

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VANESSA FAVORETO NASCIMENTO

**INCORPORAÇÃO DE BIOMASSA PROVENIENTE DO PROCESSO
DE FITORREMEDIAÇÃO EM CONCRETO PARA *PAVERS***

CAMPO MOURÃO

2018

VANESSA FAVORETO NASCIMENTO

**INCORPORAÇÃO DE BIOMASSA PROVENIENTE DO PROCESSO
DE FITORREMEDIAÇÃO EM CONCRETO PARA *PAVERS***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

INCORPORAÇÃO DE BIOMASSA PROVENIENTE DO PROCESSO DE FITORREMEDIAÇÃO EM PAVERS

por

Vanessa Favoreto Nascimento

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 09:00h do dia 29 de outubro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de
Oliveira**
(UTFPR)

**Prof. Me. Adalberto Luiz Rodrigues de
Oliveira**
(UTFPR)

Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil: **Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza**

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Pedro Geraldo do Nascimento e Maria de Fátima Favoreto do Nascimento e a minha irmã Karina Favoreto Nascimento por estarem ao meu lado a todo o momento e por me ampararem sempre que necessário.

Aos meus avós pelas incontáveis orações.

Aos meus amigos e colegas pela amizade, paciência e conhecimento compartilhados.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão, com quem tive contato, os quais contribuíram com conhecimentos repassados e com minha formação acadêmica, em especial ao professor orientador Dr. Jorge Luís Nunes de Góes pela disposição, orientação e informações transferidas.

E, por fim, a todos aqueles que de alguma forma fizeram parte, contribuíram e estiveram ao meu lado nesta etapa.

RESUMO

A contaminação da água, através de metais pesados, tem sido motivo de preocupação para pesquisadores e órgãos governamentais envolvidos no controle de sua qualidade e poluição. Neste sentido, macrófitas aquáticas tem sido frequentemente utilizadas em pesquisas como bioindicadores de qualidade da água. Entretanto, devido sua rápida reprodução, estas plantas precisam ser removidas do meio aquático. Além disso, quando contaminadas por metais pesados, não podem ser descartadas de forma incorreta. Sendo assim, uma possível alternativa é a utilização de sua biomassa como adição a traços de concreto, isolando-a do meio. No presente trabalho, objetivou-se o uso de *Pontederia parviflora* Alexander como agente fitorremediador e a verificação da viabilidade do uso de sua biomassa incorporada ao concreto para produção de *pavers*. Foram produzidos traços de concreto sem a adição de biomassa (0%) e com adição de 2,5% e 5% de biomassa proveniente de fitorremediação. As propriedades avaliadas, para o concreto, foram a consistência, a absorção de água e a resistência à compressão. Os resultados obtidos para resistência à compressão e absorção de água mostraram que não é viável a incorporação de tais porcentagens de biomassa de *P. parviflora* no concreto.

Palavras-chave: Fitorremediação. *Pavers*. Concreto.

ABSTRACT

Contamination of water by heavy metals has been a subject matter that concerns researchers and government agencies involved in water quality and pollution control. About that, aquatic macrophytes have often been used in research as bioindicators of water quality. However these plants need to be removed from the aquatic environment, due to its fast reproduction. Besides, they cannot be discarded inadequately, mostly when there is some contamination. For this, it was studied the possibility of using its biomass as addition to concrete. Thus, the aim of this work was to use *Pontederia parviflora* Alexander as a phytoremediate agent and the verification of the viability of using its biomass incorporated to the concrete for the production of pavers. Concrete with 0%, 2.5% and 5% biomass addition from phytoremediation were produced. The evaluated properties were the workability, the water absorption and the compressive strength. The results obtained for the compressive strength and the water absorption showed that the *P. parviflora* biomass incorporate in concrete is not viable for pavers production.

Keywords: Phytoremediation. Pavers. Concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Grupo de macrófitas aquáticas.	16
Figura 2 – Fluxograma dos revestimentos de pavimento.	21
Figura 3 – Fluxograma das etapas envolvidas na parte experimental.	25
Figura 4 – Preenchimento do cone.	33
Figura 5 – Molde e haste.	34
Figura 6 – Medida do abatimento.	35
Figura 7 – Molde.	36
Figura 8 – Moldes preenchidos de concreto.	37
Figura 9 – Corpos de prova desmoldados.	38
Figura 10 – Processo de cura.	38
Figura 11 – Corpos de Prova retificados.	39
Figura 12 – Estufa.	40
Figura 13 – Balança.	41
Figura 14 – Equipamento de aplicação de força.	42
Figura 15 – Comparativo das resistências médias para cada dosagem.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo sugerido de materiais para a fabricação de <i>pavers</i> , para diferentes traços.....	26
Tabela 2 – Exigências físicas e mecânicas do Cimento Portland CP-V ARI.....	27
Tabela 3 – Granulometria do agregado miúdo para uma amostra de 498g	28
Tabela 4 – Granulometria do agregado graúdo para uma amostra de 1kg.....	28
Tabela 5 – Quantidade de materiais para cada corpo de prova com diferentes porcentagens de biomassa	30
Tabela 6 – Quantidade total de materiais para execução dos ensaios	30
Tabela 7 – Peso em kg, pesagem inicial	44
Tabela 8 – Peso em kg, após 24h em estufa	44
Tabela 9 – Peso em kg, após 48h em estufa	45
Tabela 10 – Peso em kg, após 72h em estufa	45
Tabela 11 – Peso em kg, após 24h de imersão	45
Tabela 12 – Peso em kg, após 48h de imersão	45
Tabela 13 – Peso em kg, após 72h de imersão	46
Tabela 14 – Média dos pesos em kg.....	46
Tabela 15 – Absorção de água por dosagem.....	46
Tabela 16 – Valores médios de absorção de água.	47
Tabela 17 – Resultado de resistência à compressão individual dos Corpos de Prova.....	48
Tabela 18 – Resistências médias e desvio padrão para cada dosagem.....	48
Tabela 19 – Valores médios de resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DNIT	Diretoria de Planejamento e Pesquisa
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
NM	Normas Mercosul
ppm	Partes por milhão
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
CBC	Cinza do bagaço da cana-de-açúcar

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
μm	Micrômetro
M_{sat}	Massa do corpo saturado
M_{s}	Massa do corpo seco
f_c	Resistência à compressão, em megapascals
F	Força máxima alcançada, em Newtons
D	Diâmetro do corpo de prova, em milímetros
y	Média aritmética
Σ	Somatório
x	Números obtidos
n	Número de elementos da amostra
S	Desvio padrão
x_i	Elementos da amostra
$f_{ck_{est}}$	Resistência característica estimada, em megapascals
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
f_m	Resistência à compressão média, em megapascals

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	40
Equação 2	42
Equação 3	43
Equação 4	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 JUSTIFICATIVAS	13
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4.1 Poluição do ambiente aquático	14
4.1.1 Macrófitas aquáticas	15
4.1.2 Fitorremediação	17
4.2 Resíduos	17
4.2.1 Biomassa vegetal	18
4.3 Concreto.....	19
4.4 Pavimento	20
4.4.1 Pavimento intertravado de concreto	21
4.5 Aplicação de biomassa na construção civil	22
5 MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1 Determinação da dosagem	26
5.2 Caracterização dos materiais	26
5.2.1 Caracterização do aglomerante	27
5.2.2 Caracterização do agregado miúdo	27
5.2.3 Caracterização do agregado graúdo	28
5.3 Cálculo da quantidade de materiais para a realização dos ensaios	29
5.4 Obtenção das macrófitas submetidas à fitorremediação	30
5.4.1 Secagem e moagem das macrófitas	31
5.5 Produção do concreto	32
5.6 Determinação da consistência	33
5.7 Moldagem e desforma dos Corpos de Prova	35
5.7.1 Preparação das bases dos corpos de prova cilíndricos para ensaio de compressão.....	39
5.8 Absorção de água por imersão	40
5.9 Resistência à compressão	41
5.9.1 Cálculo da resistência à compressão	42
5.9.2 Resistência média	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6.1 Slump Test	44
6.2 Absorção de água	44
6.2 Resistência à compressão	47
7 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da civilização humana o homem modifica o meio ambiente, e nas últimas décadas isso vem ocorrendo de maneira mais intensa. A industrialização, mesmo sendo acompanhada do progresso e do desenvolvimento, traz um acentuado dano ambiental, através do lançamento de efluentes em ambientes aquáticos (VERMA et al., 2008). A exemplo tem-se a situação do Brasil, país cujo alto crescimento industrial é responsável por afetar patrimônios naturais e recursos hídricos, devido ao inadequado ou ausente tratamento de lançamentos (RAMOS et al., 2013).

O despejo de efluentes em corpos hídricos pode ocasionar variações nas características físico-químicas e nas concentrações de cada um dos componentes químicos, como nutrientes e metais pesados, resultando em drásticas consequências para os seres vivos que dependem direta ou indiretamente do corpo de água (BRAGA et al., 2002). A expressão metais pesados é aplicada aos metais e metaloides com densidade atômica maior que 4.000 Kg/m³ ou cinco vezes maior que a da água, sendo componentes naturais da crosta terrestre (HASHIM et al., 2011). Por serem frequentemente os receptores finais desses elementos, os ecossistemas aquáticos estão em grande risco. A remediação de metais pesados de sistemas aquáticos é essencial para reduzir este impacto sobre a biosfera (KANOUN-BOULE et al., 2009).

Segundo Mishra & Tripathi (2008), as macrófitas têm grande potencial para absorver metais pesados. Nos ecossistemas aquáticos, estes vegetais são geralmente os primeiros organismos a terem interação com esses elementos (XU et al., 2010).

O uso de macrófitas aquáticas, utilizadas através do processo de fitorremediação, além de apresentar um baixo custo, é uma alternativa que vem sendo estudada em diferentes partes do planeta no tratamento de águas residuais e, de acordo com Naime & Garcia (2005), tem alta eficiência na remoção de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), nitrogênio, fósforo e coliformes fecais, que são utilizados como nutrientes, sendo absorvidos pelas suas raízes.

A eficiência na remoção biológica dos poluentes orgânicos e inorgânicos está intimamente ligada ao manejo feito com a biomassa no sistema de tratamento, especialmente nas regiões tropicais, isto ocorre, pois, as altas concentrações de

fósforo e nitrogênio proporcionam estímulo ao crescimento da biomassa praticamente durante todo o ano (COSTA, 2004; MISHIMA et al., 2007).

A biomassa contaminada quase sempre é disposta de forma inadequada no meio, provocando impacto negativo, ou encaminhada para aterros sanitários (Resolução CONAMA 308/2002). Os aterros, embora sejam uma forma adequada de disposição de resíduos sólidos, não resolvem a questão, sendo a opção menos favorável na pirâmide de priorização do gerenciamento desses resíduos de acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010). Portanto, uma alternativa é a sua utilização como matéria prima para as indústrias.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade da incorporação, em traço de concreto para *pavers*, da biomassa seca proveniente da macrófita *Pontederia parviflora* Alexander utilizada em processo de fitorremediação, ofertando, assim, uma destinação adequada para os resíduos provenientes desse processo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o comportamento das propriedades do concreto com adição de biomassa submetida à fitorremediação.

2.2 Objetivos específicos

- Adicionar porcentagens diferentes de biomassa contaminada por cromo ao concreto;
- Realizar a caracterização dos materiais utilizados;
- Executar *slump* test e ensaios de resistência à compressão, absorção de água do concreto em corpos de prova com adição e sem adição de biomassa;
- Analisar e comparar os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados.

3 JUSTIFICATIVAS

A fitorremediação utilizando macrófitas aquáticas, em particular, para a retirada de metais pesados encontrados em efluentes, é uma técnica que tem apresentado bons resultados. Especificamente a *Pontederia parviflora* pode acumular em seus tecidos cerca de 52% da concentração de cromo, após 5 dias em ambiente de concentração de 60 ppm de cloro, condizendo com o princípio da fitorremediação (FERREIRA FILHO et al., 2015). No entanto, este método de tratamento de águas residuais gera uma grande quantia de biomassa, em razão da rápida reprodução e desenvolvimento das plantas utilizadas no processo. Este resíduo contaminado por metais pesados, os quais são tóxicos e se acumulam ao longo dos níveis tróficos, não pode ser simplesmente descartado no meio ou ser utilizado para a alimentação animal. Assim, surge a necessidade de se encontrar novas aplicações para este material, que apresentem para o mesmo uma destinação adequada e sustentável.

Sendo o concreto um material versátil, o qual pode ter diferentes traços e aplicações é possível, desde que em quantidades adequadas, que sejam feitas adições em sua composição sem alterar drasticamente sua qualidade, ou até mesmo acrescentar propriedades positivas a ele. Desta forma, a biomassa gerada pela fitorremediação de metais pesados, pode ser incorporada ao concreto, como forma de mantê-la isolada do meio, gerando um ganho ambiental.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Poluição do ambiente aquático

Os ambientes aquáticos compreendem uma grande diversidade de ecossistemas como lagos, rios, estuário e oceanos, que por serem abertos e dinâmicos, sofrem modificações contínuas em sua composição química (COSTA et al., 2008), sendo um dos ecossistemas que mais sofre impactos causados pela ação antrópica, uma vez que constitui o compartimento final de vários produtos gerados pela atividade humana (AKAISHI, 2003).

A disposição final em rios ou lagos, de efluentes gerados por indústrias, atividades agrícolas e utilização doméstica sem o tratamento adequado, pode acarretar em problemas ao meio ambiente, como a eutrofização do corpo hídrico receptor. As atividades antrópicas são as principais geradoras de emissões de contaminantes no ar, no solo e principalmente nas águas (COSTA et al., 2008). Segundo Baird (2002), a poluição das águas por elementos químicos e biológicos é um problema a nível mundial e independe do baixo ou alto índice de desenvolvimento dos países. Problema o qual pode estar relacionado com o crescimento industrial e populacional, como também com a despreocupação da população e a inadvertência dos órgãos governamentais de cada região sobre o assunto.

A poluição do meio ambiente devido aos metais pesados é também um problema a nível mundial. Com a exploração de minérios ocorre a mobilização de metais pesados que são posteriormente aplicados em vários tipos de sistemas industriais e nas mais diversas atividades humanas. Com a liberação desses metais para o meio e a crescente industrialização a poluição por metais pesados está se tornando mais grave e conseqüentemente aumentando a contaminação dos ciclos biogeoquímicos naturais.

Os metais são elementos não biodegradáveis, o que faz com que se tornem acumulativos no meio ambiente, fato este que representa risco à saúde humana e ambiental. Estes elementos concentram-se nos tecidos corporais de organismos vivos, e tendem a se acumular em maior quantidade em níveis tróficos superiores, fenômeno conhecido como biomagnificação (KHAN et al., 2010).

O cromo, em especial, presente em siderúrgicas e indústrias têxtil (SANTANA, 2008), pode causar variados danos à saúde, como: irritações na pele, olhos e trato respiratório, além de cânceres, problemas neurológicos e mutagênicos (GODECKE, RODRIGUES & NAIME, 2012).

Dada esta alta taxa de problemas ambientais, surgiu à necessidade de se buscar alternativas para a despoluição de áreas contaminadas por diferentes compostos, levando em conta a opção por técnicas que sejam de fácil execução, menor tempo demandado pelo processo, menor custo e que apresentem uma boa eficiência na remoção dos compostos poluentes (PIRES et al., 2003). A fitorremediação se encaixa no que foi descrito por Pires et al. (2003), pois de acordo com Dinardi et al. (2003) os métodos de fitorremediação podem ser utilizados em grandes áreas e possuem um baixo custo, podendo remediar águas contaminadas, solo e subsolo.

4.1.1 Macrófitas aquáticas

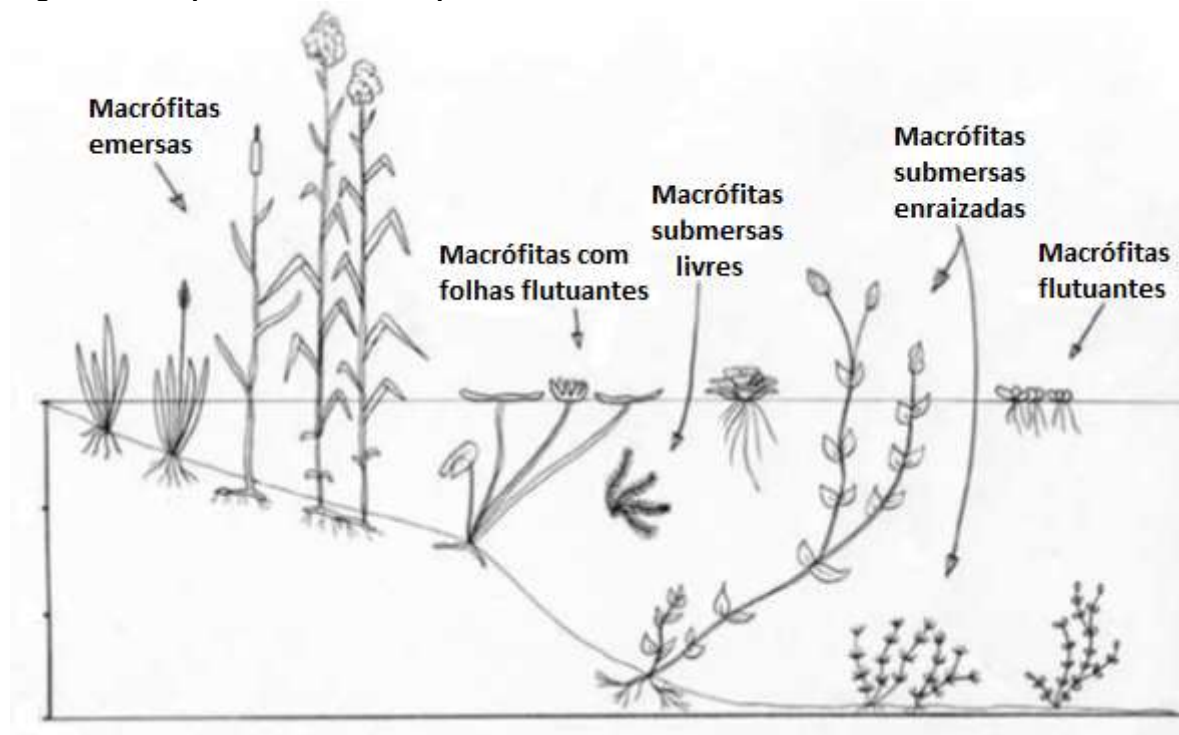
Segundo Esteves (1998), as macrófitas aquáticas durante sua evolução regressaram do meio terrestre para o meio aquático. Deste modo esses vegetais apresentam várias características de vegetação terrestre, como a presença de cutícula (reduzida), e de estômatos, que por sua vez são não funcionais para a maior parte das espécies. As macrófitas aquáticas representam um grupo muito grande, por esse motivo são geralmente classificadas em cinco grupos ecológicos, baseados em seu modo de vida no ambiente aquático. Desta forma, pelo grau de adaptação ao meio aquático, elas são classificadas em:

- Macrófitas aquáticas emersas: são aquelas que possuem suas folhas acima do nível da água e são enraizadas no sedimento. Por exemplo: *Typha sp.*, *Pontederia sp.* e *Eleocharis sp.*;
- Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: com folhas flutuando sobre a lâmina da água e raízes fixas ao sedimento. Exemplos: *Nymphaea sp.*, *Victoria sp.* e *Nymphoides sp.*;
- Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: Crescem totalmente submersas, são enraizadas no sedimento, podendo ter seus órgãos reprodutivos flutuantes na superfície ou aéreos. Por exemplo: *Elodea sp.* e *Egeria sp.*;

- Macrófitas aquáticas submersas livres: permanecem flutuando submergidas na água, e ao invés de raízes possuem rizóides pouco desenvolvidos. Por exemplo: *Utricularia sp.* e *Ceratophyllum sp.*;
- Macrófitas aquáticas flutuantes: flutuam sobre a água. Exemplos: *Azolla sp.*, *Pistia sp.* e *Salvinia sp.*

Tais grupos ecológicos podem se distribuir de forma organizada e paralela à margem do corpo hídrico, seguindo para o seu interior. Deste modo, forma-se um gradiente de distribuição iniciando com as macrófitas emersas, passando pelas de folhas flutuantes até as submersas enraizadas. Na Figura 1 é possível observar a distribuição das macrófitas.

Figura 1 – Grupo de macrófitas aquáticas.



Fonte: Esteves (1998)

4.1.2 Fitorremediação

"A fitorremediação refere-se basicamente ao uso de plantas e micróbios de solo associados para reduzir as concentrações ou efeitos tóxicos de contaminantes nos ambientes" (GREIPSSON, 2011). Segundo Rocha et al. (2004), esta técnica consiste na utilização de plantas para a absorção de poluentes, concentrando-os em seus tecidos.

A fitorremediação aquática possui muitas vantagens, dentre elas está o respeito ao meio ambiente, a rentabilidade e a possibilidade de se colher as plantas para a extração dos contaminantes absorvidos do meio, e acumulados em seus tecidos, como os metais pesados, para que haja uma destinação adequada. As macrófitas aquáticas são vegetais muito úteis para a realização deste tipo de fitorremediação por serem efetivos acumuladores de metais pesados (ARAVIND et al., 2005).

4.2 Resíduos

A norma NBR 10004 (2004) define os resíduos sólidos como: "... resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição". São incluídos também nessa definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem não viável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água ou exijam, para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível.

Todo resíduo gerado deve ser disposto de forma correta com o objetivo de evitar a contaminação do meio ambiente, e riscos à saúde humana. A classificação dos resíduos deve ser feita visando identificar o processo gerador, seus constituintes e a identificação dos possíveis constituintes nocivos à saúde. No Brasil, a norma NBR 10004 normatiza os critérios para a classificação de diversos tipos de resíduos sólidos, esta classificação é feita da seguinte forma:

- Resíduos Classe I ou perigosos.

- Resíduos Classe II ou não perigosos. Este último por sua vez é subdividido em:
 - Resíduos classe II A ou Não inerte
 - Resíduos classe II B ou Inerte.

A partir dessas classificações são determinadas as destinações adequadas para cada classe de resíduo. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10), a destinação final ambientalmente adequada de resíduos inclui: reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA. Os resíduos são coletados, passam por estas etapas e somente o que não pode ser utilizado (rejeito) deverá ser destinado para os aterros adequados a cada tipo de rejeito gerado.

4.2.1 Biomassa vegetal

Higman & Van der Burgt (2003), definem biomassa como sendo qualquer combustível ou matéria bruta oriundos de organismos que estiveram vivos recentemente. Esta definição claramente exclui os tradicionais combustíveis fósseis que, mesmo sendo derivados de matéria orgânica vegetal e animal, necessitaram de milhões de anos para sua conversão para a forma na qual são encontrados atualmente. A biomassa se caracteriza, essencialmente, por ser uma matéria carbonada em estado sólido.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2015), a principal fonte de biomassa gerada é de origem vegetal.

Como as macrófitas possuem um crescimento rápido, e para que não existam danos ao meio são necessárias medidas de controle de população destas plantas. Dentre os principais métodos de controle estão o biológico, o mecânico e o químico (POMPÊO, 2008).

O controle biológico é baseado na utilização de inimigos naturais da macrófitas alvo, visando reduzir sua população de forma a não causar problemas ao corpo hídrico (PITELLI et al., 2003).

No controle mecânico faz-se remoção das macrófitas utilizando pás, facas e bolsas vazadas para retirada e armazenamento das porções vegetais removidas da planta. A maior vantagem desse tipo de controle é sua especificidade, com remoção

unicamente das espécies desejadas, gerando mínimo impacto sobre as demais plantas presentes no lago. Para a remoção mecânica usa-se também o ancinho, uma máquina com lâminas giratórias, que elimina até raízes fixas no substrato, porém não é um instrumento seletivo, cortando todas as espécies (POMPÊO, 2008).

A respeito do controle químico, no Brasil não é autorizado, pois para a realização, são utilizados herbicidas para o controle de plantas aquáticas flutuantes e marginais (PITELLI et al., 2008).

O descarte da biomassa de macrófitas em aterros sanitários específicos no Brasil é regulamentado pela Resolução CONAMA 308/2002 (Licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte), no entanto alguns autores propõem usos para a biomassa dessas plantas, de forma a evitar a sua disposição final como resíduo sólido. A macrófita *P. stratiotes*, por exemplo, pode ser usada para alimentação animal, já *E. crassipes* tem potencial como fertilizante do solo, devido aos teores elevados de cálcio, magnésio, zinco, ferro e cobre, e alta produção de biomassa (HENRY-SILVA & CAMARGO, 2006, 2008).

4.3 Concreto

De acordo com Pedroso (2009), a ASTM (American Society for Testing and Materials), define o concreto como um material compósito que consiste de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas, é o composto resultante da mistura homogênea de cimento, agregados – grãos e/ou miúdos – e água, podendo conter, ou não, aditivos que melhorem seu desempenho.

Os aglomerantes unem os fragmentos de outros materiais, para o uso no concreto, geralmente, é empregado o cimento Portland, o qual por ser um aglomerante hidráulico, reage com a água e endurece com o tempo. Os agregados são partículas minerais que dão volume a mistura, ajudando a reduzir seu custo, e contribuindo para a estabilidade volumétrica do produto final. Podem ser divididos em dois grupos de acordo com sua graduação:

- Agregados miúdos: $0,075\text{mm} < \text{graduação} < 4,8\text{mm}$. Exemplo: areias.
- Agregados grãos: $\text{graduação} > 4,8\text{mm}$. Exemplo: pedras.

Os aditivos são produtos que adicionados ao concreto alteram suas propriedades, para torná-lo mais adequado a cada situação de uso. Já as adições

podem ser incorporadas aos concretos ou inseridas nos cimentos ainda na fábrica, resultando em variados tipos de cimentos comerciais.

Segundo Carvalho (2008), desde a sua descoberta o concreto por ser versátil vem sendo alterado, de tal forma que havendo necessidade, novas características e propriedades foram testadas e utilizadas. Porém alguns usos e tipos de misturas não são sempre adequados para todos os tipos de aplicação. Por tal motivo, muito se estuda a respeito da tecnologia do concreto.

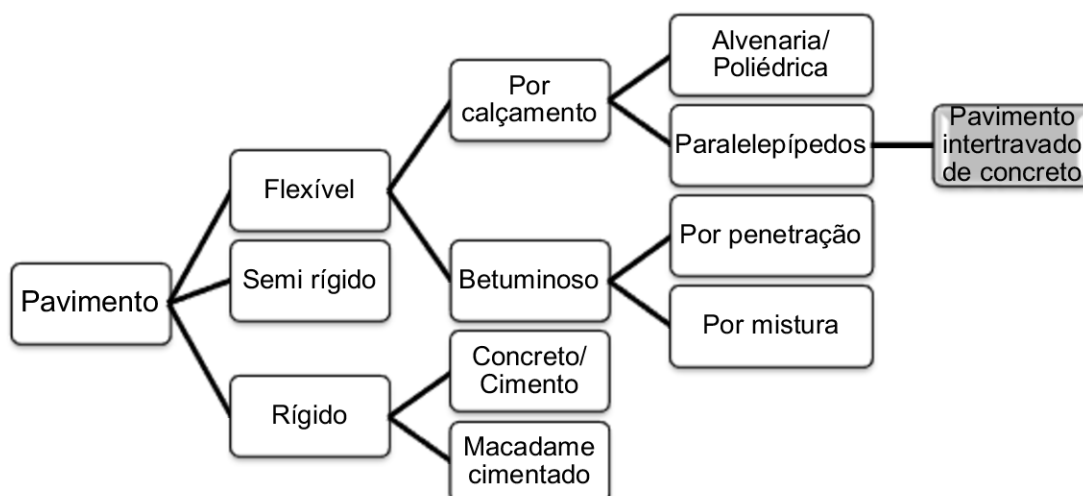
Esses estudos tornaram possível o entendimento do material e de seus constituintes o que permite a manipulação adequada de cada produto a ser utilizado. Hoje é possível adequar o concreto a cada tipo de obra, atendendo a cada situação, podendo assim produzir concreto de alta resistência, concreto leve, pesado, compactado a rolo e entre outros.

4.4 Pavimento

A Diretoria de Planejamento e Pesquisa – DNIT (2006) define como pavimento, a superestrutura constituída por um sistema de camadas com espessuras finitas, assentados sobre um semiespaço considerado teoricamente como infinito (infraestrutura ou terreno de fundação), a qual é designada de subleito.

Na Figura 2 apresenta-se um fluxograma que indica a classificação dos revestimentos de pavimentos segundo a Diretoria de Planejamento e Pesquisa – DNIT (2006) e, como pode ser observado, o pavimento intertravado de concreto é classificado como revestimento flexível.

Figura 2 – Fluxograma dos revestimentos de pavimento.



Fonte: Adaptado de DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA – DNIT (2006)

4.4.1 Pavimento intertravado de concreto

A NBR 9781:2013 (ABNT, 2013) define pavimento intertravado de concreto como, pavimento do tipo flexível, com sua estrutura composta por uma camada de base (ou base e sub-base), tendo como revestimento peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento onde as juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção.

No pavimento todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA – DNIT, 2006). Seus revestimentos podem ser betuminosos ou por calçamento.

De acordo com as normas NBR 9781:2013 (ABNT, 2013) e NBR 15953:2011 (ABNT, 2011), são estabelecidos requisitos mínimos, métodos de ensaio e de execução exigíveis para aceitação de peças de concreto para pavimentação intertravada sujeita ao tráfego de pedestres, de veículos e áreas de armazenamento de produtos.

No entanto, não são citados os requisitos de projeto e construção das camadas de base de pavimentos intertravados.

4.5 Aplicação de biomassa na construção civil

Segundo Vo & Navard (2016), no que diz respeito ao aspecto ambiental e à viabilidade econômica, a substituição de agregados minerais ou cargas inorgânicas, em materiais da construção civil, por biomassa podem ser um passo importante para aliviar algumas das desvantagens e os problemas ambientais criados pela produção industrial. Por este motivo, grupos de pesquisadores têm focado suas investigações no aprimoramento das propriedades de produtos cimentícios contendo biomassa, incluindo procedimentos de preparação, tratamentos de biomassa, durabilidade em longo prazo, facilidade de produção, propriedades mecânicas e térmicas bem como análises dos impactos ambientais.

Artigos têm sido publicados nas áreas de física, mecânica e estrutural sobre as propriedades desses materiais à base de biomassa para utilização no concreto, indicando que o uso de biomassa para substituir materiais convencionais pode ser uma solução viável para resolver o problema da poluição.

A resistência mecânica e o módulo de elasticidade de pastas de cimento endurecido e concreto são umas das mais importantes características normalmente avaliadas, juntamente com as propriedades de durabilidade e outras características, como a condutividade térmica e absorção de água. As avaliações são feitas de acordo com os procedimentos padrões utilizados para concretos e cimentos convencionais. Essas investigações demonstraram que materiais cimentícios produzidos com biomassa podem apresentar propriedades positivas.

Alengaram et al. (2010), fizeram a comparação das propriedades frescas e mecânicas entre o concreto leve, com casca de semente de palmeira, e o concreto de peso normal de resistência similar foi apresentada pelos autores. A casca de semente de palma é um dejetos industrial e foi aplicada como agregado leve (baixa densidade aparente) ao concreto. Além disso, aditivos minerais, 10% de sílica e 5% de cinzas volantes também foram utilizados. O concreto com adição de cascas produziu uma redução de densidade de cerca de 20% em relação ao concreto de peso normal. A adição de sílica aumentou a resistência à compressão e, portanto, o concreto leve obteve aos 28 dias resistência à compressão de até 37 MPa.

Mannan & Ganapathy (2002), também utilizaram cascas de semente de palma, e obtiveram resistências de compressão aos 28 dias do concreto com cascas que satisfazem as exigências de concreto estrutural leve. A resistência à flexão aos

28 dias do concreto com cascas ficaram entre aproximadamente 14% e 17% de sua resistência à compressão, para os concretos de peso normal, a resistência à flexão é geralmente cerca de 15% da resistência à compressão.

Sisman et al. (2011), tomaram como objetivo da pesquisa investigar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas do concreto produzido com o uso de resíduos orgânicos (casca de arroz). O concreto foi produzido adicionando várias quantidades de casca de arroz como agregado (5, 10, 15, 20, 25 e 30%). A resistência à compressão foi determinada após 7 e 28 dias, e a taxa de absorção de água, congelamento e descongelamento, foram determinadas após 28 dias. De acordo com os resultados experimentais, a resistência à compressão dos concretos variaram entre 17,6 e 37,5 MPa. Todo o concreto produzido se mostrou resistente ao congelamento. Para a absorção de água as taxas se apresentaram abaixo de 5,5%. Em conclusão, a casca de arroz demonstrou potencial como material para usado na produção de concreto leve, considerando sua resistência e propriedades de isolamento.

De acordo com Awwad et al. (2012), para a obtenção de um concreto mais sustentável, adicionou-se fibras de cânhamo à mistura de concreto e reduziu-se as quantidades de agregado graúdo. As fibras de cânhamo foram adicionadas em diferentes percentagens volumétricas (0,5%, 0,75% ou 1%) em relação ao volume de concreto. Uma grande variedade de testes foi realizada em todas as misturas, entre eles, o de resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade, condutividade térmica, densidade e *slump test*. Com base nos resultados dos testes, a resistência à compressão tende a diminuir na presença de fibras de cânhamo. Para a flexão os resultados mostraram que a presença de fibras de cânhamo permite a redução de agregados graúdos e resulta em um comportamento dúctil. Os resultados de módulo de elasticidade asseguraram a ductilidade do cânhamo em misturas de concreto e as densidades diminuíram ligeiramente com a redução do agregado grosseiro e utilização das fibras.

Dawood & Ramli (2011), apresentaram resultados de um estudo experimental sobre concreto de alta resistência reforçado com diferentes porcentagens de misturas de fibras híbridas (fibra de aço e fibra de palmeira). Os resultados da resistência à compressão mostram que o uso de 1,0% de fibras de aço aumenta a resistência à compressão em cerca de 13%, enquanto a inclusão de mais de 0,75% de fibra de palma em misturas de fibras híbridas reduz a resistência à compressão,

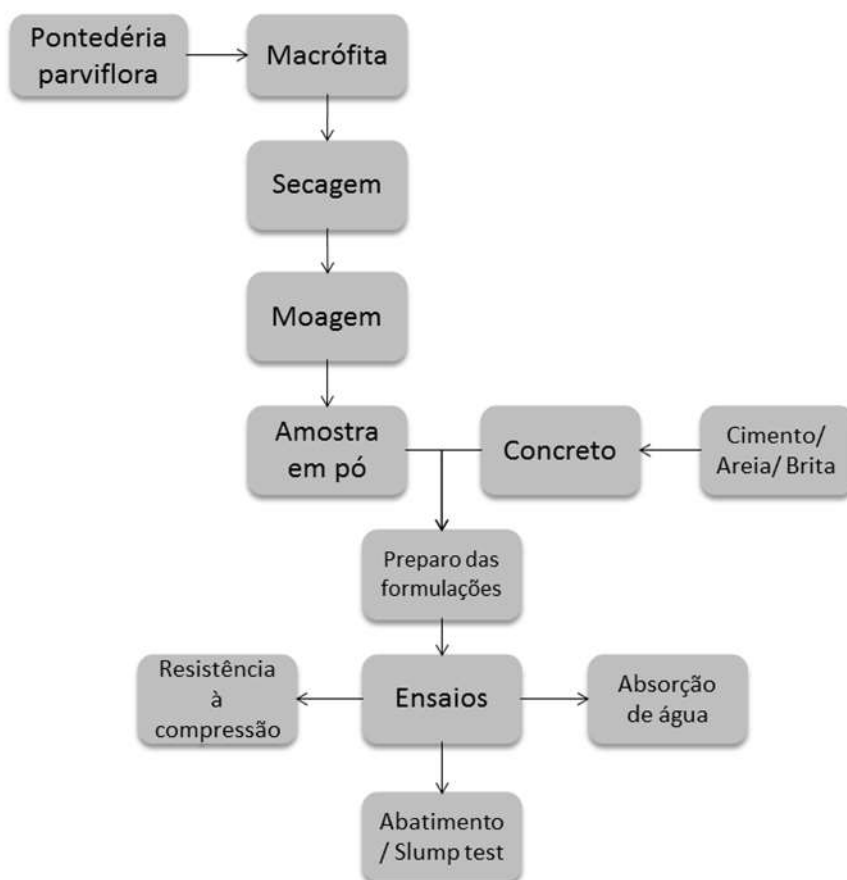
isto se deve à baixa rigidez das fibras de palmeira que leva a redução da resistência à compressão. A resistência à flexão das misturas de concreto contendo fibras de aço aumenta com o aumento da porcentagem adicionada. Os valores mais altos para estas propriedades foram obtidos com 1,5% de fibra de aço incluídos na mistura e o uso de fibras de palmeira, com 0,25% em misturas de fibras híbridas, dá o maior incremento a força de flexão.

Ferreira Filho et al. (2015), sugeriram a aplicação da biomassa triturada de macrófitas aquáticas contaminadas com cromo, na construção civil, adicionando-as em argamassas com porcentagens de adição de 5% e 10%, em relação à quantidade de cimento. Os resultados obtidos foram a eficiência na remoção de contaminantes do meio através da fitorremediação e diminuição da exsudação, nas argamassas com aplicação de biomassa.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão descritos os materiais e os métodos utilizados para caracterização das matérias primas, confecção dos corpos de prova e determinação de propriedades dos concretos produzidos. A sequência experimental do trabalho está indicada no fluxograma representado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma das etapas envolvidas na parte experimental.



Fonte: Autoria própria (2017)

Os ensaios realizados seguiram as determinações de normas específicas para cada um deles: trabalhabilidade, segundo a NBR NM 67:1998 (ABNT, 1998), absorção de água, seguindo a NBR 9778:1987 (ABNT, 1987), e resistência à compressão, conforme a NBR 5739:2007 (ABNT, 2007).

5.1 Determinação da dosagem

Segundo a NBR 9781:2013 (ABNT, 2013), a resistência característica à compressão mínima para peças de concreto para pavimentação deve ser igual ou superior a 35 MPa. Desta forma torna-se necessário um traço de concreto que atinja tal característica.

Não há normativa no Brasil para a dosagem de blocos de concreto para pavimento. Fernandes (2008), recomenda traços apenas para fabricação com utilização de equipamento hidráulico, porém a fabricação dos corpos de prova (CPs) foi manual. Arbitrou-se adotar o traço correspondente a 35 MPa de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo sugerido de materiais para a fabricação de *pavers*, para diferentes traços

Materiais (Kg)	Resistência dos <i>pavers</i>	
	35 MPa	50 MPa
Cimento	50	50
Areia	225	185
Brita (pedrisco)	75	65
Traço	1:6	1:5

FONTE: Fernandes (2008)

Desta forma o traço escolhido foi de 1:6 (proporção entre cimento, areia e brita), com proposta de adição de biomassa com um teor de dosagem de 0%, para o concreto referência, 2,5% e 5% em relação massa de cimento. O fator água/cimento foi, posteriormente, corrigido e anotado de acordo com as condições de umidade dos materiais.

5.2 Caracterização dos materiais

O aglomerante foi adquirido na cidade de Campo Mourão estado do Paraná, assim como os agregados, tanto miúdo quanto graúdo, porém estes foram fornecidos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Campo Mourão, as macrófitas foram coletadas na mesma cidade.

5.2.1 Caracterização do aglomerante

O aglomerante utilizado na produção do concreto foi o CP-V ARI (Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial). Na Tabela 2 apresentam-se as especificações físicas do cimento exigidas por norma.

Tabela 2 – Exigências físicas e mecânicas do Cimento Portland CP-V ARI

CP-V ARI	
ENSAIOS FÍSICOS	Especificações ABNT
Resíduo na peneira 75µm (%)	- 6
Tempo de início de pega (h)	- 1
Expansibilidade a quente (mm)	- 5
Resistência à compressão 1 dia (MPa)	- 14
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	- 24
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	- 34

FONTE: NBR 5733:1991 (ABNT, 1991)

De acordo com a Votorantim Cimentos (2018), o CP-V tem a capacidade de apresentar, nos primeiros dias de cura, altas resistências. Por este motivo é o mais indicado para produção de *pavers* devido à redução do tempo de pega do concreto, reduzindo também o tempo de estoque do produto final.

O cimento CP-V utilizado na dosagem de concreto possui massa específica de aproximadamente 3000 kg/m³ de acordo com o fabricante do produto.

5.2.2 Caracterização do agregado miúdo

Para a determinação da granulometria da areia utilizou-se a norma NBR NM 248:2003 (ABNT, 2003), conforme os ensaios descritos na mesma foram encontrados os dados da Tabela 3. Através da soma das porcentagens retidas acumuladas em massa, nas peneiras da série normal, dividida por 100, é determinado o módulo de finura do agregado, obtendo-se um valor igual a 1,74 (adimensional), sendo assim classificada como de granulometria fina de acordo com a norma utilizada.

Tabela 3 – Granulometria do agregado miúdo para uma amostra de 498g

PENEIRAS					
Aberturas de malha	2,4 mm	1,2 mm	0,6 mm	0,3 mm	0,15 mm
Massa retida	0,001 kg	0,011 kg	0,053 kg	0,235 kg	0,190 kg
Porcentagem retida acumulada	0,2%	2,4%	13,1%	60,2%	98,4%

Fonte: Aatoria própria (2018)

Em seguida calculou-se a massa específica através do frasco Chapman de acordo com a norma NBR 9776:1987 (ABNT, 1987) obtendo-se o resultado de 2645 kg/m³.

5.2.3 Caracterização do agregado graúdo

A granulometria da brita foi determinada utilizando-se a norma NBR NM 248:2003 (ABNT, 2003), conforme os ensaios descritos na mesma foram encontrados os dados da Tabela 4, o módulo de finura obtido foi de 1,22 (adimensional).

Tabela 4 – Granulometria do agregado graúdo para uma amostra de 1kg

PENEIRAS				
Aberturas de malha	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	menor que 9,5 mm
Massa retida	0 kg	0,006 kg	0,010 kg	0,697 kg
Porcentagem Retida Acumulada	0,0%	0,6%	1,0%	71,3%

Fonte: Aatoria própria (2018)

O Diâmetro Máximo do agregado graúdo é definido analisando a linha de porcentagem Retida Acumulada, no sentido das malhas com aberturas menores

para as de aberturas maiores, o primeiro valor maior que 5% corresponde a uma abertura de peneira, e assim o Diâmetro Máximo é igual a abertura de peneira imediatamente superior, o que resultou em um Diâmetro máximo igual a 9,5 mm, portanto classificada como brita tipo zero ou pedrisco.

A massa específica do agregado graúdo foi obtida usando-se a metodologia da norma NBR NM 53:2003 (ABNT, 2003), o resultado obtido para a massa específica foi igual a 2900 kg/m³.

5.3 Cálculo da quantidade de materiais para a realização dos ensaios

Os CPs cilíndricos utilizados para os ensaios de resistência à compressão e absorção de água, foram moldados seguindo as exigências da norma NBR 5738:2015 (ABNT, 2015). Foram confeccionados 6 CPs para um concreto referência, para servir como comparação entre os resultados obtidos e 6 CPs para cada porcentagem de biomassa adicionada ao traço, totalizando 18 CPs cilíndricos. Levando-se em conta os moldes disponíveis no laboratório e sugeridos em norma, os CPs foram confeccionados com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura.

Para a comparação dos resultados dos ensaios de concreto com biomassa adicionada, foi necessária a produção de um traço referência, o qual não recebeu adições de biomassa, porém foi produzido com o mesmo traço adotado de 1:6.

Os concretos com 2,5% e 5% de biomassa foram preparados com as mesmas quantidades de cimento, areia e brita que a amostra referência.

Utilizando a equação da densidade, definiu-se a massa de cimento a ser utilizada para a produção do volume total de concreto necessário para a fabricação dos CPs. Sabendo-se o valor em massa de cimento, foram obtidas também as quantidades em massa necessárias de biomassa para os ensaios.

Na Tabela 5 demonstra-se as quantidades necessárias de cada material utilizado para a produção de um CP de dimensões 10x20 cm, com as diferentes porcentagens de biomassa.

Tabela 5 – Quantidade de materiais para cada corpo de prova com diferentes porcentagens de biomassa

Materiais (kg)	Biomassa (%)		
	0,0	2,5	5,0
Cimento	0,785	0,785	0,785
Areia	3,116	3,116	3,116
Brita	1,138	1,138	1,138
Água	0,300	0,300	0,300
Biomassa	0,0000	0,0196	0,0397

FONTE: Autoria própria (2018)

Vale ressaltar que os valores indicados na tabela 2 foram obtidos utilizando-se densidades de 3000 Kg/m³, 2645 Kg/m³, e 2900 Kg/m³, para o cimento, areia e brita respectivamente.

É importante ressaltar também que o *slump test* foi executado usando-se a mesma massa de concreto produzida para a confecção dos CPs e que o ensaio de absorção de água utilizou os mesmos CPs posteriormente utilizados no ensaio de resistência à compressão, sendo assim a quantidade total de materiais utilizada foi calculada através da multiplicação das quantidades representadas na Tabela 2 pelo número de CPs definidos anteriormente. Essas quantidades estão representadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Quantidade total de materiais para execução dos ensaios

Materiais	Quantidades (kg)
Cimento	14,137
Areia	56,088
Brita	20,499
Água	5,400
Biomassa	0,353

FONTE: Autoria própria (2018)

5.4 Obtenção das macrófitas submetidas à fitorremediação

De início, foram coletadas no Rio Água dos Papagaios, no município de Campo Mourão, as macrófitas *P. parviflora* para o desenvolvimento da pesquisa. A massa coletada foi pesada, em laboratório, lavada e, logo após, submetida a uma solução de cromo, com concentração de 60 ppm, onde permaneceu por 5 dias,

período em que de acordo com Ferreira Filho et al. (2015), a *P. parviflora* absorve 52% da concentração de cromo da solução.

A macrófita após a coleta está ilustrada na Figura 4.

Figura 4 - Macrófita coletada no Rio Água dos Papagaios.



Fonte: Autoria própria (2017)

5.4.1 Secagem e moagem das macrófitas

Após a retirada da solução, as plantas foram colocadas em estufa, a 60 °C, por 48 horas, até ficarem totalmente secas e quebradiças.

A biomassa submetida à fitorremediação é incorporada ao concreto como adição, para tanto foi de extrema importância que ela fosse moída até atingir a característica de um pó bem fino para, então, ser adicionada à massa de concreto. Desse modo as folhas, caules e raízes da planta, já secos, foram triturados em uma máquina denominada moinho de facas.

A biomassa após a fitorremediação e processo de secagem está ilustrada na Figura 5.

Figura 5 - Biomassa após a fitorremediação e processo de secagem.



Fonte: Autoria própria (2017)

5.5 Produção do concreto

O concreto produzido foi dosado seguindo o traço já mencionado (1:6) com fator água/cimento 0,38, considerando que para fabricação de peças pré-fabricadas como *pavers* é recomendada uma consistência bastante seca, com abatimento zero no ensaio do tronco de cone.

Os concretos com diferentes porcentagens foram misturados em uma betoneira com capacidade nominal de 350 litros.

A mistura do material seguiu a seguinte metodologia:

- mistura dos materiais do traço, incluindo a água;
- parada para adição da biomassa (no caso dos traços com adição de 2,5% e 5%);
- mistura por alguns minutos para total incorporação de todos os componentes.

5.6 Determinação da consistência

A análise da consistência de cada mistura de concreto foi feita utilizando o ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), conforme a NBR NM 67:1998 (ABNT, 1998), o qual foi realizado após o preparo de cada mistura com diferentes porcentagens de adição de biomassa e antes da moldagem dos CPs cilíndricos que foram posteriormente utilizados em outros ensaios.

Para realizar o ensaio foi necessário um molde com o formato de tronco de cone oco, possuindo base maior igual a 200 mm de diâmetro, base menor igual a 100 mm e uma altura de 300 mm. O mesmo possui na parte superior duas alças localizadas à 2/3 da altura total e aletas nas bordas inferiores para posicionamento dos pés do executor do ensaio, de modo a imobilizar o molde durante o processo de adensamento. Foi utilizada também uma base metálica para o apoio do molde.

Neste procedimento, o concreto foi colocado no molde, posicionado com a menor abertura para cima, e então preenchido por três camadas de concreto. Entre uma camada e outra o concreto foi golpeado 25 vezes, utilizando-se uma haste padronizada com 600 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro (Figura 6), após a compactação da última camada, retirou-se o excesso de concreto e a superfície foi alisada com uma régua metálica.

Figura 6 – Preenchimento do cone.



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 8 – Medida do abatimento.



Fonte: Autoria própria (2018)

5.7 Moldagem e desforma dos Corpos de Prova

Os CPs foram moldados e desformados seguindo as recomendações da norma NBR 5738:2015 (ABNT, 2015). A vedação das juntas dos moldes foi feita com cera e óleo mineral para evitar possíveis vazamentos e após a montagem os moldes foram untados internamente com uma fina camada de óleo mineral para auxiliar na desforma. O tipo de molde utilizado apresenta-se na Figura 9.

Figura 9 – Molde utilizado, recomendado por norma.



Fonte: Autoria própria (2018)

O concreto foi colocado dentro do molde, com auxílio de uma concha, em camadas de altura aproximadamente iguais. Como foram dispostas mais de uma camada de concreto, antes do adensamento de cada camada, a concha foi deslocada ao redor do molde a fim de obter uma distribuição simétrica da camada. A última camada foi moldada com quantidade em excesso de concreto, de forma que ao ser adensado, completou-se o volume do molde e em seguida procedeu-se o arrasamento da superfície com a borda do molde utilizando uma colher de pedreiro, eliminando assim o material em excesso. Na Figura 10 ilustra-se os moldes preenchidos com concreto.

Figura 10 – Moldes preenchidos de concreto.



Fonte: Autoria própria (2018)

A desforma foi realizada 24h após a moldagem e os CPs identificados e encaminhados para cura final. Até o início dos ensaios, os CPs ficaram conservados imersos em água saturada de cal. Nas Figuras 11 e 12 apresentam-se, respectivamente, os CPs já desmoldados e no processo de cura.

Figura 11 – Corpos de prova desmoldados.



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 12 – Processo de cura.



Fonte: Autoria própria (2018)

5.7.1 Preparação das bases dos corpos de prova cilíndricos para ensaio de compressão

De acordo com a NBR 5738:2015 (ABNT, 2015), é imprescindível preparar as bases dos CPs antes de ensaiá-los, de modo que possuam superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do CPs. Essa preparação das bases de forma a adequá-las ao ensaio pode ser feita por:

- a. Retificação: Consiste na remoção, utilizando meios mecânicos, de uma camada fina de material das bases que serão preparadas.
- b. Capeamento: Consiste no revestimento dos topos dos CPs com uma camada fina de material apropriado que, possua aderência ao CP, compatibilidade química com o concreto, fluidez durante sua aplicação, acabamento liso e plano após seu endurecimento e resistência à compressão compatível com os valores normalmente obtidos em concreto.

Para o presente trabalho o método utilizado foi o de retificação, devido à disponibilidade no laboratório de ensaios tecnológicos da UTFPR - Campus Campo Mourão no qual foram realizados os ensaios já mencionados. Na Figura 13 apresenta-se alguns CPs retificados.

Figura 13 – Corpos de Prova retificados.



Fonte: Autoria própria (2018)

5.8 Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a NBR 9778:1987 (ABNT, 1987). Para o ensaio foram necessários três CPs, para cada traço de concreto, que primeiramente foram secos em estufa por 72 horas, fazendo-se pesagens dos mesmos, a cada 24 horas, em balança de precisão. Após a secagem e resfriamento os CPs permaneceram com 1/3 de seu volume imerso em água nas primeiras quatro horas e 2/3 nas quatro horas seguintes, passadas oito horas iniciais a amostra foi completamente imersa por 64 horas, totalizando 72 horas de imersão. A cada 24 horas e após a saturação, os CPs foram pesados e o valor da absorção de água, em porcentagem, foi obtido através da Equação 1.

$$\left(\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

A estufa e a balança estão representadas nas Figuras 14 e 15 respectivamente.

Figura 14 – Estufa.



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 15 – Balança.



Fonte: Autoria própria (2018)

5.9 Resistência à compressão

A amostragem adotada segundo a NBR 12655:2006 (ABNT, 2006) foi a amostragem total (100%) a qual consiste no ensaio de CPs de cada amassada de concreto. Para este método não há limitação de números de CPs, sendo assim escolheu-se, para a execução do ensaio, utilizar quatro CPs de cada amassada de concreto com as diferentes porcentagens de adição.

O ensaio de resistência à compressão seguiu a norma NBR 5739:2007 (ABNT, 2007). As bases foram preparadas antes do ensaio e os diâmetros foram determinados para posterior cálculo das resistências.

Antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos e do CP foram limpas e secas, o CP foi posicionado de modo que, quando centrado, seu eixo coincidiu com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças pudesse passar pelo seu centro. O equipamento de aplicação de força utilizado tem capacidade compatível com o ensaio realizado, permitindo a aplicação controlada da força sobre o CP colocado entre os pratos de compressão. Algumas medidas foram adotadas na prensa de modo que fosse garantida a qualidade do ensaio, tais como calibragem da prensa na qual o carregamento foi aplicado continuamente, com uma velocidade de $0,45 \pm 0,15$

MPa/s, o qual só foi cessado quando houve uma queda de força indicando a ruptura do concreto.

O diâmetro para cálculo da área de seção transversal do CP foi determinado com exatidão de $\pm 0,1$ mm, pela média de dois diâmetros, medidos ortogonalmente na metade da altura do CP. As alturas dos CPs foram medidas sobre o eixo longitudinal, com precisão de 0,1 mm.

O equipamento de aplicação de força está representado na Figura 16.

Figura 16 – Equipamento de aplicação de força.



Fonte: Autoria própria (2018)

5.9.1 Cálculo da resistência à compressão

A resistência à compressão foi calculada utilizando a Equação 2, apresentada a seguir:

$$f_c = \frac{4F}{\pi * D^2}$$

Equação 2

5.9.2 Resistência média

Após os ensaios e a obtenção dos resultados individuais de cada CP de resistência à compressão, com a intenção de se comparar as resistências alcançadas para cada porcentagem de adição de biomassa, calculou-se com uso da Equação 3 a média aritmética simples, uma medida de tendência central sendo resultado da divisão do somatório dos números obtidos pela quantidade de números somados.

$$y = \frac{\sum x}{n} \quad \text{Equação 3}$$

Para a verificação da variação dos resultados foi estimado o desvio padrão calculado através da Equação 4, o qual é uma medida de dispersão que indica a regularidade de um conjunto de dados em função da média aritmética.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - y)^2}{(n - 1)}} \quad \text{Equação 4}$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Slump Test

O *Slump Test* obteve abatimento zero para todas as dosagens, como determinado para o traço sem adição de biomassa. Como a relação água/cimento não foi alterada para nenhum dos traços, com diferentes porcentagens de adição, verifica-se que a adição de biomassa, nas determinadas porcentagens, não altera a consistência do concreto.

6.2 Absorção de água

Primeiramente foram pesados três CPs para cada tipo de concreto. Os concretos possuíam 20 dias de idade no início do ensaio. A cura seguiu as especificações da NBR 5738:2003 (ABNT, 2003) e os valores são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Peso em kg, pesagem inicial

CP	Adição 0%	Adição 2,5%	Adição 5%
1	3,559	3,524	3,509
2	3,603	3,600	3,423
3	3,548	3,626	3,419

Fonte: Autoria Própria (2018)

Posteriormente os CPs foram colocados em estufa à temperatura de 105 ± 5 °C onde permaneceram por 24h até a primeira pesagem, conforme anotado na Tabela 8.

Tabela 8 – Peso em kg, após 24h em estufa

CP	Adição 0%	Adição 2,5%	Adição 5%
1	3,356	3,299	3,243
2	3,394	3,389	3,147
3	3,352	3,422	3,148

Fonte: Autoria Própria (2018)

O mesmo procedimento foi realizado passadas 48h, e os valores estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Peso em kg, após 48h em estufa

CP	Adição 0%	Adição 2,5%	Adição 5%
1	3,326	3,272	3,236
2	3,364	3,358	3,140
3	3,317	3,392	3,138

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Após as 72h descritas no ensaio os CPs foram retirados e pesados para em seguida serem imersos novamente, os valores estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Peso em kg, após 72h em estufa

CP	Adição 0%	Adição 2,5%	Adição 5%
1	3,312	3,265	3,234
2	3,350	3,348	3,137
3	3,301	3,379	3,135

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Posteriormente os CPs foram imersos e pesados novamente com 24h, 48h e 72h, e seus valores estão demonstrados nas Tabelas 11, 12 e 13 respectivamente. Os valores após as 72h foram os utilizados para determinar a porcentagem de absorção.

Tabela 11 – Peso em kg, após 24h de imersão

CP	Adição 0%	Adição 2,5%	Adição 5%
1	3,430	3,445	3,459
2	3,460	3,519	3,365
3	3,428	3,528	3,375

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Tabela 12 – Peso em kg, após 48h de imersão

CP	Adição 0%	Adição 2,5%	Adição 5%
1	3,453	3,471	3,469
2	3,485	3,546	3,375
3	3,455	3,561	3,383

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Tabela 13 – Peso em kg, após 72h de imersão

CP	Adição 0%	Adição 2,5%	Adição 5%
1	3,468	3,483	3,475
2	3,498	3,556	3,380
3	3,473	3,578	3,388

Fonte: Autoria Própria (2018)

A média dos valores das pesagens em kg, para o cálculo de absorção de água são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Média dos pesos em kg

Adição	0%	2,5%	5%
Secagem 72h	3,321	3,331	3,169
Imersão 72h	3,480	3,539	3,414

Fonte: Autoria Própria (2018)

Os resultados de absorção de água para cada dosagem estão apresentados na Tabela 15.

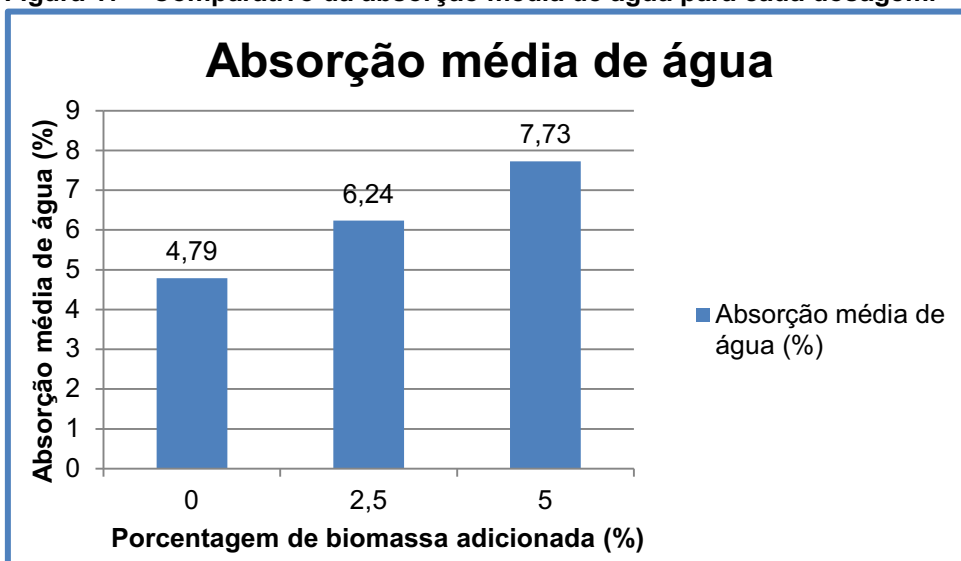
Tabela 15 – Absorção de água por dosagem.

Biomassa (%)	Absorção média de água por CP (%)
0	4,79
2,5	6,24
5	7,73

FONTE: Autoria própria (2018)

A partir dos resultados das tabelas anteriores é possível verificar que absorção de água cresce proporcionalmente à medida que se aumenta a porcentagem de biomassa adicionada, como ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Comparativo da absorção média de água para cada dosagem.



FONTE: Autoria própria (2018)

Marcos et al. (2008), adicionaram porcentagens diferentes (0%, 10%, 20% e 30%) de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como substituição do cimento em argamassas e obtiveram também um acréscimo na absorção média de água como demonstra a Tabela 16.

Tabela 16 – Valores médios de absorção de água.

CBC (%)	Absorção média de água (%)
0	6,6
10	7,5
20	7,8
30	8,0

FONTE: Adaptado de Marcos et al. (2008)

6.2 Resistência à compressão

Todos os CPs ensaiados possuíam a mesma idade de cura na data do ensaio (28 dias).

Os resultados da resistência à compressão obtidos para cada CP estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultado de resistência à compressão individual dos Corpos de Prova.

AMOSTRAS	Resistência à compressão (MPa)		
	0%	2,5%	5%
CP1	35,155	25,451	12,540
CP2	35,978	28,617	15,199
CP3	35,183	24,155	17,878
CP4	33,476	19,221	12,190

FONTE: Autoria própria (2018)

Com os resultados da resistência individual de cada CP foi possível calcular os valores da resistência média, característica e o desvio padrão da amostra para cada porcentagem de biomassa adicionada, observados na Tabela 18.

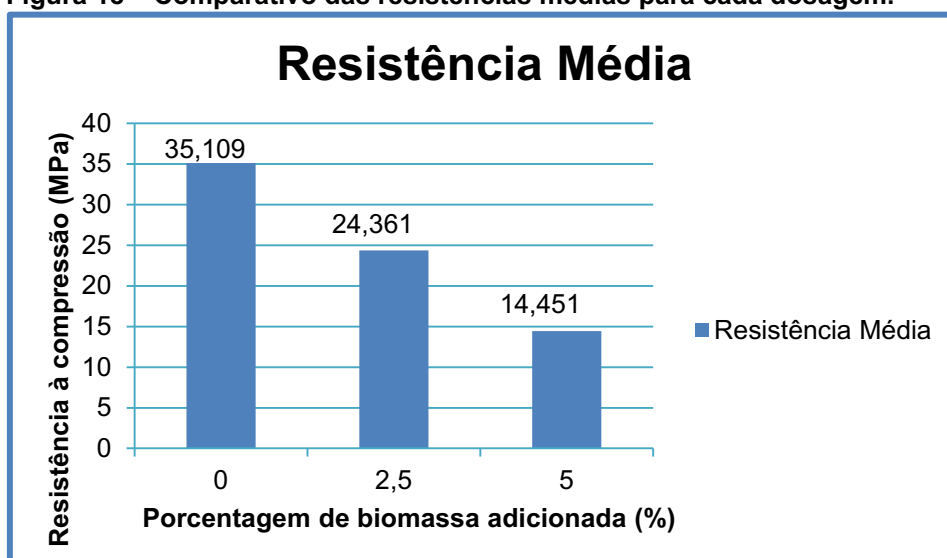
Tabela 18 – Resistências médias e desvio padrão para cada dosagem.

Porcentagens	f_m (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
0%	35,109	0,762
2,5%	24,361	3,905
5%	14,451	2,650

FONTE: Autoria própria (2018)

A partir dos resultados das tabelas anteriores é possível verificar que a resistência à compressão, decresce à medida que se aumenta a porcentagem de biomassa adicionada, como ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Comparativo das resistências médias para cada dosagem.



FONTE: Autoria própria (2018)

Para a resistência à compressão, de acordo com Marcos et al. (2008), que utilizaram CBC como substituição do cimento em argamassas, foram obtidos valores menores de resistência para os traços com substituição do cimento por CBC, se comparados aos valores de resistência da argamassa sem substituição. Porém os valores não decresceram drasticamente, esses valores estão demonstrados na Tabela 19.

Tabela 19 – Valores médios de resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade.

CBC (%)	Resistência à compressão (MPa)
0	48,0
10	47,8
20	46,9
30	40,7

FONTE: Adaptado de Marcos et al. (2008)

7 CONCLUSÕES

Através dos ensaios realizados no decorrer desta pesquisa, pôde-se observar uma redução na resistência à compressão, tanto média quanto característica, do concreto produzido com adição de biomassa, na idade de 28 dias. Além disso, a resistência característica à compressão do concreto produzido, com biomassa adicionada, não atingiu a resistência mínima exigida para peças de concreto para pavimentação.

Resistências baixas foram obtidas para ambas as porcentagens de adição de 2,5% e 5%. Mostrando-se esta adição inviável para o traço utilizado.

A absorção de água do concreto aumentou consideravelmente com a adição de biomassa, de 4,79% para 6,24% e 7,73% nos concretos com adição de 2,5% e 5%, conferindo assim, um acréscimo de 30,27% e 61,37% respectivamente, na absorção de água dos concretos produzidos com a adição em relação ao concreto de referência.

Conclui-se então que a incorporação de biomassa proveniente do processo de fitorremediação influencia negativamente nas características do concreto, com exceção da consistência, definida pelo *slump test*, a qual não sofreu alteração.

REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7 ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: 2004 - Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12655:2006 – Concreto - Preparo, controle e recebimento**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 9776:1987 – Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9778: 1987 – Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9781: 2013 – Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR NM 53: 2003 – Agregado graúdo - determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 67: 1998 – Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248: 2003 – Agregados - determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739: 2007 – Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 5738:2015 – Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

AKAISHI, F. M. **Aplicação de Biomarcadores de Contaminação Ambiental em Estudos de Laboratório e Monitoramento em Campo**. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003. 111 f.

ALEMGARAM, U.J., MAHMUD, H., JUMAAT, M.Z. Comparison of mechanical and bond properties of oil palm kernel shell concrete with normal weight concrete. **International Journal of Physical Sciences**, v. 5(8), p. 1231-1239, 2010.

ARAVIND, P., PRASAD, M. Cadmium–zinc interaction in hydroponic system using *Ceratophyllum demersum* L.: adaptive ecophysiology, biochemistry and molecular toxicology. **Journal Plant Physiology**, v.17 (1), p. 3–20, 2005.

AWWAD, E., MABSOUT, M., HAMAD, B., FARRAN, M.T., KHATIB, H. Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers. **Construction and Building Materials**, v. 35, p. 710-717, 2012.

BAIRD, C.; **Química Ambiental**, tradução: Recio, M. A. L.; Carrera, L. C. M.; 2a ed., Bookman: Porto Alegre, 2002.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L. DE; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, p. 305.

CARVALHO, J. D. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. 17 ed. **Revista Tecnológica**. p. 19-28, 2008.

COSTA, C. R.; OLIVI, P. BOTTA, C. M.R.; ESPINDOLA, E.L.G. A toxicidade em ambiente aquático: Discussão e método de avaliação. **Química nova**, v. 31, n. 7, p. 1820 – 1830, 2008c.

DAWOOD, E. T., RAMLI, M. Contribution of Hybrid Fibers on The Hybrid Fibers on the Properties of High Strength Concrete Having High Workability. **Procedia Engineering**, v. 14, p. 814-820, 2011.

DINARDI, A. L. et al. **Fitorremediação**. Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental Laboratório de Pesquisas Ambientais – LAPA. III Fórum de Estudos Contábeis, 2003.

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA - DNIT. **Manual de Pavimentação**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), 2006.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos De Limnologia**. Interciência. 2ª Ed., Rio De Janeiro, p. 602, 1998.

FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade**. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda. 2008.

FERREIRA FILHO, J. O., SOUZA, D. C.; GÓES, J. L. N. Fitorremediação através de Macrófitas Aquáticas para a Aplicação em Argamassas. In: Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (SIAUT), 2015, Campo Mourão. **Anais...** Campo Mourão, 2015.

GREIPSSON, S. **Phytoremediation**. Nature Education Knowledge. v 2, p. 7. 2011.

GODECKE, M.V.; RODRIGUES, M.A. S.; NAIME, R.H. Resíduos de curtumes: estudo das tendências de pesquisa. **Revista em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria, v. 7, n. 7, p. 1357-1378, 2012.

HASHIM, M. A., MUKHOPADHYAY, S., SAHU, J. N., & SENGUPTA, B. Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 2355-2388, 2011.

- HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Composição Química De Macrófitas Aquáticas Flutuantes Utilizadas No Tratamento De Efluentes De Aquicultura. **Planta Daninha**, v.24, n.1, p. 21-28, 2006.
- HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Tratamento De Efluentes De Carcinicultura Por Macrófitas Aquáticas Flutuantes. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v.37, n. 2, p.181-188, 2008.
- HIGMAN, C.; VAN DER BURGT, M. **Gasification**. Massachussets: Elsevier, p.67-68, 2003.
- KANOUN-BOULE, M., VICENTE, J.A.F., NABAIS, C., PRASAD, M.N.V., FREITAS, H. Ecophysiological tolerance of duckweeds exposed to copper. **Aquatic Toxicology**, v. 91, p. 1–9, 2009.
- KHAN, S., HESHAM, A.E.-L., QIAO, M., REHMAN, S., HE, J.-Z. Effects of Cd and Pb on soil microbial community structure and activities. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 17, p. 288–296, 2010.
- MARCOS, O. DE PAULA, TINÔCO, F. ILDA, RODRIGUES, C., SILVA, E.N., SOUZA, C. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 353-357, 2003.
- MISHRA, V.K., TRIPATHI, B.D., 2008. Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 7091–7097.
- O MUNDO DO CIMENTO. Disponível em: <<https://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/>>. Acesso em: 01 maio 2018.
- PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto e Construções**, 2009.
- PIRES, F.R., SOUZA, C.M., SILVA, A.A., QUEIROZ, M.E.I.R., PROCÓPIO, S.O., SANTOS, J.B., SANTOS, E.A., CECON, P.R., Seleção de plantas com potencial de fitorremediação de Tebuthionon. **Planta Daninha**. v. 21, n. 3, 2003.
- PITELLI, R.; NACHTIGAL, G. F.; PITELLI, R. L. C. M. Controle biológico de plantas daninhas. **Anais...** In: Manzanillo: Congreso Latinoamericano de Malezas. p. 518-524, 2003
- PITELLI, R. L. C. M. et al. Dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana, RJ. **Planta Daninha**. v. 26, n. 3, 2008.
- POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 5, 2008.

RAMOS, M.R.; SOUZA, D. C.; LIMA, S. B.; FRANCO, J.M.; BASSANI, F.; BOLZANI, H.R.; BELLONI, D.F.; TAVARES, C.R.G.; LAUTENSCHLAGER, S.R. Remoção da carga orgânica de água residuária de lavanderia têxtil utilizando Pontederia parviflora Alexander. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 1., 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABAS, 2009. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/21957/14326>>. Acesso em: 01 out. 2017.

ROCHA, J.C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SANTANA, G.P. **Elemento traço ou metal pesado**. 2008. Disponível em: <http://www.cq.ufam.edu.br/Artigos/Elemento_metal_pesado/Elemento_metal_pesado.html>. Acesso em: 03 out. 2017.

SISMAN, C.B., GEZER, E., KOCAMAN, I. Engineering properties of concrete with oil palm shell as coarse aggregate. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 17(1), p. 40-48, 2011.

VERMA, V.K.; TEWARI, S.; RAI, J.P.N. Ion Exchange During Heavy Metal Biosorption From Aqueous Solution By Dried Biomass Of Macrophytes. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 1932–1938, 2008.

VO, L. T. T, NAVARD, P. Treatments of plant biomass for cementitious building materials – A review. **Construction and Building Materials**, v. 121, p. 161-176, 2016.

VOTORANTIM CIMENTOS. 2018. Disponível em: <<http://www.vcimentos.com.br/Produtos/Cimento.htm>>. Acesso em: 01 maio 2018.

XU, Q.S., HU, J.Z., XIE, K.B., YANG, H.Y., DU, K.H., SHI, G.X. Accumulation and acute toxicity of silver in Potamogeton crispus L. **Journal of Hazardous Materials**, v.173, p. 186–193, 2010.