub-base e/ou base

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa %	
	Sub-Base	Base
75 mm	0	-----
63 mm	0 a 10	-----
50 mm	30 a 65	-----
37,5 mm	85 a 100	0
25 mm	90 a 100	0 a 5
19 mm	95 a 100	0 a 35
12,5 mm	-----	40 a 75
4,75 mm	-----	90 a 100
2,36 mm	-----	95 a 100

Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

2.8.2 Requisito da camada de assentamento

Requisitos da camada de assentamento de acordo com a NBR 16416:2015, é apenas aplicada em projetos de pavimentos Inter travados permeáveis ou pavimento com placas de concreto permeável. No projeto, a espessura deve ser uma camada uniforme e constante, variando entre 20 mm e 60 mm compactada. Tendo uma variação máxima permitida da camada de ± 5 mm em relação a espessura especificada.

Deve-se cumprir e atender as exigências da norma e utilizar a tabela 6 onde estão representadas as especificações dos materiais pétreos de granulometria aberta.

Tabela 6: Especificação para o material de assentamento

Propriedade	Método	Especificação
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40%
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	$\geq 32\%$
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm	ABNT NBR NM 46	$\leq 2\%$
Dimensão máxima característica (D _{máx})	ABNT NBR 7212	9,5 mm

Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

Deve-se seguir as recomendações de granulometria do material de assentamento, de acordo com NBR 16416:2015, conforme a tabela 7.

Tabela 7: Distribuição granulométrica recomendada para o material de assentamento

Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa %
12,5 mm	0
Continuação...	

9,5 mm	0 a 15
4,75 mm	70 a 90
2,36 mm	90 a 100
1,16 mm	95 a 100

Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

2.8.3 Requisitos do material de rejuntamento

Requisitos de rejuntamento de acordo com a NBR 16416:2015 o material para o rejuntamento é aplicado somente em projetos de pavimento Inter travado permeável, com a percolação acontecendo entre o rejuntamento ou pelos blocos vazados.

A NBR 14416:2015 descreve o material pétreo de granulometria aberta, que se deve constituir o rejuntamento, cumprindo as especificações de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8: Especificações do material de rejuntamento

Propriedade	Método	Especificação
Abrasão “Los Angeles”	ABNT NBR NM 51	< 40%
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	≥ 32%
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075 mm	ABNT NBR NM 46	≤ 2%
Dimensão máxima característica (D _{máx})	ABNT NBR 7212	≤ 1/3 da menor largura da junta ou da área vazada

Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

A norma descreve que o material para o rejuntamento ou para completar as áreas vazadas devem preencher até 5 mm abaixo do topo. Para o rejuntamento com adição de polímeros, busca como objetivo a estabilização para evitar que haja o carregamento do material, devido no coeficiente de permeabilidade não pode ser

comprometido, no material de rejuntamento recomenda-se a distribuição granulométrica, conforme a tabela 9.

Tabela 9: Distribuição granulométrica recomendada para o material de rejuntamento

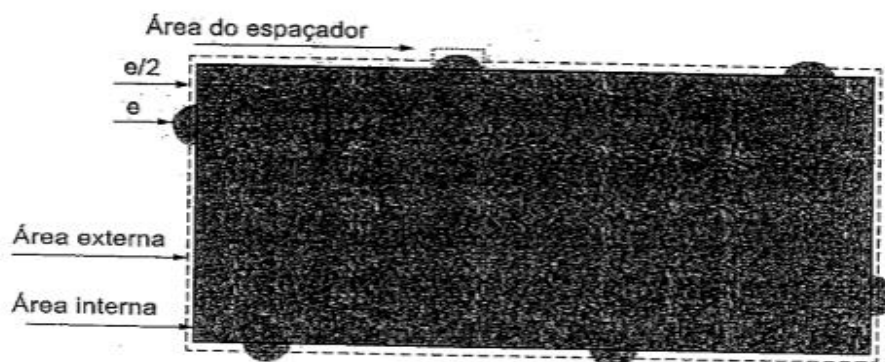
Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida, em massa %
12,5 mm	0
9,5 mm	0 a 15
4,75 mm	70 a 90
2,36 mm	90 a 100
1,16 mm	95 a 100

Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

2.8.4 Requisitos para juntas alargadas ou áreas vazadas

Pela NBR 16416:2015, nas juntas alargadas ou das áreas vazadas a percolação entre as peças de concreto deve atender a uma área compreendida no intervalo entre 7% a 15% em relação à área total, deve estar incluindo os espaçadores entre as peças conforme representa na figura 25.

Figura 25: Exemplo para verificação da área de percolação da junta alargada.



Fonte: Adaptado da NBR 16416:2015.

A A_{perc} deve ser calculada conforme a equação

$$A_{perc} = \frac{A_{ext} - (A_{int} + A_{esp})}{A_{ext}} \quad \text{Eq. (2.8)}$$

Onde:

A_{perc} é a área de percolação, expressa em milímetros (mm);

A_{ext} é a área externa, expressa em milímetros (mm);

A_{int} é a área interna, expressa em milímetros (mm);

A_{esp} é a área do espaçador, expressa e, milímetros (mm);

A A_{ext} deve ser calculada somando o comprimento e a largura das peças, usando a metade da espessura dos espaçadores ($e/2$) em cada direção:

A A_{esp} é usado no cálculo considerando toda a largura e espessura da peça;

Deve-se usar o mesmo procedimento para peças vazadas, para calcular a área de percolação.

2.8.5 Requisitos do revestimento

- Coeficiente de permeabilidade

Conforme a NBR 16416:2015, independentemente do tipo de revestimento adotado para o pavimento permeável, assim quando o material é recém-construído, deve ser apresentando o coeficiente de permeabilidade maior que 10^{-3} m/s. Deve ser avaliado previamente em laboratórios o coeficiente de permeabilidade, podendo apenas ensaiar a camada de revestimento ou o revestimento junto com a estrutura.

O pavimento pode ser ensaiado juntamente com as camadas previstas e exigidas pela norma, assim compor as características da estrutura de pavimento, respeitando as espessuras e o padrão de como a norma descreve os procedimentos.

Este tipo de ensaio quando é realizado em laboratório serve apenas para a aprovação preliminar dos materiais, a aprovação final só terá validade mesmo quando for ensaiado em campo, seguindo todo o procedimento.

2.9 Métodos de manutenção do concreto permeável

2.9.1 Manutenção

A NBR 16416:2015 afirma que podem existir intervenções no pavimento permeável, que possa comprometer o desempenho hidráulico e mecânico.

Por ser um pavimento que exige um cuidado maior, quando for realizar qualquer reparo deve se realizar com os mesmos materiais que foram usados no concreto, não deve usar revestimento impermeável ou quaisquer materiais que possa prejudicar o desempenho do pavimento.

2.9.2 Limpeza

Devido o material ser poroso, deve-se realizar uma verificação no desempenho do pavimento permeável, conforme estiver na indicação do projeto. Após determinado período que já estiver sendo utilizado, deverá ser feito o teste de percolação no pavimento, caso esteja menor ou igual a 10^{-5} m/s, deverá ser executado as ações de limpeza com o objetivo de recuperar a capacidade de permeabilidade (NBR 16416:2015).

A etapa de limpeza do concreto permeável é da seguinte forma:

- Aplicação de jato d'água sob pressão;
- Aplicação do equipamento de sucção para os finos;
- Remoção de sujeiras e detritos em geral que estiverem na superfície, fazendo a varredura manual ou mecânica.

Após realizado todo o procedimento, deverá refazer o ensaio de percolação e medir o grau de absorção de drenagem do concreto, que deve apresentar no mínimo 80 % da sua eficiência (NBR 16416:2015).

3 METODOLOGIA

Este capítulo detalha como é feito o concreto permeável e suas principais características, junto aos métodos feitos através de ensaios realizados em laboratórios com o desenvolvimento do trabalho, baseados nas normas e material usado na pesquisa.

3.1 Caracterização dos materiais usados

Para a realização desse trabalho, buscou-se analisar o cimento que mais se identifica pelas suas características na composição e com a sua aplicação que se buscar alcançar no concreto permeável, um dos seus principais componentes como o agregado graúdo, brita 0 fornecido pela pedreira São Geraldo, e seixo rolado impuro (material descartado no ato de peneiração da areia em obra), a decisão tomada foi o uso de materiais encontrados na cidade de Caratinga-MG, assim aumentando a viabilidade do concreto permeável. Para a definição do traço a ser usado, foi utilizado o método IBRACON um teste empírico (realizado através de tentativas), e reajustando a definição inicial para a realização do concreto permeável. Em laboratórios da Faculdades Doctum de Caratinga foram realizadas as misturas do concreto, para a moldagem dos corpos de prova, seguindo como parâmetro normas, NBR 12142:2010- Concreto-Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismático e NBR 5739:2007- Concreto- Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, usando os moldes para analisar em laboratório a resistência de compressão axial, tração na flexão, Índice de vazios, vazão e percolação.

3.1.1 Cimento Portland CP III - 40 RS

A escolha do cimento é muito importante da qualidade do concreto permeável, e neste trabalho a escolha foi o CPM III - 40 RS, pois está acompanhando os requisitos mínimos da NBR 5735:1992- Cimentos Portland resistentes a sulfatos, o

RS resistente a água de esgotos, água do mar, e outros tipos que tenham a composição agressiva.

O cimento usado é o da Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, apresentado na figura 25.

Figura 26: Cimento CP III - 40 RS



Fonte: Adaptado da CSN, 2016.

3.1.2 Agregados graúdos usados

Foi utilizado na mistura do concreto os seguintes agregados das seguintes formas:

- Brita 0 com diâmetro de 4,8 mm à 9,5 mm;
- Seixo rolado com diâmetro de 4,8mm à 9,5 mm;
- Mista 50% de cada agregado;

Tendo estes componentes como agregados graúdos pode-se iniciar a parte prática do trabalho, usando dosagens corretas e coerentes com a quantidade de vazão e resistências que buscasse alcançar de acordo com a aplicação desejada.

3.1.3 Água

Para a mistura do concreto permeável, deve ser usado água potável, e na instituição a água é fornecida pela COPASA, que é uma empresa privada de abastecimento na região de Caratinga-MG.

3.2 Definição do traço inicial pelo método IBRACON

Para a definição do trabalho usou-se o método IBRACON, que de acordo com a descrição no capítulo 2 é um ensaio empírico baseado em testes, este trabalho buscou alcançar uma resistência de 25 MPa usando agregado graúdo de granulometria variando entre 05 mm a 12 mm. Usando como parâmetro de traço a definição de Batezini (2013) e Pinto (2011) onde iniciaram com o seguinte traço na determinada ordem cimento: agregado graúdo: água, assim a definição foi 1 : 4 :0,3.

3.3 Preparo do concreto

3.3.1 Preparação das amostras de concreto

Para a fabricação do concreto permeável foram executados em laboratórios da instituição de ensino Faculdade Doctum de Caratinga – FDC, a concretagem como o seguinte traço, 1: 3,86: 0,62, apresentado por Souza (2013), porém não obtendo um bom resultado foi recalculado e passou a usar na mistura o seguinte traço 1: 4: 0,3; lembrando que a definição é empírica, utilizando para o preparo o cimento CPIII – 40 RS o mesmo descrito no item 3.1.1, usando o mesmo para os três tipos de concreto produzidos para analisar qual alcançará um melhor desempenho. Os agregados são brita 0, seixo rolado (impuro) e a mistura de 50% dos dois agregados e água potável, para ser viável este trabalho, todos os principais componentes para a elaboração do material são encontrados facilmente na cidade de Caratinga- MG.

Seguindo a primeira dosagem para o estudo foi utilizado 3,5 Kg de cimento, 13,5 kg de brita 0 e 2,18 L de água, logo após o resultado percebeu-se que a relação água/cimento fez com que o concreto não obtivesse poros e vazios suficientes para ser utilizado como permeável, iniciou-se um segundo teste com a definição dos agregados e traço corrigido, reajustando o traço pelo método IBRACON ficou definido o seguinte: 1: 4: 0,3, foram usados 81 kg de cimento, 324 kg de agregado e 24,3 kg de água, apresentando uma massa mais densa, em seu estado fresco pode-se notar que já se interligava os agregados e mesmo assim apresentou uma certa porosidade, usou-se o mesmo traço para cada um dos três concretos usando agregados diferentes e em proporção de 50% de cada um e percebeu-se o mesmo resultado visualmente, esta quantidade de concreto realizado foi para obter os corpos de prova necessários para desenvolver os ensaios de todos os corpos de provas que são citados a baixo.

Os equipamentos utilizados para o preparo foram os seguintes:

- Betoneira marca CSM, CS 145 com capacidade de 145 L;
- Balança de precisão elétrica com capacidade de 50 Kg;
- Balde de 20 L;
- Becker (vasilha de medição em laboratório) de 1 L;
- Caixote plástico (usado em obra);
- Carrinho de mão;
- Colher de pedreiro;
- Concha;

O procedimento na realização do concreto permeável, foi primeiramente passar na peneira fina os agregados graúdos, brita 0 e o seixo rolado para reduzir o pó e agregados miúdos que poderiam estar presentes, após pesou-se todos os componentes e foram separados um em cada recipiente. Antes de começar a misturar o concreto permeável na betoneira verificou-se se estava limpa e umidificada. Os materiais foram colocados na seguinte ordem: primeiro o agregado graúdo tanto a brita 0, seixo rolado ou mista, logo após umedece lentamente com a metade da água a ser usada, acrescentando o cimento por completo em seguida

e o resto de água lentamente, variando de uma mistura para outra entre 5 min a 8 min.

A figura 27 apresenta o concreto seguindo o primeiro traço, sendo realizado 3 corpos de provas cilíndricos com dimensões de 100 mm X 200 mm e uma placa quadrada de 300 mm X 300 mm.

Figura 27: Amostra do primeiro ensaio, usando somente brita 0



Fonte: Próprio autor

Na figura 28 têm se as amostras de concreto permeável realizado com novo traço, visualmente ficou um material totalmente poroso e uniforme.

Figura 28: Os três agregados usados como o mesmo traço para o concreto permeável



Fonte: Próprio autor

Após a concretagem foram realizadas as etapas básicas *Slump Test* e a moldagem dos corpos de provas cilíndricos, prismáticos e placas.

Um resumo com as proporções individuais com a definição da proporção individual para cada agregado graúdo, é representado na tabela 10.

Tabela 10: Proporção de material usado

Definição	Cimento (Kg)	Agregado graúdo (Kg)	Água (Kg)
Traço	1	4	0,3
Traço com Brita 0	81	324	24,3
Traço com Seixo Rolado	81	324	24,3
Traço Misto 50%	81	324	24,3

Fonte: Próprio autor

3.3.2 Slump test

Da mesma forma que no concreto convencional, é realizado para o concreto permeável o ensaio de abatimento *Slump Test*, seguindo o procedimento padrão de acordo com a NBR 10342- Concreto-Perda de Abatimento, usando para a realização do ensaio os seguintes objetos:

- Plataforma metálica;
- Cone metálico;
- Funil;
- Haste metálica;
- Concha;

Na figura 29 encontra-se imagem ilustrativa dos objetos usados para o ensaio.

Figura 29: Objetos usados para o ensaio no *Slump Test*



Fonte: Adaptado de Protefix (2017)

A NBR NM 67:1998 deve-se usar o procedimento do cone em três camadas, para cada camada sendo aplicado doze golpes em pontos diferentes, logo após o procedimento realiza-se a regularização da superfície do cone, é retirado lentamente no ângulo de 90° evitando que o cone cause algum dano no concreto atrapalhando o resultado, deve-se retirar o cone no intervalo de 5s a 15s sem nenhuma interrupção, conferindo após a retirada do cone.

Devido o concreto permeável ser mais sólido, o abatimento deste tipo de concreto tende à zero, o mesmo apresentou uma diferença no ensaio em relação ao concreto convencional. Conforme a figura 30, para o ensaio realizado.

Figura 30: Execução do Slump Test



Fonte: Próprio autor

resultado nos ensaios, deve-se usar formas metálicas ou um outro material qualquer que seja fácil a desmoldagem que mantenham as extremidades ou superfícies lisas. Deixando a parte superior do molde aberta que permitirá a fácil desformar, sem que haja algum dano ao corpo de prova.

Deve-se usar uma haste metálica, na forma cilíndrica superfícies lisas, com média de 14 mm à 18 mm de diâmetro, seu comprimento varia de 600 mm a 800 mm, para um melhor adensamento suas extremidades serem semiesféricas (NBR 5738:2015).

Descrito o modo de preparação para os moldes conforme a norma já citada anteriormente, antes de começar a colocar o concreto dentro dos corpos de provas deve-se untar as superfícies internas com desmoldante ou outro lubrificante que não afete o corpo de prova, de acordo com a NBR Norma Mercosul-NM 67:1998 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Para a moldagem de cada mistura com agregado diferente, foram realizados no total 24 corpos de provas cilíndricos 100 mm X 200 mm, 3 placas prismáticas com 300 mm x 300 mm X 80 mm, 4 blocos 200 mm X 100 mm X 100 mm e 9 blocos 500 mm X 150 mm X 150 mm, estes corpos foram fabricados para obter um resultado mais preciso. De acordo com a fabricação dos corpos de provas, foi seguido o número de camadas e golpes, que obrigatoriamente devem ser atendidos pela NBR 5738:2015, como mostra a tabela 11, em casos de concreto auto adensável deve-se dispensar a tabela. Na figura 32, 33 e 34 tem-se a ilustração dos corpos de prova em seu estado fresco e já moldado nas formas.

Tabela 11: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova ^a

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para o adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-

Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	-	-

b Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior o mais próximo.

c No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: Adaptada da NBR 5738:2015

Figura 32: Corpo de prova cilíndrico em seu estado fresco



Fonte: Adaptado pelo autor

Figura 33: Corpo de prova do bloco em seu estado fresco



Fonte: Próprio autor

Figura 34: Corpos de provas prismáticos para o ensaio de tração na flexão e placas de concreto



Fonte: Próprio autor

3.4 Ensaios realizados

3.4.1 Ensaio de resistência à compressão axial

O método de ensaio a compressão axial nos concretos foi realizado em três etapas, aplicado com 7 dias, 14 dias e 28 dias, após a realização da concretagem. Os corpos de prova ficaram submersos em água para haver uma correta cura do cimento ter uma flexibilidade maior no fator de água e cimento, até o dia de cada realização de ensaio.

Os corpos de prova foram preparados respeitando o procedimento de moldagem e abatimento de acordo a NBR 5738:2015, para a realização do ensaio a compressão foi usado a NBR 5739:2007 – Concreto-Ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos, onde a norma descreve o método de ensaio pelo qual se deve seguir.

Na hora de realizar o ensaio deve-se observar se a base inferior e superior dos corpos de prova estão todas planas, e deve estar a retificar as bases

adequando na prensa hidráulica manual (NBR 5738:2015). Este trabalho para retificar os corpos de prova no momento do ensaio, foi realizado manualmente e isso pode afetar o ensaio, que de acordo com a norma afetará no ensaio diminuindo a sua resistência.

Os equipamentos usados para este ensaio foram:

- Prensa hidráulica manual com capacidade de 100 toneladas força, modelo I-3001 – C;
- Corpos de provas cilíndricos com dimensão de 200 mm X 100 mm;

Aos sete dias foram usados quatro corpos de prova cilíndrico de cada concreto permeável, no décimo quarto dia seguiu-se o mesmo procedimento usado em sete dias, para a realização do ensaio de vigésimo oitavo dia após a concretagem, os corpos de prova permaneceram para sua cura imersos em tanque seu tempo de cura em um taque de água, foram usados 15 corpos de provas.

Os resultados obtidos nos ensaios devem ser apresentados em Megapascal.

A equação usada para o cálculo de resistência a compressão é a seguinte:

$$f_c = \frac{4F}{\pi * d'^2} \quad \text{Eq. (3.4.1)}$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão, em megapascals (MPa);

F é a força máxima alcançada, em newtons (N);

d' é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros (mm).

Nas figuras 35 e 36 estar a representação do corpo de prova no equipamento antes e após o rompimento:

Figura 35: Corpo de prova aos 7 (Brita 0)



Fonte: Próprio autor

Figura 36: Corpo de prova rompido com 14 dias (Mista 50%)



Fonte: Próprio autor

3.4.2 Ensaio de resistência à tração na flexão

No método de avaliação da resistência a tração na flexão do concreto permeável, seguiu-se o método de ensaio de acordo com a NBR 12142- Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos, que emprega o princípio de viga simples apoiada com duas forças concentradas nos terços do vão.

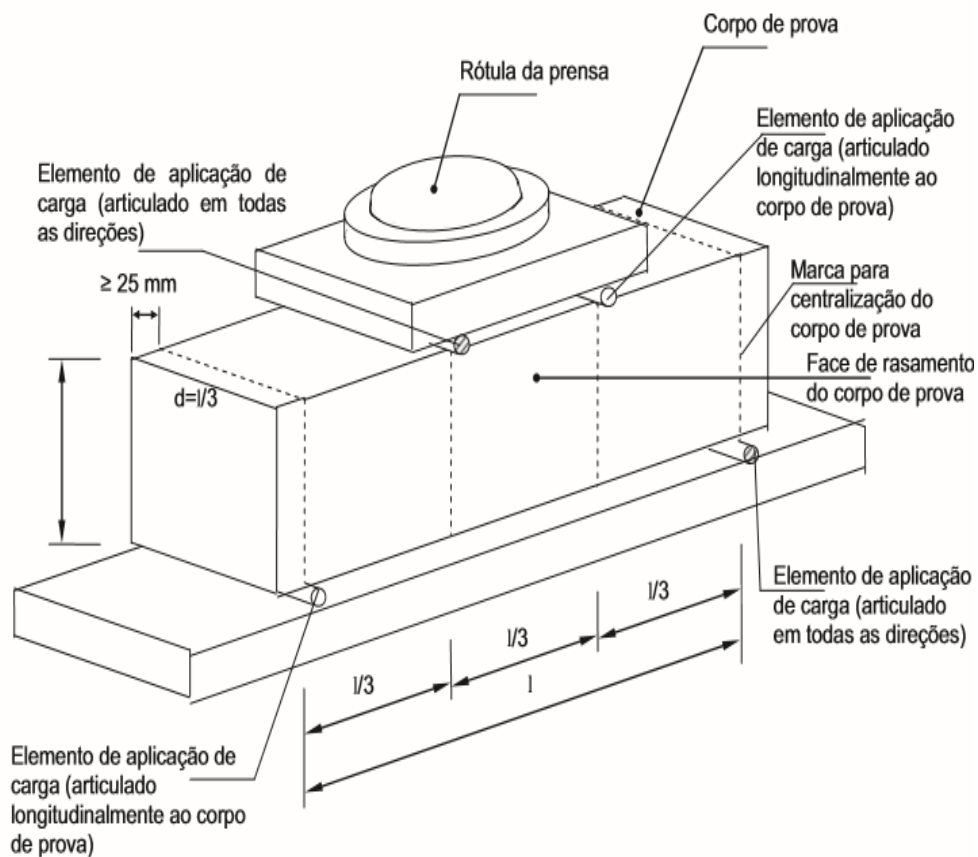
Neste trabalho foram usados os blocos moldados de 500 mm X 150 mm X 150 mm, todos os 9 blocos de cada mistura diferente, levando em consideração que foi dividido a distribuição dos ensaios realizados em três etapas: o ensaio a 7 dias, 14 dias e 28 dias, calculando a força de rompimento a tração na flexão precisa, alcançando uma média e um desvio padrão.

Para realizar o ensaio foram usados os seguintes componentes:

- Prensa hidráulica manual com capacidade de 100 toneladas força, modelo I-3001 – C;
- Blocos de concreto permeável;
- Plataformas metálicas do ensaio de tração na flexão;

O ensaio consiste em medir a capacidade de resistência à tração do concreto permeável, desta forma deve-se aplicar as peças do ensaio na parte superior e inferior do bloco, conforme o procedimento da NBR 12142, respeitando os 2,5 cm nas extremidades em relação ao direcionamento dos apoios inferiores, na parte interna dos apoios marcando em 3 partes iguais, assim usando 1/3 da parte interna na parte superior será fixado a outra plataforma metálica, após esta etapa é levado até a prensa hidráulica e inicia-se o ensaio. Nas imagens 37 e 38 demonstra-se como será locado o bloco para o ensaio.

Figura 37: Imagem ilustrativa do bloco na peça onde será feito o ensaio



Fonte: Adaptada da NBR 12142

Figura 38: O bloco já colocado na plataforma bi apoiada



Fonte: Próprio autor

A equação para calcular a resistência a tração na flexão é a seguinte:

$$f_{ct,f} = F * l / b * d^2 \quad \text{Eq. (3.4.2)}$$

Onde que:

$f_{ct,d}$ é a resistência à tração na flexão, megapascals (MPa);

F é a força máxima resistida pelo corpo de prova, é dada em newtons (N);

l é a distância do vão entre os apoios, expressada em milímetros (mm);

b é a largura média do corpo de prova, expressada em milímetros (mm);

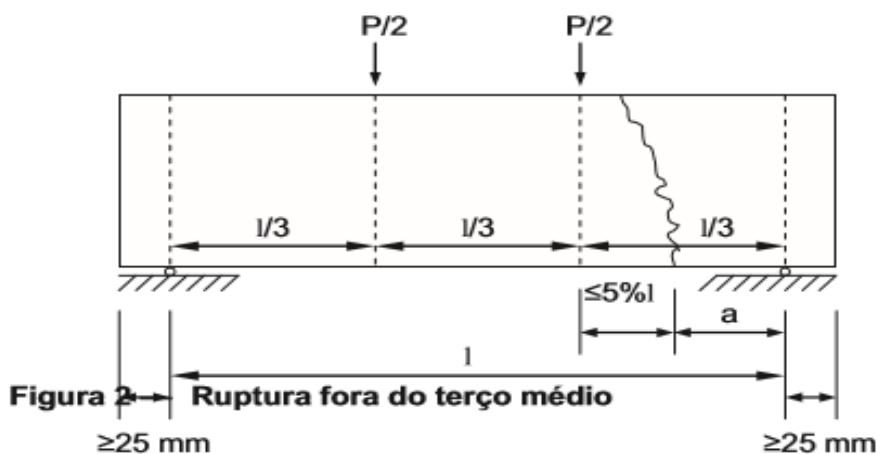
d é a altura do corpo de prova, usada em milímetros (mm);

Para casos que ocorram a ruptura fora do terço médio, com a distância menor ou não superior a 5% de l . Demonstrada na figura 39, destaca-se que não foi o caso deste trabalho, todos os corpos de provas romperam no terço médio, para fácil entendimento, o do meio, daí pode-se usar a seguinte equação para análise:

$$f_{ct,f} = 3 * F * a / b * d^2 \quad \text{Eq. (3.4.2)}$$

a é a distância entre a linha de ruptura e a face tracionada, considerar a linha do apoio máximo dada em milímetros (mm);

Figura 39: Modo de ruptura a menos de um terço



Fonte: Adaptada da NBR 12142

A figura 40 demonstra claramente o rompimento de um corpo de prova prismático já retirado da prensa hidráulica.

Figura 40: Corpo de prova prismático aos 14 dias, rompido no 1/3 interno do bloco.



Fonte: Próprio autor

3.4.3 Ensaio do índice de vazios

Nesta parte do trabalho buscou-se descobrir a porcentagem de vazios que há no concreto, para isso foi usado como parâmetro a NBR 9778:1987- Argamassa e concreto endurecido-Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica, que descreve o método no qual deve-se usar para a realização do ensaio determinando a absorção de água, o índice de vazios e a massa específica do concreto em seu estado endurecido.

Realizou-se o ensaio de absorção de água por imersão, onde utiliza-se a massa do corpo de prova saturado e a massa do corpo de prova em seu estado seco em estufa, com a seguinte equação:

$$\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} * 100 \quad \text{Eq. (3.4.3)}$$

Onde:

M_{sat} é o corpo de prova saturado

M_s é o corpo de prova seco em estufa

De acordo com a norma, a temperatura da água deve estar aproximadamente 23°C para a imersão, porém quando colocar os corpos de prova em estufa, a mesma deve estar em uma temperatura aproximada a 105°C.

Quando se tratar do ensaio de índice de vazios deve-se calcular a relação entre os volumes dos poros permeáveis e o volume total, acrescenta-se a massa do corpo de prova saturado imerso sobre água, calculado com a seguinte equação:

$$\frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} * 100 \quad \text{Eq. (3.4.3)}$$

Onde:

M_i é a massa do corpo de prova saturado, imerso sobre a água.

Pode-se com estes dados alcançar a massa específica da amostra seca, utilizando a seguinte equação:

$$\frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad \text{Eq. (3.4.3)}$$

Da mesma forma que foi calculado a massa específica para o material seco, pode-se calcular a amostra saturada, utilizando a seguinte equação:

$$\frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} \quad \text{Eq. (3.4.3)}$$

Conforme a NBR 9778:87, respeitou-se o processo de saturação do corpo de prova que foi imerso 1/3 do seu volume por 4 h, e depois de quatro horas foi imergido 2/3 na imersão total do corpo de prova foi deixado dentro d'água antes de realizar o ensaio.

Para realizar estes ensaios, utilizou-se dos equipamentos disponibilizados pelo laboratório da instituição, foram realizados uma haste que servisse como alça para o corpo de prova, podendo imersa uma apoiada a balança, podendo se obter o peso em Kg. Os corpos de provas foram os de 100 mm por 200 mm. Os materiais usados no ensaio foram os seguintes:

- Balança de precisão;
- Estufa secadora;
- Balde;
- Água;
- 4 amostras cilíndrica de cada concreto permeável realizado com os agregados diferentes;
- Plataforma metálica para apoio da balança;
- Duas cadeiras para estar se apoiando a plataforma metálica;

Abaixo na figura 41 tem-se uma amostra de como foi realizado o ensaio absorção de água por imersão, neste ensaio adotou-se peso em quilograma de cada corpo de prova imergindo-o na água e encontrou-se o valor da sua massa quando estava imerso.

Figura 41: Amostra do preparo do corpo de prova para os ensaios



Fonte: Próprio autor

O ensaio de imersão foi feito em duas etapas, a primeira com 24 horas imerso, após pesado em uma de uma balança hidrostática conforme citada pela NBR 9778:87, e para obter um resultado mais preciso fora realizado o ensaio com 48 horas.

3.4.4 Ensaio de percolação

Para realizar o ensaio de percolação deve-se retirar quaisquer sujeiras superficiais que existam limpando de forma que não fique nenhum material. Para se alcançar um resultado mais preciso foram usadas 3 placas de concreto permeável com 300 mm X 300 mm X 80 mm de cada corpo de prova realizado com o agregado gráúdo diferente. O ensaio foi realizado com blocos Inter travados poroso, da mesma forma para os três tipos diferentes de concreto. O ensaio foi realizado no estacionamento da Receita Federal na Cidade de Caratinga-Mg, onde existem blocos Inter travados de concreto convencional.

De acordo com o anexo A da NBR 16416:2015, este método de ensaio tem o objetivo de medir o coeficiente de permeabilidade do concreto permeável podendo ser usado para testes em laboratórios e em campo. Os equipamentos necessários na realização do ensaio são:

- Água limpa;

- Massa de calafetar;
- Cronômetro;
- Balde com capacidade de armazenamento de até 20 L
- Balança de precisão;
- Anel de infiltração (PVC) no formato cilíndrico com diâmetro - $\varnothing$ 300 mm, no mínimo altura de 50 mm, marcado com duas linhas na parte interna uma a 10 mm e outra a 15 mm.

Para a determinação da quantidade mínima de água que o ensaio necessita, seguiu-se a tabela 12, que determina o volume de água.

Tabela 12: Determinação da massa de água para ensaio

Tempo de pré-molhagem (s)	Massa de água para o ensaio (Kg)
≤ 30	$18 \pm 0,05$
> 30	$3,6 \pm 0,05$

Fonte: Adaptada da NBR 16416:2015

Na realização do ensaio fez-se uma pré-molhagem 2 minutos no concreto permeável antes de iniciar, logo em seguida despejou-se a água no cano PVC em uma velocidade que a altura d'água esteja ente os 10 mm à 15 mm, ativando o cronometro no instante em que a água toca a superfície (NBR 16416:2015).

A equação usada para calcular o coeficiente de permeabilidade (k), de acordo com *American Society for Testing and Materials*⁷ – ASTM C 1701 – *Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete*⁸, conhecido como o método de ensaio *in situ*⁹, é a seguinte:

$$k = \frac{C * m'}{(d^2 * t)} \quad \text{Eq. (3.4.4)}$$

⁷ *American Society for Testing and Materials*- é um órgão de normalização, onde se desenvolve e publicas as normas técnicas. Traduzida pelo autor: Sociedade Americana de Testes e Materiais. (ASTM, 2017).

⁸ *Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete*- Método de Teste Padrão para Taxa de Infiltração do Betão Perfeito no Lugar, traduzido pelo autor a titulação da norma.

⁹ *in situ*- No local, traduzido pelo autor.

Onde:

k é o coeficiente de permeabilidade expresso em milímetros por hora (mm/h);

m' é a massa de água infiltrada, em quilogramas (Kg);

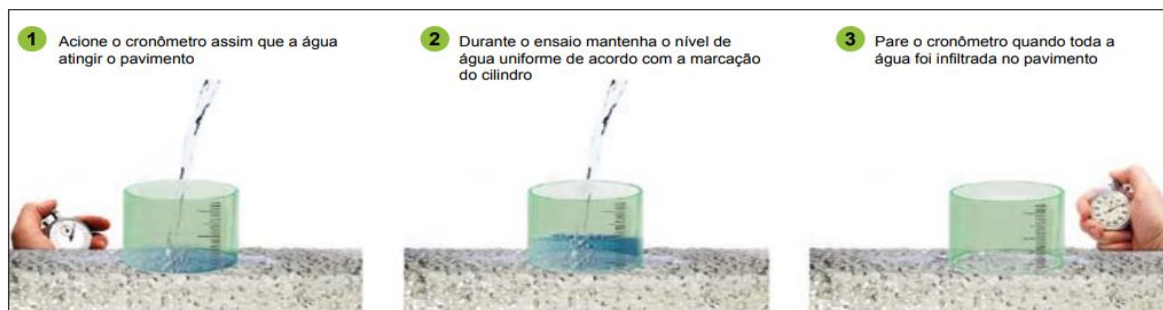
d é o diâmetro interno do cilindro (anel ou cano PVC), em milímetros (mm);

t é o tempo necessário para toda a água percolar, em segundos (s)

C Fator de conversão de unidade do sistema SI, o valor é igual a 4 583 666 000.

Na figura 42 mostra-se ilustrativamente como é realizado o ensaio, em cada etapa de aplicação.

Figura 42: Ilustração do método de ensaio no local



Fonte: Adaptado de Sistemas Construtivos Pavimentos Permeáveis, 2016.

Na figura 43 mostra o ensaio sendo realizado em laboratório, na figura 44 a aplicação de blocos diretamente no solo. Com este ensaio encontra-se os valores de coeficiente de permeabilidade tanto para placas de concreto permeável, e bloco Inter travado. O mesmo ensaio foi realizado de três formas para o bloco intertravado: apenas no bloco em si, aplicado em um solo compactado sem rejunte de areia ou pó de pedra e com o rejunte entre uma peça a outra de concreto, conforme citado no item 2.8.2 a granulometria dos agregados miúdos para rejuntamento.

Figura 43: Ensaio de percolação da placa de concreto permeável em laboratório



Fonte: Próprio autor

Figura 44: Ensaio em Campo, com a aplicação de blocos Inter travados.



Fonte: Próprio autor

A figura 45 representa os três concretos permeáveis com agregados distintos, onde suas juntas foram rejuntadas com areia, para o ensaio de percolação.

Figura 45: Aplicação da areia no rejunte nos blocos para o ensaio de percolação



Fonte: Próprio autor

Na figura 46 encontra-se a aplicação dos blocos de concretos permeáveis, usando para rejuntar o pó de pedra, o mesmo material usado para os três blocos.

Figura 46: Aplicação do pó de pedra no rejunte nos blocos para o ensaio de percolação



Fonte: Próprio autor

Nos ensaios realizados neste trabalho, utilizou-se um tubo de PVC com diâmetro interno de 250 mm, uma parte do trabalho foi desenvolvida em laboratório para descobrir somente a percolação do concreto e outra parte foi aplicação dos corpos de prova sobre um solo compactado, com e sem o rejuntamento, simulando uma situação real de aplicação com areia e o pó de pedra para blocos de concreto permeável Inter travado.

Este mesmo ensaio foi realizado na Receita Federal de Caratinga- MG, na rua Eng. Herbert, nº39, no bairro Santa Zita, no estacionamento a aplicação do bloco Inter travado de concreto convencional, para o assentamento e rejuntamento deste pavimento fora usado o pó de pedra.

3.4.5 Método de Vazão

Usa-se para achar a vazão por m² o método definido com a relação de tempo e volume. As unidades de medidas são em m³/s, m³/h, l/h ou l/s.

O meio mais simples de calcular a vazão volumétrica é a seguinte;

$$Q_v = \frac{V}{t} \quad \text{Eq. (3.4.5)}$$

Onde:

Q_v é vazão volumétrica l/h, l/s, m³/h e m³/s;

V é o volume em l ou Kg;

t é o valor em relação a tempo s, h e min.

Com o ensaio de percolação citado no item 3.4.4 têm-se os dados necessários para encontrar a vazão volumétrica de cada concreto.

Para realizar os ensaios, foram usados os corpos de provas prismáticos para o ensaio de percolação, citados abaixo:

- 4 blocos de 100 mm x 100 mm x 200 mm; (de cada concreto realizado);
- 3 placas de 300 mm x 300 mm x 80 mm (de cada concreto realizado);

Na figura 46 está a representação do concreto permeável relacionando uma das suas principais características, tendo uma boa capacidade de absorção.

Figura 47: Amostra da capacidade de absorção



Fonte: Próprio autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise e discussão dos resultados

Este capítulo descreve os resultados obtidos pelos ensaios realizados no decorrer do trabalho, apresentados da seguinte maneira.

4.1.1 Resultado do Ensaio de Resistência a Compressão

Conforme a descrição citada no capítulo 3 os ensaios de compressão axial foram realizados com 7, 14 e 28 dias como demonstra os quadros abaixo e no apêndice A obtendo os resultados de média resistência a compressão e o desvio padrão de cada etapa.

Para os ensaios de 7 e 14 dias utilizou-se quatro corpos de prova cilíndricos com o diâmetro de 100 mm e 200 mm de altura.

No quadro 2 consta os dados obtidos por ensaios realizados em laboratório, para brita 0 com 7 dias de cura usando 4 corpos de prova cilíndricos, com uma resistência média de 5,045 MPa e um desvio padrão médio de 0,94 MPa. O quadro encontra-se no apêndice A no final do trabalho.

No quadro 3 apresenta-se os resultados obtidos através de ensaios realizados em laboratório com seixo rolado em 7 dias de cura, a média da sua resistência a compressão axial é 1,375 MPa e um desvio padrão de 0,133 Mpa. Encontra-se no apêndice A no final do trabalho.

O quadro 4 apresenta o resultado do concreto com a sua composição de 50% de cada agregado graúdo, com um tempo de cura de 7 dias, a média de compressão axial é de 2,04 MPa e o desvio padrão de 0,39 Mpa. O quadro encontra-se dentro do apêndice A no final do trabalho.

No quadro 5 que se encontra no apêndice A, têm-se para o ensaio a compressão axial com 14 dias, usando como agregado graúdo a brita 0, alcançando em média de 5,20 MPa e um desvio padrão médio de 0,64 MPa.

Para o ensaio de compressão axial com 14 dias usando o seixo rolado como agregado graúdo, têm-se uma resistência média de 1,56 MPa e um desvio padrão médio de 0,42 MPa. Observa-se no quadro 6 que se encontra no final do trabalho no apêndice A.

Para os corpos de prova misto no ensaio com 14 dias de compressão axial, têm-se uma resistência média de 2,52 MPa e um desvio padrão médio de 0,37 MPa. Observa-se os resultados no quadro 7, no apêndice A no final do trabalho.

Para o ensaio aos 28 dias foram usados para cada concreto 15 corpos de provas com o diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm. No quadro 8 que estar situado no apêndice A, temos a demonstração de cada corpo de prova no ensaio a compressão axial, com uma resistência média de 6,25 MPa e um desvio padrão médio de 0,92 MPa, apresentando um f_{ck} mínimo de 5,25 MPa e o máximo 7,82 MPa em resistência a compressão.

Usando o mesmo ensaio, porém com agregado graúdo seixo rolado, assim obteve-se uma média a compressão axial de 2,31 MPa e um desvio padrão de 0,57 MPa, sendo o menos resistente com uma compressão de 1,74 MPa e máxima de 3,33 MPa. Pode-se observar no quadro 9, estar no apêndice A no final do trabalho.

No quadro 10 com a mesma proporção de corpos de prova usados no ensaio de compressão axial só que para uma mistura de 50 % de cada agregado, chegou-se à uma resistência média de 2,86 MPa e um desvio padrão de 0,82 MPa, com o corpo de prova com um valor a resistência mínima de 2,04 MPa e máxima de 4,9 MPa. O quadro 10 estar dentro do apêndice A.

De acordo com os quadros já citados foi possível condensar os resultados e criou-se o quadro 11 comparando os três tipos de concretos fabricados.

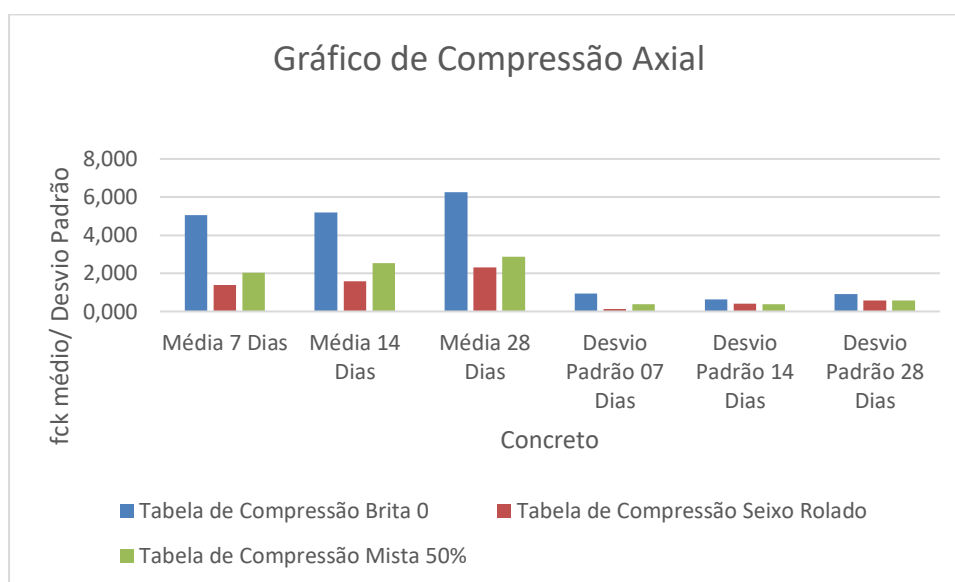
Quadro 11 Comparativo da Resistência a Compressão Axial

Compressão Axial (MPa)			
Valores	Brita 0	Seixo Rolado	Mista 50%
Média 7 Dias	5,045	1,375	2,038
Média 14 Dias	5,203	1,578	2,520
Média 28 Dias	6,254	2,317	2,857
Desvio Padrão 07 Dias	0,935	0,132	0,386
Desvio Padrão 14 Dias	0,636	0,413	0,370
Desvio Padrão 28 Dias	0,919	0,569	0,569

Fonte: Próprio autor

De acordo com o quadro 10 citado anteriormente foi possível a realização de um gráfico em barras, como apresenta a figura 48 onde buscou-se comparar cada concreto em uma média de resistência a compressão com 7, 14 e 28 dias colhendo a média do desvio padrão.

Figura 48: Comparativo em gráfico de barras dos três concretos fabricados no ensaio de Compressão Axial



Fonte: Próprio autor

4.1.2 Resultado do ensaio de tração na flexão

De acordo com o procedimento de realização do corpo de prova, respeitando o valor do abatimento mesmo sendo zero e o processo de cura, não influenciando nos resultados, como foi citado no capítulo 2, foram realizados 9 corpos de prova prismáticos com as seguintes dimensões: 150mm de altura, 150 mm de largura e 500 mm de comprimento, para os 3 primeiros corpos de prova com a brita 0 foram realizados com 100 mm de altura.

O procedimento de realização do ensaio de tração na flexão foi citado no capítulo 3, que descreve as fórmulas e o parâmetro a ser usado.

No quadro 12 que estar no apêndice B no final do trabalho apresenta-se o ensaio realizado aos 7 dias de cura do concreto permeável usado em sua

composição como agregado graúdo a brita 0, as diferenças destes corpos de provas foi a altura, que onde usou-se o mínimo pela norma de 100 mm. Assim pôde-se obter uma média de tração na flexão de 1,91 MPa e desvio padrão de 0,23 MPa.

Para o ensaio com o concreto permeável usando o seixo rolado em sua composição, realizado com 7 dias, respeitando todos os parâmetros de ensaio com a altura de 150 mm, as demais dimensões foram as mesmas já citadas, a resistência média a tração na flexão é aproximadamente 0,88 MPa e seu desvio padrão de 0,20 MPa, o quadro 13 demonstra detalhadamente os dados, que localiza no apêndice B.

O concreto misto em 7 dias, com as mesmas dimensões do ensaio anterior, obteve uma média de resistência a tração na flexão aproximadamente 1,14 MPa, um desvio padrão próximo a 0,26 MPa. Pode-se notar estes valores no quadro 14, apresentado no apêndice B.

No quadro 15 que se encontra no apêndice B no final deste trabalho, está especificado a realização do ensaio com a brita 0, com o tempo de cura de 14 dias, assim alcançou uma média de resistência a tração aproximadamente de 2,33 MPa e desvio padrão de 0,18 MPa.

Para o ensaio com 14 dias usando agregado graúdo seixo rolado impuro, alcançou-se uma média de resistência a tração aproximada de 0,90 MPa e o desvio padrão de 0,084 MPa, a descrição detalhada está no quadro 16 apresenta-se no apêndice B.

Com o quadro 17 apresentado no apêndice B no final do trabalho encontra-se no final do trabalho, conseguiu-se obter com o concreto misto uma média de 0,75 MPa e um Desvio Padrão de 0,021 MPa, para os 14 dias de cura.

Com o concreto aos 28 dias de cura, pode-se obter uma resistência a tração na flexão muito satisfatória de aproximadamente 2,73 MPa e um desvio padrão de 0,44 MPa, usando a brita 0 como um dos principais componentes do concreto, conforme o quadro 18, encontra-se no apêndice B apresentado no final do trabalho.

Para os 28 dias com o uso do agregado graúdo seixo rolado, o ensaio obteve resultados próximos a 1,40 MPa e desvio padrão de 0,54 MPa. De acordo com o quadro 19, onde pode-se notar os valores alcançados de acordo com o apêndice B, na parte final do trabalho.

Na mistura do concreto, usando 50% de cada agregado já citados, aos 28 dias atingiu uma resistência média de 1,23 MPa e desvio padrão de 0,29 MPa, pode-se observar a descrição destes valores de acordo com o quadro 20, localizado no apêndice B, no final do trabalho.

O quadro 21 é apenas para especificar os valores finais reafirmando o parâmetro de cada etapa de cura com os diferentes tipos de concreto.

Quadro 21: Comparativo da Resistência a Tração na Flexão

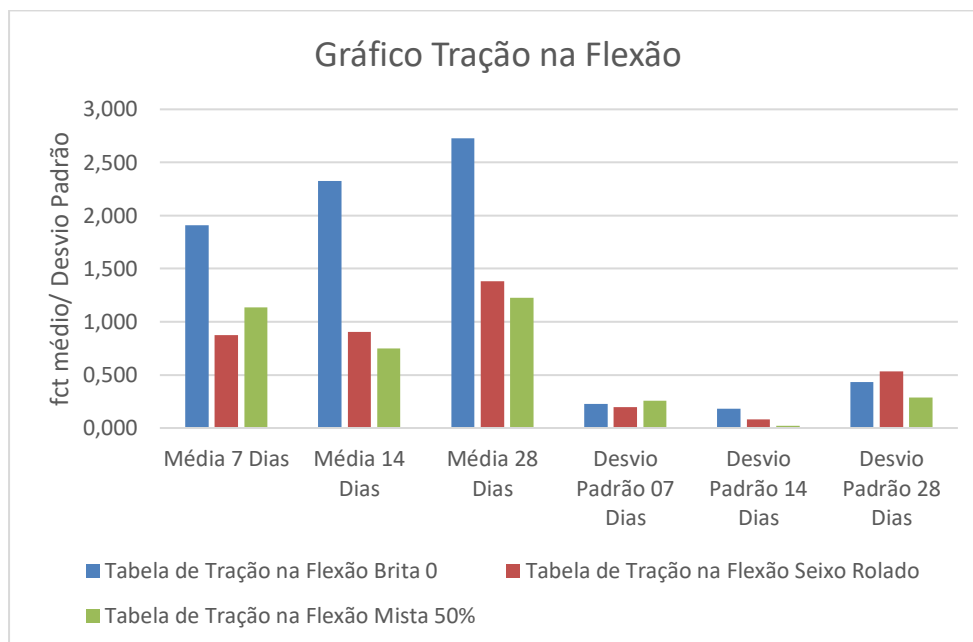
Tabela de Tração na Flexão (MPa)			
Valores	Brita 0	Seixo Rolado	Mista 50%
Média 7 Dias	1,907	0,873	1,133
Média 14 Dias	2,327	0,903	0,747
Média 28 Dias	2,727	1,383	1,227
Desvio Padrão 07 Dias	0,229	0,196	0,257
Desvio Padrão 14 Dias	0,181	0,083	0,020
Desvio Padrão 28 Dias	0,433	0,533	0,287

Fonte: Próprio autor

Podendo detalhar melhor e usando uma comparação mais precisa, foi lançado um gráfico de barras, onde haverá os três tipos de concreto, com os resultados finais de média na resistência a tração na flexão e um desvio padrão.

Na figura 49 encontra-se representado o gráfico, que ajuda no entendimento da viabilidade de uma pavimentação mostrando qual é mais benéfico.

Figura 49: Comparativo em gráfico de barras dos três concretos fabricados no ensaio de Tração na Flexão



Fonte: Próprio autor

4.1.3 Resultado do ensaio de índice de vazios

De acordo com a norma NBR 9778:87 respeitando os métodos de ensaio citados no capítulo 3, conseguiu-se chegar aos resultados com quatro corpos de prova cilíndricos, com as mesmas dimensões usadas no ensaio de compressão axial, e a mesma quantidade dos corpos de provas para o concreto de brita 0, seixo rolado e misto, usando os mesmos parâmetros para os três diferentes tipos de material.

No quadro 22 localizado no apêndice C encontra-se os valores de imersão em água dos corpos de prova, absorção de água mínima, massa específica seca, massa específica saturada e índice de vazios.

O quadro 23 apresenta apenas os resultados com a média e um desvio padrão para cada situação. Onde o índice de vazios ficou em 13% com a brita 0.

Quadro 23: Resultado de média e desvio padrão de brita 0 com 24 h

Média e Desvio Padrão- Brita 0 24H				
Valores	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Específica Ms	Massa Específica Msat
Média	5,030	13,300	2,644	2,777
Desvio Padrão	0,069	0,234	0,036	0,037

Fonte: Próprio autor

Com o quadro 24 pode-se encontrar os valores para o mesmo ensaio, só que com composição de agregado diferente, sendo este o seixo rolado. O quadro está no apêndice C no final do trabalho.

No quadro 25 têm-se a média e desvio padrão para os valores encontrados de acordo com cada corpo de prova, com a composição de seixo rolado no concreto. A média de índice de vazios é de 15,5 %.

Quadro 25: Resultado de média e desvio padrão de seixo rolado com 24 h

Média e Desvio Padrão - Seixo Rolado 24H				
Valores	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Específica Ms	Massa Específica Msat
Média	6,781	15,515	2,287	2,443
Desvio Padrão	0,172	0,577	0,035	0,040

Fonte: Próprio autor

Em relação ao concreto misto usando 50% de cada agregado no seu traço, há o quadro 26 especificando o valor individual de cada corpo de prova, encontra-se no apêndice C.

No quadro 27 está representada a média e o desvio padrão para cada situação analisada. Obteve-se uma média de 14,6 % de índice de vazios no concreto.

Quadro 27: Resultado de média e desvio padrão de 50% de cada agregado na mistura com 24 h

Média e Desvio Padrão - Mista 50 % 24H				
Valores	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Especifica Ms	Massa Especifica Msat
Média	6,196	14,569	2,351	2,497
Desvio Padrão	0,181	0,505	0,040	0,043

Fonte: Próprio autor

O mesmo procedimento para obtenção dos valores mais precisos com 48 horas, consta nos quadros a baixos. O quadro 28 detalha todos os ensaios referentes a cada corpo de prova para a brita 0, estar localizado no apêndice C.

Com base no quadro anterior, pode-se realizar o quadro 28 com a média e desvio padrão de cada ensaio com 48h imerso. Com uma média de 13,4%, observa-se este resultado no quadro 29.

Quadro 28: Resultado de média e desvio padrão de brita 0 com 48 h

Média e Desvio Padrão- Brita 0 48H				
Valores	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Especifica Ms	Massa Especifica Msat
Média	5,030	13,360	2,656	2,790
Desvio Padrão	0,069	0,290	0,030	0,032

Fonte: Próprio autor

No quadro 30 situado no apêndice C no final do trabalho, encontra-se os valores de cada ensaio para o corpo de prova, usando o seixo rolado como agregado graúdo.

No quadro 31 está a média de cada ensaio e o desvio padrão do concreto com o seixo rolado. Com uma média de 16,4 % após 48 h imerso.

Quadro 31: Resultado de média e desvio padrão de seixo rolado com 48 h

Média e Desvio Padrão - Seixo Rolado 48H				
Valores	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Específica Ms	Massa Específica Msat
Média	6,781	16,467	2,429	2,594
Desvio Padrão	0,172	0,256	0,045	0,045

Fonte: Próprio autor

Com 48 horas para o concreto misto, seguindo o mesmo parâmetro dos outros ensaios, está representado o valor de cada ensaio no quadro 32, apresentado no apêndice C.

A média e o desvio padrão de cada ensaio para o concreto permeável com os agregados mistos está descrito no quadro 33. Com uma média de 15,6 % imerso.

Quadro 33: Resultado de média e desvio padrão de 50% de cada agregado na mistura com 48 h

Média e Desvio Padrão - Mista 50 % 48H				
Valores	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Específica Ms	Massa Específica Msat
Média	6,196	15,598	2,518	2,674
Desvio Padrão	0,181	0,388	0,030	0,030

Fonte: Próprio autor

O quadro 34 demonstra cada resultado obtido por média e desvio padrão, comparando as 24 h e 48 h, onde se obteve os pesos por imersão diferentes conforme a norma NBR 9778:87.

Quadro 34: Quadro de comparação entre o 24 e 48 hs com cada ensaio

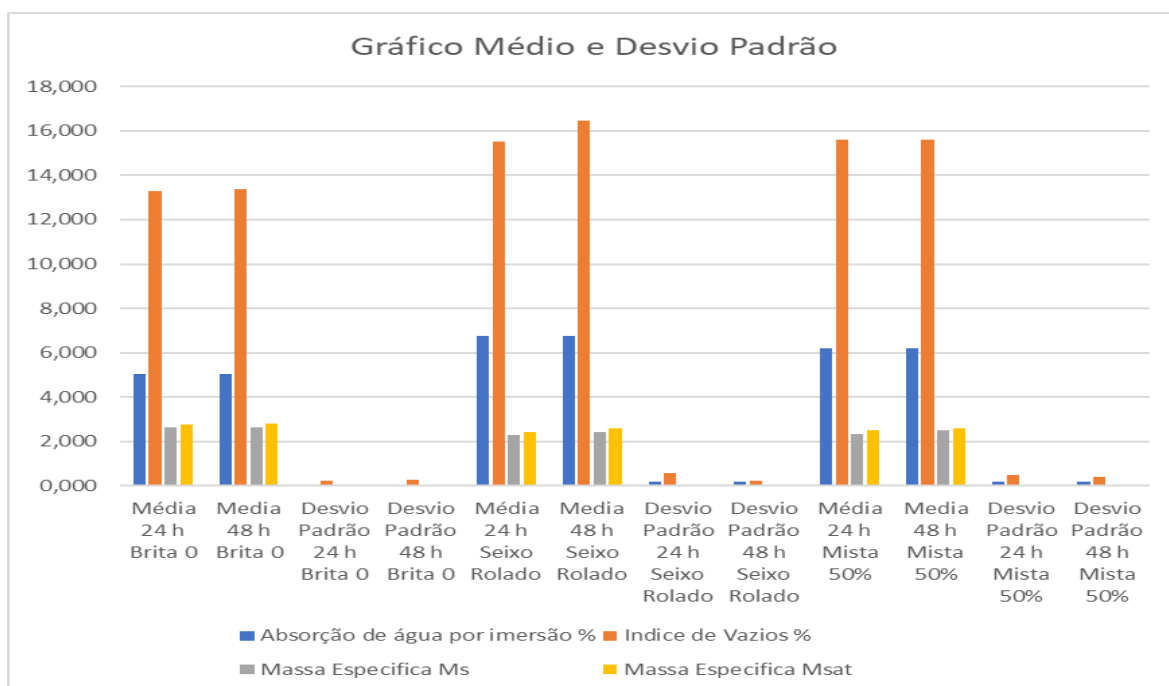
Valores	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Específica Ms	Massa Específica Msat
Média 24 h Brita 0	5,030	13,300	2,644	2,777
Continuação...				

Media 48 h Brita 0	5,030	13,360	2,656	2,790
Desvio Padrão 24 h Brita 0	0,069	0,234	0,036	0,037
Desvio Padrão 48 h Brita 0	0,069	0,290	0,030	0,032
Média 24 h Seixo Rolado	6,781	15,515	2,287	2,443
Media 48 h Seixo Rolado	6,781	16,467	2,429	2,594
Desvio Padrão 24 h Seixo Rolado	0,172	0,577	0,035	0,040
Desvio Padrão 48 h Seixo Rolado	0,172	0,256	0,045	0,045
Média 24 h Mista 50%	6,196	15,598	2,351	2,497
Media 48 h Mista 50%	6,196	15,598	2,518	2,594
Desvio Padrão 24 h Mista 50%	0,181	0,505	0,040	0,043
Desvio Padrão 48 h Mista 50%	0,181	0,388	0,030	0,030

Fonte: Próprio autor

A baixo está a figura 50 representativa de um gráfico em barras com os resultados obtidos do quadro 34.

Figura 50: Gráfico demonstrativo em barras



Fonte: Próprio autor

4.1.4 Resultado do ensaio de percolação

Com os ensaios realizados com base na ASTM C 1701 e na NBR 16416:2015 anexo A, foi possível realizar os ensaios com o método *In Situ* seguindo o procedimento descrito no capítulo 3.

Os resultados foram obtidos com três aplicações diferentes, onde mediu-se o coeficiente de permeabilidade somente no concreto permeável sem nenhuma aplicação, aplicado em solo compactado apenas planado o local e para os blocos rejuntados com areia e pó de pedra.

No apêndice D o quadro 35 apresenta o coeficiente de permeabilidade para três placas de concreto permeável com a composição de brita 0 com a dimensão de 300 mm x 300 mm x 80 mm, onde se obteve a média de 67.418,84 mm/s e desvio padrão de 3.158,08 mm/s.

Para o concreto permeável com o seixo rolado foi repetido o mesmo procedimento onde se obteve os seguintes resultados demonstrados no quadro 36, apresentado no apêndice D, obtendo-se uma média de 83.623,22 mm/s e um desvio padrão de 3.158,00.mm/s.

Já com o concreto permeável composto com agregado misto, no quadro 37 que se encontra no apêndice D, encontra-se os valores para cada placa, apresentando uma média de 71.222,00 mm/s e um desvio padrão de 9.383,25 mm/s.

Este mesmo ensaio foi realizado com a aplicação das placas em um solo compactado, onde buscou-se obter a permeabilidade da placa aplicada. No quadro 38 situado no apêndice D, apresenta-se os resultados do ensaio realizado, com a média de 60.139,60 mm/s e um desvio padrão de 7.917,91 mm/s.

Com a placa de concreto permeável com o seixo rolado, cada bloco utilizado em diferentes locais, os resultados encontram-se no quadro 39, assim pôde-se obter uma média 65.177,59 mm/s e um desvio padrão de 4.917,71 mm/s, representado o quadro 39 no apêndice D.

Para o concreto composto com agregados mistos, utilizando o mesmo procedimento de ensaio pode-se obter os resultados descritos no quadro 40

apresentado no apêndice D, com a média do coeficiente de permeabilidade de 70.863,51 mm/h e o desvio padrão de 11.699,73 mm/h.

Referente aos blocos de concreto permeável foram realizados três ensaios em diferentes situações, somente os blocos sem nenhum solo, com a aplicação em solo com e sem rejuntamento.

No quadro 41 apresenta-se os resultados resumidos onde pode-se notar que há uma variação em relação ao tempo de gasto para água percolar e no coeficiente de permeabilidade. Em relação ao bloco de concreto composto de brita 0 com o rejuntamento de areia foi gasto 32,6 s, com o pó de pedra um tempo gasto de 69,45 s, de acordo com a fórmula citada no item 3.4.4 o coeficiente de permeabilidade – K com o uso da areia é de 40.993,74 mm/s, para o pó de pedra 19.007,86 mm/s.

No apêndice D representa detalhadamente.

Nota-se que em uma aplicação aproximadamente real e seguindo a exigência da norma em relação a granulometria, o bloco usando areia como material de rejuntamento foi o mais viável no quesito de percolação.

No quadro 42 apresenta-se os resultados resumidos com uso do seixo rolado na composição do concreto, aplicado em diferentes situações. Pela mudança de aplicação houve um aumento no tempo com o pó de pedra chegando a percolar com 55,43 s e com o uso da areia de 30,30 s, uma diminuição no coeficiente de permeabilidade para o pó de pedra entre a areia chegando uma diferença de 19,751,97 mm/s. No apêndice D a mais detalhadamente a aplicação.

Da mesma forma que aconteceu para os blocos compostos de brita 0 a areia se sobressaiu em relação ao pó de pedra para o assentamento do bloco.

No concreto composto com agregados misto, também foi realizado o ensaio e da mesma forma dos outros ensaios já realizados há uma mudança no tempo gasto para a água percolar e uma diminuição no coeficiente de permeabilidade. Observa-se os resultados no quadro 43 apresentado no apêndice D.

Com a aplicação da areia gastou um tempo de 31,48 s para drenar um volume de 18 l, em uma área de 0,049 m² com o coeficiente de permeabilidade alcançando aproximadamente 41.934,43 mm/s, com o uso do pó de pedra o tempo gasto para mesmo volume e mesma área foi de 60 s e atingindo o valor aproximado no coeficiente de permeabilidade 22.001,60 mm/s.

Com o bloco de concreto permeável misto e aplicado com a areia no rejuntamento houve uma maior percolação.

O mesmo ensaio foi realizado em um piso intertravado de concreto convencional na Receita Federal de Caratinga-MG onde o piso intertravado é considerado um revestimento drenante, e a partir do ensaio *in loco* pôde-se observar que não é nada drenante. Notou-se que foi usado pó de pedra no rejuntamento, o que acabou deixando o piso impermeável, no dia do ensaio houve reclamações dos funcionários que alegavam que com pouca chuva alaga muitos pontos no estacionamento, este fato ocorre pelo espaço das juntas não atendeu ao critério da NBR 15953:2011- Pavimento intertravado com peças de concreto- Execução, e não houve inclinação nenhuma no terreno que ajuda a percolação pluvial e também a falta de preparo da base drenante com granulometria ideal para atender a percolação.

Na figura 51 apresenta-se o ensaio de percolação realizado na Receita Federal, que levou cerca de 30 min para drenar 5 mm de água em um anel PVC de 250 mm referente a 0,049 m² de área, a massa de água drenada no tempo e área apresentado foi de 0,981 l, calculando o volume drenado em segundos é de 0,000545 l/s.

Figura 51: Ensaio de percolação na receita federal de Caratinga-MG



Fonte: Próprio autor

4.1.5 Vazão volumétrica do concreto permeável

A vazão do concreto será de acordo com o índice de vazios e o traço definido, que influenciará na eficiência do sistema. No trabalho desenvolvido pôde-se alcançar uma variação de índice de vazios de 13% a 16,5 %, isso usando material de granulometria uniforme, sendo brita 0, seixo rolado e misto de 50% de cada agregado usado.

As vazões volumétricas encontradas através dos dados obtidos pelo ensaio de percolação estão nos quadros abaixo. O quadro 44 descreve a vazão média e o desvio padrão em l/s/m² de cada corpo de prova com 300 mm x 300 mm x 80 mm, que obteve uma capacidade média de vazão por segundo de 18,76 l/s/m², em minutos pode alcançar 1.125 l/min/m², com a placa de altura de 80 mm.

Quadro 44: Vazão somente da placa de concreto permeável de brita 0

Placa de concreto Brita 0 sem Solo						
Corpo de prova	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão l/s/m ²	Vazão (l/s)	Média de Vazão l/s/m ²	Desvio Padrão l/s/m ²
1	18	19,05	19,28	0,945	18,76	0,878809
2	18	20,7	17,75	0,870		
3	18	19,08	19,25	0,943		

Fonte: Próprio autor

Para uma placa de concreto composta com agregado graúdo o seixo rolado, obteve-se uma média de 23,27 l/s/m², e em minutos 1.396 l/min/m², ressaltando que a altura foi a mesma da anterior. O quadro 45 representa melhor a vazão.

Quadro 45: Vazão somente da placa de concreto permeável de seixo rolado

Placa de concreto de seixo rolado sem Solo						
Corpo de prova	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão l/s/m ²	Vazão (l/s)	Média de Vazão l/s/m ²	Desvio Padrão l/s/m ²
1	18	19,33	19,00	0,931	23,27	3,779856
2	18	14,93	24,60	1,206		
3	18	14,02	26,20	1,284		

Fonte: Próprio autor

No quadro 46 têm-se uma vazão média de 18,82 l/s/m², isso para uma placa permeável composta no seu traço com concreto de agregado misto.

Quadro 46: Vazão somente da placa de concreto permeável de agregado misto

Placa de concreto misto de 50 % sem Solo						
Corpo de prova	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão l/s/m ²	Vazão (l/s)	Média de Vazão l/s/m ²	Desvio Padrão l/s/m ²
1	18	21,86	16,80	0,823	19,82	2,611106
2	18	17,26	21,28	1,043		
3	18	17,19	21,37	1,047		

Fonte: Próprio autor

No quadro 47 encontra-se uma representação do concreto realizado com brita 0 aplicado ao solo compactado alcançando uma vazão média de 16,74 l/s/m².

Quadro 47: Vazão da placa de concreto permeável de brita 0 com aplicação no solo

Placa de concreto Brita 0 com Solo						
Corpo de prova	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão l/s/m ²	Vazão (l/s)	Média de Vazão l/s/m ²	Desvio Padrão l/s/m ²
1	18	21,5	17,09	0,837	16,74	2,203341
2	18	25,55	14,38	0,705		
3	18	19,6	18,74	0,918		

Fonte: Próprio autor

Usando o seixo rolado como agregado no concreto permeável para uma placa quadrada, alcançou-se uma média de vazão de 19,72 l/s/m², de acordo com o quadro 48.

Quadro 48: Vazão da placa de concreto permeável de seixo rolado com aplicação sobre o solo

Placa de concreto de seixo rolado com Solo						
Corpo de prova	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão l/s/m ²	Vazão (l/s)	Média de Vazão l/s/m ²	Desvio Padrão l/s/m ²
1	18	15,8	23,25	1,139	19,72	3,256
2	18	19,26	19,07	0,935		
3	18	21,82	16,84	0,825		

Fonte: Próprio autor

Para um concreto com a mistura de 50 % de cada agregado obteve-se uma média de 18,14 l/s/m² aplicado em um solo compactado. Assim temos o quadro 49.

Quadro 49: Vazão da placa de concreto permeável misto com aplicação sobre o solo

Placa de concreto misto de 50 % com Solo						
Corpo de prova	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão l/s/m ²	Vazão (l/s)	Média de Vazão l/s/m ²	Desvio Padrão l/s/m ²
1	18	22,1	16,62	0,814	18,14	1,368
2	18	19,05	19,28	0,945		
3	18	19,85	18,51	0,907		

Fonte: Próprio autor

A vazão de cada situação diferente do bloco permeável independentemente da situação, obteve-se o valor proporcional a aplicação real com uso de areia ou pó de pedra no rejuntamento, os quadros a seguir dão uma representação melhor. Os blocos são padrões de 200 mm x 100 mm x 100 mm.

O quadro 50 representa em diferentes situações o ensaio com o bloco de concreto permeável de brita 0 como agregado graúdo.

Quadro 50: Vazão do bloco de concreto permeável de brita 0 em diferentes situações

Bloco de Concreto Permeável - Brita 0					
Aplicações	Nº de Ensaio	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão (l/s/m²)	V (l/s)
Sem Solo	1	18	17,4	21,112	1,03
Com solo	1	18	23,7	15,500	0,76
Com Solo e Rejuntamento (pó de pedra)	1	18	69,45	5,289	0,26
Com Solo e Rejuntamento (areia)	1	18	32,6	11,268	0,55

Fonte: Próprio autor

Para o uso do seixo rolado como agregado graúdo na composição do concreto, foram realizados os mesmos ensaios, a possível aplicação com o uso ou sem de rejuntamento. O quadro 51 representa melhor a definição de cada situação.

Quadro 51: Vazão do bloco de concreto permeável de seixo rolado em diferentes situações

Bloco de Concreto Permeável - Seixo Rolado					
Aplicações	Nº de Ensaio	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão (l/s/m²)	V (l/s)
Sem Solo	1	18	17,56	20,920	1,03
Com solo	1	18	23,83	15,415	0,76
Com Solo e Rejuntamento (po de pedra)	1	18	55,43	6,627	0,32
Com Solo e Rejuntamento (areia)	1	18	30,3	12,124	0,59

Fonte: Próprio autor

Da mesma forma com a brita 0 e o seixo rolado, foram realizados os ensaios com o concreto misto, desta forma ficou representada as diferentes situações de aplicação no quadro 52 a baixo.

Quadro 52: Vazão do bloco de concreto permeável misto em diferentes situações

Bloco de Concreto Permeável - Misto					
Aplicações	Nº de Ensaios	Massa (Kg)	Tempo (s)	Vazão (l/s/m²)	V (l/s)
Sem Solo	1	18	17,3	21,234	1,04
Com solo	1	18	23,9	15,370	0,75
Com Solo e Rejuntamento (pó de pedra)	1	18	60	6,122	0,30
Com Solo e Rejuntamento (areia)	1	18	31,48	11,669	0,57

Fonte: Próprio autor

Com base nos dados acima e a necessidade da aplicação pode-se ter uma escolha adequada para a situação de uso.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo descreverá as conclusões obtidas com as pesquisas e análises obtidas durante o trabalho.

5.1 Conclusões

O traço inicial que foi citado no capítulo 3 pelo método da IBRACON, mostrou-se durante o processo de moldagem, e nos ensaios citados anteriormente de resistência a compressão axial e tração na flexão, foram satisfatórios para brita 0, podendo ser implantado em áreas que há baixa circulação e exijam menos cargas aplicadas, como estacionamentos, calçadas, áreas de lazer, porém para o revestimento de locais onde haja tráfego de veículos não seria indicado.

Já usando o mesmo traço para o concreto com seixo rolado impuro sem ter realizado o processo de lavagem, e no concreto usando os 50 % dos seus agregados na mistura, para compressão axial ainda precisa de reajustes na definição do traço, assim o melhoramento acontecerá para a resistência de tração na flexão.

O custo de fabricação é menor do que o concreto convencional, pelo fato de ter menos material usado para a fabricação do concreto.

Em relação à vazão o que obteve um maior coeficiente de percolação foi o seixo rolado, mesmo sendo um concreto com impureza e seus agregados descontínuos o que acaba fechando um pouco dos vazios entre os poros.

Nota-se pelos ensaios um maior percentual de índice de vazios com o seixo rolado, conforme a sua característica mais arredondada que diminuirá a sua aderência entre as partículas e consequentemente aumentou sua porosidade.

Um dos aspectos mais chamativos no concreto permeável independente do agregado usado na sua composição, é sua capacidade de vazão, que ajudará a reabastecer os lençóis freáticos e poderá diminuir as enchentes e alagamentos.

A vazão tanto com o uso das placas e os blocos foi melhor com o seixo rolado pelo fato deste ter um formato mais arredondado alcançou uma porosidade maior, apesar de ter sido um material descontínuo com diferentes partículas e impurezas ainda assim obteve uma vazão superior aos outros concretos.

A baixo encontra-se uma tabela 13 com todos os resultados específicos de cada ensaio. Os valores para percolação são de bloco intertravado com o rejuntamento de areia.

Tabela 13: Resultados finais de cada ensaio

Aplicação	Agregado Graúdo		
	Brita 0	Seixo Rolado	Misto 50%
Compressão axial 28 dias (MPa)	6,254	2,317	2,857
Tração na Flexão 28 dias (MPa)	2,727	1,383	1,227
Índices de Vazios 48 h (%)	13,360	16,467	15,598
Coeficiente de Percolação (mm/s)	40.493,74	43.567,52	41.934,43
Vazão por Área (l/s/m ²)	11,27	12,13	11,67

Fonte: Próprio autor

5.2 Recomendações

Para a fabricação do concreto permeável em busca de se alcançar uma melhor resistência, acompanhado dos ensaios analíticos pode-se realizar novas misturas com os seguintes traços: 1 : 3,5 : 0,34 e 1 : 3,75 : 0,32, estes traços são indicações para se alcançar uma maior capacidade de resistência a compressão axial.

Para o uso de seixo rolado como o único agregado graúdo ou mesmo ele misto, recomenda-se fazer o processo de lavagem eliminando todos os torrões e material orgânico que acompanha o material.

No ato do ensaio de compressão axial, deve-se seguir a norma NBR 5738:2015 onde afirma que para uma melhor resistência no corpo de prova, deve

ser preparado suas extremidades planas, para evitar quaisquer irregularidades no ensaio.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI L.A., **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para Controle do Escoamento Superficial na Fonte**, Dissertação de Mestrado, (2005) UFRGS – IPH, 2005.

AGENCY, U. S. Environmental Protection. **EPA**. 2017. Disponível em: <<https://www.epa.gov/>>. Acesso em: 11 set. 2017.

AGUIAR, Davidson; DUTRA, Thiago Rodrigues. **Estudo Experimental de Pisos Intertravado (Pavers) Utilizando Plástico Reciclado como agregado**. 2016. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Rede Doctum, Instituto Tecnológico de Caratinga - ITC, Caratinga, 2016. Cap. 6.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C 1701/C**: Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. 1 ed. Eua: Astm International, 2009. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10342:1992**: Concreto - Perda de abatimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768:2011**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 19 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: 2010**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:2006**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1:2009**: Água para amassamento do concreto- Parte1: Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953:2011**: Pavimento Intertravado com Peças de Concreto-Execução. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416:2015**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 25 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5737:1992**: Cimentos Portland resistentes a sulfatos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2015**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2007**: Concreto- Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014** Projeto de estruturas de concreto-Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:1987**: Argamassa e concreto endurecidos- Determinação da absorção de água por imersão- Índice de vazios e massa específica. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9780:1987** Peças de Concreto Para Pavimentação- Determinação da Resistência à Compressão. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 3 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781:1987** Peças de Concreto Para Pavimentação- Especificação. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781:2013**: Peças de Concreto Para Pavimentação- Especificação e Métodos de Ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 26 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. 8 p.

ASTM. **ASTM INTERNATIONAL**. 1996-2007. Disponível em: <<https://www.astm.org/>>. Acesso em: 10 set. 2017.

AGREGADO. Lena. **LENA AGREGADOS**- 2014. Disponível em <<http://www.lenaagregados.pt/centros-de-producao/8/chamusca>>. Acesso em 11 novem. 2017.

BAUTECH. **Aditivos para Argamassas e Concreto**. 2017. Disponível em <<http://www.bautechbrasil.com.br/produtos/ADITIVOS%20PARA%20ARGAMASSAS%20E%20CONCRETOS>>. Acesso em 28 novem 2017.

BATEZINI, Rafael. **Estudo Preliminar de Concretos Permeáveis como Revestimento de Pavimentos para Áreas de Veículos Leves**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Transportes-Infraestrutura de Transporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Cap. 5.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Gráfica Imprinta, 2008. 504 p. PETROBRAS: ABEDA.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. Constituição (2008). Lei nº 11.445/2007, de 2007. **Diretrizes Nacionais Para O Saneamento Básico**. CONCRETO, Portal do. **TUDO SOBRE CONCRETO: Concreto**. 2013. Grupo Portal do Concreto. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/concretos.html>>. Acesso em: 10 jun. 2017

CRUZ, Marcus A. S; SOUZA, Christopher Freire; TUCCI, Carlos E. M. **Controle da Drenagem Urbana no Brasil: Avanços e Mecanismos Para sua Sustentabilidade**. 18 f. Artigo - Curso de Engenharia Civil, XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Doutorado do Instituto de Pesquisa Hidráulica, Porto Alegre, 2007.

ESTEVES, Rafael Lucio. **Quantificação das Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas por Meio de Sensoriamento Remoto**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Cap. 7.

FIELD, Richard, Masters, H., Singer, M., **Porus Pavement: Research, Development, and Demonstration**. Transportation Engineering Journal 108, (1982), 244-258.

ISAIA, Geraldo Cechella et al. **CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA**, IBRACON. São Paulo: Ipsis Gráfica e Editora, 2011. 1946 p. Geraldo C. Isaia, volume 1.

JONES, J. E. **BMP Performance and receiving water impacts. Water Resources IMPACT**. 6. ed. Nov. 2001.

AGENCY, Minnesota Pollution Control. **Stormwater Best Management Practices Manual**. 2017. Disponível em: <<https://www.pca.state.mn.us/water/stormwater-best-management-practices-manual>>. Acesso em: 09 out. 2017.

MARCHIONI, Msc. Mariana L.; SILVA, Msc. Cláudio Oliveira; MAYOR, Eng. Arcindo Vaquero y. **Sistemas construtivos: Pavimentos Permeável**: Conceito e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável. 2015. 8 f. Artigo de Engenharia Civil, Associação Brasileira de Cimento Portland, Associação Brasileira de Cimento Portland, Rio de Janeiro, 2015.

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **Concreto Poroso: Dosagem e Desempenho**. 2010. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Cap. 5.

NACIONAL, Companhia Siderúrgica. CSN – **CIMENTO**- Descrição Geral. 2017. Disponível em <http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=59832> Acesso em 11 novem. 2017.

PAVIMENTOS, SB. **Piso Intertravado de Concreto**- Assentamento de Piso Intertravado de Concreto.2015. Disponível em:< <http://www.pisoacabado.com.br/piso-intertravado-de-concreto.html>>. Acesso em 21 out. 2017

PEREIRA, Katrine Krislei; BARBOSA, Monica Pinto. **Desenvolvimento de Composição de Concreto Permeável com Agregados Oriundos de Resíduos de Construção Civil da Região de Campinas**. 2015. 6 f. TCC Artigo - Curso de Engenharia Civil, XX Encontro de Iniciação Científica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2015.

PET, Construção Civil. Civilização Engenharia: **O Concreto como material construtivo: Da origem às novas tecnologias**. 2012. Blog do PET Engenharia Civil UFC. Disponível em: <<https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2012/11/07/o-concreto-como-material-construtivo-da-origem-as-novas-tecnologias/>>. Acesso em: 12 jun. 2017

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011. 255 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Cap. 9.

PISOS, Rhino. **Pisos Permeáveis e Drenantes**.2016. Disponível em: <http://www.rhinopisos.com.br/site/produtos/18/placa_drenante_piso_drenante_>. Acesso em 23 out. 2017.

PROCIM, Inovando a sua obra. **Cimento Portland CP III- 40 RS**. 2016. Disponível em: <<http://procim.com.br/>>. Acessado em 27 nov. 2017,

SOUSA, Claudemir Máximo de; BAHIENSE, Henrique Silveira. **A Utilização do Concreto Permeável na Drenagem Urbana**. 2013. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Rede Doctum, Instituto Tecnológico de Caratinga - ITC, Caratinga-MG, 2013. Cap. 6.

TEIXEIRA, Ernesto da Cruz; ZIMMERMANN, Sérgio Luiz Duarte; PINTO, Francisco José Ferreira. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana**. 6. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 159 p. Manual de drenagem urbana de Porto Alegre.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. **Pervious Concrete Pavements**, EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 36p., 2004

TUCCI, Carlos E. M. 2008. 15 f. **Águas urbanas- Desenvolvimento urbano**. Artigo- Curso de Engenharia civil, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: PRONEX-CNPq, 2003. 150 p.

VIEIRA, Glécia R. S.; SILVA, Claudio Oliveira. **Manual de Pavimentos Intertravados**. 2010. Associação Brasileira de Cimento Portland-ABCP, São Paulo, 2010, 36p.. Disponível em: <<http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/08/ManualPavimentoIntertravado.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2017.

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de. **Procedimento de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Pisos de Cheias**. 2009. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Cap. 8.

APÊNDICE A

QUADROS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Quadro 2: Ensaio de compressão axial com 7 dias com brita 0

ENSAIO DE COMPRESSÃO - 7 dias								
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de prova	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	fck (MPa)	fck Médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
4	Brita 0	M1	4,05	4.050,00	39.716,93	5,05	5,045	0,94
		M2	4,72	4.720,00	46.287,39	5,89		
		M3	2,99	2.990,00	29.321,88	3,74		
		M4	4,41	4.410,00	43.247,33	5,5		

Fonte: Próprio autor

Quadro 3: Ensaio de compressão axial com 7 dias com Seixo Rolado

ENSAIO DE COMPRESSÃO - 7 dias								
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de prova	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	fck (MPa)	fck Médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
4	Seixo Rolado	M1	1,19	1.190,00	11.669,91	1,48	1,375	0,133
		M2	1,1	1.100,00	10.787,32	1,37		
		M3	0,96	960,00	9.414,38	1,19		
		M4	1,17	1.170,00	11.473,78	1,46		

Fonte: Próprio autor

Quadro 4: Ensaio de compressão axial com 7 dias de 50% com Cada Agregados

ENSAIO DE COMPRESSÃO - 7 dias								
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de prova	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	fck (MPa)	fck Médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
4	Mista 50%	M1	1,92	1920	18.828,77	2,39	2,0375	0,39
		M2	1,68	1680	16.475,17	2,09		
		M3	1,75	1750	17.161,64	2,18		
		M4	1,2	1200	11.767,98	1,49		

Fonte: Próprio autor

Quadro 5: Ensaio de compressão axial com 14 dias com brita 0

ENSAIO DE COMPRESSÃO - 14 dias								
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de prova	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	fck (MPa)	fck Médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
4	Brita 0	M1	4,13	4.130,00	40.501,46	5,15	5,2025	0,64
		M2	3,75	3.750,00	36.774,94	4,48		
		M3	4,13	4.130,00	40.501,46	5,15		
		M4	4,83	4.830,00	47.366,12	6,03		

Fonte: Próprio autor

Quadro 6: Ensaio de compressão axial com 14 dias com Seixo Rolado

ENSAIO DE COMPRESSÃO - 14 dias								
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de prova	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	fck (MPa)	fck Médio (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
4	Seixo Rolado	M1	1,75	1.750,00	17.161,64	2,18	1,5775	0,42
		M2	1,04	1.040,00	10.198,92	1,29		
		M3	1,21	1.210,00	11.866,05	1,51		
		M4	1,07	1.070,00	10.493,12	1,33		

Fonte: Próprio autor

		M14	3,23	3.230,00	31.675,48	4,03		
		M15	2,99	2.990,00	29.321,88	3,73		

Fonte: Próprio autor

Fonte: Próprio autor

3	Seixo Rolado	M1	19,2	0,66	660,00	6.472,39	450	150	150	0,86	0,873	0,197
		M2	19,83	0,86	860,00	8.433,72	450	150	150	1,12		
		M3	19,08	0,49	490,00	4.805,26	450	150	150	0,64		

Fonte: Próprio autor

Quadro 14: Ensaio de tração na flexão com 7 dias de 50% de Cada Agregados

ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO - 7 dias												
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de Prova	Peso do Corpo de Prova (Kg)	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	Dimensão Entre os Apoios l (mm)	Largura do Corpo de Prova b (mm)	Altura do Corpo de Prova d (mm)	fct,f (MPa)	fct,f Média (MPa)	Desvio Padrão
3	Mista 50%	M1	19,35	0,92	920,00	9.022,12	450	150	150	1,2	1,133	0,258
		M2	19,78	0,61	610,00	5.982,06	450	150	150	0,79		
		M3	19,69	1,08	1.080,00	10.591,18	450	150	150	1,41		

Fonte: Próprio autor

Quadro 15: Ensaio de tração na flexão com 14 dias com brita 0

ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO - 14 dias												
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de Prova	Peso do Corpo de Prova (Kg)	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	Dimensão Entre os Apoios l (mm)	Largura do Corpo de Prova b (mm)	Altura do Corpo de Prova d (mm)	fct,f (MPa)	fct,f Média (MPa)	Desvio Padrão
3	Brita 0	M1	14,7	0,88	880,00	8.629,85	450	150	100	2,58	2,327	0,181
		M2	13,5	0,76	760,00	7.453,05	450	150	100	2,23		
		M3	13,99	0,74	740,00	7.256,92	450	150	100	2,17		

Fonte: Próprio autor

Quadro 16: Ensaio de Tração na Flexão com 14 Dias com Seixo Rolado

ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO - 14 dias												
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de Prova	Peso do Corpo de Prova (Kg)	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	Dimensão Entre os Apoios l (mm)	Largura do Corpo de Prova b (mm)	Altura do Corpo de Prova d (mm)	fct,f (MPa)	fct,f Média (MPa)	Desvio Padrão
3	Seixo Rolado	M1	18,84	0,78	780,00	7.649,19	450	150	150	1,02	0,903	0,084
		M2	19,59	0,63	630,00	6.178,19	450	150	150	0,83		
		M3	19,79	0,66	660,00	6.472,39	450	150	150	0,86		

Fonte: Próprio autor

Quadro 17: Ensaio de tração na flexão com 14 dias de 50% de Cada Agregados

ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO - 14 dias												
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de Prova	Peso do Corpo de Prova (Kg)	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	Dimensão Entre os Apoios l (mm)	Largura do Corpo de Prova b (mm)	Altura do Corpo de Prova d (mm)	fct,f (MPa)	fct,f Média (MPa)	Desvio Padrão
3	Mista 50%	M1	19,86	0,55	550,00	5.393,66	450	150	150	0,72	0,747	0,021
		M2	19,1	0,57	570,00	5.589,79	450	150	150	0,75		
		M3	20,5	0,59	590,00	5.785,92	450	150	150	0,77		

Fonte: Próprio autor

Quadro 18: Ensaio de tração na flexão com 28 dias com brita 0

ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO - 28 dias												
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de Prova	Peso do Corpo de Prova (Kg)	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	Dimensão Entre os Apoios l (mm)	Largura do Corpo de Prova b (mm)	Altura do Corpo de Prova d (mm)	fct,f (MPa)	fct,f Média (MPa)	Desvio Padrão
3	Brita 0	M1	14,53	0,87	870,00	8.531,79	450	150	100	2,56	2,727	0,433
		M2	13,48	0,78	780,00	7.649,19	450	150	100	2,3		
		M3	13,87	1,13	1.130,00	11.081,51	450	150	100	3,32		

Fonte: Próprio autor

Quadro 19: Ensaio de tração na flexão com 28 dias com Seixo Rolado

ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO - 28 dias												
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de Prova	Peso do Corpo de Prova (Kg)	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	Dimensão Entre os Apoios l (mm)	Largura do Corpo de Prova b (mm)	Altura do Corpo de Prova d (mm)	fct,f (MPa)	fct,f Média (MPa)	Desvio Padrão
3	Seixo Rolado	M1	21,12	1,46	1.460,00	14.317,71	450	150	150	1,9	1,383	0,533
		M2	18,65	0,5	500,00	4.903,33	450	150	150	0,65		
		M3	20,51	1,22	1.220,00	11.964,11	450	150	150	1,6		

Fonte: Próprio autor

Quadro 20: Ensaio de tração na flexão com 28 dias de 50% de Cada Agregados

ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO - 28 dias												
Quantidade de Material	Agregado	Corpo de Prova	Peso do Corpo de Prova (Kg)	Tensão de Ruptura (Tnf)	Tensão de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (N)	Dimensão Entre os Apoios l (mm)	Largura do Corpo de Prova b (mm)	Altura do Corpo de Prova d (mm)	fct,f (MPa)	fct,f Média (MPa)	Desvio Padrão
3	Mista 50%	M1	19,5	1,09	1.090,00	10.689,25	450	150	150	1,43	1,227	0,287557
		M2	19,34	1,09	1.090,00	10.689,25	450	150	150	1,43		
		M3	19,09	0,63	630,00	6.178,19	450	150	150	0,82		

Fonte: Próprio autor

1	2,440	2,609	1,565	6,926	16,188	2,337	2,499
2	2,448	2,614	1,529	6,781	15,300	2,256	2,409
3	2,486	2,657	1,570	6,879	15,731	2,287	2,444
4	2,569	2,737	1,605	6,540	14,841	2,269	2,418

Fonte: Próprio autor

Quadro 26: Ensaio realizado após 24 horas dos corpos de prova imersos em água de mista

Mista 50 %							
N° de Corpos de Provas	Massa Seca - Ms (Kg)	Massa Saturada - Msat (Kg)	Massa Imersa - Mi (Kg)	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Especifica Ms	Massa Especifica Msat
1	2,449	2,603	1,573	6,288	14,951	2,378	2,527
2	2,468	2,626	1,574	6,402	15,019	2,346	2,496
3	2,478	2,627	1,588	6,013	14,341	2,385	2,528
4	2,566	2,722	1,605	6,080	13,966	2,297	2,437

Fonte: Próprio autor

Quadro 28: Ensaio realizado após 48 horas dos corpos de prova imersos em água de brita 0

Brita 0							
Nº de Corpos de Provas	Massa Seca - Ms (Kg)	Massa Saturada - Msat (Kg)	Massa Imersa - Mi (Kg)	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Especifica Ms	Massa Especifica Msat
1	2,691	2,824	1,810	4,942	13,116	2,654	2,785
2	2,691	2,827	1,804	5,054	13,294	2,630	2,763
3	2,742	2,882	1,866	5,106	13,780	2,699	2,837
4	2,771	2,91	1,861	5,016	13,251	2,642	2,774

Fonte: Próprio autor

Quadro 30: Ensaio realizado após 48 horas dos corpos de prova imersos em água com seixo rolado

Seixo Rolado							
Nº de Corpos de Provas	Massa Seca - Ms (Kg)	Massa Saturada - Msat (Kg)	Massa Imersa - Mi (Kg)	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Especifica Ms	Massa Especifica Msat
1	2,44	2,609	1,59	6,926	16,585	2,395	2,560
2	2,448	2,614	1,622	6,781	16,734	2,468	2,635
3	2,486	2,657	1,615	6,879	16,411	2,386	2,550
4	2,569	2,737	1,696	6,540	16,138	2,468	2,629

Fonte: Próprio autor

Quadro 32: Ensaio realizado após 48 horas dos corpos de provas imerso em água de mista

Mista 50 %							
N° de Corpos de Provas	Massa Seca - Ms (Kg)	Massa Saturada - Msat (Kg)	Massa Imersa - Mi (Kg)	Absorção de água por imersão %	Índice de Vazios %	Massa Especifica Ms	Massa Especifica Msat
1	2,449	2,603	1,613	6,288	15,556	2,474	2,629
2	2,468	2,626	1,648	6,402	16,155	2,524	2,685
3	2,478	2,627	1,652	6,013	15,282	2,542	2,694
4	2,566	2,722	1,709	6,080	15,400	2,533	2,687

Fonte: Próprio autor

APÊNDICE D

QUADROS DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

Quadro 35: Coeficiente de permeabilidade com a brita 0 em placas

Placa de Concreto Permeável - Brita 0							
N° de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/s)	Média (mm/s)	Desvio Padrão (mm/s)
1	18	250	19,05	4.583.666.000,00	69.296,37	67.418,84	3.158,08
2	18	250	20,7	4.583.666.000,00	63.772,74		
3	18	250	19,08	4.583.666.000,00	69.187,41		

Fonte: Próprio autor

Quadro 36: Coeficiente de permeabilidade com o seixo rolado em placas

Placa de Concreto Permeável - Seixo Rolado							
N° de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/s)	Média (mm/s)	Desvio Padrão (mm/s)
1	18	250	19,33	4.583.666.000,00	68.292,59	83.623,22	13.583,27
2	18	250	14,93	4.583.666.000,00	88.419,01		
3	18	250	14,02	4.583.666.000,00	94.158,05		

Fonte: Próprio autor

Quadro 37: Coeficiente de permeabilidade com o agregado misto

Placa de Concreto Permeável - Misto 50%							
Nº de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/h)	Média (mm/s)	Desvio Padrão (mm/s)
1	18	250	21,86	4.583.666.000,00	60.388,65	71.222,00	9.383,25
2	18	250	17,26	4.583.666.000,00	76.482,96		
3	18	250	17,19	4.583.666.000,00	76.794,40		

Fonte: Próprio autor

Quadro 38: Coeficiente de permeabilidade com a brita 0 em placas aplicado no solo

Placa de Concreto Permeável - Brita 0							
Nº de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/s)	Média (mm/s)	Desvio Padrão (mm/s)
1	18	250	21,5	4.583.666.000,00	61.399,81	60.139,60	7.917,91
2	18	250	25,55	4.583.666.000,00	51.667,15		
3	18	250	19,6	4.583.666.000,00	67.351,83		

Fonte: Próprio autor

Quadro 39: Coeficiente de permeabilidade com o seixo rolado em placas aplicadas ao solo

Placa de Concreto Permeável - Seixo Rolado							
Nº de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/h)	Média (mm/h)	Desvio Padrão (mm/s)
1	18	250	22,1	4.583.666.000,00	59.732,84	65.177,59	4.917,71
2	18	250	19,05	4.583.666.000,00	69.296,37		
3	18	250	19,85	4.583.666.000,00	66.503,57		

Fonte: Próprio autor

Quadro 40: Coeficiente de permeabilidade com o agregado misto aplicado no solo

Placa de Concreto Permeável - Misto 50%							
Nº de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/h)	Média (mm/h)	Desvio Padrão (mm/s)
1	18	250	15,8	4.583.666.000,00	83.550,37	70.863,51	11.699,73
2	18	250	19,26	4.583.666.000,00	68.540,80		
3	18	250	21,82	4.583.666.000,00	60.499,35		

Fonte: Próprio autor

Quadro 41: Coeficiente de permeabilidade de blocos de concreto permeável com brita 0

Bloco de Concreto Permeável - Brita 0						
Aplicações	Nº de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/s)
Sem Solo	1	18	250	17,4	4.583.666.000,00	75.867,58
Com solo	1	18	250	23,7	4.583.666.000,00	55.700,25
Com Solo e Rejuntamento (pó de pedra)	1	18	250	69,45	4.583.666.000,00	19.007,86
Com Solo e Rejuntamento (areia)	1	18	250	32,6	4.583.666.000,00	40.493,74

Fonte: Próprio autor

Quadro 42: Coeficiente de permeabilidade de blocos de concreto permeável com seixo rolado

Bloco de Concreto Permeável - Seixo Rolado						
Aplicações	Nº de Ensaio	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/s)
Sem Solo	1	18	250	17,56	4.583.666.000,00	75.176,30
Com solo	1	18	250	23,83	4.583.666.000,00	55.396,38
Com Solo e Rejuntamento (Pó de Pedra)	1	18	250	55,43	4.583.666.000,00	23.815,55
Com Solo e Rejuntamento (Areia)	1	18	250	30,30	4.583.666.000,00	43.567,52

Fonte: Próprio autor

Quadro 43: Coeficiente de permeabilidade de blocos de concreto permeável com agregado misto

Bloco de Concreto Permeável - Misto 50%						
Aplicações	Nº de Ensaios	Massa de água Infiltrada (Kg)	Diâmetro Interno do cilindro (mm)	Tempo (s)	Conversão de unidades do Sistema SI	Coeficiente de Permeabilidade (mm/s)
Sem Solo	1	18	250	17,3	4.583.666.000,00	76.306,12
Com solo	1	18	250	23,9	4.583.666.000,00	55.234,13
Com Solo e Rejuntamento (Pó de Pedra)	1	18	250	60	4.583.666.000,00	22.001,60
Com Solo e Rejuntamento (Areia)	1	18	250	31,48	4.583.666.000,00	41.934,43

Fonte: Próprio autor

Coeficiente de Percolação do Bloco Intertravado (mm/s)			
Aplicações	Brita 0	Seixo Rolado	Misto (50%)
Sem Solo	75.867,58	75.176,30	76.306,12
Com solo	55.700,25	55.396,38	55.234,13
Com Solo e Rejuntamento (Pó de Pedra)	19.007,86	23.815,55	22.001,60
Com Solo e Rejuntamento (Areia)	40.493,74	43.567,52	41.934,43

ARCEVO DE IMAGEM

IMAGENS DESENVOLVIDAS NO TRABALHO

