

**INSTITUTO DOCTUM DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA
CLAUDEMIR MÁXIMO DE SOUSA
HENRIQUE SILVEIRA BAHIENSE**

**A UTILIZAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL NA
DRENAGEM URBANA**

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DOCTUM – MINAS GERAIS

2013

CLAUDEMIR MÁXIMO DE SOUSA
HENRIQUE SILVEIRA BAHIENSE

**A UTILIZAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL NA
DRENAGEM URBANA**

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Engenharia Civil, do Instituto Tecnológico de Caratinga (ITC MG), como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil, sob orientação Prof^ª. Dra. Aline Rodrigues Soares.

DOCTUM – MINAS GERAIS

2013

CLAUDEMIR MÁXIMO DE SOUSA

HENRIQUE SILVEIRA BAHIENSE

A UTILIZAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL NA DRENAGEM URBANA

Monografia submetida á comissão examinadora designada pelo
Curso de Graduação em Engenharia Civil como requisito para
obtenção do grau de bacharel.

Prof. João Moreira de Oliveira Junior (Coordenador do curso de Engenharia Civil)

Instituto Doctum de Educação e Tecnologia

Prof. Dra. ALINE RODRIGUES SOARES (Orientadora)

Instituto Doctum de Educação e Tecnologia

Prof. CAMILA ALVES SILVA

Instituto Doctum de Educação e Tecnologia

Caratinga, 16/12/2013

RESUMO

Os prejuízos devidos às inundações na drenagem urbana nas cidades brasileiras têm aumentado exponencialmente, reduzindo a qualidade de vida e o valor das propriedades. Este processo é decorrente da urbanização e da consequente impermeabilização junto com a canalização do escoamento pluvial. As obras e o controle público da drenagem têm sido realizados por uma visão local e setORIZADA dos problemas, gerando mais impactos do que os pré-existentes e desperdiçando os poucos recursos existentes nas cidades. Tucci (2003).

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem, o Concreto Permeável auxilia na recuperação da capacidade de infiltração do solo perdida com o avanço das áreas urbanas. Isto é, diminui os riscos de enchentes e recupera áreas degradadas. Permite recarregar os aquíferos subterrâneos e reduz a velocidade do escoamento das águas pluviais. Nas áreas urbanas, promove ganho ambiental e econômico.

Diante da necessidade de se buscar soluções preventivas e eficientes para o problema, a utilização de concretos permeáveis se mostra como uma alternativa, com bons resultados comprovados em diferentes regiões do mundo. Estudos publicados recentemente indicam que essas soluções têm permitido o controle efetivo do escoamento superficial tanto em termos de vazões máximas quanto de volumes escoados, além da melhoria da qualidade da água pluvial. O concreto permeável, além de possuir uma enorme velocidade de percolação da água, também apresenta outra propriedade interessante, que é a capacidade de retenção de água dentro da massa de concreto.

O objetivo deste estudo foi verificar a correlação entre as propriedades do concreto permeável utilizado na drenagem urbana e a funcionalidade do mesmo a fim de comprovar sua viabilidade técnica.

As misturas de concreto permeável desenvolveram resistências de compressão axial na escala de 7,8 MPa ao sétimo dia, 12,7 MPa ao décimo quarto dia e 19,7 MPa ao vigésimo oitavo dia . A taxa de fluxo típica para a água através do concreto permeável, teve como média 261 L/m² /min . Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial e ensaio de vazão de permeabilidade, comprovaram a viabilidade do concreto permeável, estando dentro dos padrões limites para o concreto em estudos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	07
2.DRENAGEM URBANA	12
2.1. CONTEXTO DA DRENAGEM URBANA.....	12
2.1.1 Sistemas de drenagem urbana	14
2.1.1.1 Sistemas Clássicos	14
2.1.1.2 Sistemas Compensatórios	14
2.2. ASPECTOS NEGATIVOS RELACIONADOS À IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO.....	15
2.3. OPÇÕES PARA O CONTROLE DOS ESCOAMENTOS	16
3. CONCRETOS PERMEÁVEIS	18
3.1 CONTEXTO HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL ..	18
3.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL	20
3.3 EXECUÇÃO DE PISOS DE CONCRETO PERMEÁVEL	22
3.4 BENEFÍCIOS DO USO DE CONCRETO PERMEÁVEL	24
3.5 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NO BRASIL	25
4. PROGRAMA EXPERIMENTAL	27
4.1 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS REALIZADAS	27
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	27
4.2.1 Cimento Portland CP III 40 RS	27
4.2.2 Agregado Graúdo	27
4.2.3 Água	27
4.3 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA	28
4.3.1 SLUMP TESTE	28
4.3.2 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	28
4.4 ENSAIOS	32
4.4.1 Ensaio de Resistência à Compressão Axial	32
4.4.2 Ensaio de Vazão de Permeabilidade à Água	33
4.4.3 Ensaio de Resistência à Tração	33
4.4.4 Ensaio de Resistência à Abrasão	34

4.4.5 Ensaio de Resistência à Derrapagem	35
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	37
5.1 RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	37
5.2 RESULTADO ENSAIO DE VAZÃO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA	37
5.3 RESULTADO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	38
5.4 RESULTADO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO	38
5.5 RESULTADO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM	39
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resíduos sólidos prejudicando a drenagem urbana em São Paulo	13
Figura 2: Amostra de concreto permeável	19
Figura 3: Procedimento de lançamento do concreto permeável	23
Figura 4: Passagem de rolo de metal transversal sobre a lona para retenção de umidade	23
Figura 5: Pavimento permeável aplicado no porto de Itajaí-SC	26
Figura 6: Pesagem dos materiais	29
Figura 7: Preparo da amostra	30
Figura 8: Moldagem do Concreto Permeável no Corpo de Prova	30
Figura 9: Preenchimento dos Corpos de Prova	31
Figura 10: Corpo de prova	31
Figura 11: Prensa hidráulica SOLOCAP	32
Figura 12: Ensaio de Tração na Flexão	34
Figura 13: Ensaio de Tração na Flexão	34
Figura 14: Equipamento utilizado no teste de resistência à abrasão	35
Figura 15: Pêndulo Britânico	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumos e proporções típicas utilizadas nas misturas de concreto permeável	21
Tabela 2: Classificação da micro textura com o Pêndulo Britânico.....	36
Tabela 3: Resultado ensaio de resistência à compressão axial	37
Tabela 4: Resultado ensaio de vazão de permeabilidade à água	38
Tabela 5: Testes de tração à flexão do Hydromedia realizados 28 dias após a moldagem	38
Tabela 6: Desgaste WTAT	38
Tabela 7: Valor de resistência a derrapagem	39
Tabela 8: Valor de resistência a derrapagem	39

1 – INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acelerado, ocorrido no Brasil no fim do século XX, produziu impactos significativos sobre a qualidade de vida nas grandes metrópoles. As enchentes urbanas, uma das consequências deste processo, têm sido um dos principais problemas enfrentados pelos planejadores do meio ambiente urbano.

As cidades são normalmente instaladas próximas a cursos d'água, porém, as áreas mais próximas destes apresentam maiores riscos de inundação. Face a estes riscos o homem age sobre os cursos d'água de várias formas, desde modificando seus traçados até os canalizando ou cobrindo.

Um problema particular causado pelo desenvolvimento, que acomete as grandes cidades, são as inundações urbanas, causadas pela gestão deficiente dos escoamentos pluviais.

Com o aumento da urbanização, ocorreu uma gradual impermeabilização do solo, devido à construção de edifícios com calçadas impermeáveis, ligados por ruas pavimentadas. Essa alteração reduz seriamente a área de contato da água com o solo, dificultando ou impedindo a infiltração e aumentando os volumes do escoamento superficial das águas pluviais.

Polastre e Santos (2006) afirmam que o aumento das superfícies impermeáveis é um dos principais impactos que o desenvolvimento de uma área urbana provoca nos processos biológicos.

A interação dos homens com os cursos d'água e a necessidade de expansão das cidades com o crescimento da urbanização deu origem aos sistemas de drenagem. Estes evoluíram ao longo do tempo se tornando sistemas como conhecemos atualmente.

Dentre os sistemas de drenagem urbana têm-se os sistemas compensatórios ou alternativos de drenagem urbana, estes, baseiam-se na infiltração e retenção das águas precipitadas, acarretando uma diminuição no volume de escoamento superficial, bem como o rearranjo temporal das vazões. . Eles podem assumir múltiplas formas, podendo ser utilizados em diferentes escalas, desde pequenas parcelas, até o projeto de sistemas de drenagem para cidades inteiras, além de poderem ser facilmente integrados ao meio ambiente, permitindo usos diversos pela população, como áreas de estacionamento, áreas para a prática de esportes, áreas de parques ou de lazer inundáveis.

De acordo com os autores Acioli, Tucci e Suderhsa, os sistemas de drenagem e o processo de urbanização estão abaixo citados de acordo com seus pontos de vistas:

“Acioli (2005) afirma que 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 o fluxo das águas na bacia. O seu funcionamento tem base no rápido afastamento do excedente pluvial, que simplesmente encaminha o problema de um ponto da cidade (montante) a outro (jusante). As consequências disso são: aumento das vazões de pico, aumento do volume escoado, redução do tempo de escoamento e ocorrência 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 (2001) entende que, durante o processo de urbanização das grandes cidades, onde o solo natural foi substituído por concreto e asfalto, houve uma perda da infiltração natural das águas pluviais nesse solo. Para permitir o escoamento dessas águas foram construídos canais e tubulações, resultando em altos custos e em um considerável impacto sobre o meio ambiente. As dimensões necessárias para a drenagem dessas águas têm relação direta com a vazão e, conseqüentemente, há um alto custo nessas instalações, que aumenta à medida que o processo de impermeabilização continua. Para tentar reduzir esses custos, e evitar os impactos a essa questão, a melhor opção seria a criação de sistemas que permitissem que as águas pluviais se infiltrassem novamente no solo.”

“Suderhsa (2002, apud Acioli, 2005) afirma que, para se tentar reverter o quadro de problemas de drenagem, além de modernização da drenagem urbana, devem-se gerenciar as águas pluviais na fonte da geração do escoamento superficial, não mais encaminhando o problema para outro setor da cidade.”

O uso de pavimentos que possibilitam a infiltração de água para o solo não visa resolver o problema das enchentes, que muitas vezes são decorrentes da ocupação indevida das várzeas dos rios, mas sim colaborar para diminuir as inundações. Este tipo de estrutura irá colaborar com a evacuação das águas pluviais pela diminuição de áreas impermeáveis que aumentam em muito o acúmulo de águas na superfície e demandam a necessidade de enormes sistemas de escoamento que muitas vezes não são insuficientes ou sofrem problemas de entupimento vindo a resultar no fenômeno da inundação. Este tipo de pavimento, também colabora na reposição dos níveis de lençóis freáticos o que desperta a atenção de organizações de proteção ao meio ambiente.

Segundo Febestral, 2005:

“O princípio de funcionamento das estruturas de pavimentos permeáveis está fundado em três elementos. As águas decorrentes de chuvas são estocadas nos vazios dos blocos permeáveis e nos vazios da estrutura do pavimento que posteriormente se infiltram no solo do subleito em função de seu grau de permeabilidade e a quantidade de água que não se infiltra é evacuada por sistemas tradicionais de escoamento.”

O presente projeto propõe a utilização de um método com princípios diferentes do método tradicionalmente usado. Sendo que os métodos tradicionalmente usados para escoar as águas pluviais, tais como calhas, sarjetas, bocas de lobo e tubulações enterradas, não colaboram para uma gestão eficaz da questão das cheias, pois não resolvem a questão da falta de infiltração e terminam simplesmente transferindo o problema para a jusante (foz/baixadas). Já o método proposto neste projeto colabora para uma gestão eficaz da questão das cheias, sendo o método, o uso de concretos permeáveis, que são um tipo de pavimento altamente eficiente, que não só podem ajudar na infiltração, mas também atuar como reservatórios temporários de um considerável volume de água, por isso, considera-se que os mesmos podem ter um papel fundamental na gestão de águas pluviais.

A alta permeabilidade é, portanto, a principal razão porque esse material está sendo investigado e produzido nos dias atuais. Quando o concreto permeável é utilizado em pavimentação externa, a água da chuva pode infiltrar diretamente no solo, diminuindo a vazão que segue para o sistema de drenagem urbano. Além disso, a sua adoção também contribui para a manutenção dos aquíferos subterrâneos e à redução da velocidade e da quantidade do escoamento superficial dessas águas. E, por permitir a infiltração natural das águas pluviais, ele acaba contribuindo para um uso mais eficiente do solo, pois não são mais necessárias obras de drenagem, como pontos de retenção, valas, tubulações e outros mais.

Esse sistema de drenagem pode resolver o problema das enchentes urbanas, pois com seu alto poder de permeabilidade juntamente com um preparo adequado da superfície onde o mesmo ganha alta capacidade retenção de água diminuindo o volume pico das enchentes. Em casos onde a vazão da água for maior que a capacidade de infiltração do solo, pode se construir estruturas que armazenem a água por um período, até que passe o maior volume de precipitação com as mesmas sendo esvaziadas aos poucos, após o pico de vazão da bacia.

Outra grande característica que esse sistema nos proporciona é a não movimentação do lixo, pois nesse sistema não ocorrem fluxos de água que levariam esses resíduos até o leito dos rios, e entra também como um grande ponto positivo a filtragem natural da água da chuva, pois além do próprio pavimento poroso ter características filtrantes sua base é

confeccionada com matérias que são filtros naturais como a brita, assim evitando a contaminação dos solos e das águas dos rios.

Este concreto é de fácil manuseio, apesar de parecer complicado sua formulação e aplicação, pode facilmente ser dosado e aplicado por uma pessoal com poucas horas de treinamento, porém, deve estar ciente que sua relação água / cimento é o principal elemento para o melhor desempenho de permeabilidade.

O presente trabalho se justifica, devido à preocupação cada vez maior com o desenvolvimento sustentável e a preservação da qualidade ambiental, a mitigação dos impactos provocados pela ação antrópica se torna uma prioridade. Essa é uma obrigação de todas as áreas de conhecimento, mas tem eco especial na engenharia civil, que está associada aos grandes processos de transformação da natureza e produz a infraestrutura necessária para sustentar o desenvolvimento urbano.

É cada vez mais necessário buscar soluções inovadoras para manter o equilíbrio e usufruir dos recursos naturais e dos benefícios da civilização, reduzindo a agressão ao meio ambiente e os consequentes impactos na qualidade de vida nas cidades. Diante disso considera-se fundamental buscar novas formas de encarar o desafio drenagem.

A utilização do concreto permeável em vias de tráfego leve, revestimentos de pavimentos, parques, estacionamento, áreas urbanas e até em aeroportos tem crescido em todo o mundo, principalmente pelo fato desse concreto apresentar um bom desempenho quanto à resistência à derrapagem na superfície de um pavimento, que é muito importante do ponto de vista da segurança viária, principalmente na área aeroportuária, além de ser uma solução ecologicamente correta sob o ponto de vista do meio ambiente.

A prática desse tipo de aplicação no Brasil ainda está numa fase muito inicial, faltando aos projetistas um conhecimento adequado de seu comportamento e sua aplicação. É de extrema importância que haja estudos a cerca do concreto a ser estudado, uma vez que vem sendo utilizado em larga escala pelas diversas áreas da engenharia, aprofundando o conhecimento sobre o mesmo e comprovando sua viabilidade.

O presente trabalho abordou apenas um traço de concreto permeável com um tipo de agregado. O traço foi caracterizado pela resistência à compressão, permeabilidade e estudos de desgaste superficial. O estudo delimitou-se apenas ao estudo do concreto permeável, denominado Hydromedia, fornecido pela filial Lafarge Concreto SA da empresa CENTRAL BETON LTDA.

A tendência moderna na área de drenagem urbana é a busca da manutenção das condições de pré-desenvolvimento, atuando-se na fonte da geração do escoamento superficial. Para tanto, devem ser utilizados dispositivos de acréscimo de infiltração e de aumento do retardo do escoamento. Um tipo de dispositivo utilizado com este fim é o pavimento permeável, que é capaz de reduzir volumes de escoamento superficial e vazões de pico a níveis iguais ou até inferiores aos observados antes da urbanização. Como hipótese, de acordo com a revisão bibliográfica a utilização do concreto permeável na drenagem urbana é viável, comprovadamente através dos ensaios que serão realizados.

O objetivo geral deste estudo foi verificar a correlação entre as propriedades do concreto permeável utilizado na drenagem urbana e a funcionalidade do mesmo a fim de comprovar sua viabilidade técnica. E os objetivos específicos foram a Realização de ensaios para caracterizar um padrão viável para o concreto permeável; e a análise dos aspectos positivos e os resultados obtidos nos ensaios de laboratório do concreto permeável, integrando com os aspectos ambientais.

2 – DRENAGEM URBANA

Este capítulo detalha a questão da drenagem urbana, a sua situação atual, as consequências de tomadas de atitudes errôneas quanto a esta e a sua necessidade de mudanças, sobretudo quanto à impermeabilização do solo.

2.1 CONTEXTO DA DRENAGEM URBANA

Dados do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), do ano 2000, mostraram que o Brasil apresentava uma taxa de população urbana de aproximadamente 82%, próxima à saturação, sendo que 13 cidades já possuíam mais de um milhão de habitantes.

Segundo Popclock (2009) a população mundial de nossos tempos já é de 6.789.901.681 habitantes e deverá dobrar até o ano de 2100. Este crescimento populacional é altamente preocupante, principalmente se analisarmos a população urbana separadamente.

Segundo Fontes (2003) o processo de urbanização traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração, o que tem como consequência direta a ocorrência de inundações urbanas.

Os efeitos causados pela urbanização acentuada, que se iniciou na década de 50 foram, além das inundações, a deterioração da qualidade das águas dos meios receptores, levaram a uma reflexão sobre o conceito dos sistemas separativos de drenagem (Azzout, 1996).

O fato é que muitas cidades se desenvolveram ao longo dos rios, e o processo de urbanização se consolidou nas áreas ribeirinhas, que foram urbanizadas ou usadas, eventualmente, para abrigar redes arteriais de trânsito. A integração urbana através de avenidas de fundo de vale, associada à canalização dos rios urbanos, é uma estratégia perniciososa, pois destrói o sistema natural, estrangula o rio e desobedece a legislação florestal eliminando a área de proteção dos rios. Isto no final acaba comprometendo a qualidade de vida da população.

O problema se agrava pela deficiência na gestão da coleta e deposição final dos resíduos sólidos, questão crítica em áreas densamente povoadas. O lixo residencial em muitas cidades é depositado nas calçadas e fica aguardando a coleta. Se ocorrer uma chuva, o mesmo é carregado e bloqueia o sistema de drenagem conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1: Resíduos sólidos prejudicando a drenagem urbana em São Paulo
(Fonte: <http://4.bp.blogspot.com>)

Atualmente, inclusive no Brasil, a tendência é se considerar a bacia de drenagem como um todo, um sistema de forma global, onde o controle das águas urbanas de origem pluvial deve ser um processo permanente, a ser mantido pelas comunidades. O controle dos excedentes não deve ser visto como uma ação isolada seja no tempo ou no espaço, mas como uma atividade em que a sociedade, como um todo, deve participar de forma contínua (Tucci e Genz, 1995).

O problema é que as soluções até agora usadas para solucionar o quadro de sobrecarga das redes de escoamento pluvial não têm se mostrado eficientes, basicamente por que as ações corretivas que envolvem aumento da capacidade da rede de drenagem são muito dispendiosas para serem postas em prática ou apenas transferem o problema das águas pluviais de um ponto para outro, localizado à jusante, ou em outra bacia.

Para tanto é necessário desenvolver pesquisas voltadas para a busca de alternativas mais eficientes para controle dos escoamentos, evitando ou reduzindo as enchentes e alagamentos, e favorecendo o processo de infiltração. Segundo Agra (2001), isso implica, resumidamente, em tomar medidas para evitar que seja ampliada a cheia natural existente antes da ocupação da bacia e/ou para controlar as fontes de escoamento que geram o problema.

Para superar o desafio da drenagem urbana, vários autores, tal como Canholi (2005) e Tucci (2007) consideram que é necessário mudar o paradigma e começar a adotar, nos estudos de macrodrenagem, uma visão mais holística de gestão das águas, que considere toda a bacia envolvida e busque promover um equilíbrio entre a quantidade de água escoada e infiltrada.

Nessa nova abordagem o uso de pavimentos permeáveis acaba sendo uma importante contribuição. Os concretos permeáveis são um tipo de pavimento altamente eficiente, que não só podem ajudar na infiltração, mas também atuar como reservatórios temporários de um considerável volume de água. Por isso, considera-se que os mesmos podem ter um papel fundamental na gestão de águas pluviais.

2.1.1 Sistemas de drenagem urbana

2.1.1.1 Sistemas Clássicos

Os sistemas clássicos de drenagem urbana são inspirados nos princípios do higienismo. As águas pluviais são captadas e levadas a condutos artificiais, preferencialmente subterrâneos, funcionando por gravidade, sendo evacuadas das zonas urbanas e lançadas em corpos d'água rapidamente. Este tipo de sistema é caracterizado, portanto, pela implantação de condutos que promovem uma maior eficiência hidráulica do escoamento, que passa a ocorrer com maior velocidade.

Porém, os sistemas clássicos de drenagem apresentam inconveniências: com o aumento da velocidade do escoamento, as cheias são propagadas para jusante mais rapidamente e as áreas urbanas de montante causam inundações nas áreas de jusante. Além disso, estes sistemas não consideram os aspectos de qualidade das águas. Com o crescimento da ocupação das áreas de drenagem, estes sistemas apresentam falhas, provocando inundações. Para solucionar tais falhas, os sistemas têm as dimensões de suas canalizações ampliadas, por meio de obras onerosas.

2.1.1.2 Sistemas Compensatórios

Os sistemas compensatórios ou alternativos de drenagem urbana se opõem ao conceito de evacuação rápida das águas pluviais, baseiam-se na infiltração e retenção das águas precipitadas, acarretando uma diminuição no volume de escoamento superficial, bem como o rearranjo temporal das vazões. Quando adequadamente concebidos, eles podem exercer um importante papel na melhoria da qualidade das águas pluviais. Eles podem assumir múltiplas formas, podendo ser utilizados em diferentes escalas, desde pequenas parcelas, até o projeto de sistemas de drenagem para cidades inteiras, além de poderem ser facilmente integrados ao

meio ambiente, permitindo usos diversos pela população, como áreas de estacionamento, áreas para a prática de esportes, áreas de parques ou de lazer inundáveis.

Baptista (2001) classifica essas técnicas em três tipos distintos, segundo a forma de controle de vazões:

- Técnicas para controle na fonte: poços de infiltração, micro-reservatórios individuais, valas, valetas ou áreas de armazenamento e/ou infiltração, telhados armazenadores, etc.;
- Técnicas para controle nos sistemas viário e de drenagem: pavimentos porosos, valas e valetas de armazenamento e/ou infiltração, áreas de armazenamento em pátios ou estacionamentos, etc.;
- Técnicas para controle centralizado: Bacias de retenção e/ou infiltração.

Segundo Baptista e Nascimento (2001), estas tecnologias tomam a bacia hidrográfica como base de estudo, buscando compensar sistematicamente os efeitos da urbanização, controlando na fonte, a produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização, através de infiltração, e evitando a sua transferência rápida para jusante, através de estruturas de armazenamento temporário.

2.2 ASPECTOS NEGATIVOS RELACIONADOS À IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

Segundo a NBR 9575/2003, impermeabilização é o produto resultante de um conjunto de componentes e serviços que objetivam proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, de vapores e da umidade.

Picchi (1996) afirma que a impermeabilização é considerada um serviço especializado dentro da construção civil, sendo um setor que exige uma razoável experiência, no qual detalhes assumem um papel importante e onde a mínima falha, mesmo localizada, pode comprometer todo o serviço. Além disso, há a necessidade de acompanhamento da rápida evolução dos materiais e sistemas, o que propicia o surgimento de projetistas especializados.

Agra (2001) defende a idéia de que o fator determinante que agrava a questão da drenagem urbana é a impermeabilização do solo associada à ocupação urbana.

Através do intenso processo de urbanização das cidades brasileiras, principalmente na formação de regiões metropolitanas, têm-se gerado muitos problemas de infra-estrutura urbana, especialmente em relação à drenagem de águas pluviais. A causa dos problemas está

na impermeabilização do solo, desmatamento da vegetação, ocupação das várzeas, estruturação do sistema viário em vias de fundo de vale, erosão e assoreamento, lixo e poluição, retificação e canalização de rios, agravados ainda pela ausência de planos urbanísticos específicos, e que tem como consequência enchentes que geram impactos econômicos e sociais, em todas as atividades e funções da cidade, e principalmente a vida dos habitantes.

A impermeabilização do solo e o desmatamento da vegetação, resultante do desenvolvimento urbano, alteram as condições naturais de infiltração, diminuindo o atrito da água com o solo e aumentando a velocidade de escoamento, reduzindo o tempo que a água permanece na bacia e a evapotranspiração, e acrescentando o volume de água a ser escoado superficialmente, provocando também erosão (BARROS, 2004).

A concentração populacional nos centros urbanos e sua falta de planejamento, aliada a características como a impermeabilização do solo, conduz a diversos prejuízos ambientais como a poluição hídrica e atmosférica, alta geração de resíduos, perda de biodiversidade e redução da cobertura vegetal. Além destas, uma das principais consequências do processo de urbanização é a degradação do recurso solo, seu assoreamento e a ocorrência de erosão (FONTES, 2000).

O processo de impermeabilização do solo faz com que este perca a sua capacidade natural de infiltração. Onde antes as águas percolavam naturalmente no solo, são instalados elementos impermeáveis. Isso aumenta o volume de escoamento superficial e favorece o rápido transporte das águas para as áreas mais baixas, favorecendo a ocorrência de inundações.

A situação em países em desenvolvimento, como o Brasil, é muito preocupante porque o que se constata é que muitos Estados não possuem um bom sistema de coleta. Por outro lado, naqueles onde há sistema de coleta e transporte de resíduos, muitas vezes, estes não conseguem coletar toda a produção gerada. Deste modo, o que se observa é que os resíduos sólidos são depositados em locais muito próximos a córregos de água. Este material acaba obstruindo sistemas de drenagem, já bastante saturados com altas vazões de águas pluviais, por conta da impermeabilização urbana (Neves, 2006).

2.3. OPÇÕES PARA O CONTROLE DOS ESCOAMENTOS

Dentre as estratégias para promover uma maior infiltração destacam-se o uso de pavimentos permeáveis. Até hoje, no Brasil, os pavimentos permeáveis foram confeccionados

com elementos modulares (bloquetes ou placas), vazados ou não. Além disso, se tem registro de estudos sobre concretos asfálticos porosos como o de Acioli (2005).

A vantagem do concreto permeável, em relação às outras formas de implantação de pavimentos permeáveis, é que o mesmo não só permite a infiltração, como pode atuar como reservatório. Dado o grande índice de vazios, o material, em conjunto com uma base de brita, pode armazenar uma grande quantidade de água, colaborando para a redução do pico inicial de muitos eventos de enxurradas.

A infiltração é o processo de transferência do fluxo de água da superfície para o interior do solo segundo Pinto (2006). Para proporcionar uma boa infiltração é preciso considerar vários aspectos do solo, como a granulometria e o estado de umidade da camada superior do solo, também chamada de zona não saturada.

A capacidade de percolação, no caso dos sistemas de drenagem, é uma variável fundamental, que determina a velocidade com que as águas pluviais passam através da camada de solo, até alcançar o lençol freático, ou seja, a zona saturada. O estado de umidade da camada superior do solo e o tipo de solo também influenciam no processo de percolação das águas pluviais. Existem alguns tipos de solos, mais argilosos, onde a percolação das águas se processa com maior dificuldade.

Para garantir um bom processo de percolação das águas, é preciso que se tenha um solo adequado. A baixa permeabilidade do solo vai dificultar a infiltração, reduzindo a possibilidade de usar essa estratégia para controlar o escoamento superficial. Mesmo solos argilosos, quando secos, podem permitir bons índices de percolação. Mas, quando úmidos, os valores diminuem fortemente. Em solos arenosos, as chances de conseguir bons índices de percolação aumentam consideravelmente, se tornando a melhor opção para a instalação de dispositivos de infiltração.

Discutindo novas alternativas para as tradicionais técnicas de drenagem, Azzout et. al. (1994) também destacam a possibilidade de uso de pavimentos permeáveis, é neste contexto que esse trabalho de pesquisa se inseriu.

3 – CONCRETOS PERMEÁVEIS

O capítulo 3 explica as principais características da fabricação de concretos permeáveis tendo como base, principalmente, dados extraídos da literatura.

3.1 CONTEXTO HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO PERMEÁVEL

A tendência moderna na área de drenagem urbana é a busca da manutenção das condições de pré-desenvolvimento, atuando-se na fonte da geração do escoamento superficial. Para tanto, devem ser utilizados dispositivos de acréscimo de infiltração e de aumento do retardo do escoamento. Um tipo de dispositivo utilizado com este fim é o pavimento permeável, que é capaz de reduzir volumes de escoamento superficial e vazões de pico a níveis iguais ou até inferiores aos observados antes da urbanização (ARAÚJO et al., 2000).

O pavimento permeável é caracterizado por possuir elevada porosidade e boa drenabilidade, dependendo da sua composição. Devido a essa capacidade de deixar a água infiltrar através de sua estrutura porosa, a utilização dessas estruturas, quando corretamente projetadas e implantadas, pode influenciar significativamente nas vazões de pico que ocorrem durante eventos de chuva em determinado local.

O concreto permeável é um material composto por ligante hidráulico, material britado de graduação uniforme, água e pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo. Adicionalmente, pode-se utilizar uma combinação de diferentes tipos de adições e aditivos que possuem a finalidade de atribuir ao concreto melhor desempenho, durabilidade, resistência e trabalhabilidade.

Segundo Li (2009), o uso do concreto permeável teve início há mais de 150 anos, embora a sua real aplicação para as mais diversas finalidades somente veio a apresentar grande avanço há pouco mais de 20 anos, principalmente nos EUA. Recentemente, as pesquisas sobre o comportamento mecânico e hidráulico desse tipo de material se tornaram atrativas, uma vez que o concreto permeável pode apresentar bom desempenho e durabilidade quando utilizado como revestimento de pavimentos em áreas de veículos leves, o que, aliado a sua capacidade drenante, permite o seu emprego como equipamento urbano de mitigação dos níveis de impermeabilização intensificado pela urbanização das cidades.



Figura 2: Amostra de concreto permeável
(Fonte: <http://www.ecodesenvolvimento.org>)

O pavimento permeável, segundo Urbonas e Stahre (1993), citados por Acioli et al. (2003), é uma alternativa de dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob o pavimento.

O escoamento, segundo descrito em Araújo et al. (2000), infiltra-se rapidamente na capa ou revestimento poroso (espessura de 5 a 10 cm), passa por um filtro de agregados de 1,25 cm de diâmetro e espessura de aproximadamente 2,5 cm e vai para uma câmara ou reservatório de pedras mais profundo com agregados de 3,8 a 7,6 cm de diâmetro. A capa de revestimento permeável somente age como um conduto rápido para o escoamento chegar ao reservatório de pedras. Neste reservatório, o escoamento poderá então ser infiltrado para o subsolo ou ser coletado por tubos de drenagem e ser transportado para uma saída. Assim, a capacidade de armazenamento dos pavimentos porosos é determinada pela espessura do reservatório de pedras subterrâneo (mais o escoamento perdido por infiltração para o subsolo).

O uso dos pavimentos permeáveis, em um contexto geral, pode proporcionar uma redução dos volumes escoados e um aumento do tempo de resposta da bacia para condições similares ou até mesmo, dependendo das características do subsolo, condições melhores que as de pré-desenvolvimento, desde que sejam utilizados racionalmente, respeitando os seus limites físicos, e desde que sejam conservados periodicamente (trimestralmente) com uma manutenção preventiva, evitando assim o entupimento (ARAÚJO et al., 2000).

A utilização de uma pavimentação permeável reduz o volume de águas pluviais nas galerias reduzindo os impactos causados pelas enchentes, como perda de patrimônios em desmoronamentos, entre outros danos ambientais. Diante de problemas como estes, apresenta-

se o concreto permeável, um produto com alto índice de vazios interligados, preparado com cimento, brita e pouca areia, o que permite a passagem desobstruída de grande volume de água. Quando utilizado como pavimentação externa, captura a água da chuva e permite que ela infiltre diretamente no solo, aliviando assim o sistema público de drenagem.

O concreto permeável tem mostrado grandes benefícios na redução de escoamento de águas pluviais em locais de poucas superfícies permeáveis, por possuir propriedades e características que facilitam a vazão de água da chuva para os lençóis freáticos. Em locais como Chile e Estados Unidos, é bastante comum encontrar locais com grandes superfícies de concreto permeável, que levaram a uma brusca redução dos índices de enchentes registrados anteriormente à substituição dos concretos permeáveis.

O Concreto Permeável é uma substância desenvolvida a partir de uma mistura de concreto de alta qualidade. O material que compõe este concreto pode ser composto de várias substâncias combinadas e varia de acordo com o local e o objetivo a que se destina a utilização deste material.

Este concreto atende às exigências estruturais de resistência feitas para a pavimentação. A composição de maior resistência e mais eficaz que se tem conhecimento até os dias atuais possui a mesma composição base que a do concreto comum, o cimento. O que os diferencia nesta condição é a proporção utilizada de cimento em cada uma das substâncias. No concreto permeável, a relação água-cimento e granulometria dos agregados constituem uma mistura perfeita de elementos que proporcionam a permeabilidade, podendo ser aplicado facilmente em calçadas, meio-fio, estacionamentos, etc. Neste estudo também foram feitas pesquisas sobre o concreto permeável para estabelecer as principais diferenças entre este tipo de concreto e os demais utilizados.

3.2 COMPOSIÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL

O concreto permeável é produzido com os mesmos materiais utilizados na composição do concreto de cimento convencional, com a diferença de que a quantidade de agregados miúdos é muito reduzida, ou, na grande maioria das vezes, nula (ACI, 2006; TENNIS et al., 2004). As proporções utilizadas nas misturas de concreto permeável são geralmente muito mais restritas com relação as misturas de concreto de cimento convencional, sendo que normalmente é necessário um controle visual rigoroso na sua produção para que se consigam obter as características desejadas no produto final (TENNIS et al., 2004).

Para garantir a permeabilidade do concreto, Polastre e Santos (2006) mencionam que o concreto deve possuir um alto índice de vazios interligados, com pouca ou nenhuma porção de areia na sua composição, para permitir a percolação de grande quantidade de águas pluviais.

As proporções dos materiais variam dependendo dos tipos de insumos disponíveis no local de uso, sendo que o correto é sempre realizar experimentos e procedimentos de dosagem em laboratório, que servirão de subsídio para a melhor definição de tais proporções (dosagem racional). Na Tabela 1.1 são apresentadas faixas típicas de consumo e proporções de materiais utilizados nas misturas de concreto permeável.

A relação cimento/agregado e o procedimento de compactação ou adensamento a ser utilizado na produção de concretos permeáveis são os dois fatores mais importantes da mistura, que afetam diretamente as características mecânicas do material (ACI, 2006).

Tabela 1: Consumos 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
Relação agreg. miúdo/agreg. graúdo em massa	0 a 1:1

Os aditivos superplastificantes são também empregados com a finalidade de melhorar principalmente as características de trabalhabilidade e tempo de pega das misturas de concreto permeável.

Para a produção do concreto permeável é muito importante que se formem vazios interligados, fato fundamental para garantir a permeabilidade às águas pluviais. Por essa razão, na maioria das misturas, não se utiliza agregado miúdo (areia), sendo o concreto confeccionado apenas com água, cimento e agregado graúdo. Dessa forma se tem um material conglomerado, formado por partículas de agregado graúdo recobertas com uma camada razoavelmente espessa de cimento e água. Em alguns casos usam-se pequenas quantidades de areia para aumentar o volume da camada de recobrimento, sem aumentar o custo. Com essa estratégia geralmente se obtém um material com um índice de vazios entre 15 a 25%, e capacidade de percolação na ordem de 200 l/m²/min (ACI, 2006).

Huffman (2005) considera que um concreto permeável adequadamente dosado deve apresentar baixa densidade, ser incrivelmente permeável e apresentar boa capacidade estrutural.

O concreto permeável tem a sua densidade influenciada, diretamente, pelas propriedades e proporções dos materiais utilizados e na metodologia de compactação usada na sua aplicação. Em geral, encontram-se densidades na ordem de 1600 kg/m^3 a 2000 kg/m^3 e índices de vazios de 15 a 25%.

Segundo o ACI (2006), as misturas de concreto permeável normalmente tendem a desenvolver resistências de compressão na escala de 3,5 MPa a 28 MPa. Em média se obtém resistências da ordem de 25 MPa, segundo Polastre e Santos (2006). Ou seja, apesar do elevado índice de vazios, o contato entre os agregados graúdos que compõem o esqueleto do concreto permeável garante uma resistência razoável. A pasta ou argamassa de cimento, usada em pequenas quantidades, garante que os agregados permaneçam unidos, evitando o desmoronamento e dificultando a perda de material por abrasão.

3.3 EXECUÇÃO DE PISOS DE CONCRETO PERMEÁVEL

O método mais comum para lançamento do concreto permeável em pista é manual, com instalação de formas laterais. Este tipo de material, em função de não poder ser bombeado, e inicialmente descarregado por um caminhão, sendo que nesse caso é necessário o planejamento dos acessos a pista para os caminhões. Na sequência o material é espalhado manualmente no interior das formas. Como método de controle, cada carga do concreto permeável deve ser inspecionada visualmente para verificação da sua consistência e da condição de cobertura dos agregados. O controle da massa unitária da mistura se faz necessário para este tipo de material.

Para a compactação do concreto permeável tem-se dois métodos mais comuns utilizados na prática atual. No primeiro método, uma placa espaçadora de 2,5 a 5,0 cm é colocada no topo das formas e o concreto é então nivelado com auxílio de uma régua vibratória como pode ser observado na Figura 3. Em seguida, a placa é removida e a superfície é compactada com auxílio de um rolo de metal leve. O rolo de metal é também utilizado para finalizar a superfície na direção transversal ao pavimento (Figura 4).

O segundo método de compactação é a partir do uso de uma placa compactadora vibratória que normalmente é utilizada apenas para misturas contendo agregados de elevada angularidade (YOUNGS, 2005).

De maneira similar ao concreto convencional, as juntas são induzidas para controle de fissuração por retração, definindo a localização da ocorrência dessas fissuras na estrutura.



Figura 3: Procedimento de lançamento do concreto permeável
(Fonte: YOUNGS, 2005.)



Figura 4: Passagem de rolo de metal transversal sobre a lona para retenção de umidade
(Fonte: YOUNGS, 2005.)

A colocação do concreto permeável deve ser feita o mais rápido possível, pois, o concreto permeável tem pouco excesso de água na sua mistura. Durante o tempo que a mistura fica exposta no ar a mesma está perdendo água necessária para a cura. A secagem da pasta do cimento pode levar a uma falha na superfície do pavimento. Todas as operações de lançamento devem ser planejadas e todos os equipamentos necessários devem estar disponíveis para que se possa fazer uma rápida aplicação e compactação, sendo iniciada imediatamente a cura do pavimento.

3.4 BENEFÍCIOS DO USO DE CONCRETO PERMEÁVEL

O uso do concreto permeável reduz a necessidade de criar grandes poços de detenção, uma vez que o pavimento propriamente dito já age como uma área de detenção. Tal fato leva a custos menores de mão de obra, construção e manutenção, pois evita a necessidade de poços de detenção, encanamentos, drenos, e outros sistemas de drenagem de águas pluviais. Além disso, ao permitir o reabastecimento hídrico, o uso do concreto permeável ajuda a dispensar ou reduzir consideravelmente os sistemas de irrigação.

Em contrapartida ao alto investimento, em termos de espaço e custos, da implementação de sistemas de tratamento de águas pluviais, os pavimentos de concreto permeável podem ser utilizados tanto como elementos de pavimentação quanto de drenagem, o que aumenta seu valor econômico.

A principal vantagem da utilização deste tipo de estrutura para pavimentos urbanos, sem dúvida está voltada para a redução das inundações e enchentes. Mas, além desta, a utilização deste sistema apresenta outras vantagens, algumas delas são as seguintes:

- A água infiltrada até o subsolo abastece o lençol freático mantendo o aquífero subterrâneo;
- Ocorre redução da mistura das águas residuais com as águas de superfície, reduzindo a infiltração no solo das águas residuais antes de passarem por processos de tratamento. O volume de água a ser encaminhado para depuração também irá reduzir, permitindo realizar uma melhor depuração com menos gasto;
- A necessidade de evacuação das águas das chuvas é consideravelmente reduzida, o que permite diminuir o montante dos investimentos em sistemas superficiais de drenagem. No entanto, uma evacuação, mesmo reduzida, continua a ser necessária, a fim de poder garantir a evacuação das águas no caso de saturação do solo;

CIRIA (1996) lista as seguintes vantagens dos dispositivos de infiltração:

- A infiltração reduz o volume total de água que entraria na rede de drenagem, diminuindo o risco de inundação nos sistemas a jusante;
- Os dispositivos de infiltração podem ser usados onde não haja rede de drenagem que possa absorver o escoamento proveniente do empreendimento;
- Ao controlar o escoamento superficial na fonte, os dispositivos de infiltração reduzem os impactos hidrológicos da urbanização.

- Por não sobrecarregarem a rede de drenagem, os dispositivos de infiltração evitam o dispêndio com a ampliação da rede;
- A infiltração pode ser usada para aumentar a recarga do aquífero quando a qualidade do escoamento superficial não comprometer a qualidade da água subterrânea;
- A construção dos dispositivos de infiltração é normalmente simples e rápida;
- Os custos em toda a sua vida útil podem ser menores que em outros sistemas de drenagem.

Com relação especificamente aos pavimentos permeáveis cita-se as seguintes vantagens:

- Tratamento da água da chuva, através da remoção de poluentes;
- Diminuição da necessidade de meio-fio e canais de drenagem;
- Aumento da segurança e conforto em vias, pela diminuição de derrapagens e ruídos;
- É um dispositivo de drenagem que se integra completamente à obra, não necessitando de espaço exclusivo para o dispositivo.

3.5 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NO BRASIL

Knapton e Cook (2000) descrevem sobre a utilização do pavimento permeável em blocos de concreto para o Porto de Santos, no Brasil, que cobria uma área destinada ao depósito de contêineres com 132.000m². Foram utilizados blocos de concreto com espessura de 8,0cm e juntas de 6,0mm. A permeabilidade do colchão de areia foi determinada tendo em vista a capacidade de escoar uma chuva de 36,0mm/h. Outra experiência brasileira utilizando pavimentos permeáveis em blocos de concreto está sendo realizada no Porto de Itajaí, Santa Catarina (Figura 5).



Figura 5: Pavimento permeável aplicado no porto de Itajaí-SC (Revista Prisma, 2005).

A permeabilidade do pavimento, para os dois casos, é gerada pelas juntas de 6,0mm entre as peças, pela camada de regularização dos blocos e pelo material de preenchimento das juntas que é um pedrisco lavado com dimensão máxima entre 3,0mm e 6,0mm (Revista Prisma, 2005).

4 - PARTE EXPERIMENTAL

Este capítulo descreve os métodos e ensaios de laboratório desenvolvidos para atingir os objetivos propostos e ensaios utilizados nesta pesquisa e outras informações pertinentes sobre o desenvolvimento da mesma.

4.1 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS REALIZADAS

Neste trabalho os ensaios de compressão axial e vazão de permeabilidade foram realizados no laboratório da filial Lafarge Concreto SA / Manhuaçu – MG. Laboratório este, composto por equipamentos e aparelhagem necessária para a pesquisa. Já os ensaios de abrasão, derrapagem e tração à flexão foram disponibilizados pelo laboratório da matriz Lafarge Concreto AS / Belo Horizonte – MG, da empresa CENTRAL BETON LTDA, devido a impossibilidade de executá-los em tempo viável.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização da pesquisa foram moldados 6 (seis) corpos de prova cilíndricos 100x200 mm de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2003).

4.2.1 Cimento Portland CP III 40 RS

Foi utilizado para moldagem do corpo de prova este cimento, que tem com característica sua ação de “pega” mais lenta que os demais, ajudando no seu possível transporte para obra.

4.2.2 Agregado Graúdo

Foi utiliza Brita 0 (zero) com dimensões de 4,8 mm à 9,5 mm.

4.2.3 Água

A água usada na mistura do concreto é proveniente da rede pública de distribuição d de Manhuaçu, concessionária responsável SAAE.

4.3 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

Para a moldagem dos corpos de prova foi executado uma amostra de concreto permeável no traço de 1:4 com as quantidades de 6 kg de cimento, 27 kg de brita 0 (zero) e 5,4 litros de água, misturados a mão, valores estes, fornecidos pelo Laboratório Tecnológico da Lafarge Concreto SA .

Os equipamentos utilizados, constaram pá, enxada, carrinho de mão, balde 20 litros, vasilha metálica 800 ml, balança, colher de pedreiro, haste de ferro de 70 cm, concha e moldes metálicos cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm.

Inicialmente foi adicionada a uma bacia a quantidade em peso dos agregados, seguido pelo cimento. A água foi adicionada lentamente enquanto os materiais secos eram misturados manualmente. Após ser acrescentada toda a água, a mistura manual prosseguiu por mais três minutos, e a mistura ficou em repouso por aproximadamente um minuto, em seguida foram realizadas as etapas de Slump Teste e Moldagem dos Corpos de Prova, descritos abaixo.

4.3.1 SLUMP TESTE

Foi realizado o ensaio de abatimento *Slump Test* com procedimento padrão conforme NBR 10342, utilizando cone, funil, haste, concha e uma plataforma de ferro plana. Foram colocadas três camadas de concreto uma a uma e aplicado os vinte e cinco golpes em cada uma dessas camadas, após completo o procedimento dos golpes da terceira etapa, retiramos o cone entre o tempo de 08 à 12 segundos, assim conferimos o abatimento obtido com o procedimento.

4.3.2 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Procedida a conclusão da amostra, os moldes dos corpos de prova foram colocados em local plano e preenchidos com o concreto. Utilizou concha e colher de pedreiro, vibrou o molde com a haste de ferro. Executou 12 golpes, que é o procedimento padrão, e completou o restante do volume que abateu com a vibração.

Após a moldagem, os corpos de prova foram mantidos ao ar, em local seco e arejado, protegido da ação de chuva, para proceder a cura. No dia seguinte, os corpos de prova foram retirados do molde, ao sétimo e décimo quarto dia de cura, foi realizado o ensaios de compressão axial, ao vigésimo oitavo dia de cura os demais testes.

Cura ao ar é quando não é realizada a cura, ou seja, quando acontece cura ao ar do concreto, os cuidados tomados são mínimos de modo que o concreto fique exposto aos efeitos de temperatura e umidade do ambiente no qual esteja solicitado. No entanto, este procedimento pode trazer alguns efeitos danosos ao concreto, como problemas de fissura causados por retração (NEVILLE, 1997). Onde o mesmo não pode sofrer a ação da água, pois em contato direto com a água os desejados poros seriam em parte obstruídos e não atingiriam o resultado esperado da permeabilidade.

As Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 apresentam respectivamente, pesagem dos materiais, preparo da amostra, moldagem do concreto permeável no corpo de prova, preenchimento dos corpos de prova de prova e corpos de prova moldados para o estudo.



Figura 6: Pesagem dos materiais
(Fonte: Arquivo dos Pesquisadores)



Figura 7: Preparo da amostra
(Fonte: Arquivo dos Pesquisadores)



Figura 8: Moldagem do Concreto Permeável no Corpo de Prova
(Fonte: Arquivo dos Pesquisadores)



Figura 9: Preenchimento dos Corpos de Prova
(Fonte: Arquivo dos Pesquisadores)



Figura 10: Corpo de prova
(Fonte: Arquivo dos Pesquisadores)

4.4 ENSAIOS

4.4.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A resistência à compressão axial é considerada a propriedade mais importante do concreto. Os códigos nacionais e internacionais procuram associar as demais resistências e propriedades (BAUER, 1991).

Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados segundo os procedimentos da NBR 5739 (ABNT 2007), que prescreve o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão, os corpos de prova cilíndricos de concreto e moldados conforme NBR 5738 (ABNT 2003). A máquina para o ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos deve ser equipada com dois pratos de aço, de formato circular, cuja superfície de contato com o corpo de prova tenha sua menor dimensão em 4 % superior ao maior diâmetro do corpo de prova a ser ensaiado.

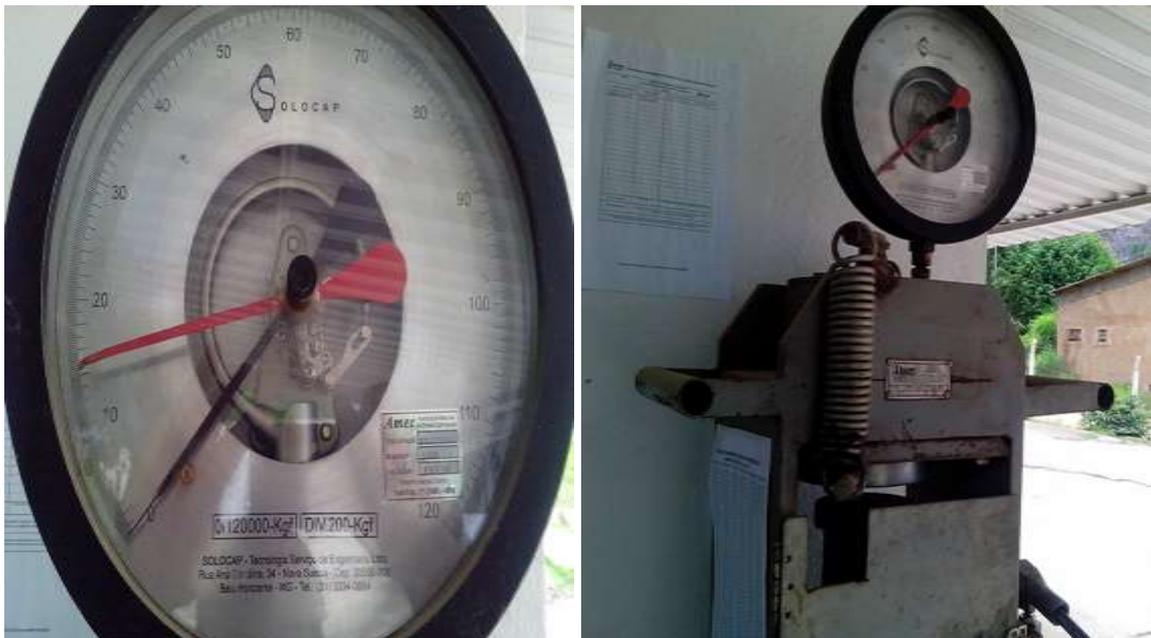


Figura 11: Prensa hidráulica SOLOCAP
(Fonte: Arquivo dos Pesquisadores)

Os ensaios foram realizados, em uma prensa hidráulica SOLOCAP, com capacidade de 120000Kgf aos 7, 14 e 28 dias. Após a coleta dos dados foram realizados os cálculos de resistência à compressão, com a média de três corpos de prova com o mesmo traço.

4.4.2 ENSAIO DE VAZÃO DE PERMEABILIDADE A ÁGUA

A capacidade de percolação da água ou as propriedades da drenagem de um concreto poroso são relacionadas com a porosidade comunicante. Para uma porosidade comunicante de 20% a 29%, o coeficiente de permeabilidade encontrado é aproximadamente 0,01 m/s.

O método utilizado para esse ensaio, foi de acordo com parâmetros do laboratório da Lafarge Concreto SA. Foi medida a altura da coluna de água que passa através do concreto permeável em uma determinada unidade de tempo. Foi possível calcular o volume de água passado por cada metro quadrado de pavimento. Utilizou um dos corpos de prova que já estavam moldados pra o teste, ele pode ser executado com varias formas e espessuras, desde que tenha dimensões conhecidas e seja possível vedar suas extremidades.

Para esse teste foi utilizado cano PVC 100 mm, com comprimento de 1m, borracha com 10 cm de comprimento e 10 cm de largura e espessura de 5mm, 2 abraçadeiras de 150 mm, tubo de silicone, tripé de sustentação, copo de dosagem, e uma bacia.

O ensaio começa com a colocação da faixa látex no corpo de prova, que é então colocado dentro do tubo intermediário, já conectado com o restante do conjunto a jusante. Em seguida se adiciona água, até saturar a amostra e eliminar todo o ar que tenha permanecido dentro do conjunto. Posteriormente, se coloca o cano PVC 100mm e se adiciona a lâmina d'água para o ensaio. Durante o ensaio, deve ser controlado o tempo (t) que a lâmina d'água demora para percolar pelo sistema.

Este procedimento deve ser repetido três vezes, sendo o tempo médio t_{med} usado como valor do tempo t para cálculo do valor do coeficiente de permeabilidade (k).

4.4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

Este teste mede a resistência do concreto permeável ao esforço de tração. O ensaio é realizado em corpos de prova de concreto prismáticos, de seção quadrada e apoiada em dois cutelos, com a aplicação de duas cargas iguais e simetricamente dispostas em relação ao meio do vão, esses corpos de prova são moldados segundo a NBR 5738 (2008). Como a distância dos pontos de carga é 1/3 do vão, o ensaio é qualificado como “carregamento nos terços”.

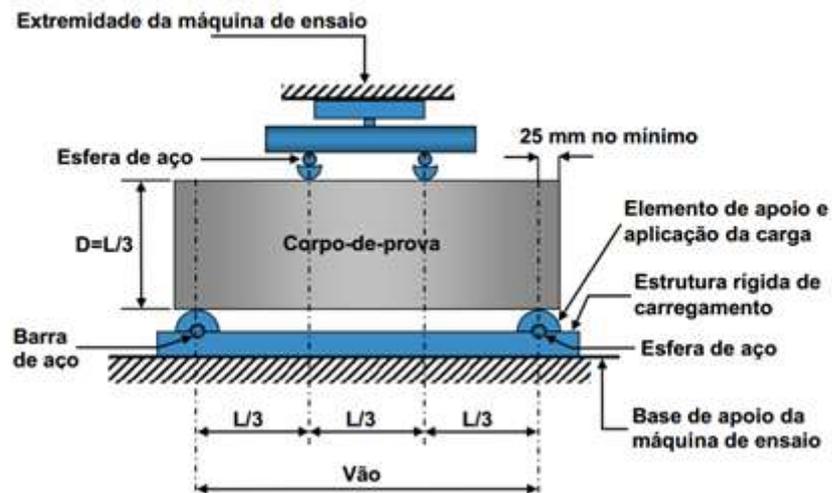


Figura 12: Ensaio de Tração na Flexão
(Metha e Monteiro, 2008)

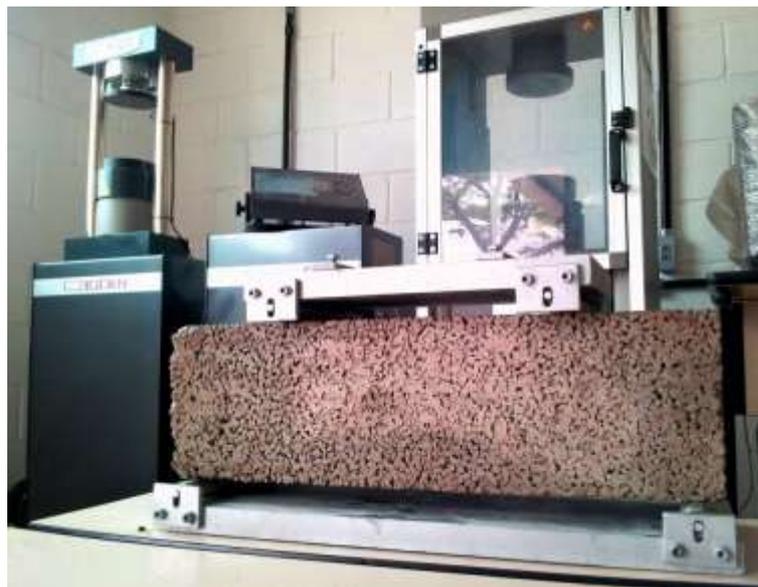


Figura 13: Ensaio de Tração na Flexão
(Lafarge Concreto, 2013)

O ensaio de tração foi realizado pelo laboratório da matriz Lafarge Concreto SA / Belo Horizonte – MG com o padrão exigido pela NBR 12142.

4.4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO

Este ensaio foi realizado na matriz Lafarge Concreto SA / Belo Horizonte, onde utilizaram como parâmetro o teste, Desgaste por Abrasão em Imerção WTAT (WET TRACK ABRASION TEST) – ISSA TB 100.

O teste mede o desgaste sofrido pelo Concreto Permeável, em uma condição de abrasão semelhante a que é propiciada pelos pneumáticos dos automóveis.



Figura 14: Equipamento utilizado no teste de resistência à abrasão
(Lafarge Concreto, 2013)

Como referência, o DENIT determina os seguintes limites para materiais usados em pavimentação:

- Lama Asfáltica (ES 150/10) < 800 g/m²
- Micro Revestimento (ES 035/05) < 538 g/m²

4.4.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM

Este ensaio foi realizado na matriz Lafarge Concreto SA / Belo Horizonte, onde utilizaram como parâmetro o teste, Valor De Resistência À Derrapagem Método Do Pêndulo Britânico – ASTM 303.

O pêndulo britânico é um equipamento portátil e sua utilização é especificada pelo método da ASTM E 303/93, podendo ser usado em laboratório e em ensaios de campo. Seu princípio de funcionamento baseia-se em um pêndulo padronizado com uma base de borracha, que é lançado em direção ao pavimento molhado simulando a passagem de um veículo a velocidade de 10 km/h, com o objetivo de medir-se a perda de energia por atrito da sapata de borracha do pêndulo quando esta desliza sobre a superfície do pavimento. O valor é expresso em BPN (*British Number Pendulum*) ou SRT (*Skip Resistent Test*).



Figura 15: Pêndulo Britânico
(Lafarge Concreto, 2013)

Tabela 2: Classificação da Micro textura com o Pêndulo Britânico (ABPv, 1999)

CLASSE	VRD - Valor de Resistência a Derrapagem
Perigosa	$VDR < 25$
Muito lisa	$25 \leq VRD \leq 31$
Lisa	$32 \leq VRD \leq 39$
Insuficientemente rugosa	$40 \leq VRD \leq 46$
Medianamente rugosa	$47 \leq VRD \leq 54$
Rugosa	$55 \leq VRD \leq 75$
Muito rugosa	$VRD > 75$

O teste determina um coeficiente que indica o risco de derrapagem de um veículo que trafega sobre o pavimento. Quanto maior este coeficiente, menor o risco, porque maior será o coeficiente de atrito longitudinal.

Nos ensaios de tração, derrapagem e abrasão os corpos de prova foram moldados pela próprio laboratório da Lafarge utilizando o mesmo traço dos demais.

5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

No capítulo 5 se apresentam e discutem os resultados obtidos, relativos aos estudos e testes a respeito do concreto permeável durante a pesquisa.

5.1 RESULTADO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

As misturas de concreto permeável podem desenvolver resistências de compressão axial na escala de 3.5 MPa a 28 MPa (ACI 2006).

Tabela 3: Resultado ensaio de resistência à compressão axial

Corpos de prova	7 dia			14 dias			28 dias		
	Tensão de ruptura (Kgf)	fck (MPa)	fck Médio (MPa)	Tensão de ruptura (Kgf)	fck (MPa)	fck Médio (MPa)	Tensão de ruptura (Kgf)	fck (MPa)	fck Médio (MPa)
1	6600	8,4	7,8	10100	12,8	12,7	15600	19,8	19,7
2	5800	7,3		10300	13,1		15100	19,2	
3	6100	7,7		9600	12,2		15800	20,1	

Onde fck: Resistência à compressão característica do concreto.

Os valores encontrados nos testes encontram – se dentro do padrão de resistência esperado do concreto permeável.

5.2 RESULTADO ENSAIO DE VAZÃO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA

A densidade do concreto permeável depende das propriedades e das proporções dos materiais usados e dos procedimentos de compactação usados em sua aplicação. Em geral, encontram-se densidades na ordem de 1600 kg/m³ a 2000 kg/m³ e índices de vazios de 15 a 25%.

As taxas de fluxo típicas para a água através do concreto permeável são de 120L/m² /min (2 mm/s) a 320 L/m² /min (5,4 mm/s).

Tabela 4: Resultado ensaio de vazão de permeabilidade à água

Teste	Massa (kg)	Tempo(s)	Litros/segundo	Media (L/min)	Vazão (L/m ² /min)
1	10,7	60	2,2	2,05	261
2	11,1	60	1,9		
3	10,9	60	2,05		

As taxas de fluxo típicas para a água através do concreto permeável são de 120L/m²/min (2 mm/s) a 320 L/m²/min (5,4 mm/s). ou seja o concreto está dentro dos padrões do aceitáveis do concreto permeável.

5.3 RESULTADO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Tabela 5: Testes de Tração à Flexão do Hydromedia realizados 28 dias após a moldagem

Teste	Corpo de Prova	Tensão de Ruptura (MPa)	fct Teste (MPa)	fct Médio (MPa)	fct,k (MPa)
1	A	3,2	3,2	3,0	2
	B	3,1			
2	A	2,8	2,8		
	B	2,6			

A tabela acima resume o resultado do teste, é uma resistência com padrões aceitáveis considerando as recomendações da NBR-6118.

5.4 RESULTADO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO

Tabela 6: Desgaste WTAT

Massa da Amostra (g)			Tempo (seg)	Área (m ²)	Desgaste (g/m ²)
Inicial	Final	Diferença			
5570	5570	0,0	120	0,45	0,00

A tabela acima resume o resultado do teste como pode-se ver o desgaste do concreto foi o melhor possível.

5.5 RESULTADO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM

Tabela 7: Valor de resistência à derrapagem

Série	Ensaio			Média
	1.º	2.º	3.º	
1	52	51	52	52
2	52	52	53	52
3	54	53	54	54
4	52	51	52	52
5	50	52	51	51
6	54	54	43	50
7	54	53	53	53
8	52	52	51	52
9	54	54	53	54
10	54	54	53	54
VRD MÉDIO				52

Tabela 8: Valor de resistência a derrapagem

VRD	Coef. Atrito longitud. CAL	Macro Textura	Resistência à Derrapagem	Grupo
47 a 64	0,45 a 0,51	Média	Médianamente Rugosa	5

A tabela acima resume o resultado do teste, comparando – se com a tabela 2 o concreto alcançou a terceira maior classificação, classificação que só é alcançada por alguns tipos de asfalto que na sua maior parte alcançam a classe dos insuficientes rugosos.

6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo contém as conclusões que podem ser extraídas do presente trabalho.

O concreto permeável mostrou - se durante os testes executados acima, um material com as características necessárias para atuar como agente auto-drenante em sistemas de drenagem urbana, com base nesses testes podem-se tirar as seguintes conclusões.

O concreto permeável possui resistência à compressão na ordem dos 20 MPa mantendo características de permeabilidade satisfatórias.

Seu custo é baixo tornando possível o uso em grande escala do produto

E um material com alto coeficiente de derrapagem, visto que quanto maior o coeficiente maior o de atrito longitudinal e menor o risco de derrapagem.

Sua resistência à tração é baixa como no concreto tradicional, o que impossibilita a execução do mesmo para pavimento com tráfego pesado, pois o mesmo não comporta adição de armaduras.

Além de ser um material com variedade de composições estéticas o concreto permeável, tem capacidade técnicas, que pode em muitos casos solucionar os problemas causados pelas enchentes urbanas. Uma solução técnica viável que agrega ao meio urbano características perdidas com o crescimento das cidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, L. A. et al. **Implantação de um módulo experimental para a análise da eficiência de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial na fonte.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15., 2003, Curitiba. Anais. Curitiba: ABRH, 2003.

ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte.** Porto Alegre, UFRGS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Março / 2005.

AGRA, S.G. **Estudo Experimental de Microrreervatórios para Controle do Escoamento Superficial.** Porto Alegre, UFRGS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2001.

ARAÚJO, P. R. et al. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial.** RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. v. 5, n. 3, jul/set 2000.

Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem. Disponível em: <http://www.abesc.org.br/>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575 - Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2003.

ABPv – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. Informativo técnico sobre avaliação da resistência à derrapagem através de aparelhagem portátil. *Boletim Técnico*, Rio de Janeiro, n. 18, 1999.

AZZOUT, Y. Aide a la décision appliquée au choix des techniques alternatives en assainissement pluvial. 1996. 245 p. (Thèse de Doctorat en Méthodes de conception en aménagement, bâtiment et techniques urbaines) – Institut National de Sciences Appliqués, Lyon, 1996.

BARROS, Mario Thadeu Leme de. **A questão da água nas grandes cidades brasileiras**. São Paulo: EPUSP, 2004.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. **O contexto da drenagem urbana**. . Belo Horizonte: Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos. Editora S/A, 1995.

B. L. Liborio, A. L. Castro, F. G. Silva, V. M. Silva, Proc. **IV High Performance Concrete Structures - IV ACI/ CANMET Conf. Quality of Concrete Structures and Recent Advances in Concrete Materials and Testing**. Olinda, PE (2005).

FEBESTRAL. **Les Revêtements Drainantss**. Disponível em: <http://www.febe-febestral.be>. Acesso em: Março 2013.

FIGUEIREDO, A.D. ; DJANIKIAN, J.G. ; HELENE, P.R.L. ; SELMO, S.M.S. ; JOHN, V.M. **Concretos especiais**. São Paulo, Escola Politécnica – USP. 2006.

FONTES; A. R. M.; BARBASSA, A. P. **Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbana**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 8, n.2, abr/jun 2003.

FONTES, Andréa Regina Martins. **Estudo analítico da morfologia urbana no processo de urbanização visando o planejamento do sistema de drenagem na cidade de São Carlos**. São Carlos: UFSCar, 2000.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Sistema de Indicadores de Percepção Social. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: Agosto 2013.

NEVES, M.G.F. **Quantificação de resíduos sólidos na drenagem urbana**. UFRGS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre. 2006.

P.-C. Aïtcin, **Cements of yesterday and today; concrete of tomorrow**, *Cem. Concr. Res.* **30**, 9 (2000) 1349-1359.

P.-C. Aïtcin, "**Concreto de alto desempenho**". Trad.: G. G.Serra, PINI, S. Paulo, SP (2000).

PETRUCCI, Eladio Geraldo Requião; PAULON, Vladimir Antonio. **Concreto de cimento Portland. 14.** Ed Porto Alegre: Globo, 2005.

PICCHI, F.A. **Impermeabilização de coberturas.** São Paulo: Editora Pini, 1996.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos: com exercícios resolvidos : em 16 aulas.** 3ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

POLASTRE, B. e SANTOS, L.D. 2006. **Concreto Permeável.** Disponível em: <http://www.usp.br>. Acesso em: Agosto de 2013.

POPCLOCK: estimativa da população. 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: set. de 2013.

SUDERHSA, 2002. **Manual de drenagem urbana – Região metropolitana de Curitiba/PR.**

TARTUCE, R. GIOVANNETTI, E., **Princípios Básicos sobre concreto de cimento Portland.** São Paulo: PINI, 1990.

TUCCI, C.E.M. 1993b. Controle de enchentes. In: TUCCI, C.E.M. (Org) **Hidrologia: Ciência e aplicações.** Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS: ABRH: EDUSP. 2001.

TUCCI, C.E.M.; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana.** Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. n°5, cap.7.