



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

José Manuel Carlos Garcia Filho

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PERMEÁVEL EM
ESTACIONAMENTOS NA REDUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Palmas – TO

2019

José Manuel Carlos Garcia Filho

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PERMEÁVEL EM
ESTACIONAMENTOS NA REDUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Denis Cardoso Parente.

Palmas – TO

2019

José Manuel Carlos Garcia Filho

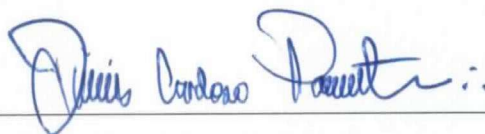
ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PERMEÁVEL EM
ESTACIONAMENTOS NA REDUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Msc. Esp. Denis Parente Cardoso.

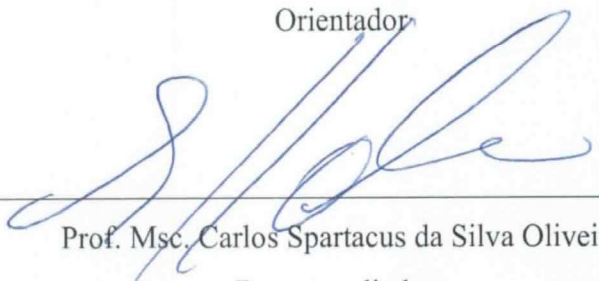
Aprovado em: 12 / 11 / 2019

BANCA EXAMINADORA



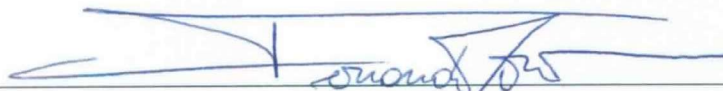
Prof. Msc. Dênis Cardoso Parente

Orientador



Prof. Msc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Banca avaliadora



Prof. Msc. Fernando Moreno Suarte Júnior

Banca avaliadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

Dedico este trabalho sempre a Deus por me iluminar cada dia, possibilitando adquirir conhecimento e me habilitar como graduando em Engenharia Civil, em seguida dedico aos meus pais, que sempre em toda e qualquer dificuldade estão ao meu lado me apoiando e me direcionando o melhor caminho a trilhar.

AGRADECIMENTOS

À Deus por minha saúde, força e perseverança de superar todos os obstáculos.

Agradeço ao meus pais e meus irmãos por me apoiarem em minhas decisões, e me possibilitarem realizar essa conquista, mesmo com todas dificuldades, e acontecimentos que surgiram durante esses anos de graduação, se mantiveram com os pés no chão e se hoje estou aqui é graças a eles.

Agradeço a minha noiva Pabline Bessa que é uma das pessoas mais especiais que eu tenho e sempre esteve ao meu lado me apoiando apesar de todas as dificuldades.

Agradeço aos meus amigos Emerson Silva, Gabriel Avelino, e Pablo Teixeira, José Luiz, Salomão Arraes, Diego Araujo, João Noletto que em momentos me ajudaram e apoiaram na execução desta pesquisa.

Agradeço ao meu orientador Dênis Parente, que de fato sem o seu conhecimento, e seus direcionamentos, seria incapaz de realizar esta pesquisa.

“O engenheiro deve estudar todo dia, o dia todo.”

Carlos Spartacus

RESUMO

Com o desenvolvimento dos centros urbanos, e crescimento acelerado das cidades sem planejamento, acarretam impactos no meio ambiente. O grande problema desse crescimento é a impermeabilidade do solo devido as vias públicas e construções. O presente trabalho apresenta uma tecnologia inovadora que é atualmente bem utilizada em países da Europa, sendo capaz de amenizar esses efeitos no sistema de drenagem convencional.

A metodologia baseia-se em pesquisas bibliográficas que envolvem os elementos do pavimento de concreto permeável, onde é definido um traço de execução para que suas características permeáveis e mecânicas atendam as recomendações da norma, também realizado a substituição de agregado graúdo por agregado miúdo na mistura, para verificar se há aumento em sua resistência mecânica sem interferir na característica de condutor hidráulico.

Outro fator analisado pelo presente trabalho é utilização deste material em estacionamentos, e para isso utilizando o estacionamento do CEULP/ULBRA como modelo, onde através de parâmetros realizamos um comparativo das vazões geradas por escoamento superficial no pavimento, e foi constatado que a utilização do pavimento reduzir significativamente o acúmulo de água no sistema de drenagem convencional.

Palavras-chave: Concreto permeável, permeabilidade, resistência.

ABSTRACT

With the development of urban centers, and the rapid growth of unplanned cities, impacts on the environment. The major problem with this growth is the impermeability of the soil due to public roads and constructions. The present work presents an innovative technology that is currently well used in European countries, being able to mitigate these effects in the conventional drainage system.

The methodology is based on bibliographic research involving the elements of the permeable concrete pavement, where an execution trace is defined so that its permeable and mechanical characteristics meet the recommendations of the standard. , to check if there is an increase in its mechanical resistance without interfering with the hydraulic conductor characteristic.

Another factor analyzed by the present work is the use of this material in parking lots, and for this purpose using the CEULP / ULBRA parking as a model, where through parameters we make a comparison of the flow generated by the surface runoff, and it was found that the use of the floor significantly reduce water accumulation in the conventional drainage system.

Keywords: Permeable concrete, permeability, resistance.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CP	Cimento Portland
CRMCA	Colorado Ready Mixed Concrete Association
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
K	Coefficiente de permeabilidade
NBR	Norma Brasileira
NM	Normas Mercosul
NRMCA	National Ready Mix Concrete Association
PA	Pensilvânia
PSMB	Plano Municipal de Saneamento Básico
Tr	Tempo de Retorno
Td	Tempo de duração
TO	Tocantins
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USA	Estados Unidos da América
TR	Traço Referência
T5	Traço 5% de substituição
TSS	Tratamento superficial simples
CP's	Corpo de prova

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocorrências de alagamentos e inundações em Palmas	23
Figura 2 - Estacionamento do CEULP/ULBRA.....	23
Figura 3 - Pavimento com junta alargada de concreto intertravado	26
Figura 4 - Pavimento com áreas vazadas	26
Figura 5 - Pavimento de concreto poroso	27
Figura 6 - Perfil de infiltração de blocos de concreto poroso.....	30
Figura 7 - Estacionamento CEULP/ULBRA.....	36
Figura 8 - Série de peneiras	39
Figura 9 - Concreto vedado lateralmente	47
Figura 10 - Exemplo do permeâmetro que foi utilizado.....	47
Figura 11 - Análise visual do concreto	51
Figura 12 - Verificação tátil visual	52
Figura 13 - Slump Traço Referência	53
Figura 14 - Slump traço 5%.....	53
Figura 15 - Corpos de prova após a moldagem	54
Figura 16 – Boas condições de porosidade no traço referência	55
Figura 17 - Início de colmatação traço de substituição	55
Figura 18 - Capeamento do corpo de prova	56
Figura 19 - CP's com ruptura cisalhada lateral	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de Runoff (c).....	19
Tabela 2 - Determinação do coeficiente de permeabilidade dos solos.....	20
Tabela 3 - Pontos críticos de alagamentos.....	22
Tabela 4 - Comparação entre tipos de pavimento	25
Tabela 5 - Quantitativos dos componentes do concreto poroso	29
Tabela 6 - Coeficiente de escoamento superficial	33
Tabela 7 - Resistência a compressão e características.....	35
Tabela 8 - Massa específica do cimento.....	38
Tabela 9 - Início e fim de pega.....	38
Tabela 10 - Massa específica do agregado miúdo.....	40
Tabela 11 - Módulo de Finura	41
Tabela 12 - Massa unitária agregado miúdo.....	42
Tabela 13 - Massa unitária do agregado graúdo.....	43
Tabela 14 - Massa específica do agregado graúdo	44
Tabela 15 - Consumo de materiais para traço referência	50
Tabela 16 - Consumo de materiais para o traço 5 % de subs.	50
Tabela 17 - Massa específica do concreto fresco	51
Tabela 18 - Resistência a compressão axial	57
Tabela 19 - Escoamento superficial do TSS.....	62
Tabela 20 - Escoamento superficial do concreto permeável	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Período de retorno para diferentes áreas	21
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens do concreto permeável	31
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens do concreto permeável	32
Quadro 4 - Determinação do coeficiente de permeabilidade	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Zona utilizável do agregado Miúdo	40
Gráfico 2 - Zona utilizável do agregado graúdo.....	43
Gráfico 3 - Médias de resistência a compressão axial.....	57
Gráfico 4 - Coeficiente de Permeabilidade TR	59
Gráfico 5 - Coeficiente de permeabilidade T5	59
Gráfico 6 - Coeficiente de permeabilidade médio.....	60
Gráfico 7 - Curva IDF	61
Gráfico 8 - Diferença de vazões de contribuição	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	<i>Geral</i>	15
1.1.2	<i>Específicos</i>	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	DRENAGEM PLUVIAL.....	17
2.1.1	<i>Sistemas de drenagem pluvial</i>	18
2.1.2	<i>Projetos de drenagem pluvial</i>	18
2.2	ALAGAMENTOS EM PALMAS.....	21
2.3	PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	24
2.3.1	<i>Tipos de pavimentos permeáveis</i>	25
2.3.2	<i>Concreto Permeável</i>	27
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	APRESENTAÇÃO DO LOCAL	36
3.1.1	<i>Precipitações locais</i>	37
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	37
3.2.1	<i>Aglomerante</i>	37
3.2.2	<i>Agregado miúdo</i>	39
3.2.3	<i>Agregado graúdo</i>	42
3.3	DOSAGEM DO CONCRETO.....	44
3.4	MOLDAGEM DOS CP'S.....	45
3.4.1	<i>Massa específica no estado fresco</i>	46
3.4.2	<i>Slump test</i>	46
3.5	PERMEABILIDADE DO CONCRETO.....	46
3.6	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	48
3.7	DETERMINAÇÃO DA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO NO PAVIMENTO	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
4.1	CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO.....	50
4.1.1	<i>Definição de traços</i>	50

4.1.2	<i>Execução do concreto</i>	51
4.1.3	<i>Slump</i>	52
4.1.4	<i>Moldagem dos CP's</i>	54
4.1.5	<i>Resistência à Compressão</i>	56
4.1.6	<i>Permeabilidade do concreto</i>	59
4.2	PRECIPITAÇÕES EM PALMAS.....	60
4.3	ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	62
4.3.1	<i>Pavimento existente</i>	62
4.3.2	<i>Pavimento de concreto permeável</i>	62
4.3.3	<i>Comparativo de vazões</i>	63
5	CONCLUSÃO.....	65
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	66
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1 INTRODUÇÃO

O processo de crescimento da urbanização vem acontecendo de maneira acelerada, no fim do século XX, produziu impactos expressivos sobre a qualidade de vida nos grandes centros metropolitanos brasileiros. As inundações urbanas, têm sido uma das principais dificuldades encaradas pelos planejadores do meio ambiente urbano (BOTTEON, 2017).

Um dos fatores da elevação das ocorrências de enchentes, podemos citar os problemas de planejamento de drenagem, aumento da ocupação dos solos urbanos, assim aumentando as áreas de impermeabilização do solo, telhados, estacionamentos, vias urbanas e até mesmo calçadas modificam o ciclo natural hidrológico.

Os sistemas de convencionais de drenagem, foram desenvolvidos com o princípio e direcionar a água acumulada pelas precipitações de forma efetiva para a jusante. Este modelo usualmente transfere todo acúmulo de água para um ponto na bacia hidrográfica.

A busca por novas tecnologias na drenagem urbana tem se tornado evidente, principalmente tecnologias que priorizem o aumento da infiltração do solo, assim diminuindo o escoamento superficial. Uma tecnologia que vem sendo bastante abordada, é a utilização de pavimentos permeáveis, que são capazes de diminuir o volume de escoamento superficial em relação aos pavimentos tradicionais, aumentando a infiltração de água no solo, reabastecendo o lençol freático e assim direcionando a água para seu ciclo natural.

O conceito de pavimento permeável foi desenvolvido em 1970, no Franklin Institute na Filadélfia, PA, USA (TOMAZ, 2009). O conceito constituía uma alternativa mais confiável e confortável para as estações chuvosas, e permitia a diminuição do nível de ruídos e a poluição sonora nos grandes centros urbanos.

Em 1978 com o surgimento do “*Ministère de l’Équipement*” criado na França, o pavimento permeável se destacou em meio a outras soluções estudadas para os problemas de enchentes, e tudo isso ocasionado pela sua facilidade de integração com os meios urbanos. No início dos anos 2000 houve a ascensão do material que veio para contribuir com a tecnologia construtiva na redução do escoamento superficial e reduzir o risco de enchentes e alagamentos, se firmando no mercado mundial.

No Brasil em 2007 a Associação Brasileira de Cimento; começou a utilizar o concreto permeável em pavimentos como forma de pesquisa para solucionar problemas relacionados a impermeabilização dos solos em grandes cidades. Ainda assim verifica-se o predomínio de técnicas convencionais de drenagem com a transferência do escoamento para pontos de jusante na bacia.

De acordo com estudos em 2009 um estacionamento de 1600m² foi utilizado como projeto de estudo de uma Universidade de São Paulo, sendo pavimentado metade com asfalto permeável, e o restante com blocos intertravados de concreto permeável, comprovando a eficiência de absorção e colaborando para o desenvolvimento d procedimento de concreto permeável.

Em 2015 surgiu uma norma que regulamenta as condições mínimas para projeto, especificando, executando e realizando manutenção de diversos tipos de pavimentos permeáveis de concreto a NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e Procedimentos, assim assegurando qualidade na utilização deste método no país.

Com o passar do tempo o concreto permeável vem se estabelecendo como um excelente recurso para problemas relacionados a drenagem dos grandes centros urbanos, apresentando diferentes benefícios com relação aos sistemas clássicos de drenagem.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

O presente estudo tem como objetivo avaliar o impacto gerado pela aplicação do concreto permeável para o sistema de drenagem pluvial no estacionamento do CEULP/ULBRA.

1.1.2 Específicos

- Estabelecer parâmetros para o traço de concreto usado em peças para piso permeável;
- Analisar através de ensaio a característica hidráulica (coeficiente de infiltração) e estrutural (resistência) do pavimento em concreto;
- Comparar a diferença de vazões da área de contribuição entre peças de pavimento permeável e o pavimento existente no estacionamento do CEULP/ULBRA;

1.2 JUSTIFICATIVA

A construção civil é um dos segmentos das indústrias que causa maior impacto no meio ambiente, como também uma das principais atividades para o desenvolvimento econômico e social de uma cidade.

O concreto permeável possibilita a interação entre sustentabilidade e desenvolvimento, simplificando o problema gerado por uma urbanização descontrolada, reduzindo os impactos da impermeabilização do solo.

Analisando a situação de Palmas - TO onde a drenagem urbana apresenta uma série de problemas, ocorrendo alagamentos em períodos chuvosos devido ao grande volume de escoamento superficial gerado pelas largas faixas de rolamento e estacionamentos públicos e privados.

Em decorrência destes problemas o presente estudo foi voltado para o estacionamento do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, onde a utilização do concreto permeável será analisada como uma medida de redução do escoamento superficial.

Apesar de não ser uma nova tecnologia, o seu uso é primário e são insuficientes as pesquisas sobre sua utilização, o que releva o empenho por um conhecimento mais específico sobre ao assunto. A carência de informação sobre o tema possibilita uma ampla probabilidade de pesquisas posteriores, e com grande clareza se tornando um tópico de grande relevância na Engenharia Civil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DRENAGEM PLUVIAL

A drenagem urbana representa a prática de solucionar os problemas gerados pelas águas pluviais nas cidades, drenando os volumes gerados pelas precipitações o mais rápido possível para a jusante (LARENTIS, 2017).

Segundo (PINTO; PINHEIRO, 2006), os métodos de drenagem pluvial urbana são atenuadores de enchentes e inundações, que são acontecimentos naturais nas beiras dos rios, e todos os rios atingem determinada época do ano seus picos de cheias, inundando suas margens assim se tornando um problema para cidades que cresceram e invadiram os limites de suas encostas naturais, ocupando suas margens dos rios e córregos.

Segundo (PINTO; PINHEIRO, 2006), o crescimento urbano só é concebido através de componentes que possibilitem reduzir riscos das inundações, assim é primordial que o sistema de drenagem seja capaz de realizar a coleta e transporte, realizando o despejo de toda água superficial, abrangendo a hidrografia original e os talvegues.

O século XX foi marcado pela mudança na vida da população brasileira, sendo que a maior parte da população rural se deslocou para os centros urbanos buscando por melhorias de vida e novas oportunidades. Nesse período ocorreu uma urbanização descontrolada e de forma muito acelerada, na qual os centros urbanos não estavam preparados, não havendo qualquer planejamento ou preparação no saneamento básico destes locais, ocasionando enchentes e inundações, como também poluição física e sonora, entre diversos outros (BATEZINI, 2013).

Para (FERNANDES, 2002), conforme citado por (MULLER, 2017, p 19) a carência de planejamento de um sistema de drenagem urbano, que não é realizado desde o princípio da cidade, ao ser idealizado é frequentemente de elevado custo e muitas das vezes é plausível que esse sistema seja deficiente, não solucionando os problemas já existentes.

Para (BOTELHO, 2011 apud MULLER, 2017, p.19) um sistema de drenagem bem projetado e eficiente, evita problemas ambientais como erosões, desbarrancamentos, escoamento superficial de alta velocidade sobre as pavimentações, assoreamento dos córregos, entre outros.

Ainda conforme (BOTELHO, 2011 apud MULLER, 2017, p.19) existem três tipos de urbanização, relacionando com a drenagem :

“a) Ter um projeto que respeite a topografia do terreno, e corrija pouco do curso natural da água;

b) Ter um projeto que não atenda as características naturais da área, mas faz-se cuidadosas obras de proteção, como muros de arrimo, complexo sistema pluvial, levando a um projeto de maiores custos;

c) E, a mais utilizada, um projeto sem atender a topografia do terreno, mas sem maiores obras de contenção. Ao fazer um projeto de drenagem pluvial, deve-se levar em conta a topografia e a geologia da área, o tipo de ruas que será implementada, a proteção contra erosões, entre outros”.

2.1.1 Sistemas de drenagem pluvial

Para (FERNANDES, 2002 apud MULLER, 2017), existem dois tipos de drenagem, a microdrenagem e a macrodrenagem.

“a) Microdrenagem - sistema de condutos construídos destinados a receber e conduzir as águas das chuvas, em uma área urbana, a microdrenagem é essencialmente definida pelo traçado das ruas.

b) Macrodrenagem - rede de drenagem natural, já existia antes da urbanização, é constituída por rios e córregos, localizados nos talvegues dos vales, e que pode receber obras que a modificam e complementam, tais como canalizações, barragens, diques e outras”.

2.1.2 Projetos de drenagem pluvial

Para (ROCHA; BACK, [s.d.]), o projetista de sistemas de drenagem, deve conter conhecimento a respeito do relevo da área de implantação do sistema, onde a melhor representação em meio digital, são as curvas de nível.

2.1.2.1 Vazões estimadas de projetos

Para (FERRAZ, 2011, p.6) a vazão ,“é a relação entre o volume do fluido que atravessa uma determinada seção de conduto, e o tempo gasto para tal”. Frequentemente a unidade de medida utilizada é em metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou em litros por segundo (l/s). Utilizamos o método racional para analisar o escoamento superficial (aconselhada para bacias menores que $10km^2$), demonstrada pela equação 1:

Equação 1 - Determinação da vazão de escoamento superficial

$$Q = \frac{C * i * A}{3,6}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s)

C = coeficiente de escoamento superficial da bacia, ou coeficiente de runoff;

i = intensidade média da chuva de projeto (mm/h)

A = área da bacia que contribui para a seção (km²)

2.1.2.2 Coeficiente de escoamento superficial (runoff)

Para (TOMAZ, 2009), o coeficiente de escoamento superficial também conhecido como coeficiente de runoff que é a relação entre água que escoar superficialmente pelo total de água precipitada.

Este coeficiente pode ser encontrado utilizando a tabela 1.

Tabela 1 - Coeficiente de Runoff (c)

Tipo de Superfície	c	Tipo de Superfície	c
Pavimento asfáltico	0,95	Gramado plano entre 0 a 1% de decl.	0,25
Pavimento concreto	0,95	Gramado médio entre 1% a 3% de decl.	0,35
Pavimento de tijolos	0,85	Gramado alto entre 3% a 10% de decl.	0,40
Pavimento de pedras	0,75	Gramado muito alto >10% de decl.	0,45
Telhado linha de base	0,95	Vegetação plana (0 a 1% de decl.	0,10
Telhado verde <10cm	0,50	Vegetação média (0 a 1% de decl.	0,20
Telhado verde entre 10cm e 20cm	0,30	Vegetação alta (0 a 1% de decl.	0,25
Telhado verde entre 20cm e 50cm	0,20	Vegetação muito alta (0 a 1% de decl.	0,30
Telhado verde >50cm	0,10		

Fonte: Tomaz (2009).

Para bacias que contém mais de um coeficiente, devemos utilizar a média dos valores obtidos, conforme com a equação 2:

Equação 2 - Média do coeficiente de runoff

$$c = \frac{A1 * C1 + A2 * C2 + ... + An * Cn}{At}$$

Onde:

C = coeficiente de runoff

A = área

At = área total

2.1.2.3 Determinação Coeficiente de permeabilidade

Segundo (MARCHIONI; SILVA, 2011), adotando a lei de Darcy e demonstrado o nível de permeabilidade do solo, de acordo a velocidade de percolação que é diretamente relacionado ao gradiente hidráulico. Existe uma variação para este coeficiente de permeabilidade, determinada pelo tipo do solo, temperatura e do índice de vazios. A temperatura modifica a viscosidade da água, quanto maior a temperatura, menor a viscosidade, obtendo uma melhoria no escoamento entre os vazios e aumentando o coeficiente de permeabilidade (k). Na tabela 2 é demonstrado o coeficiente de permeabilidade conforme com os tipos de solo (MARCHIONI; SILVA, 2011).

Tabela 2 - Determinação do coeficiente de permeabilidade dos solos

Tipo de solo	k (m/s)	Grau de permeabilidade
Brita	$> 10^{-3}$	Alta
Areia de brita, areia limpa, areia fina	10^{-3} a 10^{-5}	Média
Areia, areia suja e silte arenoso	10^{-5} a 10^{-7}	Baixa
Silte, silte argiloso	10^{-7} a 10^{-9}	Muito baixa
Argila	$< 10^{-9}$	Praticamente impermeável

Fonte: Terzagui, Peck (1967, apud MARCHIONI; SILVA, 2010).

2.1.2.4 Intensidade de precipitação

De acordo com (FESTI, 2012, p.2)

“Uma das dificuldades apresentadas no projeto de obras de drenagem vem ser a determinação da precipitação intensa máxima provável que deve ser utilizada. Em localidades onde já se dispõe de dados pluviométricos analisados, esta dificuldade se ameniza.”

Segundo (CAMPOS et al., 2014), para determinar a equação da intensidade das chuvas é preciso, realizar uma diminuição da tabela das chuvas através da equação 3:

Equação 3 – Determinação da intensidade e duração da chuva

$$i = \frac{K * Tr^a}{(Td + b)^c}$$

Onde:

i = intensidade duração da chuva em mm/h

Tr = Tempo de retorno adotado

Td = Tempo de duração da chuva de projeto

K, a b, c são definidos pela localidade

O período de retorno, ‘‘é o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez.’’ (TOMAZ, 2011, p.3-67).

Quadro 1 - Período de retorno para diferentes áreas

Tipo de Obra	Tipo de Ocupação da Área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Área com edifícios públicos	5
	Aeroportos	2 - 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 - 10
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 - 100
	Áreas de importâncias específicas	500

Fonte: Bavaresco (2016).

2.2 ALAGAMENTOS EM PALMAS

Segundo PMSB (2014) a implantação da cidade de Palmas e o processo de urbanização que se desenvolveu desde 1990 até os dias atuais proporcionaram interferências antrópicas no meio urbano com grandes impactos na integridade ambiental dos recursos hídricos nas principais bacias de drenagem urbanas.

Atualmente, o processo de urbanização, com consequente impermeabilização do solo e redução de cobertura vegetal e zonas ripárias dos cursos d'água, que vem desenvolvendo algumas deficiências para a drenagem urbana. Sendo assim, os contextos que se aplica a Palmas, amplificado pelas condições de precipitações intensas durante o período úmido (novembro a março), ocorrem em diversas regiões da cidade pontos de alagamentos que causam interferências principalmente com o sistema diverso e, em menor intensidade, inundações de ocupações em áreas sujeitas a estes fenômenos (PMSB, 2014)

A tabela apresenta os pontos críticos de alagamentos que a cidade de Palmas vem sofrendo.

Tabela 3 - Pontos críticos de alagamentos

Região	Pontos Críticos de alagamento
Norte e Centro-Norte (SEDE)	Quadras (212N, 405N, 406N, 504N e 506N) Av. Teotônio Segurado com a Av. LO-01 (junto ao Palácio Araguaia), LO- 09, LO-11, LO-21, LO-23, LO-25, LO-06A, LO-10
Região	Pontos Críticos de alagamento
	Av. Teotônio Segurado entre a LO13 e LO11 Av. LO-13 e LO11 com NS4 Av. LO-09 na Quadra 403 S Av. LO-13 na Quadra 605 S Av. LO01 com a NS-1 (junto ao Palácio Araguaia) Av. NS-01 com a LO06 Av. LO-10 com a NS-01 Av. LO-10 com a NS-03 Área Verde 403 N Av. NS-15 na Quadra 607N
Sul	Quadras (804S, 806S, 904S, 906S, 1004S, 1006S, 1104S, 1106S, 1204S, 1206S) Microdrenagem (508N, 408N, 112S, 812S, 506N, 212N, 812N) Área Verde 112 e 109 – Setor Morada do Sol I e II Rua S-01 / P-03 e Av. Castro Alves na Quadra QI03 – Bairro Bela Vista Ruas S-01 / P-04 na Quadra QI23, P-04/P-05 na Quadra QI24, P-05/P06 na Quadra QI25 e P-06 na Quadra QI26 – no Setor Sul. Final da Rua 15 junto ao Ribeirão Taquaruçu Setor Taquaralto, 1007S, 405S, 506N e 212S.

Fonte: (PMSB, 2014).

Segundo PMSB (2014) de acordo com os registros fotográficos de diversos pontos de alagamentos na cidade, compreende que a drenagem existente não é capaz de suportar a magnitude dos eventos causados pelas chuvas intensas que ocorrem com frequência na zona urbana de Palmas. Por falta de cobertura de rede em diversas áreas, estas águas que escoam superficialmente percorrem grandes trechos até encontrar-se nos pontos mais baixos. Elas se

acumulam em vias, canteiros, calçadas, formam uma grande massa de água na maioria das vezes junto às principais avenidas causando sérios transtornos como mostra a Figura.

Figura 1 - Ocorrências de alagamentos e inundações em Palmas



Avenida Teotônio Segurado



Rotatória da Av. LO-19 com NS-04



Avenida Teotônio Segurado



Av. Teotônio Segurado –Trecho próximo à- Próximo Av. LO-13 Sul-Norte

Fonte: (PMSB, 2014).

Os alagamentos causam comprometimento da mobilidade urbana nestes pontos da área central da cidade e ainda são agravados pela grande circulação de veículos e pedestres como mostra a figura. Como ocorrem elevados níveis d'água e grandes fluxos tem-se danos à pavimentação e ocorrência de forte ravinamento junto às quadras ainda desabitadas ou com pavimentos desprotegidos (PMSB 2014).

Devido a impermeabilização do solo, estacionamentos como do CEULP/ ULBRA, são considerados grandes contribuintes para o sistema de drenagem convencional.

Figura 2 - Estacionamento do CEULP/ULBRA



Fonte: Autor, 2019.

2.3 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Os pavimentos permeáveis podem ser utilizados especialmente em estacionamentos e ruas com tráfego leve, assim contribuindo para os sistemas de drenagem como uma maneira de amenizar o escoamento superficial.

Geralmente para haver um controle da impermeabilização dos solos nas cidades, normas são estabelecidas exigindo que parte do terreno seja mantido natural para manter a permeabilidade, usualmente entre 15% a 30% da área total da superfície do terreno. Entretanto existem casos que não é possível cumprir esse requisito, assim um meio de atender as legislações vigentes e tornar uma área útil, é a realização do cobrimento com pavimento permeável. (MARCHIONI e SILVA, 2011)

“Os pavimentos permeáveis são técnicas compensatórias em drenagem urbana que podem ser utilizadas principalmente em estacionamentos e ruas de tráfego leve (condomínios residenciais), bem como em armazéns e arenas de esporte, por exemplo. (ASCE, 1992 apud PINTO, 2011, p.27)”

O tráfego leve, de acordo com a (ABNT NBR 16416, 2015, p.2) é caracterizado

“Solicitação do pavimento ao tráfego preferencial de veículos leves, como ciclomotor, motoneta, motocicleta, triciclo, quadriciclo, automóvel, utilitário, caminhonete e camioneta, com volume diário médio (VDM) de até 400, podendo existir ocasionalmente o tráfego de ônibus e caminhões em número não superior a um VDM de 20.”

A sistema pavimento permeável pode ser definido por possuir elevada porosidade e por consequência a capacidade de drenar a água, dependendo de sua composição (BATEZINI, 2013). Esse modelo de pavimento pode ser utilizado para diminuir a solicitação dos sistemas de drenagem, e também como consequência reduzindo possibilidade de enchentes.

“Pode -se afirmar ainda, que os pavimentos permeáveis podem promover a recarga do lençol freático e a melhora significativa da qualidade da água que infiltra [...]” (SCHUELER, 1987 apud PINTO, 2011, p.27), porém deve ser analisado a possibilidade e risco de contaminação do lençol freático, visto que os poluentes podem ser infiltrados junto com a água dependendo das condições do solo e a profundidade do lençol freático.

A utilização do concreto permeável surgiu há mais de 150 anos, porém os estudos e utilizações tiveram avanços somente nos últimos 20 anos (Li 2009, apud BATEZINI, 2013).

De acordo com (ALENCAR, 2013a):

“No plano estrutural do pavimento, a capacidade de suporte e as resistências características dos materiais empregados na pavimentação permeável dependem da técnica adotada por cada pavimento. Assim, é possível encontrar pavimentação em blocos polidédricos de rocha (paralelepípedos) em rodovias e ruas com vários anos de uso e praticamente sem manutenção e suportando grandes cargas. Enquanto que, por outro lado, técnicas que envolvem uso de grama e concretos porosos têm as capacidades de suporte bastante reduzidas e a utilização limitada a calçadas, estacionamentos e vias de pequeno tráfego de veículos.”

Pesquisas do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS, relatam a eficácia do pavimento permeável de concreto, conforme (ARAÚJO, 1999 apud HÖLTZ, 2011) obteve-se os resultados expostos na tabela 5. Resultados animadores, observando que escoamento superficial do pavimento permeável praticamente não existe.

Tabela 4 - Comparação entre tipos de pavimento

Tipo de Pavimentação	Escoamento Superficial
Asfalto	44%
Semipermeáveis (bloquetes e paralelepípedos)	11 a 22%
Concreto permeável	0%

Fonte: Adaptado (ARAÚJO, 1999, apud HÖLTZ, 2011).

2.3.1 Tipos de pavimentos permeáveis

De acordo com (MARCHIONI; SILVA, 2011) existem três formas de apresentação de pavimentos permeáveis:

- a) Revestimento permeável tradicional utilizando peças de concreto convencional:

Neste método, (MARCHIONI; SILVA, 2010) relata que os alargamento das juntas permite a infiltração e escoamento da água. O rejuntamento juntamente com o material de assentamento conter um teor de vazios que permita o escoamento da água. Em casos como este, é preciso estimar o coeficiente de permeabilidade com uma diminuição de 80%, para que haja segurança devido a colmatação ao longo da vida útil, o coeficiente deve ser igual ou superior a 10^{-5} m/s:

- a.1) Peças de concreto com junta alargada – figura 3

O assentamento dos blocos deve acontecer com espaçadores (para realizar o escoamento das águas, e intertravar todos os blocos), de 6mm a 10mm, essas aberturas deve conter entre 5% e 15% da superfície do bloco para que seja caracterizado pavimento permeável.

Figura 3 - Pavimento com junta alargada de concreto intertravado



Fonte: (MARCHIONI; SILVA, 2010).

a.2) Peças de concreto com áreas vazadas - figura 4

Esse modelo pavimento deve atender à mesma condição das peças com juntas alargadas, apresentando entre 5% a 15% de abertura na superfície.

Figura 4 - Pavimento com áreas vazadas



Fonte: (MARCHIONI; SILVA, 2010).

b) Concreto permeável - figura 5

Nesse sistema poroso o escoamento da água ocorre pelos poros do concreto. A velocidade de escoamento da água é determinada pelo índice de vazios do concreto, juntamente com as propriedades do material de assentamento a sub-base e do subleito (MARCHIONI; SILVA, 2010).

Figura 5 - Pavimento de concreto poroso



Fonte:(MARCHIONI; SILVA, 2011).

2.3.2 Concreto Permeável

De acordo com (ALENCAR, 2013), a utilização do concreto permeável tem sido avaliada como uma forma para solucionar problemas como enchentes e inundações no meio urbano. Com decorrer do tempo vem aparecendo resultados sustentáveis, segundo (ALENCAR, 2013) foi acrescentado à lista de boas práticas ambientais à certificação LEED (leadership in Energy and Environmental Design), que faz análise de construções sustentáveis, com critérios de aproveitamento de recursos (energia, água, etc.) de um projeto.

Devido ao alto índice de vazios (que alternam de 20% a 25%) o concreto permeável é pouco utilizado em infraestrutura viária, por não resistir ao tráfego intenso (ALENCAR, 2013). Este pavimento é utilizado em vias de tráfego leve, em estacionamentos, condomínios residenciais, e até em loteamentos com pouca passagem de veículos pesados.

Claramente ainda deve ser analisado que o pavimento permeável necessita qualidade nas camadas inferiores (base e sub-base), e de elevados índices de compactação, o que pode ocasionar na impermeabilização do solo.

2.3.2.1 Características do material

De acordo com (BATEZINI, 2013), é um material mesclado por ligante hidráulico, material britado de graduação uniforme, água e pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo. Em alguns casos, pode-se utilizar aditivos ou adições que possuem características que possam contribuir para o melhor desempenho e durabilidade e trabalhabilidade do material.

A diminuição ou eliminação total da utilização de agregados miúdos, acarreta no aumento de índices de vazios, possibilitando a passagem da água pelos poros, resultando na diminuição considerável no volume de águas pluviais que escoam na superfície (BATEZINI, 2013).

Para (Huffman, 2005, apud HÖLTZ, 2011, p.42) “Quando o material é dimensionado adequadamente, o seu grau de permeabilidade é suficiente para permitir a passagem de todo o fluxo precipitado na maioria dos eventos de chuva, praticamente anulando o escoamento superficial”. Para atingir as especificações, o concreto permeável deve ser bem dosado, apresentar baixa densidade, ser permeável e conter um bom desempenho estrutural.

Quanto a densidade, (HÖLTZ, 2011) estabelece que deve estar entre 1600 kg/m^3 e 2000 kg/m^3 , variando de conforme a quantidade e qualidade do material que foi utilizado, e resulta ainda em um índice de vazios na ordem de 15 a 25%.

“As misturas de concreto permeável normalmente tendem a desenvolver resistências de compressão na escala de 3,5 a 28 Mpa” (POLASTRE E SANTOS, 2006 apud HÖLTZ, 2011, p.44), sendo um resistência considerável em relação ao índice de vazios.

2.3.2.2 Componentes do concreto permeável

De acordo com (ALENCAR, 2013), a redução ou até mesmo a inexistência do agregado miúdo aumenta a superfície específica da mistura, elevando o consumo de água de amassamento e a diminuição do tempo de pega do concreto. Considerando essas situações, é comum a utilização de aditivos retardadores e estabilizadores de absorção de água para compensar o processo, devido ao excesso de água no concreto poroso acarretar em perda de durabilidade e resistência. Em frente a este fato, a NRMCA - National Ready Mix Concrete Association - (2008, apud ALENCAR, 2013) indica fator Água / Cimento entre 0,27 e 0,34; com o uso de aditivos. “A quantidade correta de água pode ser percebida quando a massa ganha certo brilho de umidade, sem ficar liquefeita” (ALENCAR, 2013, p.41). (NRMCA, 2008 apud (ALENCAR, 2013) demonstra a proporção dos componentes para composição do concreto poroso, de acordo com a tabela 6.

Tabela 5 - Quantitativos dos componentes do concreto poroso

Componente	Proporção
Cimento	270 a 415 kg/m³
Agregado	1.190 a 1.480 kg/m³
Água / cimento	0,27 a 0,34
Agregado / cimento	4 a 4,5:1
Agregado miúdo / graúdo	0 a 1:1

Fonte: (NRMCA 2008, apud ALENCAR, 2013, p. 42).

Outro fator relevante é a necessidade do controle de rugosidade do pavimento, esse fator é estabelecido através da variação da dimensão do agregado graúdo, que varia de 5mm a 20mm (ALENCAR, 2013).

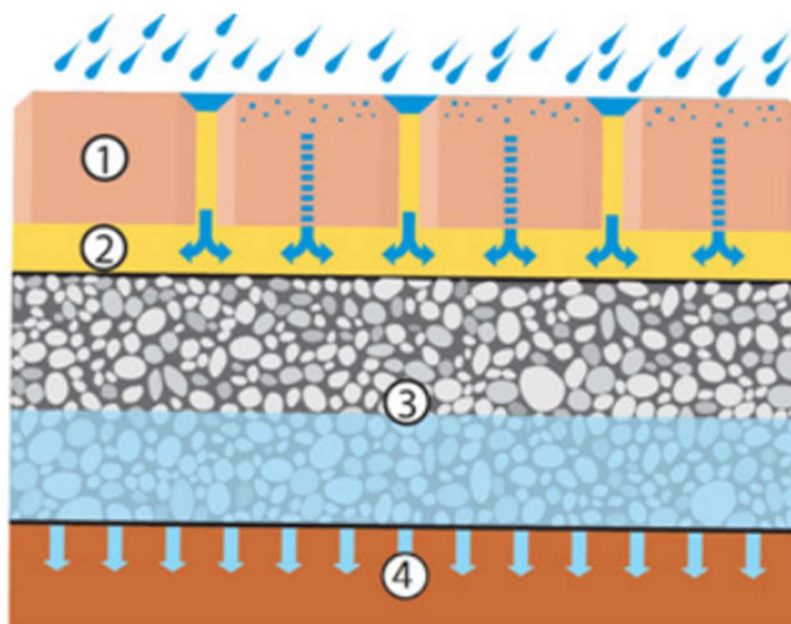
2.3.2.3 Perfil do solo no uso de concreto permeável

De acordo com CRMCA - Colorado Ready Mixed Concrete Association - (2013, apud ALENCAR, 2013), a compactação do solo interfere no desempenho do concreto permeável, não podendo ser excessiva para que não haja empecilho para a passagem da água, e sendo o suficiente para garantir aderência dos agregados.

Para a utilização de placas de concreto permeável, o dimensionamento requer os mesmos critérios utilizados em pavimentos rígidos compostos de concreto de cimento Portland, determinando as características do subleito, do colchão drenante e do revestimento (ALENCAR, 2013).

Para a utilização de blocos de concreto permeável o dimensionamento difere em alguns pontos, segundo (ALENCAR, 2013), conforme apresentado na figura 6, existe a necessidade da inclusão de uma camada de areia grossa abaixo dos blocos e um colchão drenante de brita para uma drenagem efetiva.

Figura 6 - Perfil de infiltração de blocos de concreto poroso



Fonte: (ALENCAR, 2013, p.38).

Onde:

- 1 = Bloco de concreto poroso
- 2 = Base de areia ou pó de brita.
- 3 = Colchão drenante em brita.
- 4 = Infiltração no solo

2.3.2.4 Projetos envolvidos

Para (VIRGILIIS, 2009) para elaboração de uma via de pavimento de concreto permeável é primordial um estudo bem elaborado, para obter eficiência, tanto estrutural quanto hidráulica. Decorrente disto é necessário avaliar a finalidade do pavimento, observando os seguintes fatos:

- a) O solo se caracteriza impermeável?
- b) O lençol freático do local está em proximidade com relação ao pavimento?
- c) O risco de contaminação é alto?

Existem outros fatores que podem influenciar na infiltração da água no solo, se há indícios que o solo não suporte infiltração, será impossibilitado a aplicação do pavimento de concreto permeável. De acordo com (VIRGILIIS, 2009), estudos hidrológicos e hidráulicos são necessários para obter o IDF (intensidade, duração e frequência) das chuvas, no local de

execução. Em seguida as análises segundo (VIRGILIIS, 2009), é necessário avaliar a porosidade do solo. Para se ter estimativas aproximadas da realidade do local sobre a capacidade do solo absorver a quantidade esperada do IDF da chuva. Outro fator que deve ser analisado é o estudo de tráfego, devido ao concreto permeável conter pouco suporte a tráfegos pesados, sendo indicado para tráfego leve. (VIRGILIIS, 2009) ainda comenta que no projeto geométrico deve conter as declividades mínimas e máximas. O estudo também deve conter o projeto de terraplanagem, levando em consideração cortes e aterros, já que o sistema estudado não substitui o sistema de drenagem convencional, apenas reduz o dimensionamento.

2.3.2.5 Vantagens e desvantagens do pavimento de concreto permeável

Existem divergências em relação ao uso do concreto permeável, devido ainda ser uma alternativa recente, na tabela são exemplificadas vantagens e desvantagens do método. A maior desvantagem discutida do pavimento permeável é o fato de infiltrar poluentes nos lençóis freáticos, porém de acordo com medições de (KWIATKOWSKI et al, 2007 apud HÖLTZ, 2011) foi observado que os poluentes que são carregados pela água pluviais não contaminam os lençóis freáticos.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens do concreto permeável

Desvantagens	Vantagens
O fato de haver um elevado índice de vazios, sua resistência é inversamente proporcional, assim sendo indicado para áreas de tráfego leve. (HÖLTZ, 2011)	Provoca um ganho econômico e ambiental, devido a redução de grandes obras de drenagem (HÖLTZ, 2011)
Vida útil reduzida para cerca de 15 anos, inferior aos pavimentos. (HÖLTZ, 2011)	Evita problemas gerados pelas precipitações, como alagamentos e enxurradas. (HÖLTZ, 2011)
Requer manutenção periódica. (PINTO, 2011)	Matem o ciclo natural da água, reabastecendo os recursos hídricos. (HÖLTZ, 2011)
Manutenção para evitar colmatagem. (PAIVA COUTINHO, 2011)	Facilidade de execução in loco, não necessitando de mão de obra especializada. (HÖLTZ, 2011)
Risco de contaminação de aquíferos. (PAIVA COUTINHO, 2011)	Início da pega do cimento reduzido, assim não precisando longo tempo para sua cura. (HÖLTZ, 2011)
Pouco conhecimento sobre a tecnologia. (ACIOLI, 2005)	Manutenção barata. (HÖLTZ, 2011)
Elevado risco de problemas de execução do pavimento e de colmatagem. (ACIOLI, 2005)	Reduz as zonas de calor geradas pela impermeabilização do solo. (HÖLTZ, 2011)

Fonte: (MULLER, 2017).

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens do concreto permeável

Requer atenção regular para verificar sua eficiência. (PINTO, 2011)	Possibilita a entrada de água e oxigênio nas raízes das árvores. (HÖLTZ, 2011)
Riscos gerados pela falta de drenagem do sistema ocasionados pela colmatção. (ALENCAR, 2013)	Reduz o efeito de ilhas de calor devido sua porosidade e por ser um material claro. (HÖLTZ, 2011)
Reparação de elevado custo e dificuldade. (COLLINS ET AL apud PINTO, 2011)	Elimina o carregamento de poluição para os afluentes pelas águas das chuvas. (HÖLTZ, 2011)
	É um material reciclável. (HÖLTZ, 2011)
	Favorece o atrito dos pneus de veículos devido sua rugosidade, diminuindo derrapagens. (HÖLTZ, 2011)
	Evita necessidade de construção de poços de armazenamento, já que o próprio sistema retém a água das chuvas diminuindo custos. (HÖLTZ, 2011)
	Retração mínima. (HÖLTZ, 2011)
	Reduz os ruídos. (ACIOLI, 2005)

Fonte: (MULLER, 2017).

2.3.2.6 Ganhos Ambientais

De acordo com (ALENCAR, 2013), existem alguns ganhos ambientais na utilização do pavimento permeável, que são:

- a) Redução dos danos ambientais gerados pela falta de infiltração nos aquíferos
- b) Redução parcial ou total do escoamento superficial
- c) Diminuição do pico das cheias, que induz reduzir custos em investimentos no sistema de drenagem convencional e colaborar na diminuição de ocorrência de enchentes;
- d) Diminuição da poluição difusa, por meio da retenção de poluentes de automóveis e outras substâncias encontradas na superfície do pavimento urbano que pode atingir índices de 80 a 90%.

2.3.2.7 Manutenção de pisos de concreto permeável

Segundo (DIERKES et al, 2002, apud ALENCAR, 2013) o concreto permeável requer manutenção para garantir a eficiência de sua permeabilidade. (ALENCAR, 2013), informa que deve ser feita uma manutenção periódica para a retirada do sedimento fino retido na superfície, que dificulta a infiltração.

Segundo a (ABNT NBR 16416:2015), "quando o pavimento permeável, após determinado período de utilização, apresentar coeficiente de permeabilidade menor ou igual a 10^{-5} m/s". Ainda conforme a (ABNT NBR 16416:2015), as etapas de limpeza são:

- a) Retirada dos materiais pulverulentos e detritos em geral da superfície por meio de varrição manual ou mecânica;
- b) Aplicação de jato de água sob pressão;
- c) Utilização de equipamento de sucção para retirada dos finos;
- d) Recomposição do material de rejuntamento (quando necessário);

Sendo proibida toda e qualquer utilização de produtos químicos ou água contaminada na limpeza do pavimento.

A (ABNT NBR 16416:2015) estabelece que após a limpeza o material deve apresentar no mínimo 80% da permeabilidade inicial realizando essas manutenções periódicas.

2.3.2.8 Concreto permeável e o coeficiente de runoff

De acordo com (MARCHIONI; SILVA, 2010) com a utilização do pavimento permeável é possível reduzir o coeficiente de runoff. Em lugares que a edificação é presente e intensa, este coeficiente deve ser considerado até 0,95; que determina que 95% da precipitação vai gerar escoamento superficial (MARCHIONI; SILVA, 2010). Para o pavimento poroso utiliza-se um coeficiente de 0,05; que determina que 5% da precipitação se torna escoamento superficial, o restante é absorvido pelo solo, ou é retido na vegetação. Em laboratório através de ensaios se obteve número mais relevantes. É notável que o estudo feito por (ARAÚJO, 1999, apud MARCHIONI; SILVA, 2010) foi obtido coeficientes bem reduzidos para o pavimento permeável utilizando concreto poroso, de acordo com a tabela

Tabela 6 - Coeficiente de escoamento superficial

Revestimento	Chuva total (mm)	Escoamento total (mm)	Coeficiente de escoamento
Solo compactado	18,66	12,32	0,66
Paralelepípedos	18,33	10,99	0,60
Bloco de concreto	19,33	15,00	0,78
Concreto	18,33	17,45	0,95
Blocos vazados	18,33	0,5	0,03
Concreto poroso	20,00	0,01	0,0005

Fonte: (Araújo, 1999, apud MARCHIONI; SILVA, 2010).

É comprovado através deste estudo que vários fatores são importantes nesta técnica, os tipos de pavimentação e as condições de permeabilidade do solo.

2.3.2.9 Coeficiente de permeabilidade do concreto permeável

De acordo com (ABNT NBR 16416:2015), o pavimento permeável, deve apresentar um coeficiente de permeabilidade, de no mínimo 10^{-3} m/s, sendo realizado os testes após a execução do pavimento.

Conforme a norma ABNT NBR 16416:2015, para a determinação do coeficiente de permeabilidade pode ser extraída de duas maneiras em laboratório. Analisando somente o revestimento, ou o revestimento com toda sua estrutura.

Quadro 4 - Determinação do coeficiente de permeabilidade

Tipo de Revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém construído m/s
	Local de Avaliação		
	Em Laboratório	Em Campo	
Peça de concreto (Juntas alargadas ou áreas vazadas)	Anexo A	Anexo A	$> 10^{-3}$
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A		
Placa de concreto permeável			
Concreto permeável moldado no local			

Fonte: ABNT NBR 16416:2015.

Equação 4 - Coeficiente de permeabilidade do concreto

$$k = \frac{C * m}{(d^2 * t)}$$

Onde:

k = coeficiente de permeabilidade (mm/h);

m = massa de água infiltrada (kg);

d = diâmetro interno do cilindro de infiltração (mm);

t = tempo necessário para toda a água percolar (s);

C = fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual a 4 583 666 000.

2.3.2.10 Performance do pavimento de concreto permeável

De acordo com a Norma Brasileira (ABNT NBR 16416:2015), as peças de concreto permeável para pavimentação necessitam oferecer resistência à compressão igual, ou maior a 20 Mpa e espessura mínima de 8 cm para o tráfego leve, de acordo com a tabela 10:

Tabela 7 - Resistência a compressão e características

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação (tráfego)	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)
Peças de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Pedestres	60,0	$\geq 35,0$
	Leve	80,0	
Peça de concreto permeável	Pedestres	60,0	$\geq 20,0$
	Leve	80,0	
Placa de concreto permeável	Pedestres	60,0	$\geq 2,0$
	Leve	80,0	
Concreto permeável moldado no local	Pedestres	60,0	$\geq 1,0$
	Leve	100,0	$\geq 2,0$

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, (ABNT NBR 16416:2015, p.15)

3 METODOLOGIA

3.1 APRESENTAÇÃO DO LOCAL

O projeto em estudo tem por finalidade um comparativo de pavimentos, onde um deles atualmente está implantado, sendo o pavimento asfáltico betuminoso, e o outro em questão a ser analisado o pavimento de concreto permeável. Localizado na cidade de Palmas – TO, que contém cerca de 291.855 mil habitantes, onde aproximadamente 67,6% contém esgoto sanitário adequado segundo IBGE - 2018. O local da pesquisa em questão está localizado na quadra 1501 sul, Av. Joaquim Teotônio Segurado, no Plano Diretor Sul, onde suas coordenadas são latitude $10^{\circ}16'39.49''$ Sul e longitude $48^{\circ}20'03.03''$ Oeste.

Este estudo e todos seus experimentos como as moldagens assim como os ensaios de caracterizações dos materiais, de resistência e de permeabilidade, foram realizados no laboratório de materiais e estruturas, sala 603, e no laboratório de recursos hídricos, sala 606, do Centro Universitário Luterano de Palmas conforme apresentado na figura 7.

Figura 7 - Estacionamento CEULP/ULBRA



Fonte: Bonfim, 2018.

O estacionamento do CEULP/ULBRA possui uma área total de 16.189m² e um perímetro de 665 metros, o local foi utilizado como base para a pesquisa em questão.

3.1.1 Precipitações locais

Os dados da intensidade de chuva foram obtidos no INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. As chuvas máximas serão obtidas através de estações meteorológicas convencionais do INMET, OMM:83033 de Palmas – TO.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1 Aglomerante

Foi escolhido, para realização do estudo o Cimento Portland CP V, na qual este cimento tem uma maior resistência inicial. A compra do material foi realizada em uma loja de materiais de construção em Palmas - TO.

Para sabermos as características do cimento, foram necessárias a idealização de 3 tipos de ensaios, que são eles:

3.2.1.1 Massa Específica

Ensaio de massa específica. Foi utilizado a ABNT NBR NM 23:2001 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.

A realização do ensaio de caracterizou em encher o frasco Le Chatelier com querosene até o nível de zero a um cm³, e mantê-lo completamente em submersão em água pelo período de 30 minutos a uma temperatura de 20°C ± 0,5 °C.

A fórmula da massa específica do material:

$$P = \frac{m}{v}$$

Onde:

P = massa específica do material ensaiado, em g/cm³;

m = massa do material ensaiado, em g;

v = volume deslocado pela massa do material ensaiado, em cm³.

Os dados do ensaio estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Massa específica do cimento

Frasco	Massa cimento (g)	Volume Inicial (cm³)	Volume Inicial (cm³)	Peso específico (g/cm³)
1	60,21	0,5	20,1	3,07
2	60,14	1,0	20,5	3,08
3	60,05	0,7	20,2	3,08
Média	-	-	-	3,08

Fonte: Autor, 2019.

3.2.1.2 Ensaio de início e fim de pega

Ensaio tempo de início e fim de pega, na qual foi utilizado a ABNT NBR NM 65:2003 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Onde cita os procedimentos seguidos no ensaio.

O procedimento visa a obtenção do horário no qual o cimento recebe contato com a água até que se torne uma pasta homogênea. Em seguida essa pasta é direcionada ao molde sobre uma placa de vidro, onde será aplicado uma fina camada de óleo mineral para efetuar o desmolde do material após a conclusão do ensaio.

O aparelho utilizado para obtenção dos dados é o Vicat, onde o molde será colocado e a agulha será descida suavemente até haver contato com a pasta e assim são realizadas as leituras de tempo e profundidade de penetração da agulha na pasta.

A determinação do início de pega é caracterizada no momento em que a agulha de Vicat fique em torno de (6 ± 2) mm da base. Já a determinação de fim de pega é caracterizada no momento em que a agulha penetre apenas 0,5 mm na pasta. A tabela 9 apresenta os resultados obtidos de início e fim de pega.

Tabela 9 - Início e fim de pega

Características	Tempo (min)	Exigência da Norma
Início de pega	140	≥ 60
Fim de pega	192	≤ 600

Fonte: Autor, 2019.

3.2.2 Agregado miúdo

Quanto ao agregado miúdo (areia) utilizada, foi utilizada areia média, serão feitos 4 tipos de ensaios para caracterização do mesmo. O agregado utilizado foi adquirido em loja de material de construção na zona sul de Palmas – TO. Os ensaios feitos foram:

3.2.2.1 Granulometria agregado miúdo

Determinação da composição granulométrica. Foi seguida a norma da ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.

Onde foi utilizado as peneiras 4,8mm; 2,4mm; 1.2mm, 0,6mm, 0,3mm e 0,15mm conforme apresentado na figura.

Figura 8 - Série de peneiras

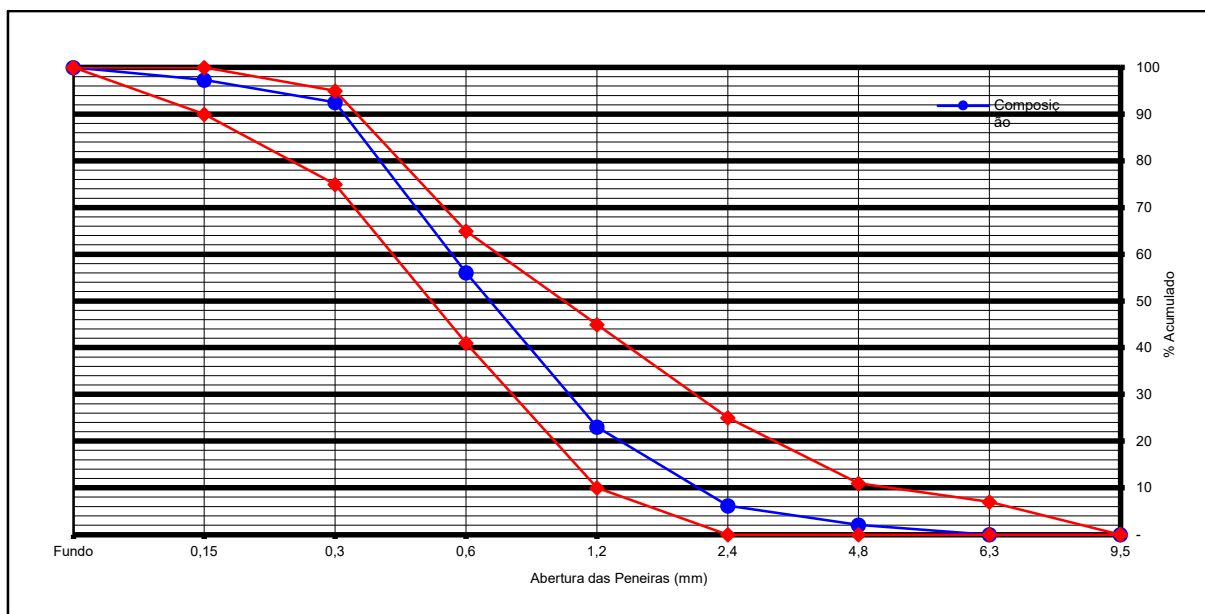


Fonte: Autor, 2019.

A análise granulométrica tem como objetivo caracterizar o agregado miúdo, onde foi separado duas amostras com 500g cada, que após a secagem na estufa por 24 horas foi adicionada a série de peneiras. Em seguida o equipamento foi acionado, agitando assim o material e realizando o ensaio.

Após a realização do ensaio verificou-se que o agregado miúdo se caracteriza como uma areia média, se encaixando dentro da zona utilizável determinando por norma, conforme apresentado no gráfico 1.

Gráfico 1 - Zona utilizável do agregado Miúdo



Fonte: Autor, 2019.

3.2.2.2 Massa específica agregado miúdo

Determinação da massa específica. Foi seguida a norma da ABNT NBR NM 52:2009 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.

Foi utilizado para este método um picnômetro, uma balança de precisão e algumas bandejas, o picnômetro utilizado foi de volume igual a 1000ml.

Foi separado 200g de agregado miúdo, então o picnômetro foi enchido com água até sua capacidade máxima e depois colocado a tampa, em seguida o picnômetro é pesado. O passo seguinte foi retirar parte da água e acrescentar o material, completando o restante com água e novamente realizando a pesagem. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Massa específica do agregado miúdo

Picnômetro N°	1	2
Massa Picnômetro+Areia+Água, T°C de Ensaio (g)	1326,00	1325,00
Massa Picnômetro Cheio de Água (g)	1201,00	1200,00
Temperatura de Ensaio (°C)	24	24
Massa Material Seco (g)	200,00	200,00
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio (g/cm³)	0,9981	0,9981
Massa Específica (g/cm³)	2,67	2,67
Massa Específica Média (g/cm³)	2,67	

Fonte: Autor, 2019.

3.2.2.3 Módulo de Finura

Determinação do módulo de finura. Foi seguida a norma da ABNT NBR 7211:2009 – Agregados para concreto – Especificação.

O módulo de finura foi caracterizado através da soma das porcentagens retidas acumuladas em massa do agregado miúdo, nas peneiras de série normal dividida por 100, conforme apresentado na tabela 11.

Tabela 11 - Módulo de Finura

Peneiras	Massa retida (g)	% Retida Simples	%Retida Acumulada
9,5	-	-	-
6,3	-	-	-
4,8	9,3	1,86	1,86
2,4	21,50	4,30	6,16
1,2	85,20	17,04	23,20
0,6	165,30	33,06	56,26
0,3	181,60	36,32	92,58
0,15	23,50	4,70	97,28
Fundo	13,60	2,72	100
Módulo de finura			2,77

Fonte: Autor, 2019.

3.2.2.4 Massa unitária

Determinação da massa unitária. Foi seguida a norma da ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

A massa unitária foi calculada a partir da seguinte formula:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

Onde:

ρ_{ap} = massa unitária em kg/m³

m_{ar} = massa do recipiente mais o agregado em kg

m_r = massa do recipiente vazio em kg

V = volume do recipiente em m³

Foi realizado três ensaios utilizando o método “C”, para em seguida tirar a média e se obter o resultado final. Os resultados se mantiveram entre 1 % da margem de erro conforme apresentado na tabela 12.

Tabela 12 - Massa unitária agregado miúdo

Ensaio	Massa Unitária (kg/m³)
1º análise	1559,5
2º análise	1547,5
3º análise	1553,5
Média	1553,5

Fonte: Autor, 2019.

3.2.3 Agregado graúdo

O material utilizado como agregado graúdo foi a brita 0 de rocha granítica. Em seguida é relatado os ensaios de caracterização que foram executados para determinar as características da brita comercial utilizada.

O primeiro passo foi homogeneizar o material através do quarteamento do mesmo, reduzindo a amostra para uma fração menor e representativa.

O quarteamento do material será realizado de acordo com a (ABNT NBR NM26, 2001) que estabelece os procedimentos para amostragem representativa de agregados para concreto.

A propriedade do agregado foi determinada a partir de uma amostra resultante do quarteamento.

Material de fácil acesso, podendo ser localizado em grande parte das empresas de materiais de construção. Os ensaios feitos nesse tópico foram:

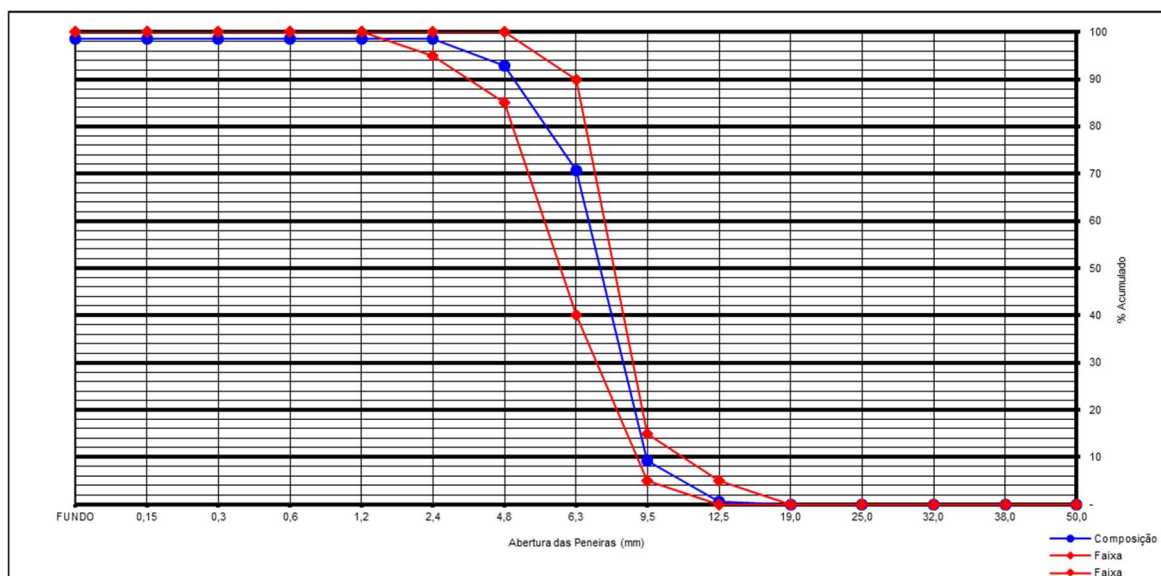
3.2.3.1 Granulometria agregado graúdo

Determinação da composição granulométrica. Foi seguida a norma da ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.

Onde foi utilizado um peneirador elétrico contendo peneiras com a seguinte série: 19,0 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 6,3 mm; 4,8 mm; 2,4 mm.

A brita utilizada manteve-se dentro da zona utilizável conforme gráfico 2, e se caracterizou como brita 0 de rocha granítica de acordo com os parâmetros citados em norma.

Gráfico 2 - Zona utilizável do agregado graúdo



Fonte: Autor, 2019.

Foi observado que o material possui uma característica de graduação uniforme, assim tornando um material de excelente usabilidade para a pesquisa em questão, devido sua uniformidade favorecer a permeabilidade do concreto.

3.2.3.2 Massa unitária

Determinação da massa unitária. Foi seguida a norma da ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

Foi realizado três ensaios utilizando o método “C”, onde registramos a massa do recipiente vazio e o recipiente foi completado até que o material transborde. Em seguida o material foi nivelado e novamente registrado a massa do recipiente com todo o material em seu interior. Este procedimento se repetiu por 3 vezes, para tirar a média e se obter o resultado final.

Tabela 13 - Massa unitária do agregado graúdo

Ensaio	Massa Unitária (kg/m³)
1º análise	1350
2º análise	1300
3º análise	1300
Média	1316,67

Fonte: Autor, 2019.

3.2.3.3 Massa específica

Determinação da massa específica foi realizada de acordo com a norma da ABNT NBR NM 53:2009 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Os dados obtidos no ensaio estão apresentados na tabela 14.

Tabela 14 - Massa específica do agregado graúdo

Picnômetro N°	1	2
Massa Picnômetro+Brita+Água, T°C de Ensaio (g)	1512,80	1513,20
Massa Picnômetro Cheio de Água (g)	1202,50	1202,00
Temperatura de Ensaio (°C)	24	24
Massa Material Seco (g)	500,00	500,00
Massa Específica da Água, T°C de Ensaio (g/cm³)	0,9981	0,9981
Massa Específica (g/cm³)	2,64	2,65
Massa específica média (g/cm³)	2,64	

Fonte: Autor, 2019.

3.2.3.4 Diâmetro máximo característico

A determinação do diâmetro máximo corresponde ao número da peneira da série normal, na qual a porcentagem acumulada é inferior ou igual a 5%, desde que essa porcentagem seja superior a 5% na peneira imediatamente abaixo. Segue a mesma norma da composição granulométrica. O diâmetro máximo característico do material utilizado na pesquisa, foi de 12,5 mm.

3.2.3.5 Aditivo

Foi utilizado o superplastificante Sika ViscoCrete 3535 CB, sendo um aditivo de terceira geração para indústria de pré-moldados, e concretos de alto resistência inicial.

O ViscoCrete tem a capacidade de reduzir em até 40% o consumo de água, assim melhorando a trabalhabilidade do concreto e reduzindo o teor de cimento.

3.3 DOSAGEM DO CONCRETO

Como não foi encontrado uma metodologia específica para o cálculo de traço para dosagem do concreto permeável, foi definido a partir da literatura. De acordo com ACI (2006)

apud Batezini (2013) foram determinados o fator água/cimento e o procedimento de compactação, que são os principais fatores que resultam diretamente nas características mecânicas do material. Assim serão realizados os experimentos para a mistura.

3.4 MOLDAGEM DOS CP'S

Após a análise de diversos autores, (BATEZINI, 2013) cita que foi determinado que a ordem de mistura dos materiais altera as características do concreto final e foi normatizado um procedimento para que obtenha as melhores condições mecânicas e hidráulicas para o concreto. Assim foi empregado o mesmo procedimento que está apresentado em seguida:

- Todo o agregado foi adicionado na betoneira com mais 5% do peso total do cimento;
- Foi misturado por 1 minuto;
- Em seguida adicionado o restante dos materiais;
- A mistura descansou por 3 minutos em repouso com a betoneira desligada;
- Novamente ligada a betoneira e misturada por mais 2 minutos

Através da massa específica aparente no estado fresco é realizado o controle de mistura do material ao término da mistura.

Foi analisado que a massa específica dos concretos já estudados na literatura revisada, variou entre 1.300 kg/m³ com mais índices de vazios, a 2000 kg/m³ para misturas com índices reduzidos.

Outras duas análises foram realizadas após o término da mistura na betoneira, a análise visual que consiste em verificar se todos os agregados estão completamente cobertos pela argamassa e se o concreto apresente um aspecto brilhoso.

A terceira verificação foi teste tátil visual, onde após pressionar uma pequena quantidade do concreto com a mão, é verificado se existe uma formação de uma pequena aglomeração.

De acordo com (SULEIMAN; KEVERN; SCHAEFER, 2006), a energia de compactação influencia diretamente nas propriedades do concreto permeável, e foi verificado que utilizando 15 golpes com bastão metálico em cada uma das três camadas, em seguida vibração, o concreto irá obter melhorias na sua propriedade mecânica, sem prejuízo na propriedade hidráulica.

Assim foi constituído em 45 golpes cada amostra cilíndrica, e em seguida o corpo de prova foi submetido a 5 segundos de vibração em mesa vibratória.

Foram moldados no total, 20 corpos de prova cilíndricos, sendo 10 para o traço de referência sem substituição de areia, 10 corpos de prova com o traço utilizando 5% de substituição do agregado graúdo por agregado miúdo, 4 corpos de prova de cada mistura foi utilizado para análise de sua permeabilidade.

3.4.1 Massa específica no estado fresco

As duas amostras foram pesadas e a massa específica fresca determinada pela divisão da massa de concreto no recipiente pelo volume do recipiente, que será determinado pela sua pesagem cheio de água e vazio de acordo com a NBR 9833/1987.

3.4.2 *Slump test*

De acordo com a literatura o concreto permeável contém uma elevada consistência mesmo no estado fresco.

Aplicando 25 golpes/camada, sendo três camadas, de acordo com a NBR 67/1998 após a retirada do molde foi realizado as medições do assentamento do concreto.

Existe a possibilidade de que o material seja considerado não coeso, após a repetição do ensaio no tronco cone e o material não apresentar um slump de 10 ± 2 cm.

3.5 PERMEABILIDADE DO CONCRETO

Para a realização deste ensaio foi utilizado um permeâmetro com carga hidráulica variável ou constante (BOTTEON, 2017). Para garantir que a água passe somente verticalmente o concreto foi vedado lateralmente com papel filme, para que a amostra entre sobre pressão no tubo conforme figura 9.

Figura 9 - Concreto vedado lateralmente



Fonte: Autor, 2019.

Na análise citada foi utilizado um permeâmetro de carga variável, onde a amostra está completamente saturada e o nível da água se mantenha entre o topo da amostra e o tubo de dreno no mesmo nível.

O teste foi realizado cinco vezes em cada amostra, o tempo cronometrado, foi o tempo que a coluna d'água leve para descer de 400mm (h_1) até 100mm (h_2), o modelo de permeâmetro que foi utilizado é apresentado na figura 10.

Figura 10 - Exemplo do permeâmetro que foi utilizado



Fonte: Autor, 2019.

O coeficiente de permeabilidade foi determinado através da lei de Darcy:

Equação 7 - Coeficiente de permeabilidade do concreto

$$k = \frac{A_1 L}{A_2 T} \log \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

Onde:

K = Condutividade hidráulica, em cm/s;

A1 = Área da sessão da amostra, em cm²;

A2 = Área do tubo, em cm²;

L = Comprimento da amostra, em cm;

h1 = Altura inicial, em cm;

h2 = Altura final, em cm;

3.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O ensaio tem como objetivo, de acordo com a NBR 5739/2007 determinar a resistência à compressão da amostra, onde foi aplicado uma força no sentido vertical no eixo do corpo de prova, até que ocorra o rompimento da amostra.

3.7 DETERMINAÇÃO DA REDUÇÃO DO ESCOAMENTO NO PAVIMENTO

Conforme o (INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2005), o método racional tem sido utilizado para estimativa das vazões em locais de microdrenagem, com uma área limite de até 2km².

O método racional é realizado de acordo com seguintes critérios:

- Quando se admite que uma bacia é pequena a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia, devido a duração ser inversamente proporcional a intensidade;
- É determinado um único coeficiente C, de acordo com as características da bacia;
- Este método não pode ser utilizado para dimensionamento de reservatórios pois não avalia o volume da cheia;

Equação 9 - Método Racional

$$Q = \frac{C * i * A}{3,6}$$

Onde:

Q = Vazão máxima (m³/s);

C = Coeficiente de escoamento;

I = Intensidade da precipitação (mm/h);

A = Área da bacia (ha);

O valor do coeficiente utilizado foi de 0,95 para o pavimento asfáltico, e 0,005 para o pavimento drenante de concreto permeável.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

4.1.1 Definição de traços

Como não foi encontrado uma determinação de traço para dosagem do concreto permeável, foi definido a partir da literatura. O traço utilizado como referência foi 1:4, sendo a relação água cimento em 0,30, visto que o método de execução e o fator água cimento são os itens mais relevantes na execução do concreto permeável. O consumo de materiais para o traço referência é demonstrado na tabela 15.

Tabela 15 - Consumo de materiais para traço referência

Materiais	Unidades	Valores
Consumo de cimento	kg/m ³	467
Consumo de agregado	kg/m ³	1869
Superplastificante	litros	47
Relação a/c	-	0,30
Relação cimento/agregado em massa	-	1:4

Fonte: Autor, 2019.

Já para o traço com 5% de substituição o consumo de materiais é exemplificado na tabela 16.

Tabela 16 - Consumo de materiais para o traço 5 % de subs.

Materiais	Unidades	Valores
Consumo de cimento	kg/m ³	467
Consumo de agregado graúdo	kg/m ³	1776
Consumo de agregado miúdo	kg/m ³	93
Superplastificante	litros	47
Relação a/c	-	0,30
Relação Cimento/Agregado em massa	-	1:4

Fonte: Autor, 2019.

4.1.2 Execução do concreto

Após todo o procedimento de execução do concreto realizado, foi realizado as verificações para controle do concreto permeável sendo elas:

Massa específica do concreto fresco é apresentada na tabela 17.

Tabela 17 - Massa específica do concreto fresco

Traços	Massa específica (kg/m³)
Referência	1890
5% de subs.	1975

Fonte: Autor, 2019.

Foi observado que a massa específica de ambos ficou elevada, assim reduzindo sua capacidade como condutor hidráulico, entretanto o aumento da densidade do concreto implica em uma maior resistência devido à redução do teor de vazios. Conforme citado na metodologia, a massa específica do concreto permeável varia entre 1300 kg/m³ a 2000 kg/m³ para concretos com índice de vazios reduzidos.

Outra verificação que foi realizada ainda na execução do concreto foi a visual, onde foi analisado que todo o agregado estava completamente envolvido por argamassa e que o concreto apresentava um aspecto brilhoso, assim demonstrando a execução correta do procedimento. A figura 13 apresenta a verificação de execução.

Figura 11 - Análise visual do concreto



Fonte: Autor, 2019.

A terceira e última verificação realizada ainda na betoneira foi a tátil visual, onde verificou que no concreto em questão não havia muita aglomeração, visto que não se formou bolas de concreto ao se pressionar na palma da mão.

Esta falta de aglomeração é devido ao excesso de superplastificante utilizado na mistura, onde foi utilizado 1% em relação ao teor de cimento, para adquirir um concreto permeável de melhor trabalhabilidade visto que nas referências analisadas, um dos principais problemas para execução do concreto permeável é justamente sua trabalhabilidade, que devido sua falta de finos, o material deve ser compactado cuidadosamente para não haver segregação do agregado graúdo. A figura 14 apresenta a verificação tátil visual.

Figura 12 - Verificação tátil visual



Fonte: Autor, 2019.

4.1.3 Slump

Para ambos os traços foi verificado que o slump caracterizou-se com baixa consistência visto que, após a repetição do ensaio o abatimento foi superior a ± 2 cm, assim ambos os traços se caracterizando como materiais de boa trabalhabilidade.

É necessário ressaltar que foi aplicado 1% de superplastificante, visto que o material por possuir baixo teor de finos e a utilização do CP V ARI contribuem para o início de pega acelerado, e como não foi utilizado retardadores de pega, uma melhor trabalhabilidade do

material contribui para uma execução acelerada na moldagem dos CP's. As figuras 15 e 16 apresenta os resultados do slump.

Figura 13 - Slump Traço Referência



Fonte: Autor, 2019

Figura 14 - Slump traço 5%



Fonte: Autor, 2019

4.1.4 Moldagem dos CP's

Conforme citado por (BATEZINI, 2013), a moldagem do concreto permeável é um dos setores mais importantes, e foi executado em 3 camadas iguais, sendo compactadas com 15 golpes cada uma utilizando o bastão metálico, com posterior vibração por 5 segundos.

Figura 15 - Corpos de prova após a moldagem



Fonte: Autor, 2019.

Após a execução de moldagem foi esperado de acordo com norma um prazo mínimo de 24 horas para retirar o material dos moldes metálicos. Neste procedimento, foi observado um início de colmatação em alguns CP's, onde verificou-se que os piores casos foram observados em CP's do traço com substituição de agregado graúdo por agregado miúdo.

No traço referência verificou-se que não houve início de colmatação, confirmando que os 5 segundos de vibração após a compactação no procedimento de moldagem foram suficientes para colaborar no adensamento do material sem prejudicar sua característica porosa conforme mostra a figura 18.

Já no traço com 5 % de substituição, verificou-se que houve início de colmatação na base inferior, assim prejudicando sua característica porosa e por consequência sua permeabilidade conforme apresentado na figura 19.

Figura 16 – Boas condições de porosidade no traço referência



Fonte: Autor, 2019.

Figura 17 - Início de colmatação traço de substituição



Fonte: Autor, 2019.

4.1.5 Resistência à Compressão

Os dados de resistência a compressão foram coletados aos 07, 14 e 28 dias após a data de moldagem do material, porém foi verificado que a superfície do material ficou de forma irregular devido à falta de argamassa, necessitando a execução do capeamento, utilizando uma pasta de cimento para regularizar a superfície, assim obtendo a perpendicularidade em relação ao eixo longitudinal e a planicidade dos CP's de concreto permeável conforme apresentado na figura 20.

Figura 18 - Capeamento do corpo de prova



Fonte: Autor, 2019.

A outra extremidade não teve a necessidade de capeamento, devido a superfície estar bem regularizada de acordo com o fundo do molde cilíndrico, onde foi adicionado o concreto para moldagem.

Todos os traços foram submetidos aos ensaios de compressão no conjunto de prensas EMIC PC-200, do laboratório de Materiais e Estruturas do CEULP/ULBRA.

Os dados de resistência à compressão, estão exemplificados na tabela 18.

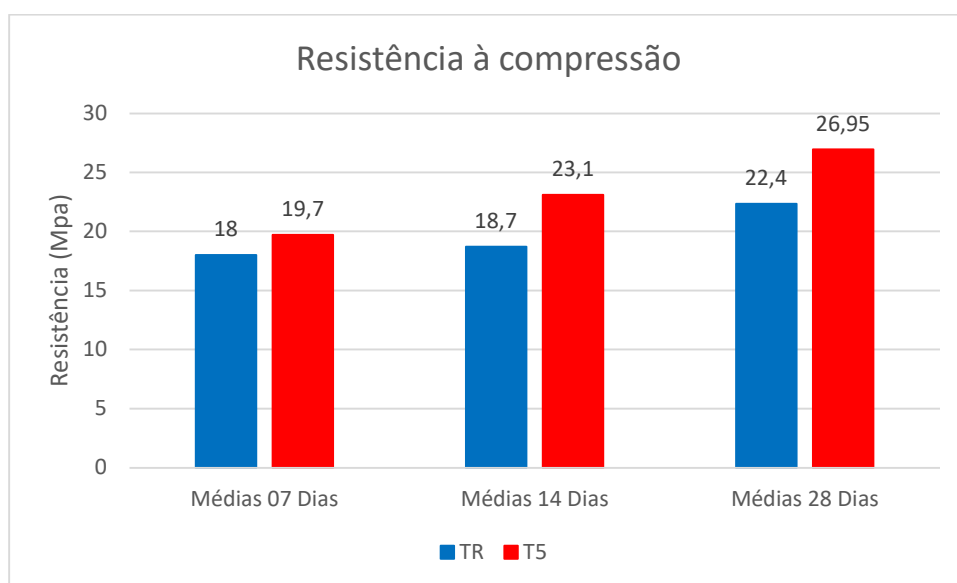
Tabela 18 - Resistência a compressão axial

Traços	Resistência a compressão (Mpa)								
	07 Dias		Médias	14 dias		Médias	28 dias		Médias
	CP 1	CP 2	07 dias	CP 1	CP 2	14 dias	CP 1	CP 2	28 dias
TR	17,1	18,9	18	19,0	18,4	18,7	23,0	21,7	22,4
T5	18,4	21,0	19,7	22,3	23,9	23,1	28,8	25,1	26,95

Fonte: Autor, 2019.

O gráfico 3 apresenta a média dos dados de resistência à compressão axial de acordo com seu tempo de cura.

Gráfico 3 - Médias de resistência a compressão axial



Fonte: Autor, 2019.

Foi observado que ambos os traços apresentaram resistência superior a 20 Mpa como recomendado na (ABNT NBR 16416, 2015), com a utilização apenas de aditivo superplastificante, que melhora sua trabalhabilidade assim possibilitando reduzir o fator água cimento, que implica diretamente na resistência do material.

Com 07 dias de cura observou-se que a diferença na resistência a compressão ficou em 1,7 Mpa, com o T5 obtendo uma resistência superior ao TR exatamente como previsto. Com 14 dias a diferença de resistência mecânica à compressão ficou em 4,4 Mpa, com o T5 novamente obtendo resistência superior ao TR.

A utilização de agregado miúdo substituindo em 5% do agregado graúdo, obteve-se um ganho de 4,6 Mpa de resistência a compressão axial aos 28 dias, afirmando que com o aumento do teor de finos, e a redução do índice de vazios, o concreto obteve um ganho considerável.

Com esses dados é possível validar que a substituição de agregado miúdo por agregado graúdo resultou em ganho na resistência do concreto permeável, visto que aos 28 dias o concreto já deve apresentar cerca de 80% de sua resistência final.

4.1.5.1 Tipo de Ruptura

A ruptura de ambos os traços utilizados foi a ruptura cisalhada lateral, esta ruptura é a segunda mais confiável, acontece sucessivamente em planos oblíquos em relação a direção da força cortante, rompendo apenas a pasta de cimento e água.

O ensaio com resultado no qual o tipo de ruptura seja cisalhado lateralmente, pode ser considerado normal e aceitável. Na figura 21 é demonstrado o tipo de ruptura dos CP's de ambos os traços.

Figura 19 - CP's com ruptura cisalhada lateral



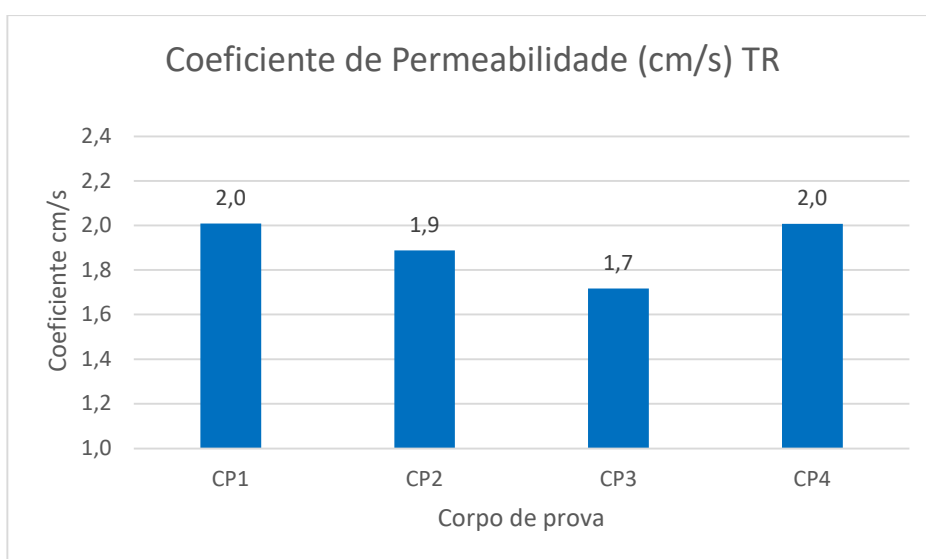
Fonte: Autor, 2019.

4.1.6 Permeabilidade do concreto

O pavimento recém construído deve apresentar coeficiente de permeabilidade k maior que 10^{-3} m/s. Analisando os dados, é possível ver que a substituição do agregado graúdo por agregado miúdo ocasionou em uma redução em sua capacidade como condutor hidráulico.

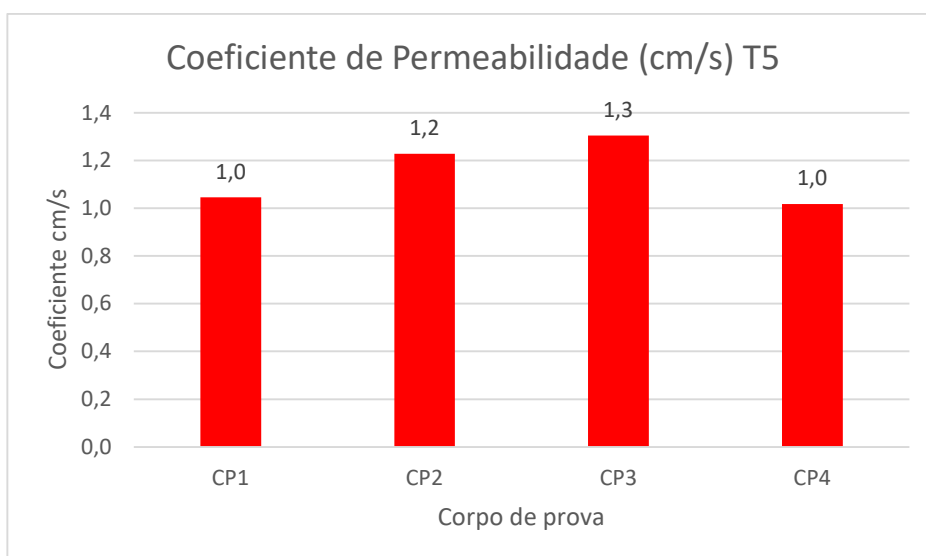
Ambos os traços atenderam a recomendação estipulada em norma na questão permeabilidade, os dados estão explicitados nos gráficos 4, 5.

Gráfico 4 - Coeficiente de Permeabilidade TR



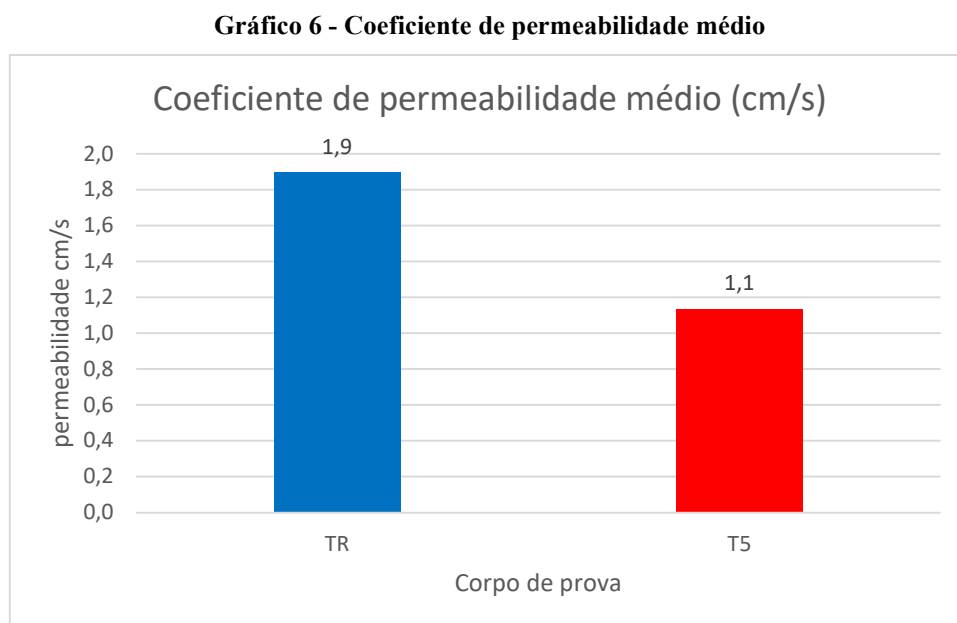
Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 5 - Coeficiente de permeabilidade T5



Fonte: Autor, 2019.

O gráfico 6 apresenta a variação do coeficiente de permeabilidade médio entre os traços estudados, assim identificando que a substituição de 5% de agregado graúdo por agregado miúdo impactou na sua característica de condutor hidráulico.



Fonte: Autor, 2019.

Vale ressaltar que a avaliação prévia em laboratório serve apenas para aprovação preliminar do material utilizado simulando suas condições permeabilidade, a validação do ensaio só é realizada no final com o pavimento executado em campo, assim com todos os parâmetros reais sendo analisados.

4.2 PRECIPITAÇÕES EM PALMAS

Após estudos relacionados a hidrologia da localidade foi determinado a equação para calcular a curva IDF, visto que através da curva IDF – Intensidade, duração e frequência podem se determinar a intensidade máxima pontual. A seguir é apresentado a equação 3.

Equação 3 - Parâmetros IDF de Palmas

$$i = \frac{5958,922 * Tr^{0,173}}{(Td + 35,301)^{1,043}}$$

Onde:

i = intensidade duração da chuva em mm/h;

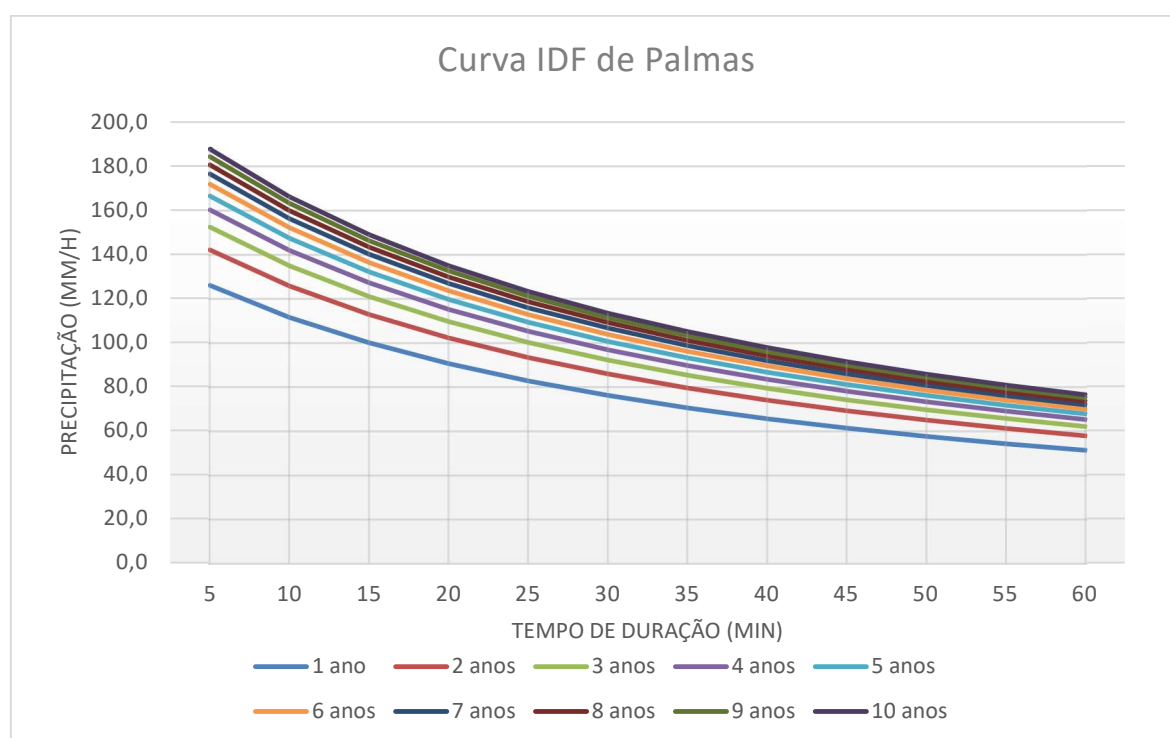
T_r = Tempo de retorno adotado;

T_d = Tempo de duração da chuva de projeto;

K , a , b , c são definidos pela localidade;

A partir desta equação foi possível extrair a Curva IDF apresentada no gráfico 7, utilizada para determinar as precipitações no local em estudo.

Gráfico 7 - Curva IDF



Fonte: Autor, 2019.

A curva IDF foi empregue pra extrair os parâmetros que serão utilizados para determinar o escoamento superficial do pavimento existente no estacionamento do CEULP/ULBRA, visto que ABNT NBR 16416:2015 de pavimentos permeáveis, recomenda que seja conhecida a intensidade duração e frequência de no mínimo 10 anos, assim possibilitando estimar o escoamento superficial do concreto permeável como pavimento principal.

4.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

4.3.1 Pavimento existente

O pavimento atualmente existente no estacionamento do CEULP/ULBRA, é um pavimento do tipo TSS – Tratamento superficial simples, onde uma de suas funções é impermeabilizar o solo.

Para determinar a taxa de escoamento superficial gerado pelo pavimento foi utilizado o método racional, onde foi determinado o coeficiente de runoff do pavimento como 0,95.

A intensidade de precipitação utilizada, foi a precipitação máxima de 5 minutos de duração e 10 anos de tempo de retorno por ser a situação crítica estudada para execução do projeto.

Foi verificado a partir do método racional e do coeficiente de deflúvio que o pavimento existente provoca um escoamento superficial de 0,8 m³/s na pior situação como mostra a tabela 19.

Tabela 19 - Escoamento superficial do TSS

	Tempo de duração (min)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1 ano	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
2 anos	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
3 anos	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
4 anos	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
5 anos	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
6 anos	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
7 anos	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
8 anos	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
9 anos	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
10 anos	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3

Fonte: Autor, 2019.

4.3.2 Pavimento de concreto permeável

O pavimento utilizando o concreto permeável, por ser um tipo de revestimento com alto teor de vazios e um material de granulometria aberta, garantem praticamente 100% de infiltração da água superficial, resultando em um baixo coeficiente superficial.

O coeficiente de deflúvio para o concreto permeável é 0,005 segundo (MARCHIONI; SILVA, 2011). Após sua aplicação no método racional foi verificado um escoamento superficial de 0,004 m³/s para uma precipitação de 5min de duração e 10 anos de retorno, conforme apresentado na tabela 20.

Tabela 20 - Escoamento superficial do concreto permeável

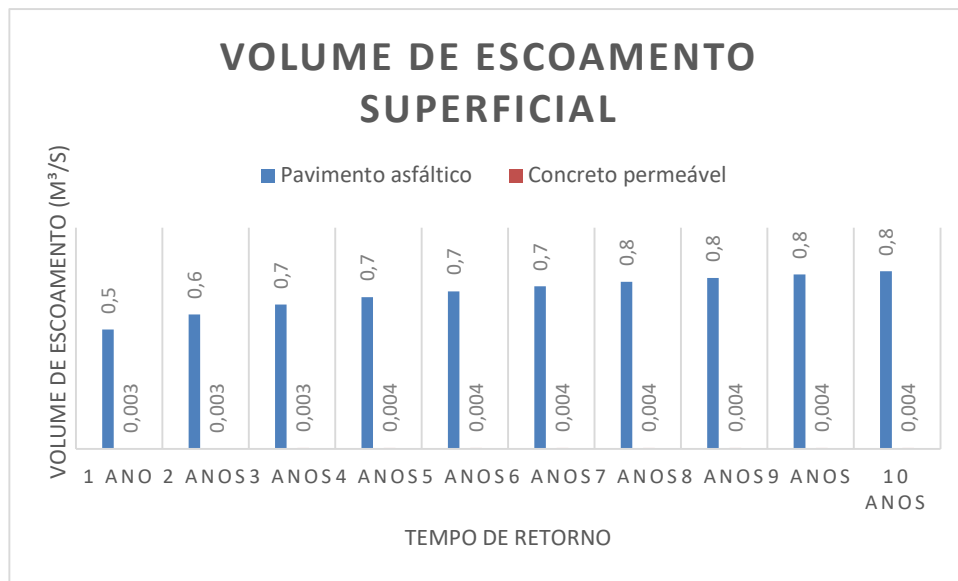
	Tempo de duração (min)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1 ano	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
2 anos	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
3 anos	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
4 anos	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
5 anos	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6 anos	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
7 anos	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
8 anos	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
9 anos	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
10 anos	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002

Fonte: Autor, 2019.

4.3.3 Comparativo de vazões

Após as definições de vazões de cada pavimento através do método racional, verificou-se que a utilização do pavimento de concreto permeável é possível reduzir 0,798 m³/s de escoamento levando em consideração a pior situação que contribuiria para o sistema de drenagem convencional assim comprovando a eficácia da utilização do material. No gráfico 8 mostra que é praticamente impossível comparar as vazões geradas por cada tipo de pavimento.

Gráfico 8 - Diferença de vazões de contribuição



Fonte: Autor, 2019.

Como foi observado é praticamente impossível comparar as vazões de contribuição entre os pavimentos, notoriamente o pavimento drenante de concreto permeável obteve uma grande vantagem sobre o pavimento asfáltico.

5 CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi de analisar e compor um traço de concreto permeável para a utilização em estacionamentos assim como verificar suas características permeáveis e mecânicas com intuito de reduzir o escoamento superficial gerado pelo estacionamento do CEULP/ULBRA, que acarrete em problemas para o sistema de drenagem convencional a jusante do local.

Analisando os resultados obtidos, foi verificado que o concreto superou os valores mínimos exigidos para permeabilidade em ambas as misturas TR e T5, obtendo um valor de resistência a compressão unidirecional superior a outros resultados de literatura para ambas as misturas, e conforme a norma todas atenderam a resistência mínima de 20 Mpa.

Destaca-se o ganho de resistência verificado na mistura T5 resultado da compactação mecânica e da substituição de 5% em massa do agregado graúdo por areia.

Foi possível observar a importância e a influência nos resultados do tipo de compactação empregado nas misturas, devido ao princípio de colmatação na mistura T5.

O principal efeito observado foi a redução de escoamento superficial gerado apenas no estacionamento do CEULP/ULBRA, no qual amenizaria o sistema de drenagem convencional, reduzindo problemas comuns em grandes cidades que devido à alta taxa de impermeabilização do solo e as taxas de contribuição elevadas, geram problemas como enchentes e alagamentos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os parâmetros mínimos atingidos, a seguir apresentam-se sugestões para trabalhos futuros:

- Usar compactação mecânica em um traço de concreto sem adição de areia para obter uma comparação real entre os resultados obtidos nesse trabalho;
- Analisar a influência do uso de agregados reciclados na composição;
- Alterar o fator água/cimento em outras misturas e analisar sua influência;
- Analisar a influência de sílica ativa na mistura, assim como outros aditivos;
- Verificar a influência da permeabilidade do solo para validação do sistema como amenizador para o sistema de drenagem convencional;
- Dimensionar um colchão drenante que atenda o sistema;
- Estudo sobre a manutenção do pavimento permeável.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 7211** – Agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 9776** – Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1988.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR NM 67** – Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR NM 248** – Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. **ABNT, N. 16416. NBR 16416:2015**, 2015.

ABNT NBR 16416:2015 - Pavimentos Permeáveis de Concreto - Requisitos e Procedimentos., 2015. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/29569625/norma-tecnica-abnt-nbr-16416-2015-pavimentos-permeaveis-de-concreto-requisitos-e-procedimentos>>. Acesso em: 16 abr. 2019

ACIOLI, L. A. Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte. p. 145, 2005.

ALENCAR, P. C. D. DE. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO CONCRETO POROSO NA ATENUAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PAULO CEZAR DIAS DE ALENCAR. 2013a.

ALENCAR, P. C. D. DE. Avaliação experimental do concreto poroso na atenuação do escoamento superficial em parcelas urbanizadas. 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 26: Agregados - Amostragem.** 2001.

BATEZINI, R. Estudo Preliminar De Concretos Permeáveis Como. 2013a.

BATEZINI, R. Estudo preliminar de concretos cermeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves. 2013b.

BOTTEON, L. M. DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PARA UTILIZAÇÃO EM BLOCOS INTERTRAVADOS PARA ESTACIONAMENTOS. p. 1–85, 2017.

CAMPOS, A. R. et al. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí1. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 45, n. 3, p. 488–498, 2014.

FERRAZ, F. **MANUAL DE HIDRÁULICA BÁSICA MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS PROFESSOR FÁBIO FERRAZ.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/08/manual-de-hidrc3a1ulica-bc3a1sica-ifba.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

FESTI, A. V. **COLETÂNEA DE EQUAÇÕES DE CHUVA NO BRASIL | Passei Direto.**

Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/24612038/coletanea-de-equacoes-de-chuva-no-brasil>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

HÖLTZ, F. DA C. Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, v. 1, p. 118, 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (RS). v. VI, p. 223, 2005.

LARENTIS, D. **Conceitos da drenagem urbana – Rhama | Aprenda**. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/index.php/aguas-urbanas/conceitos-da-drenagem-urbana/>>. Acesso em: 1 abr. 2019.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. Conceitos e Requisitos para Pavimentos Intertravado Permeável. p. 8, 2010.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Melhores Práticas - Pavimento Intertravado Permeável**. [s.l: s.n.].

MARIANO, H. R. INFLUÊNCIA DO TEOR DE ARGAMASSA E DA GRANULOMETRIA DA BRITA NA PERMEABILIDADE E NAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO E À ABRASÃO DE CONCRETOS PERMEÁVEIS. **Dissertação (Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**, p. 161, 2014.

MULLER, M. TÉCNICA COMPENSATÓRIA DE DRENAGEM URBANA: UM ESTUDO SOBRE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL. p. 1–71, 2017.

PAIVA COUTINHO, A. Pavimento Permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade de Recife. p. 153, 2011.

PINTO, L. H.; PINHEIRO, S. A. Orientações Básicas para Drenagem Urbana. **Fundação Estadual do Meio Ambiente**, p. 32, 2006.

PINTO, L. L. C. A. O Desempenho De Pavimentos Permeáveis Como Medida Mitigadora Da Impermeabilização Do Solo Urbano. p. 283, 2011.

PMSB. Plano Municipal De Saneamento Básico. v. I, p. 186, 2014.

ROCHA, A. F.; BACK, Á. J. **A DRENAGEM URBANA COMO ÁREA DE ATUAÇÃO DA AGRIMENSURA URBAN DRAINAGE AS A AREA OF EXPERTISE SURVEY**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://periodicos.unesc.net/tecnoambiente/article/viewFile/1092/1053>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

SULEIMAN, M.; KEVERN, J.; SCHAEFER, V. **Effect of Compaction Energy on Pervious Concrete Properties**. [s.l: s.n.].

TOMAZ, P. Capítulo 60. **Curso de Manejo de águas pluviais**, p. 1–18, 2009a.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva de cobertura em área urbana para fins não potáveis. p. 1–13, 2009b.

TOMAZ, P. Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais. p. 1–592, 2011.

VIRGILIIS, A. L. C. DE. Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. **Dissertação de Mestrado**, v. 1, n. 1, p. 191, 2009.